



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
EN LA PLANTA DE SAN JUAN ALTO DE LA PARROQUIA MATRIZ DEL
CANTÓN GUAMOTE”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

MARÍA AUGUSTA GUADALUPE ALCOSER

RIOBAMBA – ECUADOR

-2014-

Agradecimiento

Agradezco a Dios y a mi Madre Dolorosa por permitirme estar aquí para poder alcanzar todos mis sueños.

A mi hija, Galilea, porque con su mirada y su sonrisa me enseña que cada día es una nueva oportunidad para ser mejor, por ser mi inspiración y por darme las fuerzas para seguir adelante.

A mis padres, Augusta y Enrique, por inculcarme buenos valores que han hecho de mí la persona que ahora soy y por acompañarme incondicionalmente en el caminar de mi vida enseñándome a no dejarme vencer por las adversidades.

A mis hermanos, Kathy y Rolando, por su gran ejemplo de responsabilidad y sacrificio que hoy hace que culmine esta etapa de mi vida.

A mis sobrinas, Mayte, Ninel, Alina y Amelia, por ser la alegría de mi hogar y motivarme a luchar día a día.

A los Ing. Mario Villacrés y Marco Chuiza, por compartir conmigo sus conocimientos y brindarme su ayuda para cumplir con este requisito que me lleva a mí anhelado sueño: ser ingeniera química y convertirme en su colega.

A mis amigos, por compartir conmigo mis alegrías, mis logros, mis tristezas, especialmente por sus consejos que han sido de gran ayuda durante mi carrera y ahora que la estoy terminando.

Dedicatoria

A mi hija, Galilea Rafaela, por ser la razón de mi vivir y darme un futuro nuevo con una felicidad que no sabía que existía.

A mis padres, Augusta y Enrique, por ser los protagonistas de mis sueños y el pilar fundamental para que yo alcance esta mi meta más esperada.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. César Ávalos
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS		
Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR DE TESIS		
Ing. Marco Chuiza
MIEMBRO DEL TRIBUNAL		
Ing. Eduardo Tenelanda
DIRECTOR DEL CENTRO DE DOCUMENTACIÓN		
NOTA DE TESIS	

“Yo, MARÍA AUGUSTA GUADALUPE ALCOSER, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

MARÍA AUGUSTA GUADALUPE ALCOSER

INDICE DE ABREVIATURAS

A	Separación entre tabiques
a_f	Ancho del filtro
A	Sección o área transversal requerida de los canales
A_f	Área del filtro
A_o	Área de cada orificio
A_s	Área superficial de sedimentación acelerada
b	Espesor de la lámina o tabique
b_p	Espesor de las placas
B	Ancho del vertedero
B_F	Ancho del floculador
B_s	Ancho del sedimentador
c	Grados centígrados
C	Concentración de la solución
C_a	Altura de la capa de agua
C_s	Altura de la capa de soporte
C_v	Profundidad del canal del vertedero
D_o	Diámetro del orificio
D_T	Diámetro de la tubería de entrada del agua al filtro
D_{Ts}	Diámetro de la tubería de salida del agua del filtro
E	Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque
e_p	Distancia entre placas
F	Número de Froude
F_c	Altura del drenaje
g	Aceleración de la gravedad
G	Gradiente de velocidad
G_t	Número adimensional de Camp
H	Pérdida de energía en el resalto
h_1	Profundidad supercrítica
h_2	Profundidad subcrítica
h_a	Pérdidas adicionales
h_c	Profundidad crítica de flujo
h_f	Pérdidas por fricción en el tanque
h_T	Pérdida de energía total
H	Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua
k	Constante empírica

K_1	Consumo máximo diario
K_c	Coefficiente de mínimo costo
Kg	Kilogramos
Kg/d	Kilogramos por día
l	Longitud efectiva de cada canal
l_p	Longitud de las placas
Lb	Libras
L	Longitud total recorrida por el agua
L'	Longitud relativa en la región de transición
L_a	Altura del lecho filtrante
L_c	Longitud relativa corregida
L_f	Longitud del filtro
L_j	Longitud del resalto
L_m	Longitud del salto
L_r	Longitud relativa del sedimentador
L_s	Longitud del área de sedimentación acelerada
L_T	Longitud total de la cámara de floculación
l/día	Litros por día
l/hab día	Litros por habitante por día
l/s	Litros por segundo
M	Metros
Min	Minutos
ml	Mililitros
ml/l	Mililitros por litro
Mm	Milímetros
m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
m/d	Metros por día
m/min	Metros por minuto
m/s	Metros por segundo
m/s^2	Metros por segundos al cuadrado
m^2/s	Metros cuadrados por segundo
m^3/d	Metros cúbicos por día
m^3/h	Metros cúbicos por hora
m^3/s	Metros cúbicos por segundo

mg/l	Miligramos por litro
N	Coefficiente de Manning
n_f	Número de filtros
n_L	Número de laterales por lado
n_t	Intervalo de tiempo
N	Número de canales
N_L	Número de laterales
N_p	Número de placas
N_{Re}	Número de Reynolds
N/m^3	Newton por metro cúbico
NTU	Unidades nefelométricas de turbiedad
Oz	Onzas
P	Altura de la pared del vertedero
P	Porcentaje de dilución
P_a	Población actual
P_f	Población futura
Pa.s	Pascal por segundo
Plg	Pulgadas
Ppm	Partes por millón
Q	Caudal por unidad de ancho
Q	Caudal de diseño
Q_o	Caudal que ingresa cada orificio
Qmd	Caudal medio diario
QMd	Caudal máximo diario
R	Radio hidráulico
R	Tasa de crecimiento
s	Segundos
S	Constante para cada tipo de módulo
s^{-1}	Segundos a la menos uno
T	Tiempo de mezcla o retención
t_l	Tiempo óptimo de lavado
t_{rp}	Tiempo de retención en las placas
t_{rs}	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación
TE	Tamaño efectivo de la arena
UFC	Unidades formadoras de colonias
V	Velocidad de flujo
v_1	Velocidad del agua en el salto

v_2	Velocidad del agua en el resalto
v_e	Velocidad de agua a través de la tubería de entrada
v_1	Velocidad óptima de lavado
v_m	Velocidad media en el resalto
v_o	Velocidad en orificio
v_s	Velocidad de agua a través de la tubería de salida
v_{sc}	Velocidad crítica de sedimentación
v_{so}	Carga superficial después de instalar las placas
V	Volumen de agua
V_1	Cantidad de agua para el lavado
V_{agua}	Cantidad de agua
V_{Ts}	Volumen del sedimentador
V_{PAC}	Volumen del tanque de solución de policloruro de aluminio
Z_f	Altura del filtro
Z_s	Altura del sedimentador
%	Porcentaje
Θ	Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de tasa alta
Γ	Peso específico del agua
μ	Viscosidad dinámica del agua
N	Viscosidad cinemática del fluido
$\mu\text{S/cm}$	Micro siems por centímetro
$\mu\text{g/l}$	Microgramos por litro
Upt-co	Unidades de platino y cobalto
P	Densidad del policloruro de aluminio

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	XXI
ANTECEDENTES	XXII
JUSTIFICACIÓN	XXIV
OBJETIVOS	XXVI
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1. AGUA POTABLE.....	1
1.1. Calidad del agua.....	1
1.2. Fuentes de abastecimiento	2
1.2.1. Atmosféricas.....	2
1.2.2. Superficiales.....	2
1.2.3. Subterráneas	3
1.3. Características del agua subterránea	4
1.3.1. Componentes Físicos	4
1.3.2. Componentes Químicos	7
1.3.3. Microbiología del Agua	13
1.3.4. Contaminación de Aguas Subterráneas.....	14
1.4. Proceso de potabilización de aguas subterráneas	14
1.4.1. Captación.....	15
1.4.2. Aducción	16
1.4.3. Mezcla rápida	16
1.4.4. Coagulación y Floculación.....	19
1.4.4.1. Coagulación	19
1.4.4.1.1. Agentes Coagulantes.....	21
1.4.4.2. Floculación.....	22
1.4.5. Sedimentación	24
1.4.5.1. Sedimentador laminar	26
1.4.6. Filtración	27
1.4.6.1. Medios Filtrantes	29
1.4.7. Desinfección.....	30
1.4.7.1. Cloración.....	30
1.5. Pruebas de jarras	32

1.6. Optimización de la planta de tratamiento	32
<i>1.6.1. Caudal de diseño</i>	<i>32</i>
1.6.1.1. Población de diseño	32
1.6.1.2. Nivel de complejidad del sistema	33
1.6.1.3. Dotación neta	33
1.6.1.4. Dotación bruta.....	34
1.6.1.5. Caudal medio diario.....	34
1.6.1.6. Caudal máximo diario.....	35
<i>1.7. Mezcla rápida en vertedero rectangular</i>	<i>36</i>
1.7.1. Canal del Vertedero	36
1.7.2. Ancho del Vertedero	37
1.7.3. Caudal por unidad de ancho.....	37
1.7.4. Profundidad crítica de flujo	37
1.7.5. Longitud del salto	38
1.7.6. Profundidad supercrítica o altura del agua después del salto	38
1.7.7. Velocidad del agua en el salto	39
1.7.8. Número de Froude	39
1.7.9. Profundidad subcrítica o altura del agua después del resalto	40
1.7.10. Velocidad del agua en el resalto	40
1.7.11. Pérdida de energía en el resalto	40
1.7.12. Longitud del resalto	41
1.7.13. Velocidad media en el resalto	41
1.7.14. Tiempo de mezcla	41
1.7.15. Gradiente de velocidad	42
<i>1.8. Floculador hidráulico de flujo horizontal</i>	<i>42</i>
1.8.1. Distancia total recorrida por el agua	43
1.8.2. Volumen de agua	43
1.8.3. Sección Transversal de los canales	43
1.8.4. Profundidad del agua	44
1.8.5. Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque	44
1.8.6. Longitud efectiva de cada canal.....	44
1.8.7. Numero requerido de canales	45
1.8.8. Longitud total de la cámara de floculación.....	45
1.8.9. Radio hidráulico.....	45
1.8.10. Pérdidas por fricción en el tanque.....	46

1.8.11. Pérdidas adicionales.....	46
1.8.12. Pérdidas totales	47
1.8.13. Gradiente de velocidad	47
1.8.14. Número adimensional de Camp.....	47
1.8.15. Criterios complementarios para el diseño de floculadores horizontales.....	48
<i>1.9. Sedimentador laminar de placas</i>	48
1.9.1. Carga superficial	48
1.9.2. Área de sedimentación acelerada.....	49
1.9.3. Longitud del área de sedimentación acelerada	49
1.9.4. Longitud relativa del sedimentador	49
1.9.5. Longitud relativa en la región de transición	50
1.9.6. Longitud relativa corregida.....	50
1.9.7. Velocidad crítica de sedimentación	51
1.9.8. Número de Reynolds	51
1.9.9. Volumen del sedimentador	51
1.9.10. Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	52
1.9.11. Número de placas.....	52
1.9.12. Criterios para el diseño de sedimentadores.....	53
<i>1.10. Filtro lento de arena</i>	54
1.10.1. Número de filtros	54
1.10.2. Área del filtro.....	54
1.10.3. Coeficiente de mínimo costo	55
1.10.4. Longitud del filtro.....	55
1.10.5. Ancho del filtro.....	56
1.10.6. Composición del lecho filtrante	56
1.10.7. Sistema de drenaje	56
1.10.8. Sistema de lavado del filtro	58
1.10.9. Criterios complementarios para el diseño de filtros lentos de arena	59
CAPÍTULO II.....	61
2. PARTE EXPERIMENTAL	61
2.1. Diagnóstico	61
<i>2.1.1. Procesos de la planta</i>	62
2.2. Muestreo	63
2.3. Metodología	63

2.3.1. Metodología de trabajo	63
2.3.2. Tratamiento de las muestras	64
2.4. Datos experimentales	69
2.4.1. Medida de caudal.....	69
2.4.2. Caracterización del agua en condiciones de diagnóstico	69
2.4.3. Parámetros fuera de norma	72
CAPÍTULO III.....	73
3. CÁLCULOS Y RESULTADOS	73
3.1. Cálculos	73
3.1.1. Pruebas de tratabilidad	73
3.1.1.1. Prueba de jarras utilizando policloruro de aluminio	73
3.1.1.2. Propuesta de optimización de la Planta de potabilización de agua.....	74
3.1.1.3. Dimensionamiento de las etapas de potabilización.....	75
3.1.1.3.1. Población de diseño.....	75
3.1.1.3.1.1. Dotación neta	75
3.1.1.3.1.2. Dotación bruta.....	75
3.1.1.3.1.3. Caudal medio diario.....	76
3.1.1.3.1.4. Población futura.....	77
3.1.1.3.2. Vertedero rectangular.....	77
3.1.1.3.2.1. Canal de vertedero	78
3.1.1.3.2.2. Ancho del vertedero.....	78
3.1.1.3.2.3. Caudal por unidad de ancho.....	78
3.1.1.3.2.4. Profundidad crítica de flujo	79
3.1.1.3.2.5. Longitud del salto	79
3.1.1.3.2.6. Profundidad supercrítica	79
3.1.1.3.2.7. Velocidad del agua en el salto	80
3.1.1.3.2.8. Número de Froude	80
3.1.1.3.2.9. Profundidad subcrítica	80
3.1.1.3.2.10. Velocidad del agua en el resalto	80
3.1.1.3.2.11. Pérdida de energía en el resalto	81
3.1.1.3.2.12. Longitud del resalto, para resalto estable.....	81
3.1.1.3.2.13. Velocidad media en el resalto	81
3.1.1.3.2.14. Tiempo de mezcla.....	82
3.1.1.3.2.15. Gradiente de velocidad	82

3.1.3.3. <i>Floculador</i>	82
3.1.3.3.1. Distancia total recorrida por el agua	83
3.1.3.3.2. Volumen de agua	83
3.1.3.3.3. Sección transversal de los canales	83
3.1.3.3.4. Profundidad del agua	84
3.1.3.3.5. Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque	84
3.1.3.3.6. Longitud efectiva de cada canal.....	84
3.1.3.3.7. Numero requerido de canales	85
3.1.3.3.8. Longitud total de la cámara de floculación.....	85
3.1.3.3.9. Radio hidráulico.....	85
3.1.3.3.10. Pérdidas por fricción en el tanque.....	86
3.1.3.3.11. Pérdidas adicionales.....	86
3.1.3.3.12. Pérdidas totales	86
3.1.3.3.13. Gradiente de velocidad	86
3.1.3.3.14. Número adimensional de campo.....	87
3.1.3.3.15. Dosificación del policloruro de aluminio	87
3.1.3.4. <i>Sedimentador laminar</i>	88
3.1.3.4.1. Carga superficial	88
3.1.3.4.2. Área de sedimentación acelerada.....	88
3.1.3.4.3. Longitud del área de sedimentación acelerada	89
3.1.3.4.4. Longitud relativa del sedimentador	89
3.1.3.4.5. Longitud relativa en la región de transición	90
3.1.3.4.6. Longitud relativa corregida.....	90
3.1.3.4.7. Velocidad crítica de sedimentación	90
3.1.3.4.8. Número de Reynolds	91
3.1.3.4.9. Volumen del sedimentador	91
3.1.3.4.10. Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	92
3.1.3.4.11. Número de placas.....	92
3.1.3.5. <i>Filtro lento de arena</i>	93
3.1.3.5.1. Número de filtros	93
3.1.3.5.2. Área del filtro.....	93
3.1.3.5.3. Coeficiente de mínimo costo	93
3.1.3.5.4. Longitud del filtro.....	94
3.1.3.5.5. Ancho del filtro.....	94
3.1.3.5.6. Altura del filtro	94

3.1.3.5.7. Sistema de drenaje	95
3.1.3.5.7.1. Área de los orificios laterales.....	95
3.1.3.5.7.2. Caudal que ingresa a cada orificio	95
3.1.3.5.7.3. Número de laterales	95
3.1.3.5.7.4. Diámetro de la tubería de entrada al filtro	96
3.1.3.5.7.5. Diámetro de la tubería de salida del filtro.....	96
3.1.3.5.7.6. Velocidad óptima de lavado del filtro.....	97
3.1.3.5.7.7. Cantidad de agua para el lavado del filtro	97
3.1.4.2. Costos de operación	100
3.1.4.2.1. Costos de operación al día	100
3.1.4.2.2. Salario operadores.....	100
3.2. Resultados	101
3.2.1. <i>Resultados de la tratabilidad</i>	101
3.2.2. <i>Resultados de los análisis físico-químicos del agua cruda y tratada</i>	101
3.2.3. <i>Resultados de las dimensiones de las etapas</i>	103
3.2.3.1. Caudal de diseño	103
3.2.3.2. Vertedero rectangular	103
3.2.3.3. Floculador hidráulico de flujo horizontal	104
3.2.3.4. Sedimentador laminar	104
3.2.3.5. Filtro.....	105
3.3. Discusión de resultados	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES.....	108
BIBLIOGRAFÍA	109
ANEXOS	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Contaminantes del agua subterránea	3
Tabla 1.2. Nivel de Complejidad del Sistema.....	33
Tabla 1.3. Dotación Neta	34
Tabla 1.4. Pérdidas Técnicas	34
Tabla 1.5Valores de K_1	35
Tabla 1.6. Parámetros de diseño para floculadores hidráulicos de tabiques.....	48
Tabla 1.7. Parámetros para el diseño de sedimentadores laminares.....	53
Tabla 1.8. Parámetros de las placas planas de ABS para sedimentadores.....	53
Tabla 1.9. Valores de S según el tipo de módulo	53
Tabla 1.10. Parámetros de Diseño de Filtros lentos de Arena	59
Tabla 1.11. Parámetros de Diseño de laterales	60
Tabla 1.12. Velocidades de Diseño para tuberías del filtro	60
Tabla 2.1. Medida de cloro libre residual en diferentes zonas.....	62
Tabla 2.2. Recolección de Muestras, STANDARD METHODS *2310 A y B	63
Tabla 2.3. Métodos y técnicas de análisis.....	65
Tabla 2.4. Medida de caudal	69
Tabla 2.5. Caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda.....	70
Tabla 2.6. Parámetros fuera de los límites máximos permisibles.....	72
Tabla 3.1. Costos de equipos y accesorios.....	98
Tabla 3.2. Costos de operación al día	100
Tabla 3.3. Salario de operadores.....	100
Tabla 3.4. Costos totales	100
Tabla 3.5. Tratabilidad del agua	101
Tabla 3.6. Caracterización del agua cruda y tratada	102
Tabla 3.7. Resultados de la proyección de la población.....	103
Tabla 3.8. Resultados del vertedero rectangular	103
Tabla 3.9. Resultados del floculador horizontal	104
Tabla 3.10. Resultados del sedimentador laminar	104
Tabla 3.11. Resultados del filtro	105
TABLA 3.12. Porcentaje de remoción de parámetros fuera de norma del sistema.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Planta de potabilización de agua	15
Figura N° 2 Mezclador Rápido Mecánico	17
Figura N° 3 Canal Parshall.....	18
Figura N° 4 Química de la coagulación	19
Figura N° 5 Filtro Rápido de Arena	29
Figura N° 6 Configuración del Resalto en un Vertedero Rectangular	36
Figura N°7 Floculador Horizontal	42
Figura N° 8 Filtro lento de arena.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011 AGUA POTABLE. REQUISITOS	111
ANEXO II FICHA TÉCNICA CLORO GAS	120
ANEXO III COTIZACIÓN DE LA BOMBA Y DEL POLICLORURO DE ALUMINIO	121
ANEXO IV HOJA DE MANEJO Y SEGURIDAD DEL CLORO GAS	122
ANEXO V CARACTERÍSTICAS DEL POLICLORURO DE ALUMINIO	127
ANEXO VI PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO	128
ANEXO VII PROCEDIMIENTO PARA EL LAVADO DEL FILTRO LENTO DE ARENA.....	129
ANEXO VIII VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING	130
ANEXO IX PROPIEDADES DEL AGUA A 1 atm DE PRESIÓN	130
ANEXO X SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA.....	130
ANEXO XI TANQUE SEDIMENTADOR	130
ANEXO XII TANQUES DE LA PLANTA.....	130
ANEXO XIII DISPOSITIVOS PARA LA CLORACIÓN	130
ANEXO XIV CISTERNA DE ALMACENAMIENTO	130
ANEXO XV PRUEBAS DE TRATABILIDAD.....	130
ANEXO XVI VISTA FRONTAL VERTEDERO RECTANGULAR.....	130
ANEXO XVII VISTA FRONTAL FLOCULADOR HORIZONTAL	130
ANEXO XVIII VISTA FRONTAL SEDIMENTADOR LAMINAR	130
ANEXO XIX VISTA FRONTAL FILTRO LENTO DE ARENA	130
ANEXO XX PLANO PLANTA.....	130

RESUMEN

Se realizó la Optimización del Sistema de Tratamiento de Agua Potable en la planta de San Juan Alto, perteneciente a la parroquia matriz del cantón Guamote, ubicada en la provincia de Chimborazo, con la finalidad de abastecer a la población de agua de calidad que garantice su salud y bienestar.

Se realizaron análisis físico-químicos y microbiológicos de tres muestras durante un mes, en el Laboratorio Técnico de la "Escuela Superior Politécnica de Chimborazo" y en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la "Universidad Nacional de Chimborazo", luego de esta caracterización se determinaron los parámetros que se encontraban fuera de los límites permisibles de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 "Agua Potable. Requisitos"; siendo éstos: plomo y fosfatos; para la remoción de estos contaminantes se realizaron pruebas de jarras con un coagulante: el policloruro de aluminio.

Después de encontrar la dosis adecuada de químico se logró la remoción de plomo y fosfatos en un 80 y 85% respectivamente, lo que indica que al aplicar el PAC el agua estará libre de contaminantes. Se realizaron los cálculos de ingeniería para encontrar la mejor opción de optimización de la planta, siendo la secuencia de las etapas la siguiente: mezcla rápida en vertedero rectangular, floculación, sedimentación, filtración y cloración, aunque en esta planta ya se contaba con sedimentación y cloración.

Con los resultados obtenidos en las pruebas de tratabilidad se concluye que al realizar la optimización de la planta el agua que se distribuirá a la comunidad contará con características aceptables que permitan su consumo, es por eso que el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guamote debe implementar este proyecto. Además es importante que todos los municipios mejoren o diseñen estos sistemas de tratamiento porque es su obligación dotar de un servicio de agua potable y segura a los habitantes.

SUMMARY

The Optimization System Drinking Water Treatment Plant was performed in San Juan Alto, it belong to the parish matrix of the Guamote canton, located in the Chimborazo province, in order to supply the population of water quality to ensure their health and wellbeing.

The Physico-chemical and microbiological analysis of three sample were performed over a month in the technical Laboratory of "Polytechnic School of Chimborazo" and at the laboratory of Environmental Services "National University of Chimborazo", about characterization parameter were determined the permissible limits according to the Ecuadorian Technical Standard NTE, INEN 1108:2011. Potable Water. Requirements; which are: lead and phosphates; for the removal of these contaminants jar tests were performed whit a coagulant: aluminum polychloride.

After finding the right dose of chemical removal of lead and phosphates was achieved by 80 and 85% respectively, indicating that in applying the CAP water will be free of contaminants. Engineering calculations were performed to find the best optimization of the plant, with the sequence of steps as follows: rapid mixing in rectangular weir, flocculation, sedimentation, filtration and chlorination, but this plant had already sedimentation and chorination.

With the results of treatability tests it is concluded that performing the optimization of the plant the water to be distributed to the community will have acceptable characteristics that permit their consumption, is why the Decentralized Autonomous Municipal Government of Guamote Canton must implement this project.

It is also important that all municipalities improve or design these treatment systems because it is their obligation to provide a service of safe drinking water to the inhabitants.

INTRODUCCIÓN

El agua se considera un recurso indispensable para la vida humana es por eso que debe ser de óptima calidad, el suministro debe ser seguro para uso comercial, doméstico e industrial. En la actualidad la contaminación del líquido es uno de los problemas más relevantes con falta de solución, es por esta razón que las entidades públicas y privadas buscan satisfacer esta necesidad garantizando la salud de la población.

El Gobierno Autónomo Municipal Descentralizado del cantón Guamote, interesado en mejorar el abastecimiento del agua que se distribuye a la población me permitió realizar esta investigación en la planta de San Juan Alto, parroquia matriz, con la finalidad de proveer agua con características aceptables.

Continuamente se han estado presentando dificultades en el servicio de agua potable, mediante una observación externa se pudo constatar el cumplimiento de la vida útil de las instalaciones hidráulicas y las falencias en las etapas de potabilización, esto se manifiesta con la presencia de plomo y fosfatos en el fluido; estas razones nos obligan a buscar la mejora del tratamiento actual para corregir las desviaciones en las características del agua y ofrecer a futuro un servicio eficiente y seguro a la comunidad.

La investigación se inició con una visita a la planta, en la que se pudo determinar la falta de operaciones para potabilizar el agua, ya que solo se cuenta con sedimentación y cloración que no son suficientes para la remoción de contaminantes existentes. Para encontrar el tratamiento adecuado se realizaron pruebas de jarras en el Laboratorio de Análisis Técnico de la ESPOCH, encontrándose la dosis de coagulante necesaria que debe complementarse con: mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración.

De esta manera se conseguirá que a futuro la provisión de agua potable esté bajo los límites que exige la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable” y también que la operación para la potabilización de agua en la planta de San Juan Alto del cantón Guamote sea más técnica y controlada.

ANTECEDENTES

La Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado perteneciente al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guamote empieza sus actividades en beneficio de la colectividad en el año 2005, aclarando que el tratamiento del líquido vital se realiza desde hace aproximadamente unos 25 años atrás.

Según el orgánico estructural esta jefatura depende de la Dirección de Gestión de Obras Públicas.

Este departamento se encarga de los tratamientos que se le da al agua potable y residual únicamente de la cabecera cantonal, para que bajo los parámetros establecidos de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable”, se provea a los diferentes barrios, en el primer caso y se descargue al río en el segundo caso.

Esta Jefatura se encarga de dotar del líquido vital y tratar el agua residual únicamente de la parroquia matriz, es decir a los siguientes barrios:

- a) San Pedro
- b) Central
- c) 24 de Mayo
- d) Los Palomos
- e) San Juan
- f) San Juan Promejoras
- g) San Juan Samborondón.
- h) La Victoria

Para el tratamiento de este recurso se ha dividido en dos plantas: planta de San Juan Alto y planta de San Juan Bajo, la optimización se efectuará específicamente en la primera planta mencionada, que da servicio a los barrios San Juan, San Juan Promejoras y San Juan Samborondón; es importante citar que debido al caudal muy bajo con el que llega desde la vertiente hacia los tanques estos barrios no cuentan con agua potable durante todo el día sino por varias horas en el día.

El agua que llega a la planta alta para ser potabilizada es captada de la vertiente Matipanga, ubicada en la comunidad de Chacaza, que se encuentra aproximadamente a 8 kilómetros del lugar de tratamiento, la conducción de ésta se hace mediante tuberías de PVC de diferentes diámetros, hasta llegar al tanque de reserva ubicado en el Barrio San Juan.

Luego de recorrer las tuberías el agua llega a la planta de tratamiento que consta de tres elementos que son:

- Sedimentador.- Esta parte de la planta está construida de hormigón, en su interior tiene un vertedero triangular, en el que los sólidos se dirigen hacia el fondo para posteriormente ser descargados a la alcantarilla.
- Cloración.- La cloración se hace mediante cloro gas e hipoclorito de calcio.

Luego de pasar por estos tratamientos el agua se distribuye a los diferentes barrios para el consumo humano, considerando que todas las personas tenemos derecho a utilizarla en las diferentes actividades diarias y así alcanzar una calidad de vida digna.

De acuerdo a estudios realizados anteriormente se conoce que el agua potable que se distribuye en el cantón Guamote tiene una dureza elevada además de que la cantidad de fosfatos en la misma se encuentra fuera de los límites permisibles; se conoce también que en invierno durante el recorrido desde la vertiente hacia los tanques arrastra bastante tierra, hojas de plantas, entre otras partículas que contaminan la misma al llegar a los hogares.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad todos los gobiernos autónomos descentralizados municipales deben garantizar a la ciudadanía la calidad de vida necesaria para alcanzar el buen vivir, es por eso que ahora los municipios y las distintas entidades se encargan de brindar los servicios básicos como son energía eléctrica, servicio telefónico, alcantarillado y agua potable de calidad.

Como se había mencionado anteriormente de acuerdo a análisis realizados al agua que se distribuye a los hogares, proveniente de la planta de tratamiento de San Juan se conoce que la dureza es bastante alta de acuerdo a los parámetros que nos establece la norma; cuando la dureza de calcio sobrepasa los límites permisibles y con el paso de los días pueden llegar a obstruirse las tuberías, esto ocasiona una disminución de la presión al paso del agua y un mantenimiento más seguido, lo que causaría el corte del líquido vital, además con el transcurso del tiempo se podría presentar corrosión lo que obligaría a cambiar las tuberías y esto sería un gasto considerable al ser el tramo de conducción de bastante extensión, se conoce también que el agua dura provoca el desarrollo de bacterias que afectarían a la salud humana.

Cuando el agua llega a los hogares y presenta una dureza alta es un problema para la limpieza debido a que ésta disminuye la eficiencia del jabón y se debería usar más cantidad del mismo o cambiarlo por agentes de limpieza que podrían ser agresivos, además se formarían incrustaciones en los grifos, tuberías de las casas, utensilios de cocina y en los electrodomésticos que usen directamente agua potable, es por eso que antes de distribuir este recurso vital se le debería dar el respectivo tratamiento para disminuir este parámetro tan relevante.

En la vertiente al momento de la captación se presenta un arrastre de material debido a las lluvias especialmente en el invierno, llegando a los tanques con tierra y otros tipos de sólidos, por esta razón se debería buscar un tratamiento efectivo que retenga este tipo de partículas que alteran la turbiedad del agua potable haciendo que esté fuera de los límites permisibles, y el sedimentador con el que se cuenta al momento no es suficiente para controlar este problema.

Al ser una zona de pastoreo se puede esperar que el agua contenga organismos patógenos, al no contar con análisis previos microbiológicos esto se comprobaría al

realizar los mismos, entonces se determinará si la cantidad de cloro agregado al líquido vital es la correcta o si se necesita de algún otro tratamiento para evitar que llegue agua contaminada a los hogares y cause efectos dañinos a las personas que la consumen.

Al llegar el agua a la planta de tratamiento luego de pasar por el sedimentador y el equipo de cloración, se almacena en un tanque de reserva antes de ser distribuida, el mismo que presenta las válvulas en mal estado, estos aparatos que regulan el flujo deberían ser cambiados para que controlen como se espera el paso del fluido por las tuberías para su distribución, también podrían presentar oxidación que afectaría directamente al agua.

De acuerdo a estas consideraciones se plantea este trabajo, que mediante al diagnóstico actual de la planta y la caracterización de las muestras de agua que se realizarán posteriormente se podrá establecer las mejoras y cambios a llevar a cabo en el Sistema de Tratamiento de Agua Potable en la Planta de San Juan Alto de la Parroquia Matriz del Cantón Guamote.

OBJETIVOS

Objetivo general

Optimizar el sistema de tratamiento de agua potable en la planta de San Juan Alto de la parroquia Matriz del Cantón Guamote.

Objetivos específicos

- ❖ Realizar la caracterización físico-química y microbiológica del agua de alimentación y distribución al usuario de la planta San Juan Alto.
- ❖ Identificar los parámetros fuera de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable”, y puntos susceptibles de optimización en la planta.
- ❖ Plantear alternativas de mejora y pruebas de tratabilidad o jarras.
- ❖ Realizar la caracterización final del agua tratada basada en los resultados de tratabilidad y sustentación técnica de alternativas de mejora.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. AGUA POTABLE

Es el agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han recibido algún tipo de tratamiento con el fin de asegurar su aptitud para consumo humano.

El agua potable es esencial e imprescindible para que la vida misma sea posible sobre la faz de la tierra, es mucho más que un bien, que un recurso, que una mercancía, el agua potable es concretamente un derecho humano de primer orden y un elemento esencial de la propia soberanía nacional ya que, muy probablemente, quien controle el agua controlará la economía y toda la vida en un futuro no tan lejano.

Los esfuerzos del hombre por mejorar el medio ambiente en el que vive y elevar su calidad de vida, dependen entonces, de la disponibilidad de agua, existiendo una correlación primordial entre la calidad del agua y la salud pública, entre la posibilidad de acceder al agua y el nivel de higiene y entre la abundancia del agua y el crecimiento económico y turístico.

1.1. Calidad del agua

Para poder determinar la calidad del agua es necesario conocer cuál va a ser su uso, por ejemplo, un agua corrosiva y caliente no se podrá utilizar en la condensación de vapor; el agua dura no se puede emplear en lavandería y en nuestro caso para consumo humano si el agua ha sido contaminada por aguas cloacales o materias excrementicias no es apta para el hombre.

El agua proporcionada por los servicios públicos para fines domésticos e industriales a más de estar libre de contaminación microbiológica debe ser agradable, clara, de buen gusto para las personas, su temperatura debe ser razonable, no debe ser corrosiva ni poseer incrustaciones y debe estar exenta de minerales que causarían daño a la salud.

Estos parámetros preocupan a las autoridades en países desarrollados y subdesarrollados, debido a que afectan directamente a la salud de la población y es

principalmente por agentes infecciosos y sustancias tóxicas entre las que se encuentran los minerales.

Químicamente sabemos que ninguna sustancia existente es pura por lo tanto el agua no puede llamarse pura, es por eso que hablaremos de “calidad potable segura”, segura refiriéndonos al agua que puede ser consumida sin peligro alguno y potable porque es apta para ser bebida, y sus caracteres físicos, químicos y biológicos son satisfactorios.

1.2. Fuentes de abastecimiento

El abastecimiento de agua potable se obtiene a partir de fuentes naturales como son:

- Atmosféricas
- Superficiales
- Subterráneas

1.2.1. Atmosféricas

Dentro de éstas se encuentran las aguas de lluvia que tienen una mínima contaminación microbiológica. Por lo general este tipo de fuente de abastecimiento suele recolectarse en época de lluvia y almacenarse para la sequía, además se la usa en regiones donde la calidad de agua no es apta para consumirla, o donde no existe otro tipo de fuente.

1.2.2. Superficiales

Se consideran a las aguas continentales que se encuentran en la superficie de la Tierra. Pueden ser corrientes que se mueven en una misma dirección y circulan continuamente, como los ríos y arroyos; o bien estancadas como los lagos, lagunas, reservorios y embalses.

Las aguas en su recorrido, se van transformando de diversas maneras, ya que debido a su gran poder disolvente recogen materiales diversos de los suelos por los que pasan, reciben materias variadas como son desechos de poblaciones e industrias, por estas razones esta agua se encuentra contaminada y requiere un tratamiento complejo.

1.2.3. Subterráneas

Antiguamente se creía que las aguas subterráneas procedían del mar y luego de perder su salinidad se filtraron entre las rocas. Actualmente se sabe que es agua procedente de la lluvia, mediante el proceso de infiltración. Las aguas subterráneas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable para consumo humano. A veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías. En algunos casos se sitúa por debajo del nivel freático y está saturando completamente los poros y/o fisuras del terreno y fluye a la superficie de forma natural a través de vertientes, manantiales o cauces fluviales. En otros, hay que ir a recogerlas a distintas profundidades excavando pozos.

La existencia y comportamiento de estas aguas dependen de factores como el clima, el relieve, la red de drenaje, la naturaleza de los suelos, las características de las rocas, entre otros factores.

Mediante estudios realizados se sabe que no toda el agua subterránea es de buena calidad, y que su contaminación proviene de muchas fuentes, como pueden ser sustancias tóxicas que pueden ser mutagénicas o cancerígenas.

En la siguiente tabla se muestran los compuestos tóxicos con los que puede estar contaminada el agua subterránea:

Tabla 1.1. Contaminantes del agua subterránea

SUSTANCIA	NIVEL (ml/l)
Arsénico	0,05
Bario	1,00
Cadmio	0,01
Cromo	0,05
Cianuros	0,2
Fluoruros	2
Plomo	0,05
Selenio	0,01
Plata	0,05

Fuente: (Proaño Cadena, y otros, 2008)

1.3. Características del agua subterránea

1.3.1. Componentes Físicos

Sabor y olor.- El sabor y olor en el agua de consumo, pueden originarse por distintas causas que pueden encontrarse ya sean en su origen, en su tratamiento o en la propia red de distribución, generalmente las causas están en el origen.

Las aguas superficiales pueden deteriorarse por floraciones de algas o por vertidos de desechos industriales o domésticos, las aguas subterráneas pueden verse afectadas por distintas sustancias disueltas que desde la superficie van penetrando hacia el interior como nitratos, hierro, manganeso y cuando el agua se pone en contacto con materia orgánica en descomposición toma un olor desagradable a huevo podrido y esto nos indica la presencia de ácido sulfhídrico, a estos abastecimientos se los conoce con el nombre de pozos de azufre.

Analíticamente es difícil identificar las sustancias que originan problemas de sabor y olor en el agua debido a las bajas concentraciones en las que se encuentran o a su vez porque son compuestos volátiles, los sentidos del gusto y olfato son los medios usados para detectar estas características organolépticas del agua.

Estos parámetros se relacionan entre sí, la principal razón es que se los considera indicadores de una posible contaminación y permiten evaluar la calidad del agua para finalmente ser apta para el consumo humano.

Los tratamientos que remueven este parámetro del agua son: aereación, tratamiento químico con carbón activado y ozonización.

Color.- El impacto del color en el agua es un asunto estético, los consumidores aceptan solamente agua incolora o clara.

El agua en la naturaleza puede estar coloreada por sustancias externas, como son la materia orgánica del suelo, minerales, vegetación y organismos acuáticos, a esto se debe agregar los residuos municipales e industriales.

En general el agua presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales:

- Color amarillento debido a los ácidos húmicos.
- Color rojizo, suele significar la presencia de hierro.
- Color negro indica la presencia de manganeso.

El color del agua se clasifica como color verdadero y color aparente.

El color verdadero del agua se debe en parte a los sólidos disueltos que permanecen luego de eliminar la materia orgánica en suspensión. La materia suspendida que se encuentra en el agua sin haber pasado por tratamiento alguno aporta el otro tipo de color que es el aparente.

Esta característica del agua se mide al comparar la muestra con soluciones estándar de color o discos de vidrio coloreado, una unidad de color es equivalente al color producido por 1 miligramo de platino en forma de ión cloro platino en un litro de agua destilada.

El color depende del pH, es por eso que se debe medir estos dos parámetros juntos. Antes de medir el color en el agua se debe eliminar la turbidez mediante centrifugación.

El color se puede remover del agua mediante coagulación y floculación, sedimentación y filtración.

Turbidez.- Es la medida de la cantidad de materia fina que se encuentra suspendida en el agua, esto se debe a la arcilla, limo, partículas orgánicas, material planctónico o microscópico, esto dificulta el paso de la luz a través del agua.

Estas partículas son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua y en los equipos. Además interfiere en la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.

Para medir este parámetro se usa los turbidímetros o nefelómetros que expresan sus resultados en unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

La coagulación y floculación, sedimentación y filtración se usan para tratar este parámetro.

Conductividad.- Se considera a la conductividad eléctrica como la capacidad que tiene el agua para conducir la electricidad, es decir dicha capacidad depende de los iones que están presentes, su valencia, movilidad y concentración; así como también de la temperatura.

La medida de la conductividad proporciona información acerca de los sólidos totales disueltos, esto es, las sales se encuentran disueltas y disociadas, y van a dejar iones en el agua, los cuales indican el valor de este parámetro.

Se usa un equipo para medir este parámetro, lo que hace es tomar la medida de la resistencia al paso de la corriente entre dos electrodos químicamente inertes que se introducen en el agua, y se compara para su calibrado con una solución tampón de cloruro de potasio a la misma temperatura y 20 °C.

Temperatura.- La temperatura no es una característica relevante en los suministros públicos de agua, sin embargo los consumidores prefieren que el agua que llega a sus hogares sea fría. Es importante saber que la temperatura si influye en la eficiencia de los procesos que se llevan a cabo en las plantas de tratamiento; por ejemplo la disolución y velocidad de reacción de las sustancias químicas dependen de este parámetro, el agua bien fría requiere mayor cantidad de estos productos para que se dé la floculación y coagulación de manera eficaz.

Cuando la temperatura del agua es alta puede darse el crecimiento de algas y materia orgánica lo que implicaría mayor cantidad de cloro para la desinfección.

La determinación de este parámetro se realiza in situ, con un termómetro que puede ser digital o de mercurio, se lo introduce en el agua y se espera hasta que se estabilice la temperatura para poder anotar la medida.

Sólidos totales.- Se refiere a la materia disuelta y sedimentable que se encuentra en el agua, puede ser de diferentes orígenes, partículas inorgánicas como son la arcilla, limo, entre otros constituyentes del suelo y orgánicas en las que se encuentran restos de plantas y sólidos biológicos como las bacterias. Para medir la cantidad de sólidos totales se seca la muestra a una temperatura entre 103-105 C.

Hablamos de sólidos sedimentables refiriéndonos a aquellos que por acción de la gravedad se van al fondo de tanques en forma de cono llamados Imhoff en el transcurso de una hora.

Otro tipo de sólidos existentes en el agua son los sólidos en suspensión, aquellos que se encuentran en el agua sin estar disueltos, pueden ser sedimentables o no.

La sedimentación, filtración, nanofiltración, hiperfiltración y ósmosis inversa remueven las partículas del agua.

1.3.2. Componentes Químicos

Acidez. -También conocido como pH, mide la cantidad de iones H^+ libres en el agua o se considera también como su capacidad de neutralizar bases, es un parámetro muy importante sobre la calidad del agua.

En las aguas naturales la acidez es principalmente función del sistema de carbonatos es decir dióxido de carbono, ácido carbónico, bicarbonato y carbonato.

La principal fuente de ácido a un sistema de agua son los drenajes de zonas mineras y la deposición ácida atmosférica.

En las plantas de agua potable, el agua que contiene un pH bajo o químicamente considerado como ácido puede corroer las tuberías por las que se distribuye la misma y algunos iones metálicos como Cu, Zn, Pb y Cd pueden entrar al agua que va a llegar a los hogares, provocando efectos nocivos en la salud humana, de la misma manera se debe tener en cuenta el costo que implicaría cambiar las tuberías que han sido afectadas.

Para tratar la acidez del agua ésta debe ser neutralizada.

Calcio y magnesio.- Estos dos elementos provocan la dureza del agua. El calcio es el quinto elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, su presencia en las aguas naturales se debe a su paso sobre depósitos de piedra caliza, yeso y dolomita. Concentraciones bajas de carbonato de calcio, previenen la corrosión de las tuberías metálicas, produciendo una capa delgada protectora.

El magnesio no causa efectos tóxicos, pero si las sales de este mineral se encuentran en altas concentraciones tiene efecto laxante en los consumidores. La dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (calcio y magnesio en forma de carbonatos y bicarbonatos), se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituye un parámetro significativo en la calidad de agua.

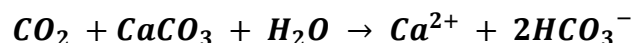
Los cationes de calcio y magnesio impiden la formación de espuma del jabón y por esta razón se requieren más cantidades del mismo para uso doméstico,

Las cantidades de estos minerales pueden variar desde cero hasta varios cientos de mg/l, dependiendo de la fuente y del tratamiento del agua.

Estos dos componentes que causan dureza en el agua se remueven mediante un ablandamiento con sales específicas que atrapen estos minerales.

Alcalinidad.- La alcalinidad del agua es la medida de su capacidad para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden ser valoradas, este análisis se consigue mediante una titulación o métodos potenciométricos.

Esta alcalinidad de las agua naturales se debe principalmente a las sales de ácidos débiles, aunque las bases débiles o fuertes también puede contribuir. Los bicarbonatos son los compuestos que más contribuyen a la alcalinidad, puesto que se forman en cantidades considerables por la acción del CO₂ sobre la materia básica del suelo, como podemos ver en la reacción:



Rx. 1.1

Otras sales como boratos, silicatos y fosfatos también pueden contribuir. Además de estas sales se puede considerar ácidos orgánicos que son resistentes a la oxidación biológica como es el caso del ácido húmico que forman sales que se adicionan a la alcalinidad. Las aguas naturales pueden ser alcalinas por cantidades apreciables de hidróxido y carbonatos, esto sucede mucho en aguas superficiales con algas.

Las aguas potables que tienen cantidades considerables de hidróxidos es porque han recibido previo tratamiento con sosa y cal, si este factor es elevado se puede dar una transferencia de plomo de las tuberías al suministro causando un daño importante a la salud humana.

Los bicarbonatos e hidróxidos están presentes en el agua cuando hay actividad fotosintética considerable de algas o cuando se hacen descargas industriales sobre los cuerpos de agua.

Pero la alcalinidad del agua también es de gran ayuda en los lugares donde se queman combustibles fósiles y la lluvia ácida está acabando poco a poco con los seres vivos, la presencia de estas sales actúan como una solución tampón neutralizando el agua para mantener la vida del ecosistema.

El tratamiento para remover la alcalinidad del agua es usando ácido o cal.

Nitritos y nitratos.- Estos compuestos se encuentran en el agua de forma natural, se forman cuando los microorganismos del medio descomponen materiales orgánicos como plantas, estiércol de animales y aguas residuales. En el agua se espera encontrar nitratos y no nitritos.

Los nitratos aparecen en el agua potable a causa de fugas o filtraciones procedentes de granjas, zonas de césped y jardines, que llegan al agua subterránea. Los nitratos y nitritos también pueden aparecer en el agua a causa de la cercanía de vertederos municipales, zonas de pastoreo, centros de cría de animales mal gestionados, sistemas sépticos defectuosos o uso excesivo de fertilizantes.

Cuando estos parámetros exceden los límites permisibles afectan principalmente a niños menores a seis meses, pero también causan efectos sobre la salud de personas con enfermedades crónicas y mujeres embarazadas, como se mencionó anteriormente la presencia de nitritos en agua es más perjudicial para los seres humanos que la de nitratos. Estos contaminantes del agua se trata con intercambio iónico, ósmosis inversa o desnitrificación.

Fosfatos. - La carga de fosfato total se encuentra en el agua en forma de ortofosfato, polifosfato y compuestos de fósforo orgánico, siendo los compuestos de ortofosfatos los más elevados, están en forma disuelta, coloidal o sólida.

Los fosfatos que están presentes en las aguas provienen principalmente de:

- Fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento
- Excreciones humanas y animales

- Detergentes y productos de limpieza

Al existir una cantidad elevada de fósforo en el agua se produce una eutrofización, que se define como el aumento de nutrientes en ésta, aunque esto parezca beneficioso, ocasiona el crecimiento excesivo de plantas y otros organismos que con el paso del tiempo se mueren y pudren consumiendo gran cantidad de oxígeno disuelto, y de esta manera disminuyen la calidad del agua.

Para la eliminación de fósforo en el agua se usa tratamiento biológico o coagulación y floculación.

Sulfatos.- El sulfato se encuentra en casi todas las aguas naturales, la mayor parte de los compuestos sulfatados se originan en las minas de sulfato y en los residuos industriales, es uno de los principales constituyentes de la lluvia.

Los sulfatos llegan a las aguas subterráneas al disolverse en éstas por su movimiento a través de las rocas y suelos que contienen minerales de estos compuestos, como pueden ser la tiza, el yeso y la barita epsomita.

Estas sales al igual que el magnesio actúan como laxantes en los organismos de personas y animales.

Los sulfatos se tratan con intercambio iónico u ósmosis inversa.

Cloruros.- El ion cloruro es uno de los iones más difundidos en las aguas naturales. No suele ser un ion que plantee problemas de potabilidad a las aguas de consumo, aunque sí es un indicador de contaminación de las aguas debido a la acción del hombre. Esto es así porque, aunque la concentración de cloruro en aguas naturales es muy variable pues depende de las características de los terrenos que atraviesan, dicha concentración es menor comparada con la concentración del ion en aguas residuales ya que la actividad humana incrementa necesariamente dicha concentración.

El sabor salado del agua, que es producido por los cloruros, es variable y depende de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 ppm de NaCl.

Las células necesitan una cantidad de cloruros para sobrevivir, es por esta razón que estos compuestos no se consideran nocivos para los seres vivos pero desde el punto de vista del sabor es un parámetro importante porque específicamente el NaCl se encuentra en altas concentraciones da al agua una característica salada y esto no es aceptable para los consumidores.

El aumento de cloruros en el agua se debe a las siguientes razones de acuerdo a los lugares donde sean los abastecimientos:

- Si se trata de una zona costera puede deberse a infiltraciones de agua del mar.
- En el caso de una zona árida el aumento de cloruros en un agua se debe al lavado de los suelos producido por fuertes lluvias.
- En último caso, el aumento de cloruros puede deberse a la contaminación del agua por aguas residuales.

El principal método usado para la medición de este parámetro es el de Mohr, que es un método volumétrico.

Para remover los cloruros del agua se pueden usar los siguientes tratamientos: intercambio iónico, destilación o electrodiálisis.

Fluoruros.- Estos compuestos se hallan en cantidades mayores en aguas subterráneas que en aguas superficiales, puede encontrarse en los gases volcánicos o en las rocas ígneas.

Encontrar fluoruros en el agua potable por un lado es beneficioso pero por otro puede afectar a la salud humana, presenta ventajas al encontrarse en las cantidades que indica la norma porque previene la caries dental, pero cuando los niveles sobrepasan los límites se espera que dañe severamente la estructura ósea de los individuos.

El tratamiento químico es de gran eficacia para eliminar flúor del agua, se puede usar fosfato tricálcico o alúmina.

Plomo.- El plomo es considerado un metal pesado y se sabe que la principal contaminación de este elemento en agua potable se debe a las tuberías o soldaduras de este material que pueden estar en mal estado y se utilizan para el transporte de la misma, pero en aguas subterráneas la presencia de Pb se da por las siguientes razones:

- El Pb existe de forma natural en el suelo y las rocas y puede filtrarse hasta llegar al agua subterránea.
- El Pb también puede llegar al agua subterránea de una fuente de contaminación, como es un depósito de desechos peligrosos, fundidores de plomo, refinerías, centros de reciclaje, trituración de pilas u otra fuente industrial de plomo y lixiviados de rellenos sanitarios municipales o industriales.

Otra de las razones para que exista Pb en el agua es por su corrosividad, esto se debe a una acidez elevada o a una pequeña cantidad de minerales, que disuelven el metal en el agua.

La ingesta de Pb en el agua es peligrosa para la salud debido a que causa graves daños neurológicos, en el riñón y en otros órganos, es por eso que la cantidad de este metal en el agua que se consume debe estar estrictamente dentro de los límites expuestos en las normas.

Este metal pesado se puede remover del agua mediante coagulación y floculación u ósmosis inversa.

Hierro y manganeso.- Dependiendo de las condiciones del medio, el hierro puede encontrarse en el agua, en estado coloidal, peptizado por materia orgánica, formando complejos orgánicos, inorgánicos o en suspensión.

Cuando tenemos la presencia de hierro y manganeso, al igual que dureza en agua de consumo humano, no se consideran tóxicos y no causan daños a la salud, sin embargo, cuando los niveles de concentración de estos elementos se encuentran por arriba de cierto valor límite, causan problemas en el uso del agua en los hogares, principalmente en el lavado de ropa y utensilios de cocina.

Las concentraciones de estos elementos van de la mano casi siempre, es decir si la concentración de hierro es alta, también lo será la de manganeso, ya que ambos metales

proviene de la disolución por contacto del agua con yacimientos minerales que contienen estos dos elementos, que se presentan en forma conjunta en la zona geológica de donde proviene el agua que es subterránea.

Estos parámetros también son importantes en la calidad estética del agua, cuando se encuentran en cantidades altas se espera que el agua adquiera un olor, color y sabor desagradables lo cual no la hace apta para el consumo humano.

El hierro y manganeso se remueven del agua mediante: aereación, coagulación y floculación o intercambio iónico.

1.3.3. Microbiología del Agua

El agua actúa como un vehículo de transmisión de microorganismos, y para considerarla de buena calidad y poder consumirla debe estar exenta de organismos patógenos que puedan afectar a la salud humana, provocando enfermedades de distintas clases.

La microbiología del agua se encarga del estudio de estos organismos, y clasifica a las células en eucariotas y procariotas, consideradas como eucariotas a los hongos y algas, y como procariotas a las bacterias.

Los microorganismos que van creciendo en el agua viven a expensas de los nutrientes que ésta presenta, y las distintas fuentes de contaminación son el suelo, aire, animales, plantas y materia fecal, este parámetro es relevante al medir la calidad del agua, y se debe eliminar estos organismos patógenos para considerarla al agua potable y que pueda ser apta para las personas.

Es muy complejo identificar individualmente cada microorganismo es por eso que para los análisis se los ha agrupado en una familia que presenta características similares como son los coliformes.

Los análisis miden coliformes totales que se refiere a la totalidad del grupo y coliformes fecales que son los de origen intestinal.

Estos microorganismos se remueven del agua mediante: filtración, tratamiento biológico, luz UV, cloración u ozonización.

1.3.4. Contaminación de Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas son más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando ésta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Esto se da porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento, se habla de cientos de años, es por eso que su purificación es lenta.

Al hablar de contaminación de este tipo de aguas se distinguen tipos de procesos contaminantes: los puntuales que afectan a zonas muy localizadas, y los difusos que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un punto de contaminación.

Los principales contaminantes puntuales son los siguientes:

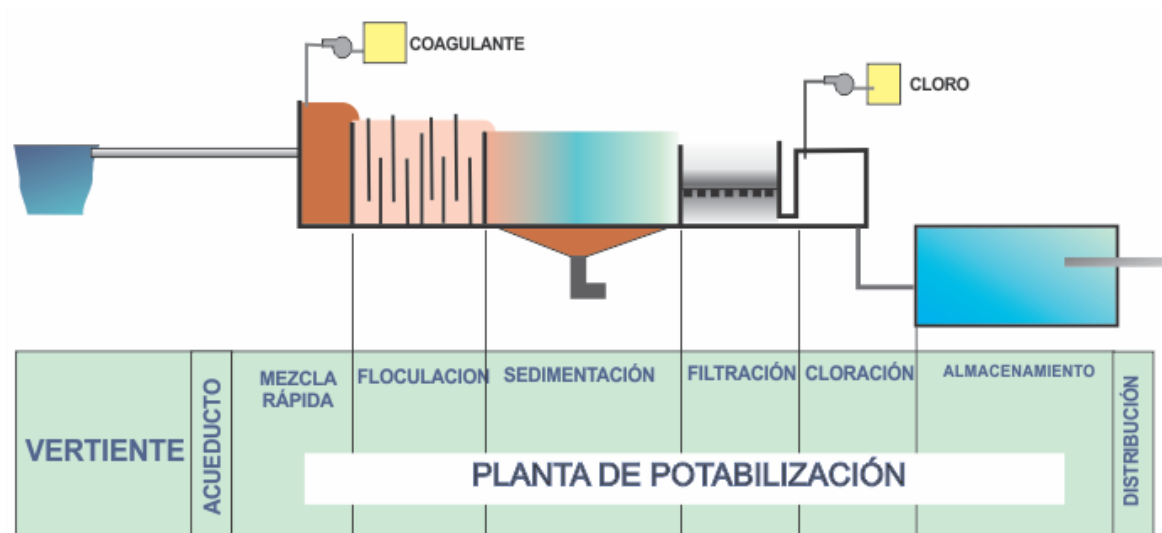
- Residuos de vertederos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.
- Residuos de minería, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustibles.
- Pozos sépticos y estiércol de granjas.

La contaminación difusa se da por las siguientes razones:

- Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura.
- Explotación incorrecta y excesiva de las aguas subterráneas que hace que aguas salinas las contaminen invadiendo sus respectivas zonas.

1.4. Proceso de potabilización de aguas subterráneas

Las aguas subterráneas cuentan con un sistema de abastecimiento formado principalmente por la fuente y su captación, transporte, tratamiento, almacenamiento y distribución.



Elaborado por: María Augusta Guadalupe

Figura N° 1 Planta de potabilización de agua

1.4.1. Captación

Para hablar de captación es necesario definir lo que es un acuífero, que es un embolsamiento de agua subterránea almacenada en el suelo por acción de rocas impermeables, cuando llegan al máximo nivel de almacenaje o nivel freático las aguas salen a la superficie a través de manantiales o es necesario extraerlas excavando pozos.

Se denomina captación en si a la toma de agua que se vierte naturalmente o mediante la perforación de un pozo, y se puede dar principalmente de tres formas que son: manantiales, pozos y sondeos.

- **Manantiales:** es el lugar donde se produce el afloramiento natural de agua. Los manantiales se clasifican en función de su ubicación y su afloramiento. En función de su ubicación tenemos manantiales de ladera, en los que el agua aflora en forma horizontal; y manantiales de fondo, en donde el agua aflora de forma ascendente hacia la superficie.

De acuerdo a su ubicación para ambos casos tenemos manantiales concentrados, cuando el agua aflora por un solo punto de área pequeña, y difusos, cuando el agua aflora por varios puntos en un área mucho mayor.

- **Pozos:** Un pozo se define como un hueco cilíndrico excavado en el terreno que puede ser manualmente o con maquinaria, tiene diámetro y profundidad variable, que al atravesar un lecho permeable permite la afluencia del agua hacia el mismo mediante la disposición de material adecuado.
- **Sondeos:** Son excavaciones verticales de menor diámetro que se realizan mediante maquinaria.

1.4.2. Aducción

Al proceso de conducir el agua desde su captación hasta la planta de tratamiento se denomina aducción. Un sistema de aducción contiene tuberías, canales y los diferentes accesorios necesarios para el transporte del agua.

1.4.3. Mezcla rápida

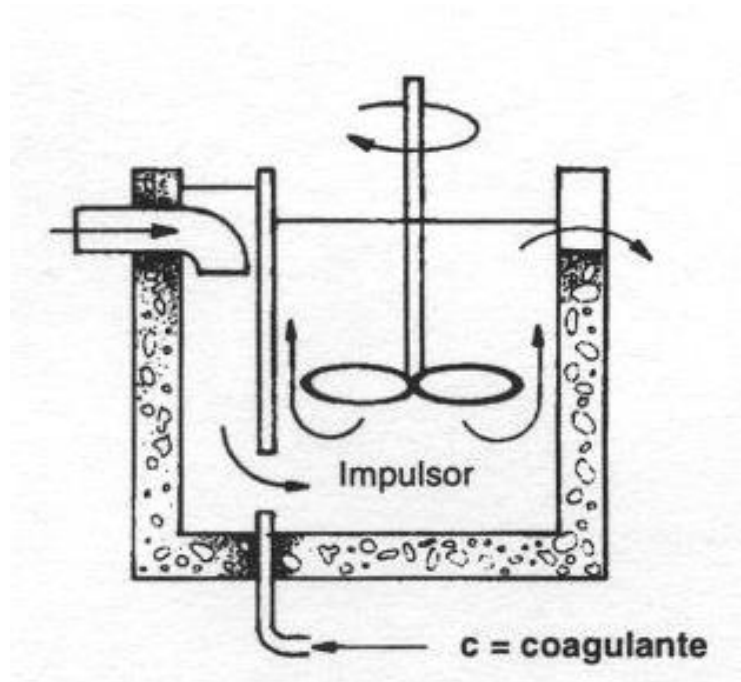
En las plantas de tratamiento de agua se usa la mezcla rápida con la finalidad de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de masa.

Existen dos tipos de mezcladores: mecánicos e hidráulicos.

La diferencia de los tipos de mezcladores radica en su funcionamiento: en los mezcladores mecánicos la mezcla es inducida a través de impulsores rotatorios del tipo hélice o turbina; mientras que en los mecánicos usan la turbulencia que existe en el régimen de flujo para obtener una mezcla exitosa.

A continuación se detallan los tipos de mezcladores:

- **Mezcladores rápidos mecánicos:** Para este proceso se usan tanques o equipos de sección circular o cuadrada, como se había mencionado anteriormente los impulsores para este tipo de mezcla son hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación que los mueve una fuerza motriz cualquiera. Para que se dé una mezcla rápida y uniforme del coagulante los ejes deben girar a un número alto de revoluciones.



Fuente: (Romero, 2006)

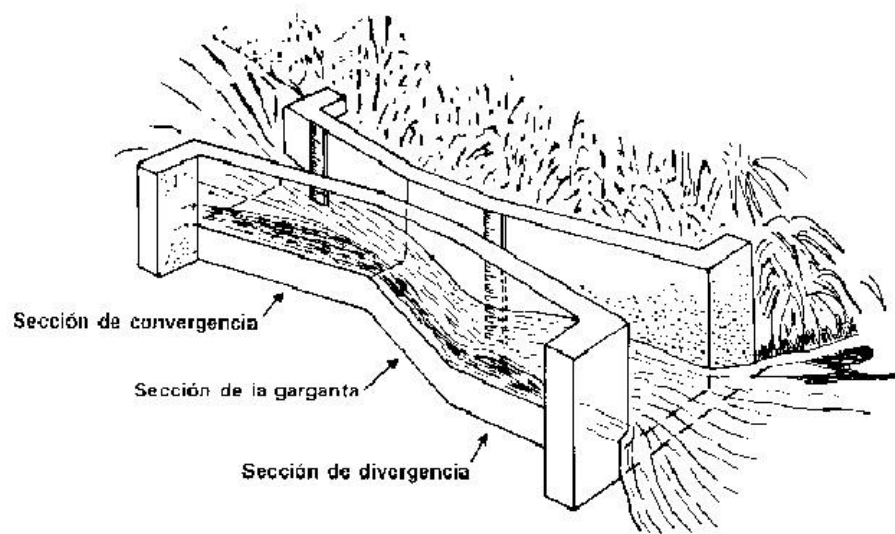
Figura N° 2 Mezclador Rápido Mecánico

- Mezcladores rápidos hidráulicos: Éstos se utilizan cuando se dispone de suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada. Generalmente se usan resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, tubos Venturi, dispersores de tubos perforados y tanques con baffles, para disipar energía en turbulencia y aprovecharla para obtener una buena mezcla del coagulante.

Entre los principales tipos de mezcladores hidráulicos tenemos:

- Vertederos triangulares.- Su vértice forma un ángulo recto, su escotadura es en forma de V, y su principal ventaja es que mide exactamente grandes fluctuaciones de caudal.
- Vertederos rectangulares.- Tienen la escotadura en forma rectangular que varía de tamaño y depende de los caudales a medir. Se dividen en dos grupos los sin contracción y los con contracción. Cuando el ancho del canal rectangular y el vertedero es el mismo no hay contracción del área de flujo; mientras que; cuando el canal es más ancho que el vertedero, hay una reducción en el área del flujo, y se considera como un vertedero con contracción.

- Canal Parshall.- Cumple un doble propósito en las plantas de tratamiento de agua, sirven para medir el caudal así como también para generar turbulencia y poder aplicar el coagulante. En la siguiente figura se muestra la canaleta, que consta de una contracción lateral que forma la garganta, y de una caída brusca en el fondo, en la longitud correspondiente a la garganta, seguida por un ascenso gradual coincidente con la parte divergente. Las ventajas de este proceso son: al tener una velocidad alta dentro de la canaleta previene la sedimentación de partículas y se las puede utilizar en un amplio rango de caudales.



Fuente: (Villagran , 2011)

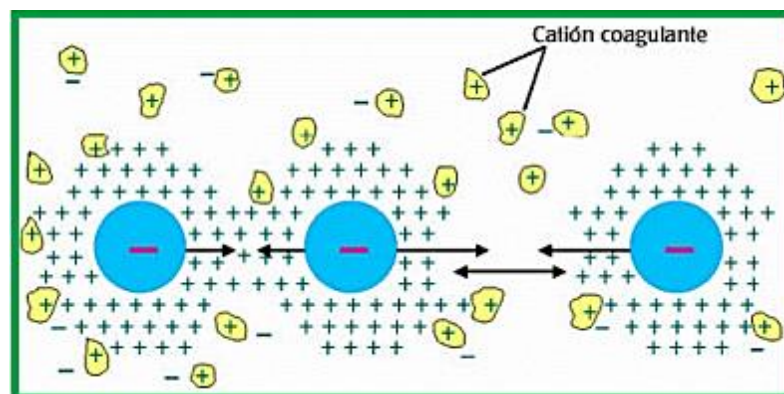
Figura N° 3 Canal Parshall

- Tubos Venturi.- Consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor. Algunos diseñadores prefieren utilizar el tubo venturi para la mezcla rápida así como también para la medida de caudal. La eficiencia de éste es incierta, ya que no se sabe cuánto de la pérdida de carga que se produce se debe a la energía disipada en turbulencias y cuánto en fricción respecto a las paredes del tubo.

1.4.4. Coagulación y Floculación

1.4.4.1. Coagulación

La coagulación se entiende como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los agentes coagulantes. Esta operación debe efectuarse en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua, en un tiempo mínimo.



Fuente: (Ramirez, 2014)

Figura N° 4 Química de la coagulación

Las partículas que existen en el agua están en forma coloidal, y son generalmente negativas, al aplicar sales de aluminio o de hierro, por ejemplo sulfato de aluminio los cationes trivalentes del metal neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a los coloides dispersos en el agua y forman un hidróxido metálico floculento sólido que se denomina floc, éste se forma con facilidad y retira los contaminantes suspendidos y disueltos en el agua mediante mecanismos de neutralización de carga, adsorción y atrapamiento.

Posteriormente se retira el floc mediante procesos de separación de sólidos y líquidos como la sedimentación, filtración o una combinación de ambas.

La eficiencia de este proceso radica en la calidad del agua bruta, del coagulante o aditivos de coagulación utilizados y de factores operativos, como las condiciones de mezclado, la dosis de coagulación y el pH.

Para que el proceso de coagulación funcione eficazmente se debe seleccionar la dosis de coagulante y pH óptimos, esto se determina mediante las conocidas pruebas de jarras o jarrests.

La coagulación se usa para:

- La remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- La remoción de color verdadero y aparente.
- La eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- La destrucción de algas y plancton en general.
- La eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

Factores que intervienen en la coagulación

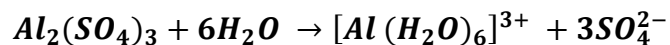
- Valencia: Entre mayor sea la valencia del ion del agente coagulante, más efectivo resulta en el proceso.
- Capacidad de cambio: Es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.
- Tamaño de las partículas: Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.
- Temperatura: La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor.
- pH: Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.
- Relación cantidad-tiempo: La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.

- Alcalinidad: La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación.

1.4.4.1.1. Agentes Coagulantes

Sulfato de aluminio.- Conocido comercialmente como alumbre, es un polvo de color blanquecino, se lo considera un coagulante efectivo en intervalos de pH de 6 a 8. Produce un floc pequeño y esponjoso por lo que no se usa en el tratamiento de aguas residuales, se usa generalmente en potabilización de agua y su efecto es principalmente sobre coloides orgánicos y compuestos fósforicos.

Al añadir sulfato de aluminio para la coagulación en agua se produce la siguiente reacción:



Rx. 1.2.

Como se ve en la reacción el sulfato de aluminio se encuentra hidrolizado, es decir asociado con el agua, esta es una propiedad de los cationes metálicos, que no pueden permanecer aislados cuando están rodeados de moléculas de agua. Los iones de aluminio hidratados $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ actúan como un ácido, y reaccionan con las bases que se encuentran en el agua como son los grupos que constituyen la alcalinidad del agua (OH^- , $(CO_3)^-$, $(HCO_3)^-$) y con las moléculas de agua H_2O .

Las ventajas de este coagulante son:

- Alta disponibilidad
- Bajo costo
- Fácil de aplicar
- Baja dosificación
- Efectivo sobre un alto rango de pH
- Efectivo en aguas cloradas
- Produce pocos lodos

Policloruro de aluminio.- Comercializado con el nombre de PAC, es una sal polimerizada, derivada del clorhidrato de aluminio y se lo encuentra como líquido o en forma de polvo, ambos de color amarillento.

Es más efectivo que el sulfato de aluminio y otros coagulantes, se lo considera como coagulante y/o floculante, remueve sólidos suspendidos, color, turbidez y algunas partículas orgánicas, contribuye a la buena formación de floc en tamaño y densidad específica.

Las ventajas al usar este coagulante son:

- Fácil aplicación.
- Bajo nivel de dosis, por lo tanto bajo costo.
- Efectivo sobre un amplio rango de pH.
- Efectivo en aguas cloradas.
- Produce pocos lodos, con alta densidad para su fácil disposición.
- No modifica considerablemente el pH.
- No genera aluminio residual.
- No incrementa considerablemente la conductividad del sistema.

1.4.4.2. Floculación

Se considera como la segunda fase de la coagulación, en este proceso se lleva a cabo una agitación de la masa coagulada para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados para que éstos aumenten su tamaño y peso y sedimenten con mayor facilidad.

De la misma manera que la coagulación, la floculación se ve influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y concentración del flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos.

El tiempo que se dedica a la mezcla del coagulante debe ser relativamente corto y con velocidades altas, mientras que se espera una floculación satisfactoria con una reducción en la velocidad debido a que si se mantiene una velocidad alta los flóculos se desintegrarían y no se aglomerarían.

Es imposible fijar velocidades para estas operaciones, puesto que para cada caso se debe tener en cuenta el tipo de flóculos y el tiempo de retención.

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

1.4.4.2.1. Tipos de floculadores

Hidráulicos.- Se usa comúnmente el de flujo horizontal y el de flujo vertical. El floculador de flujo horizontal es un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto u otro material que sea adecuado, en este floculador el agua hace un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. En el de flujo vertical el agua fluye hacia arriba y hacia abajo, por debajo y por encima de los tabiques, baffles o pantallas que dividen el tanque.

Una velocidad de flujo apropiada y un número adecuado de tabique aseguran las curvas suficientes para que la floculación sea efectiva,

Para el diseño de estos floculadores se debe considerar que los de flujo horizontal se usan para plantas pequeñas con caudales menores a 50 L/s, mientras que los de flujo vertical al ser más profundos se usan para plantas más grandes.

Las desventajas de estos floculadores son: la alta pérdida de carga y la poca flexibilidad de control cuando se tienen caudales variables.

Las ventajas son: no necesita energía mecánica pues se usa la del agua y el mantenimiento no es muy seguido.

Mecánicos.- Se debe añadir potencia al agua para asegurar una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos, que pueden ser agitadores con eje vertical u horizontal, que imparten movimiento rotatorio al agua y también cierta turbulencia interna.

1.4.4.2.2. Coadyuvantes de la floculación

Las dificultades que pueden presentar algunos coloides desestabilizados para formar flóculos pesados que sedimentan bien han dado lugar a la búsqueda de sustancias que ayudan a la formación de estos flóculos.

Entre las dificultades que se pueden presentar en un proceso de floculación están:

- Formación de flóculos pequeños de lenta sedimentación.
- Formación lenta de flóculos.
- Flóculos frágiles que fragmentan en los procesos de acondicionamiento del lodo.
- Formación de microflóculos que pasan por los filtros.

Para eliminar estas dificultades y lograr flóculos grandes y bien formados de fácil sedimentación se han utilizado sustancias y procedimientos muy variados. Los más usados son los siguientes:

- Oxidantes: Como la percloración, que en parte oxida la materia orgánica y rompe enlaces en los coloides naturales, ayudando a una mejor floculación posterior.
- Adsorbentes: Las aguas muy coloreadas y de baja mineralización en que los flóculos de aluminio o hierro tienen muy poca densidad, coagulan muy bien al añadir arcilla que da lugar a que se adsorba y origine flóculos pesados de fácil sedimentación. Otros adsorbentes son la caliza pulverizada, sílice en polvo y carbón activo.
- Sílice activa: Algunos compuestos inorgánicos pueden ser polimerizados en agua para formar polímeros floculantes inorgánicos. Este es el caso de la sílice activa que presenta una alta efectividad como auxiliar del tratamiento con Alumbre.

1.4.5. Sedimentación

La sedimentación es una operación unitaria en la que los sólidos más pesados como arena, grava, lodo y sólidos flotantes (basura) que se encuentran en el agua se remueven mediante la fuerza de la gravedad, con la finalidad de eliminar interferencias en los procesos de tratamiento siguientes, evitar la obstrucción de tuberías y la distribución de agua con este material.

Con la sedimentación el agua se clarifica y baja su turbiedad, los principales factores que influyen en este proceso son:

- Tamaño y peso de partículas
- Concentración y grado de floculación de los sólidos
- Resistencia a la fricción del agua
- Profundidad del tanque
- Sistema de entrada y de salida del agua
- Tiempo de retención

En una planta de tratamiento de agua se pueden dar dos tipos de sedimentaciones: antes y/o después de la coagulación y floculación.

Antes de la coagulación este proceso se emplea con la finalidad de reducir la carga de sólidos sedimentables, y después de haber añadido químicos en la remoción de color y turbiedad o a su vez en el ablandamiento de agua con cal, con el objetivo de eliminar los sólidos que han quedado por este proceso de coagulación y floculación.

La capacidad de la planta de tratamiento depende de la calidad de la fuente de donde proviene el agua, de la correcta dosificación de coagulante y de la mezcla lenta en la floculación para obtener partículas que sedimenten con facilidad, y esto a su vez ayuda en la desinfección.

En el agua encontramos dos tipos de partículas, las llamadas discretas que no cambian su tamaño, forma o peso cuando se sedimentan; y las floculentas y precipitantes en las cuales su volumen y densidad varía a medida que se van adhiriendo unas con otras mediante mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido.

De acuerdo al tipo de partículas existen los siguientes tipos de sedimentación:

Sedimentación Tipo 1, libre o discreta: Como su nombre lo indica es la sedimentación de partículas discretas, que poseen una floculación mínima en una suspensión diluida. Por estas condiciones la sedimentación no va a ser interferida y va a ser solamente función de las propiedades del fluido y de las características de las partículas. Como ejemplo tenemos la sedimentación de materiales pesados inertes.

Sedimentación tipo II, difusa o de partículas floculadas: Se refiere a la sedimentación de partículas floculentas en una suspensión diluida, en este caso se considera las propiedades floculentas de la suspensión y las características de asentamiento de las

partículas. Este proceso se da en los tratamientos de aguas potables cuando la sedimentación va precedida por floculación y coagulación.

Sedimentación tipo III, zonal o frenada: Se considera como una sedimentación másica y se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento. En este caso las partículas alcanzan una cercanía que les permite formar una matriz porosa que se desplaza hacia el fondo en forma de un solo bloque y que se distingue claramente del líquido en suspensión.

1.4.5.1. Sedimentador laminar

Consiste en tanques que presentan en su interior una serie de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales o placas planas paralelas, onduladas u otras formas; dispuestos sobre un ángulo θ de inclinación, donde el agua asciende por las celdas con flujo laminar.

Al tener una subdivisión los sedimentos se recibirán en una superficie doble, así se duplica la cantidad de trabajo, de igual manera al tener tres subdivisiones se triplicaría, y así sucesivamente. Si se construye un sedimentador de varias divisiones, la eficiencia que se espera de esta operación unitaria es muy elevada.

1.4.5.1.1. Sedimentador laminar de placas paralelas

Son considerados como uno de los sedimentadores más económicos, eficientes y compactos para realizar la sedimentación de partículas en líquidos, las partículas que se sedimentan sobre las placas inclinadas se acumulan y caen por sí mismas al fondo del tanque, esto lo hace autolimpiable.

Existen tres factores que favorecen la sedimentación de partículas en este tipo de tanques:

- Aumento en el área de sedimentación
- Disminución de la altura de caída de la partícula
- Régimen de flujo laminar

Además son muy útiles para la sedimentación de partículas floculentas y precipitantes, en las que la densidad y el volumen cambian a medida de la adherencia existente entre éstas mediante el mecanismo de floculación.

El ángulo que mejor ha funcionado para la posición de las placas inclinadas es el de 60, de esta manera se consigue una continua y eficiente remoción de los lodos.

1.4.6. Filtración

Es una operación unitaria que consiste en hacer pasar un líquido que contiene material suspendido, formado principalmente de floc, suelo, metales pesados y microorganismos, a través de un medio filtrante o poroso que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, éstas quedan retenidas en el medio filtrante. De esta manera, las partículas que no han decantado en el sedimentador son retenidas en los filtros. La filtración puede realizarse sin o con tratamiento previo de coagulación – floculación.

El medio filtrante más utilizado es la arena, que se lo considera como un proceso biológico, se la coloca sobre un lecho de grava como soporte, no solo existe este tipo de lecho también se pueden encontrar membranas filtrantes de otros materiales. En los espacios existentes entre los granos de arena son retenidas las partículas de tamaño mayor a estos intersticios. Además se producen efectos superficiales que permiten retener partículas de tamaño más pequeño.

De acuerdo a la velocidad se puede clasificar a los filtros en:

- **Filtros lentos:** Contienen partículas de arena con un tamaño efectivo de partículas de 0,15 a 0,3mm, hasta una profundidad de 0,5 a 1,5 m. Se utilizan para aguas poco turbias o aguas sometidas a filtración previa, en este tipo de filtros el agua fluye hacia abajo, el material suspendido y los microorganismos se eliminan principalmente en los primeros centímetros de arena. Se forma una capa biológica conocida como *schmutzdecke*, en la superficie del filtro, que puede eliminar eficazmente microorganismos.

El agua tratada es recogida en sumideros o tuberías situados en la parte baja del filtro. Es importante saber que mediante estos filtros también se puede eliminar la materia orgánica presente en el agua, incluido algunos plaguicidas y el amoníaco.

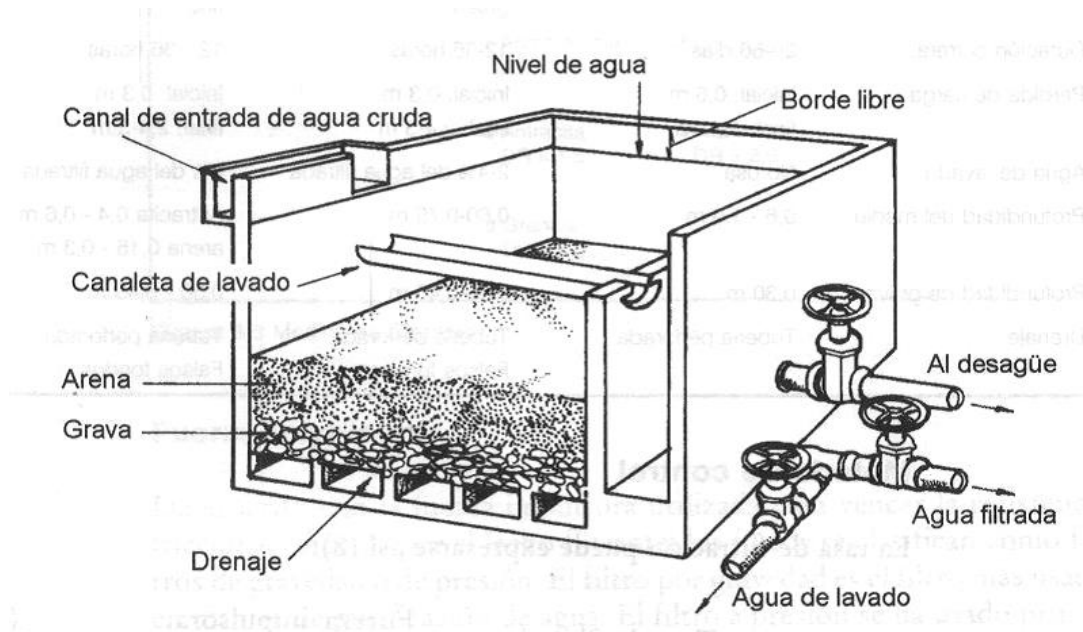
Con el uso el filtro se satura, es decir su lecho se carga de materia retenida en exceso, dando como resultado un efluente no aceptable, es por eso que se debe lavar con agua en contracorriente de filtración.

Ventajas

- Mejora la calidad física, química y bacteriológica del agua.
- La eficacia en la eliminación de bacterias totales es igual que en los filtros rápidos.
- No se necesitan compuestos químicos.
- La operación y mantenimiento pueden ser llevados a cabo por mano de obra semiespecializada.
- El proceso se da por gravedad, no se necesita otra energía.
- El manejo de lodos no causa problemas.

➤ **Filtros rápidos:** En este proceso se usa arena más gruesa, con un tamaño efectivo de grano entre 0,4-1,2 mm, con una profundidad de 0,6 a 2,0 m. Debido a la arena más gruesa de la que está compuesta este filtro, los poros del lecho serán relativamente más grandes y las impurezas contenidas en el agua cruda penetrarán al fondo en el lecho del filtro. La capacidad del lecho de filtro para almacenar impurezas depositadas es más efectiva y por esta razón se puede tratar agua con una turbiedad alta. El lavado de estos filtros se realiza descolmatando el filtro mediante inyección a contracorriente de agua tratada.

A más de los filtros rápidos de capa homogénea tenemos filtros bicapa o multicapa, que están constituidos por materiales diferentes, de tal manera que su estructura pasa de gruesa a fina mientras el agua avanza a través de los filtros. Un ejemplo de filtro bicapa es el de antracita y arena, que suele tener una capa de 0,2 m de espesor de antracita de 1,5 mm, sobre una capa de 0,6 m de espesor de arena de sílice. En un filtro multicapa se puede usar antracita, arena y granate. La ventaja de este tipo de filtros radica en que se utiliza de mejor manera el espesor completo del lecho para la retención de partículas, además 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.



Fuente: (Romero, 2006)

Figura N° 5 Filtro Rápido de Arena

1.4.6.1. Medios Filtrantes

La selección de un medio filtrante se determina por la durabilidad requerida, el grado deseado de purificación, la duración de la carrera del filtro y la facilidad deseable de su lavado.

- **Arena:** Se considera como el medio filtrante más usado por ser el más económico. Las especificaciones para la arena que va a ser usada en filtros es su solubilidad en ácido clorhídrico (40%) y su densidad relativa que debe ser mayor a 2,5; además debe ser limpia y bien gradada.
- **Antracita:** Se usa carbón de antracita triturado en lugar de arena como medio granular filtrante. Para ser usada en filtros la antracita debe ser limpia, dura, con dureza mayor de 2,7 en la escala de MOHS¹, de densidad relativa mayor a 1,4 y solubilidad en ácido menor del 1%.
- **Grava:** El tamaño y profundidad de la capa inferior de grava depende del sistema de drenaje usado, mientras que el tamaño y profundidad de la capa superior de grava depende del tamaño de la capa inferior del medio fino, es decir de la capa de arena o antracita que es el soporte del filtro. Para poder diseñar un lecho ideal la grava debe

¹ ESCALA DE MOHS Relación de diez materiales ordenados en función de su dureza, de menor a mayor.

tener forma esférica para que exista un crecimiento uniforme en tamaño desde el techo hasta el fondo. Es importante que la grava sea dura, redondeada, con una densidad relativa mayor a 2,5 para obtener resultados eficaces.

1.4.7. Desinfección

La desinfección de agua se define como un proceso que forma parte de una planta de tratamiento y tiene como objetivo la eliminación o activación de microorganismos presentes en el medio, de esta manera se minimiza la probabilidad de transmisión hídrica de enfermedades y garantiza el consumo de agua potable sin algún tipo de riesgo para el ser humano.

Este proceso se logra mediante desinfectantes químicos o físicos, estos agentes también extraen contaminantes orgánicos del agua que nutren a los microorganismos, además de matar a estos microorganismos otra de sus propiedades es que poseen un efecto residual es decir, se mantienen activos después de la desinfección y previenen el crecimiento de patógenos y la recontaminación del agua.

Entre los principales agentes químicos usados en la desinfección del agua tenemos cloro (Cl_2), dióxido de cloro (ClO_2), hipoclorito de sodio (NaClO), Ozono (O_3), entre otros.

El uso de luz ultravioleta y la radiación electrónica son los procesos físicos de desinfección del agua.

Para que esta operación sea exitosa se requiere básicamente:

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

1.4.7.1. Cloración

La cloración es la introducción de cloro en el agua, no solo con la finalidad de desinfectarla sino también de lograr mejores resultados tanto biológicos como químicos,

uno de los procesos químicos a los que favorece es la coagulación empleada en aguas coloreadas y con alto contenido de hierro. También evita la descomposición de los lodos luego de la sedimentación y de esta manera elimina malos olores y sabores en el agua.

Al llevar a cabo correctamente el tratamiento de cloración se logra unas normas más efectivas de calidad bacteriana y mejora en sí la operación de las plantas.

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, de la siguiente manera: 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 hipoclorito sódico o de hipoclorito cálcico, se disuelve en el agua y forma ión hipoclorito (OCl^-) y ácido hipocloroso (HOCl).

Existen diversas técnicas de cloración, como son la cloración a la dosis crítica conocida como *breakpoint*, la cloración marginal y la supercloración- descloración.

- **Cloración a la dosis crítica.**- Es un método en el que se aplica una dosis de cloro suficiente para oxidar rápidamente todo el nitrógeno amónico presente en el agua y dejar una concentración adecuada de cloro libre residual para proteger el agua de la recontaminación entre el punto de cloración y el punto de consumo.
- **Supercloración-descloración.**- Consiste en añadir una dosis grande de cloro para lograr una reacción química y desinfección rápidas, seguida de una reducción del exceso de cloro libre residual. Es importante eliminar el exceso de cloro para evitar problemas organolépticos. Este proceso se utiliza principalmente cuando la carga bacteriana es variable o cuando el tiempo de retención en un depósito es insuficiente.
- **Cloración marginal.**- este proceso se utiliza en los sistemas de abastecimiento de agua de calidad alta y consiste simplemente en añadir una dosis de cloro que genere la concentración deseada de cloro libre residual. En este tipo de aguas, la demanda

de cloro es muy baja, y es posible que ni siquiera llegue a alcanzarse el punto crítico o *breakpoint*.

1.5. Pruebas de jarras

Es un procedimiento usado comúnmente en los laboratorios, determina cuáles son las condiciones óptimas para una planta de tratamiento de agua. Se las puede considerar un simulador de coagulación y floculación para la remoción de coloides suspendidos y materia orgánica.

Estos ensayos permiten ajustar el pH, hacer variaciones en las dosis de sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y recrear a pequeña escala lo que se podría ver en un equipo de tamaño industrial.

Entre los principales objetivos de las pruebas de jarras tenemos:

- Controlar la dosis de coagulante que se añade al agua.
- Determinar la resistencia de los flóculos que se forman.
- Determinar el pH óptimo para un coagulante.
- Determinar la intensidad óptima del mezclado.
- Evaluar la dosis óptima de los ayudantes de la coagulación.
- Determinar cuál es el coagulante adecuado para el tratamiento de agua.

1.6. Optimización de la planta de tratamiento

1.6.1. Caudal de diseño

1.6.1.1. Población de diseño

La población de diseño o futura es un parámetro primordial en el cálculo del caudal de diseño para una población. Las plantas de agua potable no se diseñan para satisfacer solo una necesidad en la actualidad sino que deben prever el crecimiento de la población en un período de tiempo prudencial que varía entre 10 y 40 años, es por esta razón que es necesario estimar cuál será la población futura. Con estos datos el diseño de la planta va a satisfacer las exigencias, fuentes de abastecimiento, líneas de conducción, redes de

distribución, bombas, planta de potabilización y futuras extensiones del servicio a futuro con una demanda de población estimada.

Con la siguiente ecuación se calculará la población futura:

$$P_f = P_a(1 + r)^{n_t}$$

Ec.1.1.

Dónde:

P_f : Población futura

P_a : Población actual

r : Tasa de crecimiento (%)

n_t : Intervalo de tiempo, años

1.6.1.2. Nivel de complejidad del sistema

La asignación del nivel de complejidad se realiza de acuerdo con la población de diseño calculada y para su determinación se emplea la tabla siguiente:

Tabla 1.2. Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel	Población de diseño
Bajo	< 2500
Medio	2501 – 12500
Medio Alto	12501 – 60000
Alto	> 60000

Fuente: (Romero, 2006)

1.6.1.3. Dotación neta

La dotación neta es la cantidad mínima de agua que se requiere para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que puedan ocurrir en el sistema de acueducto, expresada en l/hab*día.

Tabla 1.3. Dotación Neta

Nivel de Complejidad	Dotación neta mínima l/hab*día	Dotación neta máxima l/hab*día
Bajo	100	150
Medio	120	170
Medio Alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: (Romero, 2006)

1.6.1.4. Dotación bruta

La dotación bruta es la cantidad máxima de agua que se requiere para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, considerando las pérdidas que puedan darse en el sistema de acueducto.

$$\text{Dotación bruta} = \frac{\text{Dotación neta}}{1 - \text{pérdidas técnicas}}$$

Ec.1.2.

Las pérdidas técnicas para la dotación bruta pueden determinarse a partir de la siguiente tabla:

Tabla 1.4. Pérdidas Técnicas

Nivel de Complejidad	% Máximo admisible de pérdidas técnicas
Bajo	40
Medio	30
Medio Alto	25
Alto	20

Fuente: (Romero, 2006)

1.6.1.5. Caudal medio diario

El caudal medio diario es el caudal calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Qmd = P_f * \text{Dotación bruta}$$

Ec.1.3.

Dónde:

Qmd: Caudal medio diario (l/día)

P_f: Población futura

1.6.1.6. Caudal máximo diario

El caudal máximo diario es el consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, K₁, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$QMd = \frac{K_1 * Qmd}{86400}$$

Ec.1.4.

Dónde:

QMd: Caudal máximo diario (m³/s)

K₁: Consumo máximo diario (adimensional)

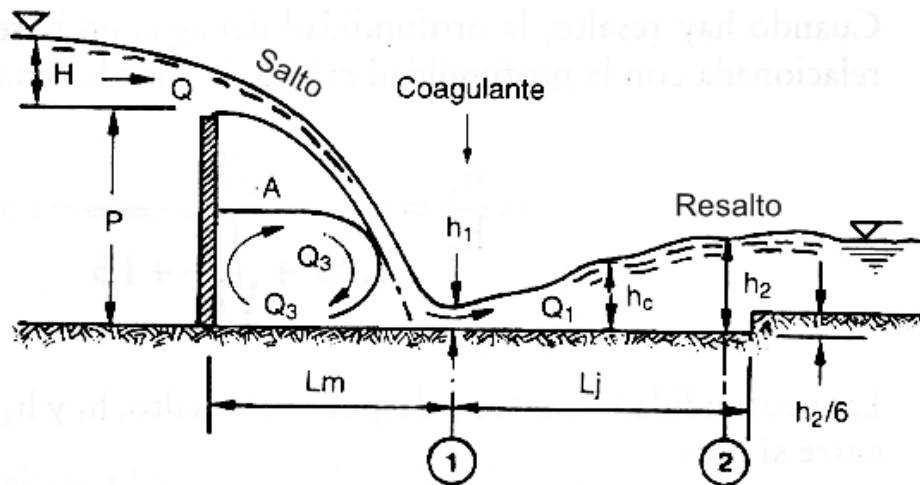
Los valores del consumo máximo diario, K₁, son:

Tabla 1.5 Valores de K₁

Nivel de Complejidad	K₁
Bajo	1,3
Medio	1,3
Medio Alto	1,2
Alto	1,2

Fuente: (Romero, 2006)

1.7. Mezcla rápida en vertedero rectangular



Fuente: (Romero, 2006)

Figura N° 6 Configuración del Resalto en un Vvertedero Rectangular

En este tipo de mezcladores, la mezcla se da por la turbulencia generada por un resalto hidráulico. Como se observa en la Fig.6 el coagulante se aplica en la sección 1 a una distancia L_m que es la longitud del salto. No se recomienda una distancia menor a L_m , porque haría que parte del agua cruda reciba una dosis mayor de químico y por ende la restante una dosis menor. Luego de aplicar el coagulante parte del agua retorna hacia la sección A y la otra continúa su recorrido dándose un resalto (L_j).

Se diseñará este vertedero rectangular sin contracciones por su efectividad al momento de la mezcla del coagulante en el agua bruta, por su sencilla construcción y porque su costo es bajo.

1.7.1. Canal del Vvertedero

La profundidad del canal del vertedero puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$C_v = f_s * H$$

Ec.1.5.

Dónde:

C_v : profundidad del canal del vertedero (m)

f_s : Factor de seguridad (adimensional)

H: Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua (m)

1.7.2. Ancho del Vertedero

El ancho del vertedero se calcula a partir de la ecuación empleada para determinar el caudal de un vertedero rectangular sin contracciones laterales, en caída libre.

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

Ec.1.6.

Dónde:

Q: Caudal de diseño (m^3/s)

B: Ancho del vertedero (m)

H: Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua (m)

1.7.3. Caudal por unidad de ancho

El caudal unitario, caudal por unidad de ancho del vertedero, se define por:

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

Ec.1.7.

Dónde:

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

1.7.4. Profundidad crítica de flujo

Se considera a la profundidad crítica de flujo como la profundidad en la cual un determinado caudal transita por un canal con el mínimo de energía específica. La profundidad crítica de flujo está dada por:

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

Ec.1.8.

Dónde:

h_c : Profundidad crítica de flujo (m)

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

1.7.5. Longitud del salto

Se define como la distancia a la cual debe aplicarse el coagulante para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en todo el flujo de agua cruda.

Para el cálculo de la longitud del salto se usa la ecuación siguiente:

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

Ec.1.9.

Dónde:

L_m : Longitud del salto (m)

P : Altura de la pared del vertedero (m)

1.7.6. Profundidad supercrítica o altura del agua después del salto

Cuando la profundidad del flujo es menor que la profundidad crítica, la velocidad será mayor que la velocidad crítica, y el flujo se denomina supercrítico, o flujo rápido, o veloz. Cuando hay resalto, la profundidad del agua está relacionada con la profundidad crítica, por la ecuación de White:

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

Ec.1.10.

Dónde:

h_1 : Profundidad supercrítica (m)

1.7.7. Velocidad del agua en el salto

La velocidad del agua en el salto se calcula por la ecuación:

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

Ec.1.11.

Dónde:

v_1 : Velocidad del agua en el salto (m/s)

1.7.8. Número de Froude

Es un número adimensional que en canales abiertos informa sobre el estado del flujo hidráulico, recibe este nombre en honor al ingeniero inglés William Froude.

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

Ec.1.12.

Dónde:

F: Número de Froude (adimensional)

Se tienen los siguientes valores para saber el tipo de resalto:

- ❖ $F = 1$: El flujo es crítico, no se forma resalto.
- ❖ $F = 1,0$ a $1,7$: Resalto ondulado, la superficie del agua presenta ondulaciones.
- ❖ $F = 1,7$ a $2,5$: Resalto débil, se desarrolla una leve turbulencia superficial, baja pérdida de energía.
- ❖ $F = 2,5$ a $4,5$: Resalto oscilante, el flujo aguas arriba penetra en el frente turbulento del resalto con un chorro oscilante que genera ondas de período irregular.
- ❖ $F = 4,5$ a $9,0$: Resalto estable o permanente, el resalto es fuerte y de forma estable, libre de ondulaciones irregulares.

- ❖ $F > 9,0$: Resalto fuerte, gran turbulencia y gradualmente encrespado a medida que aumenta F .

El tipo de resalto que da mejores condiciones para la mezcla rápida es el estable es decir cuando número de Froude oscila entre 4,5 y 9,0, y en menor medida el resalto débil.

1.7.9. Profundidad subcrítica o altura del agua después del resalto

Cuando la profundidad del flujo es mayor que la profundidad crítica, la velocidad será menor que la velocidad crítica, y el flujo se denomina subcrítico, o flujo lento. La profundidad subcrítica se determina mediante la siguiente expresión:

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

Ec.1.13.

Donde:

h_2 : Profundidad subcrítica (m)

1.7.10. Velocidad del agua en el resalto

La velocidad del agua en el resalto se calcula por la siguiente ecuación:

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

Ec.1.14.

Donde:

v_2 : Velocidad del agua en el resalto (m/s)

1.7.11. Pérdida de energía en el resalto

Cuando un flujo a régimen supercrítico se encuentra con una corriente subcrítica, se presenta un choque. Debido al choque, en el salto hidráulico ocurre una fuerte turbulencia que ocasiona pérdidas de energía.

La pérdida de energía en el resalto, se puede calcular por la fórmula de Belanger:

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

Ec.1.15.

Dónde:

h: Pérdida de energía en el resalto (m)

1.7.12. Longitud del resalto

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

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

Ec.1.16.

Dónde:

L_j: Longitud del resalto (m)

1.7.13. Velocidad media en el resalto

La velocidad media en el resalto está dada por:

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Ec.1.17.

Donde:

v_m: Velocidad media en el resalto (m/s)

1.7.14. Tiempo de mezcla

El tiempo de mezcla o retención es el tiempo en el cual el agua cruda va a estar en contacto con el coagulante y se calcula por la ecuación:

$$t = \frac{L_j}{v_m}$$

Dónde:

t: Tiempo de mezcla o retención (s)

1.7.15. Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad se lo utiliza como un medio para el cálculo de los requerimientos energéticos de mezcla.

El gradiente de velocidad puede calcularse con la ecuación siguiente:

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

Ec.1.19.

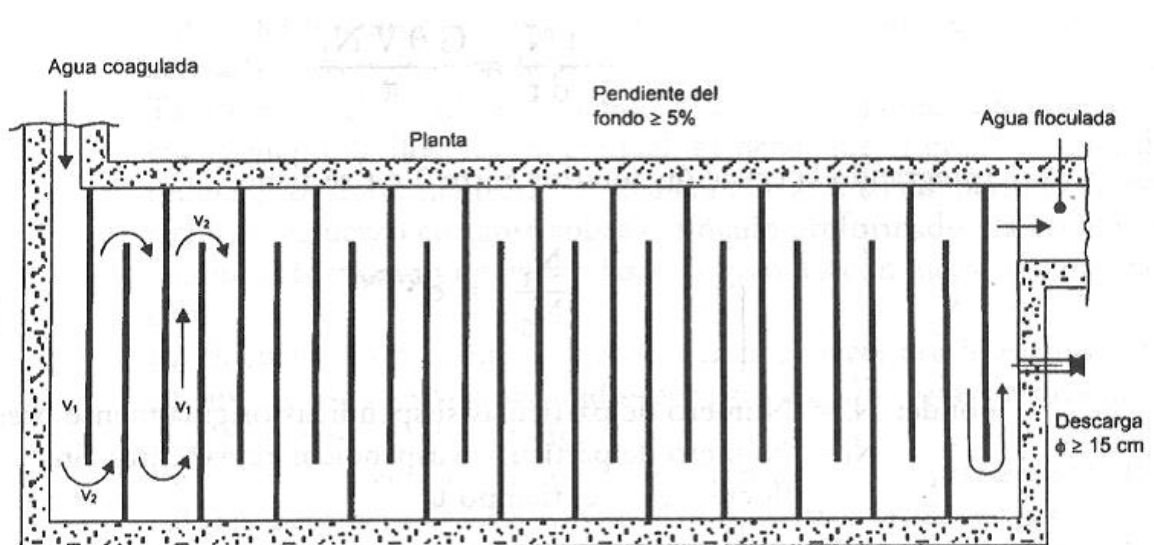
Dónde:

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

γ : Peso específico del agua (N/m^3)

μ : Viscosidad dinámica del agua (Pa.s)

1.8. Floculador hidráulico de flujo horizontal



Fuente: (Romero, 2006)

Figura N°7 Floculador Horizontal

Este tipo de floculador consiste en un tanque de concreto u hormigón que está dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto u otro material que debe ser adecuado, dispuesto en tal forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques.

1.8.1. Distancia total recorrida por el agua

Para un periodo de mezcla, t , y una velocidad de flujo, v , la distancia total recorrida por el agua es:

$$L = v * t$$

Ec.1.20.

Dónde:

L: Longitud total recorrida por el agua (m)

v: Velocidad de flujo (m/s)

t: Tiempo de mezcla o retención (s)

1.8.2. Volumen de agua

El volumen de agua que hay que mezclar en un periodo de tiempo, t , es:

$$V = Qt$$

Ec.1.21.

Dónde:

V: Volumen de agua (m³)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

1.8.3. Sección Transversal de los canales

La sección o área transversal requerida de un canal entre baffles está dada por la ecuación:

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

Ec.1.22.

Dónde:

A: Sección a área transversal requerida de los canales (m)

1.8.4. Profundidad del agua

La profundidad del agua puede calcularse con la siguiente expresión:

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

Ec.1.23.

Dónde:

d: Profundidad del Agua (m)

a: Separación entre tabiques (m)

1.8.5. Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque

Se considera a la distancia entre los baffles o tabiques y la pared del tanque, y es 1,5 veces la separación entre tabiques y está definida por la siguiente ecuación:

$$e = 1,5 a$$

Ec.1.24.

Dónde:

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

a: Separación entre tabiques (m)

1.8.6. Longitud efectiva de cada canal

La longitud efectiva de cada canal se calcula por la siguiente ecuación:

$$l = B_F - e$$

Ec.1.25.

Dónde:

l: Longitud efectiva de cada canal (m)

B_F: Ancho del floculador (m)

1.8.7. Numero requerido de canales

El número requerido de canales se calcula por la ecuación:

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

Ec.1.26.

Dónde:

N: Número de canales (adimensional)

1.8.8. Longitud total de la cámara de floculación

La longitud total interior de la cámara de floculación viene dada por la siguiente expresión:

$$L_T = N a + (N - 1)b$$

Ec.1.27.

Dónde:

L_T: Longitud total de la cámara de floculación (m)

b: Espesor de la lámina o tabique (m)

1.8.9. Radio hidráulico

El radio hidráulico, es un parámetro muy importante en el dimensionado de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas, se representa generalmente por la letra R, y es la relación entre el área mojada y el perímetro mojado.

Su cálculo está en función de la forma geométrica de la sección transversal del canal, en este caso es una sección de tipo rectangular, por lo tanto para su cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$R = \frac{A}{2d + a}$$

Ec.1.28.

Dónde:

R: Radio hidráulico (m)

1.8.10. Pérdidas por fricción en el tanque

Las pérdidas por fricción se generan a lo largo de los canales o en los tramos rectos y se calculan a partir de la ecuación de Manning:

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

Ec.1.29.

Dónde:

h_f : Pérdidas por fricción en el tanque (m)

v: Velocidad de flujo (m/s)

n: Coeficiente de Manning (adimensional)

1.8.11. Pérdidas adicionales

Las pérdidas adicionales son aquellas que se generan principalmente en las vueltas o giros que da el agua al pasar de un canal a otro.

$$h_a = k(N - 1) \frac{v^2}{2g}$$

Ec.1.30.

Dónde:

h_a : Pérdidas adicionales (m)

k: Constante empírica (2 a 4, comúnmente 3)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

1.8.12. Pérdidas totales

La potencia disipada en el agua está dada por la pérdida de energía correspondiente a las pérdidas por fricción en los tramos rectos y las pérdidas adicionales o localizadas en los giros.

$$h_T = h_f + h_a$$

Ec.1.31.

Dónde:

h_T : Pérdidas totales (m)

1.8.13. Gradiente de velocidad

Al igual que el tiempo se consideran como parámetros importantes, al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan, además da más tiempo para que las partículas por efecto de la gravedad descieran y se acumulen en el fondo del tanque.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h_T}{\mu t}}$$

Ec.1.32.

Dónde:

G: Gradiente de velocidad (s⁻¹)

γ : Peso específico del agua (N/m³)

μ : Viscosidad dinámica del agua (Pa.s)

1.8.14. Número adimensional de Camp

El número adimensional de Camp puede calcularse por la ecuación:

$$G_t = G * t$$

Ec.1.33.

Dónde:

G_t : Número adimensional de Camp

1.8.15. Criterios complementarios para el diseño de floculadores horizontales

Tabla 1.6. Parámetros de diseño para floculadores hidráulicos de tabiques

Criterio	G (s^{-1})	t (min)	G_t	v (m/s)	h_T
Smethurst	20 – 100	10 – 60	20000 – 150000	0,15 – 0,50	0,15 – 0,60
Arboleda	10 – 100	15 – 20	-	0,10 – 0,60	-
Insfopal	-	15 – 60	-	0,15 – 0,45	-
Hardenbergh y Rodie	-	20 – 50	-	0,15 – 0,45	-
Fair y Geyer	-	10 – 90	-	0,10 – 0,90	0,30 – 0,90
Awwa	5 – 100	10 – 60	30000 – 150000	0,09 – 0,30	-
Cepis	10 – 100	10 – 60	-	0,10 – 0,60	-
RAS 2000	20 – 70	20 – 30	-	0,20 – 0,60	-

Fuente: (Villegas, 2007)

1.9. Sedimentador laminar de placas

1.9.1. Carga superficial

La velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación o carga superficial en el área de sedimentación está dada por:

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

Ec.1.34.

Dónde:

v_{so} : Carga superficial después de instalar las placas (m/min).

l_p : longitud de las placas (m)

t_{rp} : tiempo de retención en las placas (min)

1.9.2. Área de sedimentación acelerada

Esta área se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q}{v_{so} \sin \theta}$$

Ec.1.35.

Dónde:

A_s : Área superficial de sedimentación acelerada (m^2)

Q : Caudal de diseño (m^3/d)

θ : Angulo de inclinación del elemento de sedimentación.

1.9.3. Longitud del área de sedimentación acelerada

Esta longitud se determina mediante la siguiente ecuación:

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

Ec.1.36.

Dónde:

L_s : Longitud del área de sedimentación acelerada (m)

B_s : Ancho del sedimentador (m)

1.9.4. Longitud relativa del sedimentador

La longitud relativa del sedimentador se expresa en la siguiente ecuación:

$$L_r = \frac{l_p}{e_p}$$

Ec.1.37.

Dónde:

L_r : Longitud relativa del sedimentador (adimensional)

e_p : Distancia entre placas (m)

1.9.5. Longitud relativa en la región de transición

A la entrada existirá una región de transición en la cual el flujo uniforme se va convirtiendo en flujo completamente laminar debido a la influencia a los contornos sólidos.

Esta longitud perteneciente a la región de transición se puede determinar con la ecuación de Schulze:

$$L' = 0,013 \frac{v_{so} * e_p}{\nu}$$

Ec.1.38.

Dónde:

L' : Longitud relativa en la región de transición (adimensional)

ν : Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)

1.9.6. Longitud relativa corregida

La longitud relativa corregida del sedimentador en la longitud de transición puede calcularse por la ecuación:

$$L_c = 2(L_r - L') \quad \text{Si } L' > L_r/2$$

Ec.1.39.

Ó, L_c , puede calcularse por:

$$L_c = L_r - L' \quad \text{Si } L' \leq L_r/2$$

Ec.1.40.

Dónde:

L_c : Longitud relativa corregida (adimensional)

1.9.7. Velocidad crítica de sedimentación

La velocidad crítica de sedimentación, o llamada también de asentamiento está dada por:

$$v_{sc} = \frac{S * v_{so}}{\text{sen}\theta + L_r \text{cos}\theta}$$

Ec.1.41.

Dónde:

v_{sc} : Velocidad crítica de sedimentación (m/d)

S_c : Constante para cada tipo de módulo (adimensional)

v_{so} : Velocidad media de flujo en las placas o carga superficial después de instalar las placas (m/d)

1.9.8. Número de Reynolds

Es importante calcular el número de Reynolds para verificar que en el sedimentador se dé un flujo laminar, para lo cual se emplea la ecuación siguiente:

$$N_{Re} = \frac{v_{so} * e_p}{\nu}$$

Ec.1.42.

Dónde:

N_{Re} : Número de Reynolds (adimensional)

1.9.9. Volumen del sedimentador

El volumen del tanque sedimentador es igual al producto de su área superficial por la profundidad y puede estimarse a partir de:

$$V_{Ts} = L_s * B_s * Z_s$$

Ec.1.43.

Dónde:

V_{Ts} : Volumen del sedimentador (m³)

Z_s : Altura del sedimentador (m)

1.9.10. Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

El tiempo de retención en este tipo de sedimentadores es igual al volumen del tanque dividido para el caudal y se calcula por la siguiente expresión:

$$t_{rs} = \frac{V_{Ts}}{Q}$$

Ec.1.44.

Dónde:

t_{rs} : Tiempo de retención en el tanque de sedimentación (min)

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

1.9.11. Número de placas

El número de placas planas paralelas se calcula por la ecuación:

$$N_p = \frac{(L_s - l_p \cos\theta) \operatorname{sen}\theta + e_p}{e_p + b_p}$$

Ec.1.45.

Dónde:

N_p : Número de placas (adimensional)

b_p : Espesor de las placas (m)

1.9.12. Criterios para el diseño de sedimentadores

Tabla 1.7. Parámetros para el diseño de sedimentadores laminares

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

Fuente: (Romero, 2006)

Tabla 1.8. Parámetros de las placas planas de ABS para sedimentadores

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

Fuente: QUIMICALZEN

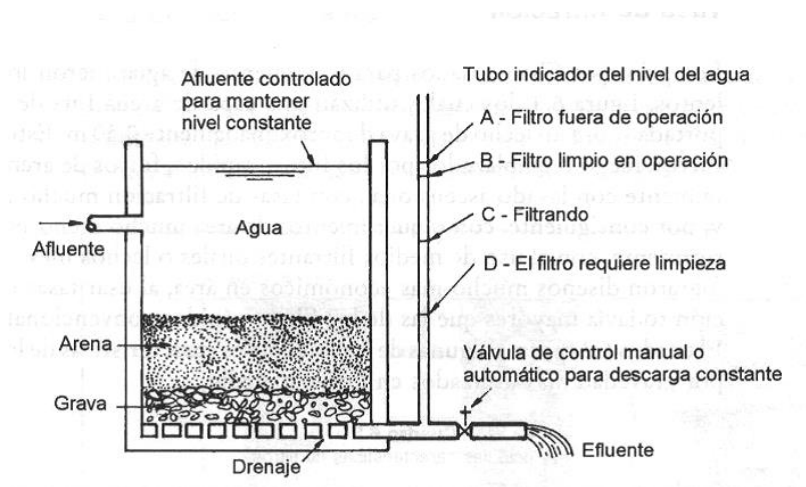
Tabla 1.9. Valores de S según el tipo de módulo

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

Fuente: (Maldonado, 2009)

El parámetro S indica la eficiencia del sedimentador y su valor crítico S_c para el caso de placas planas es 1, cualquier partícula suspendida con $S > 1$ será teóricamente removida.

1.10. Filtro lento de arena



Fuente: (Romero, 2006)

Figura N° 8 Filtro lento de arena

El filtro lento de arena a gravedad es muy utilizado en la plantas de tratamiento de agua potable, se suele utilizar arena fina blanca y una capa de soporte de grava para eliminar el material particulado.

1.10.1. Número de filtros

De acuerdo con Mcrill y Wallace, el número de filtros puede estimarse a partir de la ecuación:

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

Ec.1.46.

Dónde:

Q: caudal total (m³/d)

n_f: Número de filtros (adimensional)

1.10.2. Área del filtro

El área del filtro está definida por la siguiente expresión:

$$A_f = \frac{Q}{\text{tasa de filtración}}$$

Ec.1.47.

Donde:

A_f : Área del filtro (m^2)

1.10.3. Coeficiente de mínimo costo

Existe una relación entre la longitud y el ancho del filtro, representada por K_c , puede definirse como:

$$K_c = \frac{L_f}{a_f}$$

Ec.1.48.

Ó también, K_c , puede calcularse por:

$$K_c = \frac{2n_f}{n_f + 1}$$

Ec.1.49.

Dónde:

K_c : Coeficiente de mínimo costo, adimensional

L_f : Longitud del filtro, m

a_f : Ancho del filtro, m

n_f : Número de unidades de filtración.

1.10.4. Longitud del filtro

La longitud del filtro se calcula por la ecuación siguiente:

$$L_f = \sqrt{A_f * K_c}$$

Ec.1.50.

Dónde:

L_f : Longitud del filtro (m)

1.10.5. Ancho del filtro

El ancho del filtro se calcula por la ecuación siguiente:

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{K_c}}$$

Ec.1.51.

Dónde:

a_f : Ancho del filtro (m)

1.10.6. Composición del lecho filtrante

La composición del lecho filtrante para este filtro lento de arena se determinará en función de los parámetros de diseño expuestos en la tabla 1.10.

➤ Altura del filtro

La altura del filtro puede estimarse con la ecuación:

$$Z_f = f_s(C_a + L_a + C_s + Fc)$$

Ec.1.52.

Dónde:

Z_f : Altura del filtro (m)

f_s : Factor de seguridad(%)

C_a : Altura de la capa de agua (m)

L_a : Altura del lecho filtrante (m)

C_s : Altura de capa de soporte (m)

Fc : Altura del drenaje (m)

1.10.7. Sistema de drenaje

La función más importante del sistema de drenaje del filtro es la de proveer una distribución uniforme del agua de lavado, también recoge el agua filtrada.

➤ **Área de los orificios laterales**

El área de los orificios laterales está determinada por la siguiente expresión:

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

Ec.1.53.

Dónde:

A_o : Área de cada orificio (m^2)

D_o : Diámetro del orificio (m)

➤ **Caudal que ingresa a cada orificio**

El caudal que ingresa cada orificio se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_o = A_o v_o$$

Ec.1.54.

Dónde:

Q_o : Caudal que ingresa cada orificio (m^3/s)

v_o : Velocidad en orificio(m/s)

➤ **Número de laterales**

El número de laterales está dado por la siguiente ecuación:

$$N_L = n_L \frac{L_f}{e_L}$$

Ec.1.55.

Dónde:

N_L : Número de laterales (adimensional)

n_L : Número de laterales por lado (adimensional)

e_L : Separación entre laterales (m)

➤ **Diámetro de la tubería de entrada al filtro**

La tubería de entrada al filtro se diseña en base a criterios de velocidad y se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$D_T = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$$

Ec.1.56.

Dónde:

D_T : Diámetro de la tubería de entrada del agua al filtro (m)

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

v_e : Velocidad de agua a través de la tubería de entrada (m/s)

➤ **Diámetro de la tubería de salida del filtro**

La tubería de salida del filtro también depende de la velocidad y viene dada por:

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

Ec.1.57.

Dónde:

D_{Ts} : Diámetro de la tubería de salida del agua del filtro (m)

v_s : Velocidad de agua a través de la tubería de salida (m/s)

1.10.8. Sistema de lavado del filtro

El lavado de filtros restablece su capacidad cuando la calidad del efluente se degrada. El lavado se debe hacer a contracorriente con un caudal suficiente que permita expandir los granos y se forme una suspensión. El material retenido es transportado por el agua a través del lecho expandido hasta que se descarga en el desagüe.

➤ **Velocidad óptima de lavado del filtro**

Para calcular la velocidad óptima de lavado del filtro se usa la ecuación:

$$v_l = D_{60} = CU * TE$$

Ec.1.58.

Dónde:

v_l : Velocidad óptima de lavado del filtro (m/min)

D_{60} : Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad, o percentil 60 del análisis granulométrico (mm)

CU: Coeficiente de uniformidad de la arena (adimensional)

TE: Tamaño efectivo de la arena (mm)

➤ **Cantidad de agua para el lavado del filtro**

El volumen de agua requerido para lavar el filtro se calcula por la expresión:

$$V_l = v_l A_f t_l$$

Ec.1.59.

Dónde:

V_l : Cantidad de agua para el lavado del filtro (m³)

t_l : Tiempo óptimo de lavado (min)

1.10.9. Criterios complementarios para el diseño de filtros lentos de arena

Tabla 1.10. Parámetros de Diseño de Filtros lentos de Arena

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

Fuente: (Romero, 2006)

Tabla 1.11. Parámetros de Diseño de laterales

Parámetro	Valor
Espaciamiento de los laterales	1,5 – 2,0 m
Diámetro de los orificios de los laterales	2 - 4 mm
Espaciamiento de los orificios de los laterales	10 - 30 cm
Altura entre tubo y fondo del filtro	3,5 cm
Velocidad en orificio	0,3 m/s

Fuente: (Romero, 2006)

Tabla 1.12. Velocidades de Diseño para tuberías del filtro

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

Fuente: (Romero, 2006)

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Diagnóstico

El agua que llega para ser potabilizada a la planta de San Juan alto de la parroquia matriz del cantón Guamote proviene de la quebrada Matipanga que se encuentra aproximadamente a 8 km del lugar, en su trayecto recorre tuberías de PVC, hierro galvanizado y manguera de polietileno. Las etapas del proceso son sedimentación y cloración.

Conjuntamente con los operarios se realizó el recorrido de la planta y se pudo constatar la antigüedad de la misma empezando con la tubería en la conducción, además se verificó la falta de etapas en el sistema de tratamiento, debido a que solo se tiene una sedimentación y cloración, y estas dos operaciones no son suficientes para la remoción del color, turbiedad, contaminantes orgánicos y metales pesados del agua que va a ser distribuida a la población que hace uso de este servicio básico.

La caracterización realizada al agua, tanto a su llegada como a la salida de la planta de tratamiento, nos indica que los parámetros que se tiene fuera de los límites permisibles de acuerdo a la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable” son los siguientes:

- Fosfatos
- Plomo

La presencia elevada de fosfatos se debe a contaminantes orgánicos provenientes de fertilizantes utilizados para cultivos de las zonas aledañas, estiércol de animales por ser una zona de pastoreo y también porque en algunas viviendas cercanas las fosas sépticas de los hogares no se encuentran en buen estado. También se puede observar en el agua la formación de algas que es la principal característica de la presencia de fosfatos en el agua, esperando posteriormente una eutrofización debido a la descomposición de estos organismos.

La principal razón de la presencia de este metal pesado como es el plomo en el agua de consumo se debe a los accesorios que se utilizan en la instalación de la tubería para el recorrido del agua de la vertiente a la planta, los mismos que se encuentran en mal

estado. Es importante mencionar que el plomo en su estado natural se encuentra en las rocas y en el suelo, ocasionando la filtración de éste en el agua.

2.1.1. Procesos de la planta

Sedimentación.- La sedimentación se realiza en un tanque construido de hormigón, en su interior tiene un vertedero triangular, en el que los sólidos se dirigen hacia el fondo para posteriormente ser descargados hacia la alcantarilla, su volumen es de 120m³.

Luego de este proceso, se verificó que el agua pasa a unos tanques que ya no tienen vida útil y solamente sirven para el trayecto del fluido antes de llegar al tanque de cloración.

Cloración.- La cloración se realiza mediante cloro gaseoso, el gas sale del tanque al inyector, que a su vez dosifica el desinfectante en el agua que circula por la tubería y ésta sigue su recorrido al tanque de almacenamiento, que tiene un volumen de 225 m³, para que esta sustancia siga actuando y elimine los microorganismos presentes, para luego ser distribuida a los hogares.

De acuerdo a la norma, al no existir contaminación microbiológica en el agua, la desinfección debe realizarse con la mínima cantidad de cloro gas, siendo esta dosis de 4oz por litro de agua, es decir con el caudal que se tiene actualmente la dosis de cloro que se debe introducir al agua es de 14oz.

Para asegurarnos que la dosificación de cloro gas es la correcta, se tomaron cuatro muestras, la primera en la planta luego de la cloración y las demás en tres casas, a diferentes distancias, es decir, en la zona alta, media y baja respecto a la planta de tratamiento. Los datos de la medida de cloro se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.1. Medida de cloro libre residual en diferentes zonas

LUGARES	RESULTADOS (mg/l)
Planta	0,75
Zona alta	0,65
Zona media	0,60
Zona baja	0,30

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

De acuerdo a estos resultados, se pudo comprobar que la cantidad de cloro para la potabilización del agua es la adecuada, además es importante que ésta se mantenga durante su distribución hasta un valor mínimo de 0,30 mg/l, como se observa en la tabla el valor más bajo en la casa más lejana se encuentra en el límite; mientras que en las casa más cercana (zona alta) el valor se acerca mucho al de la planta y en la casa a media distancia (zona media) la medida no disminuye considerablemente.

2.2. Muestreo

Se emplea una serie de operaciones destinadas a tomar una parte del universo o población que será estudiado a fin de facilitar la investigación.

La recolección de muestras se fundamenta en el STANDARD METHODS *2310 A y B.

Tabla 2.2. Recolección de Muestras, STANDARD METHODS *2310 A y B

Fundamento	Materiales	Técnica
Se basa en la selección de muestras de una población para estudiar algún aspecto de los individuos que la componen.	✓ Envases de plástico o vidrio, que deben ser limpios y herméticamente cerrados de capacidad de 500 ml.	Recoger tres muestras, cada una en un volumen aproximado de 500 ml.
Al momento de tomar la muestra se debe realizar las siguientes pruebas:		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ pH ✓ Temperatura del agua 		

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3. Metodología

2.3.1. Metodología de trabajo

Los análisis físico – químicos y microbiológicos se realizaron en el laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH y en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Como se explicó en el literal 2.2 se recogió 3 muestras durante un mes, las mismas que fueron trasladadas al laboratorio el mismo día.

Con la finalidad de evitar alteraciones en el agua, ésta se transportó con cadena de frío, para así obtener resultados de la caracterización reales y poder identificar los parámetros

que no se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”.

Las muestras se etiquetaron correctamente acorde a la etapa del proceso donde se recogieron.

2.3.2. Tratamiento de las muestras

De las muestras caracterizadas se tienen dieciocho resultados entre parámetros físico-químicos y microbiológicos, de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”.

2.3.3. Métodos y técnicas

Tabla 2.3. Métodos y técnicas de análisis

PARÁMETROS	MÉTODO	FUNDAMENTO	CÁLCULO	REPORTE	TÉCNICA
Ph	Potenciométrico	Esta determinación se basa en la actividad de los iones hidrógeno estándar y un electrodo de referencia. El pH nos indica la acidez o alcalinidad del agua, su rango de medida es entre 1-14, un valor menor a 7 nos indica que el agua es ácida, mayor a 7, que es básica e igual a 7 neutra.	Lectura directa	[H ⁺]	Se coloca el electrodo en la muestra y se procede a la lectura.
Conductividad	Electrométrico	La conductividad es la capacidad que tiene una solución para conducir corriente eléctrica, se relaciona con la cantidad de sólidos totales presentes en el agua.	Lectura directa	μS/cm	Se coloca el electrodo en la muestra y se procede a la lectura.
Turbiedad	Nefelométrico	Este método se basa en una comparación de la intensidad de la luz dispersada por una muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión patrón de referencia en las mismas condiciones. Mientras mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez.	Lectura directa	FTU-NTU	Se coloca el agua destilada en la celda para calibrar el equipo para posteriormente colocar la muestra en la celda y tomar la lectura.
Color	Comparativo	El color en agua se debe a la presencia de desechos orgánicos, sólidos en suspensión y residuos industriales. El color verdadero es el color de la muestra una vez que se ha removido la turbiedad, y el color aparente es el que incluye tanto el color de las sustancias en solución y coloidales y	Lectura directa	Upt-co	Se añade el blanco en la celda, se la coloca en el soporte porta cubetas, seguido de la muestra y se lee.

		también el color debido al material suspendido.			
Sólidos totales	Electrométrico	Los sólidos totales se definen como el material que queda en el recipiente después de la evaporación de la muestra y su posterior secado en un horno a una temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales, sólidos retenidos en un filtro y sólidos disueltos totales.	Lectura directa	mg/l	Se coloca el electrodo en la muestra y se procede a la lectura.
Sólidos suspendidos	Electrométrico	Aquellos que se encuentran en el agua sin estar disueltos, pueden ser sedimentables o no.	$S.S = \frac{P_2 - P_1}{V_{muestra}}$		Se pesa la membrana que se va utilizar. Se pasa el agua por ésta para posteriormente secarla y pesarla.
Sulfatos	Espectrofotométrico	El sulfato precipita en una solución de ácido clorhídrico como sulfato de bario por la adición de cloruro de bario.	El valor de la lectura del espectrofotómetro se multiplica por 177.	mg/l	A la muestra se añaden las sustancias que se indican en el manual y se lee en el espectrofotómetro a 410 nm.
Nitratos	Espectrofotométrico	Los niveles de nitratos en aguas subterráneas y superficiales son unos pocos miligramos por litro.	Lectura directa	mg/l	Colocar 10 ml de muestra en la celda, agregar los reactivos y leer los resultados.
Nitritos	Espectrofotométrico	Los nitritos presentes en el agua se pueden determinar a través de la formación de un colorante azoico de color morado rojizo por aplicación de sulfanilamidadiázotado con N-(1-naftil) – dihidrocloruro de etilendiamina.	Lectura directa	mg/l	A la muestra se añaden las sustancias que se indican en el manual y se lee en el espectrofotómetro a 510 nm.
Fosfatos	Espectrofotométrico	El fósforo se encuentra en aguas naturales y en las aguas residuales casi exclusivamente como fosfatos.	Lectura directa	mg/l	A la muestra se añaden las sustancias que se indican en el manual y se lee en el

					espectrofotómetro a 425 nm.
Cloruros	Volumétrico	Los cloruros se pueden determinar en una solución neutra ligeramente alcalina mediante titulación con nitrato de plata, usando como indicador cromato de potasio.	$Cl^- = \frac{V_{AgNO_3} * N_{AgNO_3} * Pm_{Cl} * 1000}{V_{muestra}}$	mg/l	A 25 ml de muestra se añaden 4 gotas de K_2CrO_4 , se titula con $AgNO_3$ (amarillo a ladrillo).
Fluoruros	Espectrofotométrico	Las aguas subterráneas presentan más cantidad de fluor que las superficiales, por los gases volcánicos y las rocas. Dentro de los límites previene la caries dental, pero cuando presenta alteraciones afecta a la estructura ósea.	Lectura directa	mg/l	Colocar 10 ml de muestra en la celda, agregar los reactivos y leer los resultados.
Plomo	Espectrofotométrico	En aguas subterráneas es común encontrar este metal pesado, debido a que existe en forma natural en las rocas y en el suelo, además los accesorios de plomo pueden ser otra fuente de contaminación del metal en el agua.	Lectura directa	mg/l	Se agregan a la muestra las soluciones, se espera 30 minutos y se coloca el agua en la celda para medir la cantidad de plomo a una longitud de onda de 410nm.
Dureza total	Volumétrico	Se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio presentes en el agua como carbonatos de calcio y magnesio.	$D = \frac{V_{EDTA} * C_{EDTA} * Pm_{CaCO_3} * 1000}{V_{muestra}}$	mg/l	A 25 ml de muestra se añaden: 1ml de KCN, 2 ml de solución buffer pH 10, una pizca de negro de eriocromo T y se titula con EDTA (rojo a azul)
Dureza cálcica	Volumétrico	Las sales de calcio contribuyen a la dureza total del agua.	$Ca = \frac{V_{EDTA} * C_{EDTA} * Pm_{Ca} * 1000}{V_{muestra}}$	mg/l	A 25 ml de muestra se añaden: 1ml de KCN, 1 ml de NaOH, una pizca de Murexida y se titula con EDTA (rosado a lila).
Alcalinidad	Volumétrico	Es la capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. La alcalinidad se debe al contenido de carbonatos,	$ALC = \frac{V_{H_2SO_4} * N_{H_2SO_4} * Eq_{CaCO_3} * 1000}{V_m}$	mg/l	A 25 ml de muestra se añaden: 2 gotas de fenolftaleína, se titula con H_2SO_4 hasta

		bicarbonatos e hidróxidos.			incolores, se añaden 3 gotas de naranja de metilo y se vuelve a titular con H_2SO_4 (naranja a rosado)
Hierro	Espectrofotométrico	El hierro se encuentra principalmente en aguas subterráneas, en cantidades apreciables, está presente como Fe^{2+} creando problemas en suministros de agua.	Lectura directa	mg/l	Colocar 10 ml de muestra en la celda, agregar los reactivos y leer los resultados.
Coliformes totales	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.	Lectura directa	UFC/100 ml	-----

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

2.4. Datos experimentales

2.4.1. Medida de caudal

La medida de caudal se realizó a la llegada del agua a la planta, se recogió el agua en un recipiente de 20 litros y con la ayuda del cronómetro se midió el tiempo en el que se demora en llenar el balde, los datos se muestran a continuación:

Tabla 2.4. Medida de caudal

	Volumen (l)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)	Caudal promedio (l/s)
1	20	6,59	3,03	3,01
2	20	6,49	3,08	
3	20	6,54	3,06	
4	20	7,00	2,86	

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

2.4.2. Caracterización del agua en condiciones de diagnóstico

La caracterización del agua se hizo cuando el agua llega de la captación, es decir antes del sedimentador, y luego de la cloración, cuando está en los tanques de almacenamiento para ser distribuida a los hogares.

Tabla 2.5. Caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda

PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRAS							
		1		2		3		Promedio	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE NORMA NTE INEN 1108:2011
		ENTRADA	DESCARGA	ENTRADA	DESCARGA	ENTRADA	DESCARGA		
Ph	[H ⁺]	7,92	8,19	7,56	7,77	7,92	8,07	7,43	6,5-8,5
Conductividad	μS/cm	601	602	544	546	503	526	530	<1250
Turbiedad	FTU-NTU	0,75	0,61	4,10	2,60	2,40	1,62	2,33	5
Color	Upt-co	10	12	10	10	10	12	12	15
Sólidos totales	mg/l	68	56	60	56	63	56	57,98	1000
Sólidos suspendidos	mg/l	3	2	7,50	4,50	.....	.....	4,83	500
Sulfatos	mg/l	20	19	21	19	45	43	29,59	200
Fosfatos	mg/l	2,23	1,76	1,89	1,55	1,17	1,01	1,63	0,30
Nitratos	mg/l	3,20	3,80	2,30	1,80	2,70	2,20	2,26	40
Nitritos	mg/l	0,06	0,08	0,025	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,14	0,10	0,53	0,04	0,04	0,04	0,17	0,50
Cloruros	mg/l	1	1,30	1,42	0,80	1,42	1,42	1,30	250
Fluoruros	mg/l	0,01	0,01	1,27	1,03	1,27	1,32	1,13	1,50

Plomo	mg/l	0,07	0,05	.....	.....	0,03	0,02	0,05	0,01
Dureza cálcica	mg/l (CaCO ₃) / l	35,20	25,60	32,05	32,05	32,06	32,06	29,48	70
Dureza total	mg/l (CaCO ₃) / l	116	108	216	224	216	224	200,80	300
Alcalinidad	mg/l	.....	.....	280	270	260	250	247,50	250-300
Hierro	mg/l	0,04	0,03	0,16	0,05	0,07	0,05	0,09	0.3
Coliformes totales	UFC/100 ml	<2	<2	.....	.....	.....	.....		<2
Coliformes fecales	UFC/100 ml	<2	<2	.....	.....	.....	.....		<2

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

2.4.3. Parámetros fuera de norma

Una vez que se realizó la caracterización del agua de la planta San Juan alto del cantón Guamote, se comparó con los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos” y se identificaron dos parámetros químicos fuera de norma, siendo éstos: plomo y fosfatos.

Tabla 2.6. Parámetros fuera de los límites máximos permisibles

Parámetros	MUESTRAS					Promedio	Límite permisible
	1	2	3	4	5		
	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada		
Fosfatos (mg/l)	2,23	1,36	1,51	1,89	1,17	1,63	0,3
Plomo (mg/l)	0,07	.....	0,05	.....	0,03	0,05	0,01

Elaborado por. María Augusta Guadalupe

Gráfico 2.1. PARÁMETROS FUERA DE NORMA

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

CAPÍTULO III

3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1. Cálculos

3.1.1. Pruebas de tratabilidad

Luego de determinar los parámetros que se encuentran fuera de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable.Requisitos”, se realizó varias pruebas de tratabilidad del agua en el laboratorio de Análisis Técnicos, para obtener el tratamiento más adecuado para la optimización de la planta San Juan Alto del cantón Guamote, de esta manera se tendrá un agua de buena calidad que abastecerá a los moradores de los barrios a donde llega ésta.

La conocida prueba de jarras se efectuó durante la tratabilidad del agua, con un coagulante/floculante como es el policloruro de aluminio se logró la remoción de plomo y fosfatos; además se disminuyeron los valores de otros parámetros especialmente turbiedad y color que a simple vista son observados en el agua.

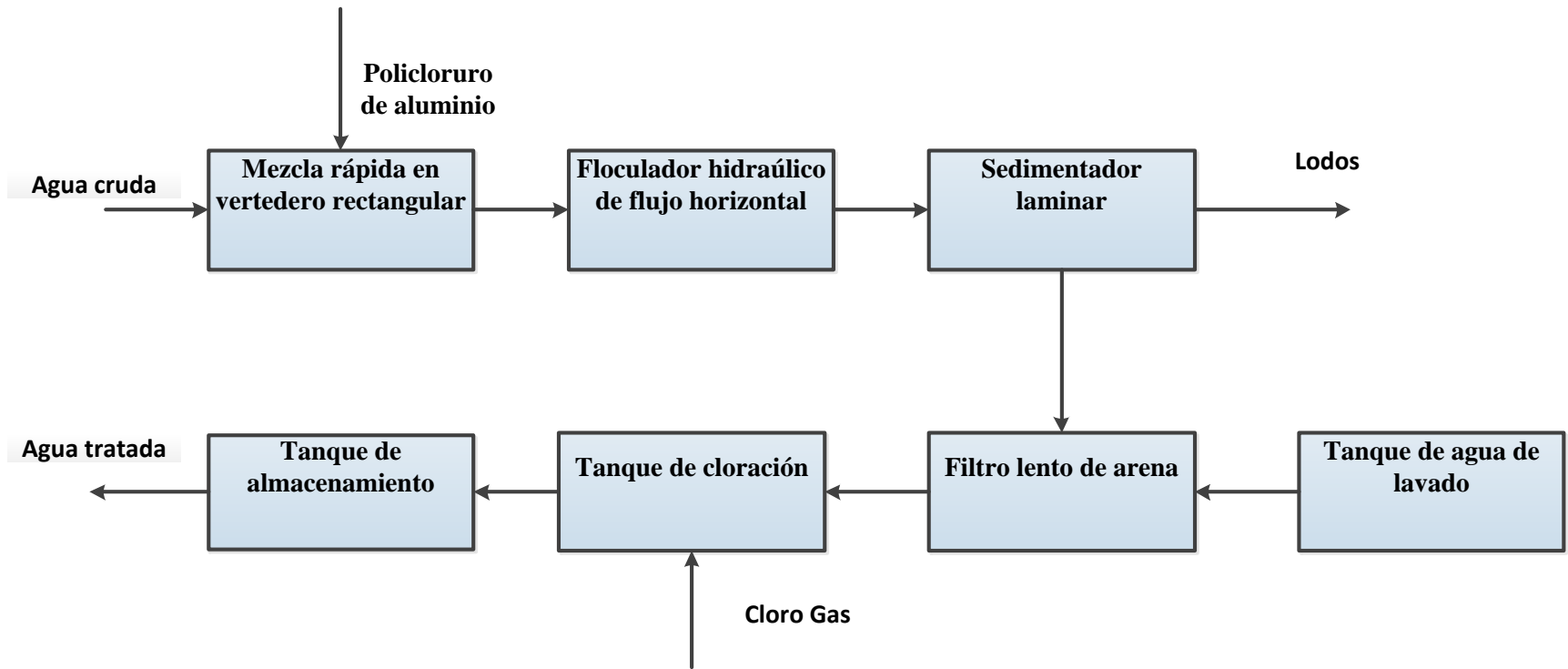
3.1.1.1. Prueba de jarras utilizando policloruro de aluminio

Para la prueba de jarras se prepararon soluciones de diferentes concentraciones de PAC, se tomaron distintos volúmenes de cada una y se agregó a un litro de agua cruda hasta encontrar la dosis adecuada para mantener todos los parámetros dentro de norma.

La concentración adecuada fue la de 80 ppm, agregando 8ml en un litro de agua a tratar, esta dosificación se considera un poco elevada, pero gracias a ésta los dos parámetros fuera de norma como son los fosfatos y el plomo se ajustaron y al tener un caudal bajo el costo diario de coagulante es relativamente bajo, además es importante mencionar que el color, turbiedad y ph considerados de gran importancia al usar este tipo de tratamiento no fueron alterados.

La tratabilidad del agua con policloruro de aluminio se realizó en dos muestras tomadas en diferentes días, muestra 1 y muestra 2.

3.1.2. Propuesta de optimización de la Planta de potabilización de agua



3.1.3. Dimensionamiento de las etapas de potabilización

3.1.3.1. Población de diseño

En la actualidad los beneficiarios de esta agua son 2360 habitantes del cantón, si se realiza la proyección de población para 20 años los resultados de caudal serán muy grandes y se debe considerar que con el tiempo el caudal solamente se logrará duplicar porque no existen fuentes para abastecer como se esperaría, es por eso que el valor de caudal máximo diario se asume que será de 7 l/s, con esto se estimará la población y los años de crecimiento de ésta.

3.1.3.1.1. Dotación neta

La dotación neta depende del nivel de complejidad del sistema, para esto empleamos la tabla 1.4. De acuerdo a la proyección de la población el nivel de complejidad del sistema es medio.

Nivel de Complejidad	Dotación neta mínima l/hab*día	Dotación neta máxima l/hab*día
Bajo	100	150
Medio	120	170
Medio Alto	130	-
Alto	150	-

3.1.3.1.2. Dotación bruta

Para el cálculo de la dotación bruta usamos la dotación neta y el porcentaje máximo admisible de pérdidas técnicas que se encuentra en la tabla 1.5.

Nivel de Complejidad	% Máximo admisible de pérdidas técnicas
Bajo	40
Medio	30
Medio Alto	25
Alto	20

A partir del nivel de complejidad del sistema se escoge el porcentaje de pérdidas técnicas que es del 30% y se calcula la dotación bruta a partir de la Ec.1.2.

$$\text{Dotación bruta} = \frac{\text{Dotación neta}}{1 - \text{pérdidas técnicas}}$$

$$\text{Dotación bruta} = \frac{120}{1 - 0,40}$$

$$\text{Dotación bruta} = 171,43 \frac{l}{\text{hab día}}$$

3.1.3.1.3. Caudal medio diario

Para el cálculo del caudal medio diario usamos la Ec.1.4., asumiendo que el caudal máximo diario será de 7 l/s, el valor de K_1 corresponde al valor de consumo máximo diario de la tabla 1.6 de acuerdo al nivel de complejidad del sistema.

Nivel de Complejidad	K_1
Bajo	1,3
Medio	1,3
Medio Alto	1,2
Alto	1,2

$$Q_{Md} = \frac{K_1 * Q_{md}}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{Q_{Md} * 86400}{K_1}$$

$$Q_{md} = \frac{7 * 86400}{1.3}$$

$$Q_{md} = 465231 \frac{l}{d}$$

3.1.3.1.4. Población futura

Para predecir cuál será la población futura que va a ser beneficiada con el caudal máximo diario asumido usamos la Ec.1.3.

$$Q_{md} = P_f * \text{Dotación bruta}$$

$$P_f = \frac{Q_{md}}{\text{Dotación bruta}}$$

$$P_f = \frac{465231}{171,43}$$

$$P_f = 2714 \text{ hab}$$

3.1.3.1.5. Intervalo de tiempo

La tasa de crecimiento anual (2,76%) se obtiene del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, información que fue proporcionada en el GAD Municipal de Guamate.

Para saber el número de años en el que vamos a tener la población estimada usamos la Ec.1.1.

$$P_f = P_a(1 + r)^{n_t}$$

$$n_t = \frac{\log P_f - \log P_a}{\log(1 + r)}$$

$$n_t = \frac{\log(2714) - \log(2360)}{\log(1 + 0,0276)}$$

$$n_t = 5,07 \text{ años} \cong 5 \text{ años}$$

3.1.3.2. Vertedero rectangular

El vertedero rectangular será construido de hormigón y diseñado para un caudal de 7 l/s, esta operación nos permitirá dispersar de manera correcta el policloruro de aluminio en el agua.

3.1.3.2.1. Canal de vertedero

De acuerdo a los parámetros establecidos en el capítulo de estructuras hidráulicas, educación virtual, Universidad Nacional de Colombia, la carga sobre el vertedero, H, es de 0,05 m como mínimo, que se usa para caudales bajos. Al diseñar las operaciones para un caudal de 7 l/s se asume para H valor de 0,06 m.

La profundidad del canal del vertedero con un factor de seguridad del 10% se calcula con la Ec.1.5.

$$C_v = f_s * H$$

$$C_v = 1,10(0,06)$$

$$C_v = 0,066m = 1m$$

Se aproxima a 1 m el valor de la profundidad del canal para que el agua tenga buena caída, se genere turbulencia y se pueda tener una buena mezcla del coagulante.

3.1.3.2.2. Ancho del vertedero

El ancho del vertedero se calcula según la Ec.1.6.

$$B = 1,84BH^{\frac{3}{2}}$$

$$B = \frac{Q}{1,84BH^{\frac{3}{2}}}$$

$$B = \frac{7 * 10^{-3}}{1,84(0,05)^{\frac{3}{2}}}$$

$$B = 0,34m$$

3.1.3.2.3. Caudal por unidad de ancho

El caudal por unidad del ancho viene dado por la Ec.1.7.

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

$$q = \frac{7 * 10^{-3}}{0,34}$$

$$q = 0,021 \text{ m}^2/\text{s}$$

3.1.3.2.4. Profundidad crítica de flujo

La profundidad crítica de flujo se calcula por la Ec.1.8.

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

$$h_c = \left(\frac{0,021^2}{9,8} \right)^{1/3}$$

$$h_c = 0,036 \text{ m}$$

3.1.3.2.5. Longitud del salto

La altura de la pared del vertedero, P, será de 0,60 m para que se dé un resalto estable y una mezcla eficiente, de esta manera el número de Froude calculado en el literal 3.1.3.2.8 estará comprendido entre 4,5 y 9.

Por lo tanto, la longitud del salto será, según la Ec.1.9.

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

$$L_m = 4,3 (0,60)^{0,1} (0,036)^{0,9}$$

$$L_m = 0,21 \text{ m}$$

3.1.3.2.6. Profundidad supercrítica

También llamada altura del agua después del salto, se calcula mediante la Ec.1.10.

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

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{0,60}{0,036} + 1,5}} * 0,036$$

$$h_1 = 9,57 * 10^{-3} \text{ m}$$

3.1.3.2.7. Velocidad del agua en el salto

La velocidad del agua en el salto será, según la Ec.1.1.

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$
$$v_1 = \frac{0,021}{9,57 * 10^{-3}}$$
$$v_1 = 2,20m/s$$

3.1.3.2.8. Número de Froude

Para que haya resalto y el químico se mezcle eficientemente, el número de Froude será, según la Ec.1.12.

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$
$$F = \frac{2,20}{\sqrt{9,8 * 9,57 * 10^{-3}}}$$
$$F = 7,18$$

3.1.3.2.9. Profundidad subcrítica

La profundidad subcrítica o altura del agua después del resalto se calcula con la Ec.1.13.

$$h_2 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8F^2} - 1) h_1$$
$$h_2 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8(7,18)^2} - 1) 9,57 * 10^{-3}$$
$$h_2 = 0,093m$$

3.1.3.2.10. Velocidad del agua en el resalto

La velocidad del agua en el resalto será según la Ec.1.14.

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

$$v_2 = \frac{0,021}{0,093}$$

$$v_2 = 0,23m/s$$

3.1.3.2.11. Pérdida de energía en el resalto

La pérdida de energía en el resalto será, según la Ec.1.15.

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

$$h = \frac{(0,093 - 9,57 * 10^{-3})^3}{4(9,57 * 10^{-3})(0,093)}$$

$$h = 0,168m$$

3.1.3.2.12. Longitud del resalto, para resalto estable

Para resalto estable según el número de Froude, la longitud del resalto será, según la Ec.1.16.

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

$$L_j = 6(0,093 - 9,57 * 10^{-3})$$

$$L_j = 0,50m$$

3.1.3.2.13. Velocidad media en el resalto

La velocidad media en el resalto será según la Ec.1.17.

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$v_m = \frac{2,20 + 0,23}{2}$$

$$v_m = 1,22m/s$$

3.1.3.2.14. Tiempo de mezcla

El tiempo de mezcla rápida será, según la Ec.1.18.

$$t = \frac{L_j}{v_m}$$

$$t = \frac{0,50}{1,22}$$

$$t = 0,41s$$

3.1.3.2.15. Gradiente de velocidad

El peso específico y la viscosidad dinámica del agua se obtienen del Anexo IX a una temperatura de 10°C.

Por lo tanto el gradiente de velocidad será, según la Ec 1.19.

Datos:

$$r = 9,804KN/m^3$$

$$u = 1,307 * 10^{-3} Pa.s$$

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

$$G = \sqrt{\frac{9804 * 0,16}{1,307 * 10^{-3} * 0,41}}$$

$$G = 1710,93s^{-1}$$

3.1.3.3. Floculador

Después de que el policloruro de aluminio se ha mezclado en el agua, las partículas difíciles de sedimentar empiezan a adherirse y aglutinarse formando flocs. Para que éstos flocs adquieran el tamaño y peso que les permita sedimentar, el agua es sometida a un agitación lenta, en un tanque de hormigón y será diseñado para un caudal de 7l/s.

además para el paso del mezclador al floculador no se requiere de canales ni interconexiones es decir, será instantáneo.

3.1.3.3.1. Distancia total recorrida por el agua

La velocidad de flujo v , será la velocidad con la que el agua sale del vertedero rectangular, calculado en el literal 3.2.2.10 ,y el tiempo de mezcla t se obtiene a partir de los parámetros de la tabla 1.7, considerando la velocidad de flujo y tiempo experimental que se obtuvo en la prueba de jarras.

Por lo tanto, la distancia total recorrida por el agua será, según la Ec.1.20.

Datos:

$$v = 0,23 \text{ m/s}$$

$$t = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}$$

$$L = v * t$$

$$L = 0,23 * 1200$$

$$L = 276\text{m}$$

3.1.3.3.2. Volumen de agua

El volumen de agua que se mezclará en cada período t de 20 minutos será, según la Ec.1.21.

$$V = Q * t$$

$$V = (7 * 10^{-3})(1200)$$

$$V = 8,4\text{m}^3$$

3.1.3.3.3. .Sección transversal de los canales

La sección o área transversal requerida de un canal entre bafles será, según la Ec.1.22.

$$A = \frac{Q}{v}$$
$$A = \frac{7 * 10^{-3}}{0,23}$$
$$A = 0,030\text{m}^2$$

3.1.3.3.4. Profundidad del agua

Para una distancia entre baffles, $a = 0,15m$; considerando que el caudal de diseño no es alto, la profundidad del agua será, según la Ec.1.23.

Datos:

$$a = 0,15m$$

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

$$d = \frac{0,030}{0,15}$$

$$d = 0,20m$$

Para un factor de seguridad del 10%, la profundidad total del tanque será:

$$Z_{zf} = d * fs$$

$$Z_{zf} = 0,20 * 1 * 10$$

$$Z_{zf} = 0,22 m$$

3.1.3.3.5. Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque

El espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque será, según la Ec.1.24.

$$e = 1,5 a$$

$$e = 1,5 (0,15)$$

$$e = 0,23m = 0,30m$$

3.1.3.3.6. Longitud efectiva de cada canal

Para un ancho ideal de la cámara de floculación, B_F , de 4m, la longitud efectiva de cada canal será, según la Ec.1.25.

$$l = B_F - e$$

$$l = 4 - 0,30$$

$$l = 3,70m$$

3.1.3.3.7. Numero requerido de canales

El número requerido de canales se determinará con la Ec.1.26.

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

$$N = \frac{276}{3,70}$$

$$N = 75 \text{canales (74 tabiques)}$$

3.1.3.3.8. Longitud total de la cámara de floculación

Escogiendo un espesor de cada tabique, $b = 3$ cm; la longitud total de la cámara de floculación se calculará según la Ec.1.27.

$$L_T = N a + (N - 1)b$$

$$L_T = 75 * 0,15 + (75 - 1)0,03$$

$$L_T = 13,47m$$

La longitud que recorrerá el agua en el tanque de floculación es considerable, por esta razón, para asegurar el paso del fluido por todos los tabiques y tener una velocidad constante, la inclinación de la cámara será de 3° .

3.1.3.3.9. Radio hidráulico

El radio hidráulico será, según la Ec.1.28.

$$R = \frac{A}{2d + a}$$

$$R = \frac{0,030}{2(0,20) + 0,15}$$

$$R = 0,055 m$$

3.1.3.3.10. Pérdidas por fricción en el tanque

Las pérdidas por fricción en el tanque se calculan a partir de la Ec.1.29, para lo cual el coeficiente de rugosidad de Manning, n , para el cemento se obtiene a partir del Anexo VIII.

$$h_f = \frac{(vn)^2}{R^{4/3}} L$$
$$h_f = \frac{(0,23 * 0,013)^2}{0,055^{4/3}} * 264$$
$$h_f = 0,11 m$$

3.1.3.3.11. Pérdidas adicionales

Las pérdidas adicionales se obtienen a partir de la Ec.1.30.

$$h_a = k(N - 1) \frac{v^2}{2g}$$
$$h_a = 3(75 - 1) * \frac{0,23^2}{2(9,8)}$$
$$h_a = 0,60m$$

3.1.3.3.12. Pérdidas totales

La pérdida de energía total será, según la Ec.1.31.

$$h_T = h_f + h_a$$
$$h_T = (0,11 + 0,60)m$$
$$h_T = 0,71m$$

3.1.3.3.13. Gradiente de velocidad

El peso específico y la viscosidad dinámica del agua se obtienen a partir del Anexo IX a una temperatura de 10°C.

Por lo tanto, el gradiente de velocidad será, según la Ec.1.32.

Datos:

$$\gamma = 9804 \text{ N/m}^3$$

$$u = 1,307 * 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h_T}{\mu t}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9804 * 0,71}{1,307 * 10^{-3} + 1200}}$$

$$G = 66,62 \text{ s}^{-1}$$

3.1.3.3.14. Número adimensional de camp

El número adimensional de Camp se determina mediante la Ec.1.33.

$$G_t = G * t$$

$$G_t = 66,62 * 1200$$

$$G_t = 79,944$$

El gradiente de velocidad y el número adimensional de Camp se toman como referencia para comparar con los valores de la tabla 1.6, lo cual indica que el diseño del floculador es correcto.

3.1.3.3.15. Dosificación del policloruro de aluminio

La dosificación del policloruro de aluminio se llevará a cabo por vía húmeda, empleando una bomba dosificadora. Gracias a la prueba de jarras realizada se determinó que la solución de PAC a usar es al 1%.

Por lo tanto la cantidad de policloruro a usar por día será:

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

Datos:

Q: Caudal de diseño (25,2 m³/h)

C: Concentración acorde al test de jarras (80ppm)

P: Porcentaje de dilución (1%)

ρ : Densidad del PAC a 15 C(1,19 Kg/l)

$$x = \frac{25,2 * 80}{60 * 1 * 1,19}$$

$$x = 28,23 \text{ ml/min}$$

La planta de tratamiento trabaja 8 horas al día, por lo tanto, mediante conversión se tiene:

$$x = \frac{28,23 * 60 * 8}{1000}$$

$$x = 13,55 \text{ l/d} = 16,12 \text{ kg/d}$$

3.1.3.4. Sedimentador laminar

El sedimentador laminar se construirá de hormigón, las placas del interior del tanque serán prefabricadas de ABS y el caudal de diseño será de 7 l/s.

3.1.3.4.1. Carga superficial

El tiempo de retención en las placas, t_{rp} , y la longitud de las placas, l_p , se obtienen a partir de los parámetros de diseño de las tablas 1.10 y 1.11 respectivamente.

Por lo tanto, la carga superficial después de instalar las placas se determina mediante la Ec.1.34.

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

$$v_{so} = \frac{1,20}{20}$$

$$v_{so} = 0,06 \text{ m/min} = 28,8 \text{ m/d}$$

3.13.4.2. Área de sedimentación acelerada

El ángulo de inclinación de las placas, θ , se obtiene a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.10.

Por lo tanto, el área de sedimentación acelerada será, según la Ec.1.35.

Datos:

$$\theta = 60^{\circ}$$

$$A_s = \frac{Q}{v_{so} \sin \theta}$$

$$A_s = \frac{201,6}{28,8 \sin 60^{\circ}}$$

$$A_s = 7m^2$$

3.1.3.4.3. Longitud del área de sedimentación acelerada

A partir de la tabla 1.11 se obtiene el ancho del sedimentador, entonces, la longitud del área de sedimentación será, según la Ec.1.36.

Datos:

$$B_s = 2,40m$$

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

$$L_s = \frac{7}{2,40}$$

$$L_s = 3m$$

3.1.3.4.4. Longitud relativa del sedimentador

La distancia entre placas e_p y la longitud de las placas l_p , se obtienen a partir de las tablas 1.10 y 1.11 respectivamente.

Por lo tanto la longitud relativa del sedimentador será, según la Ec.1.37.

Datos:

$$l_p = 1,20m$$

$$e_p = 0,05m$$

$$L_r = \frac{l_p}{e_p}$$

$$L_r = \frac{1,20}{0,05}$$

$$L_r = 24$$

3.1.3.4.5. Longitud relativa en la región de transición

La distancia entre placas, e_p , y la viscosidad cinemática del agua, ν , se obtienen de la tabla 1.10 y el Anexo IX respectivamente.

Por lo tanto la longitud relativa en la región de transición será, según la Ec.1.38.

Datos:

$$e_p = 0,05m$$

$$\nu = 1,30 * 10^{-6} m^2/s$$

$$L' = 0,013 \frac{\nu_{so} * e_p}{\nu}$$

$$L' = 0,013 \frac{(1 * 10^{-3}) * 0,05}{1,307 * 10^{-6}}$$

$$L' = 0,50$$

3.1.3.4.6. Longitud relativa corregida

Debido a que $L' \leq L_r/2$, la longitud relativa corregida en la longitud de transición, según la Ec.1.40., será:

$$L_C \leq L_r/2$$

$$L_C = L_r - L'$$

$$L_C = 24 - 0,50$$

$$L_C = 23,50$$

3.1.3.4.7. Velocidad crítica de sedimentación

El ángulo de inclinación, θ , y el valor de S según el tipo de módulo se obtienen de las tablas 1.10 y 1.11 respectivamente.

Por lo tanto, la velocidad crítica de sedimentación se calcula mediante la Ec.1.41.

$$v_{sc} = \frac{S * v_{so}}{\text{sen}\theta + L_r \text{cos}\theta}$$
$$v_{sc} = \frac{1 * 28,8}{\text{sen}60^0 + 24\text{cos}60^0}$$
$$v_{sc} = 2,24\text{m/d}$$

3.1.3.4.8. Número de Reynolds

La distancia entre placas, e_p , y la viscosidad cinemática del agua, ν , a 10°C , se obtienen de la tabla 1.10 y el Anexo IX respectivamente.

Para verificar que en el sedimentador se dé un flujo laminar se determina el Número de Reynolds con la Ec.1.42.

Datos:

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

$$\nu = 1,30 * 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$$

$$N_{Re} = \frac{v_{so} * e_p}{\nu}$$
$$N_{Re} = \frac{1 * 10^{-3} * 0,05}{1,306 * 10^{-3}}$$
$$N_{Re} = 38,28$$

3.1.3.4.9. Volumen del sedimentador

La altura del sedimentador, Z_s , se obtiene a partir de la tabla 1.10. Por lo tanto el volumen del sedimentador será, según la Ec.1.43.

Datos:

$$Z_s = 3\text{m}$$

$$V_{Ts} = L_s * B_s * Z_s$$
$$V_{Ts} = 3 * 2,40 * 3$$

$$V_{Ts} = 21,6m^3$$

3.1.3.4.10. Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

El tiempo de retención en el tanque de sedimentación se obtiene mediante la Ec.1.44.

$$t_{rs} = \frac{V_{Ts}}{Q}$$

$$t_{rs} = \frac{21,6}{6 * 10^{-3}}$$

$$t_{rs} = 3600 s$$

$$t_{rs} = 60min$$

3.1.3.4.11. Número de placas

La inclinación de las placas, θ , y la distancia entre las mismas, e_p , se obtienen a partir de la tabla 1.10; mientras que, la longitud y el espesor de las placas se encuentran en la tabla 1.11.

Por lo tanto, el número de placas será, según la Ec.1.45.

Datos:

$$e_p = 0,05m$$

$$l_p = 1,20m$$

$$\theta = 60$$

$$b_p = 0,01m$$

$$N_p = \frac{(L_s - l_p \cos \theta) \text{sen} \theta + e_p}{e_p + b_p}$$

$$N_p = \frac{(3 - 1,20 \cos 60) \text{sen} 60 + 0,05}{0,05 + 0,01}$$

$$N_p = 35,47 \text{ placas} = 36 \text{ placas}$$

3.1.3.5. Filtro lento de arena

El filtro lento de arena será construido de hormigón y el caudal de diseño es 7 l/s. En esta etapa se removerán las partículas que no sedimentaron en la operación anterior.

3.1.3.5.1. Número de filtros

De acuerdo a la Ec.1.46., el número de filtros será.

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

$$n_f = 0,044 \sqrt{201,6}$$

$$n_f = 0,65 = 1 \text{ filtro}$$

Para toda planta de tratamiento de agua es recomendable instalar dos filtros para que facilite el mantenimiento y mientras al uno lo limpien el otro esté funcionando.

$$n_f = 2 \text{ filtros}$$

3.1.3.5.2. Área del filtro

La tasa de filtración, se obtiene a partir de la tabla 1.13 que corresponde a los parámetros de diseño. El área del filtro será, según la Ec.1.47.

$$A_f = \frac{Q}{\text{tasa de filtración}}$$

$$A_f = \frac{201,6}{7}$$

$$A_f = 28,8m^2$$

3.1.3.5.3. Coeficiente de mínimo costo

El coeficiente de mínimo costo será, según la Ec.1.49.

$$K_c = \frac{2n_f}{n_f + 1}$$

$$K_c = \frac{2(2)}{2 + 1}$$

$$K_c = 1,33$$

3.1.3.5.4. Longitud del filtro

La longitud del filtro se determina mediante la Ec.1.50.

$$L_f = \sqrt{A_f * K_c}$$

$$L_f = \sqrt{28,8 * 1,3}$$

$$L_f = 6,11m$$

3.1.3.5.5. Ancho del filtro

De acuerdo a la Ec.1.51., el ancho del filtro será:

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{K_c}}$$

$$a_f = \sqrt{\frac{28,8}{1,33}}$$

$$a_f = 4,7m$$

3.1.3.5.6. Altura del filtro

La altura de la capa de agua, la altura del lecho filtrante, la altura de la capa de soporte y la altura del drenaje del sistema se obtienen de la tabla 1.13. por lo tanto la altura del filtro se calcula con un factor de seguridad del 10% según la Ec.1.52.

Datos:

$$C_a = 1 \text{ m}$$

$$L_a = 0,8m$$

$$C_s = 0,30m$$

$$F_c = 0,7m$$

$$f_s = 10\%$$

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

$$Z_f = 1,10(1 + 0,8 + 0,30 + 0,7)$$

$$Z_f = 3,08m$$

3.1.3.5.7. Sistema de drenaje

3.1.3.5.7.1. Área de los orificios laterales

En la tabla 1.14 se encuentra el diámetro de los orificios de los laterales, entonces, el área de los mismos será, según la Ec.1.53.

Datos:

$$D_o = 3 \text{ mm}$$

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi(0,003)^2}{4}$$

$$A_o = 7,06 * 10^{-6} m^2$$

$$A_o = 0,071 cm^2$$

3.1.3.5.7.2. Caudal que ingresa a cada orificio

A partir de la tabla 1.14 se obtiene la velocidad en el orificio, por lo tanto, el caudal que ingresa en cada orificio será, según la Ec.1.54.

Datos:

$$v_o = 0,3 \text{ m/s}$$

$$Q_o = A_o v_o$$

$$Q_o = (7,06 * 10^{-6})(0,3)$$

$$Q_o = 2,12 * 10^{-6} m^3/s$$

3.1.3.5.7.3. Número de laterales

La separación entre laterales, e_L , se obtiene en la tabla 1.14. El número de laterales será, según la Ec.1.55.

Datos:

$$e_L = 2\text{m}$$

$$N_L = n_L \frac{L_f}{e_L}$$

$$N_L = 2 * \frac{6,6}{2}$$

$$N_L = 6,6 = 7 \text{laterales}$$

3.1.3.5.7.4. Diámetro de la tubería de entrada al filtro

La velocidad del agua a través de la tubería de entrada, v_e , se obtiene a partir de la tabla 1.15 que corresponde a los parámetros de diseño.

El diámetro de la tubería de entrada al filtro será, según la Ec.1.56.

Datos:

$$v_e = 1,6 \text{ m/s}$$

$$D_T = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$$

$$D_T = \sqrt{\frac{4(7 * 10^{-3})}{\pi(1,6)}}$$

$$D_T = 0,075\text{m}$$

3.1.3.5.7.5. Diámetro de la tubería de salida del filtro

La velocidad del agua a través de la tubería de salida, v_s , se obtiene a partir de la tabla 1.15 que corresponde a los parámetros de diseño.

El diámetro de la tubería de salida del filtro será, según la Ec.1.57.

Datos:

$$v_s = 0,7 \text{ m/s}$$

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

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4(7 * 10^{-3})}{\pi(0,7)}}$$

$$D_{Ts} = 0,11m$$

3.1.3.5.7.6. Velocidad óptima de lavado del filtro

El tamaño efectivo del medio, TE, y el coeficiente de uniformidad, CU, se obtienen de la tabla 1.13.

Por lo tanto la velocidad óptima de lavado del filtro será, según la Ec.1.58.

Datos:

$$CU = 1,9$$

$$TE = 0,30m$$

$$v_l = CU * TE$$

$$v_l = (1,9)(0,30)$$

$$v_l = 0,57m/min$$

3.1.3.5.7.7. Cantidad de agua para el lavado del filtro

El tiempo de lavado, t_l , se obtiene de la tabla 1.13. la cantidad que se va usar para el lavado del filtro será, según la Ec.1.59.

Datos:

$$t_l = 15 \text{ min}$$

$$V_l = v_l A_f t_l$$

$$V_l = (0,57)(28,8)(15)$$

$$V_l = 246,24m^3$$

3.1.4. Requerimiento presupuestario

3.1.4.1. Costos de inversión

Tabla 3.1. Costos de equipos y accesorios

# unidades	Ítems		Material	Capacidad/ dimensiones	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
1	Vertedero	Estructura	Hormigón armado	0,072 m ³	250,00 /m ³	18,00
		Bomba dosificadora	.....	.....	.....	585,00
1	Floculador horizontal de tabiques		Hormigón armado	13,50 m ³	250,00 /m ³	3375,00
1	Sedimentador de placas planas	Estructura	Hormigón armado	21,6 m ³	250,00 / m ³	5400,00
		Placas planas	ABS	103,68 m ²	500 /m ²	7776,00
2	Filtros lentos	Estructura	Hormigón armado	176,89 m ³	250,00 /m ³	44224,18
		Grava media (2-3cm)	.....	17,23 m ³	20,00 /m ³	344,60
		Arena media (0,25-0,50 cm)	.....	22,97 m ³	50,00 /m ³	2297,00
1	Tanque lavado del filtro		Hormigón	1 m ³	180,00 /m ³	180,00

		simple			
1	Tanque almacenamiento solución de PAC	Hormigón simple	0,50 m ³	180,00 /m ³	90,00
3 m	Tubería	PVC	2 plg	2,32 /m	6,95
3 m	Tubería	PVC	3 plg	2,42 /m	7,26
6 m	Tubería	PVC	4 plg	3,79 /m	22,75
1	Codos 90	PVC	2 plg	4	4
1	Codos 90	PVC	4 plg	9,80	9,80
1	T	PVC	3 plg	4,20	4,20
1	Válvula de bola	PVC	2 plg	2	2
1	Válvula de bola	PVC	3 plg	3	3
1	Válvula de bola	PVC	4 plg	4	4

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.1.4.2. Costos de operación

3.1.4.2.1. Costos de operación al día

Tabla 3.2. Costos de operación al día

REQUERIMIENTO	DOSIS	PRESENTACIÓN	COSTO POR PRESENTACIÓN (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Policloruro de aluminio (PAC)	16,12 kg/d	Sacos de 120 kg	134,40	18,05

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.1.4.2.2. Salario operadores

Tabla 3.3. Salario de operadores

# Operadores	2
Sueldo unitario (\$)	600
Sueldo total (\$)	1200

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.1.4.2.3. Costos totales

Tabla 3.4. Costos totales

ÍTEMS	COSTOS (\$)
Costos de inversión	64400
Mano de obra	4000
Instalación hidráulica	1000
Imprevistos	3470
TOTAL	72870

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.2. Resultados

3.2.1. Resultados de la tratabilidad

Tabla 3.5. Tratabilidad del agua

MUESTRA	Volumen de agua (L)	Solución PAC ml (80ppm)	Plomo (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	pH	Turbiedad	Color
1	1	2	.....	1,06	7,17	3,3	5
	1	5	.....	0,51	7,23	1,7	0
	1	10	.....	0,25	7,37	1,3	0
2	1	8	0,01	0,28	7,31	1,3	0
			0,01	0,24	7,15	0,8	0
	1	10	.....	0,30	7,44	1,4	0
	1	12	.....	0,29	7,37	1,3	0

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.2.2. Resultados de los análisis físico-químicos del agua cruda y tratada

Para asegurarnos que los demás parámetros no están fuera de los límites permisibles al añadir el PAC se realizaron los análisis físico-químicos completos que requiere el agua potable, se pudo observar que los sulfatos y nitratos luego del tratamiento tienen valores más altos en comparación al valor antes de añadir el químico, sin embargo no están fuera de lo establecido en la norma. Los demás resultados muestran que al dosificar este coagulante/floculante disminuyen la mayoría de los valores de los parámetros importantes en agua potable, lo que nos indica que vamos a tener un agua de calidad para distribuir a la población.

Tabla 3.6. Caracterización del agua cruda y tratada

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS		Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2011
		Cruda	Tratada	
Ph	[H ⁺]	8,06	8,11	6,5-8,5
Conductividad	μS/cm	347	369	<1250
Turbiedad	FTU-NTU	0,22	0,07	5
Color	Upt-co	15	3	15
Sulfatos	mg/l	26	30	200
Fosfatos	mg/l	0,85	0,26	0,30
Nitratos	mg/l	16,1	24	50
Nitritos	mg/l	0,015	0,005	0,20
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,27	0,20	0,50
Cloruros	mg/l	0,80	0,40	250
Plomo	mg/l	0,04	0,01	0,01
Dureza cálcica	mg/l	32	22.4	70
Dureza total	mg/l	96	72	300
Alcalinidad	mg/l	160	112	250-300
Hierro	mg/l	0,09	0,02	0,30
Coliformes totales	UFC	<2	<2	<2
Coliformes fecales	UFC	<2	<2	<2

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.2.3. Resultados de las dimensiones de las etapas

3.2.3.1. Caudal de diseño

Tabla 3.7. Resultados de la proyección de la población

Cálculo	Símbolo	Unidades				
		l/s	m ³ /h	m ³ /d	Hab	Años
Caudal de diseño	Q	7	25,2	201,6	.....	.....
Población futura	P _f	.....	.....	.....	2714	.....
Intervalo de tiempo	n _t	.....	.....	.....	.....	5

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.2.3.2. Vertedero rectangular

Tabla 3.8. Resultados del vertedero rectangular

Cálculos	Símbolo	Valor	Unidades
Profundidad del canal del vertedero	C _v	1	m
Longitud del canal del vertedero	-	1	m
Ancho del vertedero	B	0,34	M
Caudal por unidad de ancho	q	0,021	m ² /s
Profundidad crítica de flujo	h _c	0,036	M
Longitud del salto	L _m	0,21	M
Profundidad supercrítica	h ₁	0,0095	M
Velocidad del agua en el salto	v ₁	2,20	m/s
Número de Froude	F	7,18	-
Profundidad subcrítica	h ₂	0,093	M
Velocidad del agua en el resalto	v ₂	0,23	m/s
Pérdida de energía en el resalto	h	0,163	M
Longitud del resalto	L _j	0,50	M
Velocidad media en el resalto	v _m	1,22	m/s
Tiempo de mezcla	t	0,41	S
Gradiente de velocidad	G	1710,93	s ⁻¹

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.2.3.3. Floculador hidráulico de flujo horizontal

Tabla 3.9. Resultados del floculador horizontal

Cálculos	Símbolo	Valor	Unidades
Distancia recorrida por el agua	L	276	M
Volumen de agua	V	8,4	m ³
Sección transversal de los canales	A	0,030	m ²
Profundidad del agua	D	0,20	m
Profundidad total del tanque de floculación	Z _{Tf}	0,22	m
Espacio libre entre tabiques y pared del tanque	e	0,30	m
Ancho del floculador	B _F	4	m
Longitud efectiva de cada canal	l	3,70	M
Número requerido de canales	N	75	-
Longitud total de la cámara de floculación	L _T	13,47	m
Radio hidráulico	R	0,055	m
Pérdidas por fricción en el tanque	h _f	0,11	m
Pérdidas adicionales	h _a	0,60	m
Pérdidas totales	h _T	0,71	m
Gradiente de velocidad	G	66,62	s ⁻¹
Número adimensional de Camp	G _t	79944	-

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.2.3.4. Sedimentador laminar

Tabla 3.10. Resultados del sedimentador laminar

Cálculos	Símbolo	Valor	Unidades
Carga superficial después de instalar las placas	v _{so}	28,80	m/d
Área de sedimentación acelerada	A _s	7	m ²
Ancho del tanque de sedimentación	B _s	2,40	m
Longitud del área de sedimentación acelerada	L _s	3	m
Longitud relativa del sedimentador	L _r	24	-
Longitud relativa en la región de transición	L'	0,50	-
Longitud relativa corregida	L _c	23,50	-
Velocidad crítica de sedimentación	v _{sc}	2,24	m/d
Número de Reynolds	N _{Re}	38,28	-
Volumen del sedimentador	V _{Ts}	21,6	m
Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	t _{rs}	60	min
Número de placas	N _p	36	-

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.2.3.5. Filtro

Tabla 3.11. Resultados del filtro

Cálculos	Símbolo	Valor	Unidades
Número de filtros	n_f	2	-
Área del filtro	A_f	28,8	m^2
Coefficiente de mínimo costo	K_c	1,33	-
Longitud del filtro	L_f	6,11	m
Ancho del filtro	a_f	4,70	m
Altura del filtro	Z_f	3,08	m
Área de los orificios laterales	A_o	0,071	cm^2
Caudal que ingresa a cada orificio	Q_o	$2,12 \times 10^{-6}$	m^3/s
Número de laterales	N_L	7	-
Diámetro de la tubería de entrada al filtro	D_T	0,075	m
Diámetro de la tubería de salida del filtro	D_{Ts}	0,11	m
Velocidad óptima de lavado del filtro	v_l	0,57	m/min
Cantidad de agua para el lavado	V_l	246,24	m^3

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

3.3. Discusión de resultados

Al finiquitar la caracterización físico-química y microbiológica del agua que llega a la planta, se determinó que el plomo: 0,05mg/l y los fosfatos: 1,63mg/l, están fuera de los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable”.

Después de realizar la prueba de jarras el resultado de la dosificación de PAC es de 8ml por litro de agua cruda de una solución de 80 ppm, con esta cantidad de floculante se remueven el plomo y los fosfatos que estaban fuera de los límites que establece la norma, además se logra disminuir otros parámetros importantes como son color y turbiedad.

Luego de realizar los análisis físico-químicos del agua tratada, los nuevos valores obtenidos para plomo y fosfatos son 0,01 y 0,26 mg/l respectivamente, lo que nos indica que el tratamiento químico fue el adecuado al encontrarse no solo estos parámetros dentro de

norma sino todos los que estipula la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable”.

Al no existir fuentes de abastecimiento en la captación del agua, para obtener el caudal de optimización se duplicó el actual a 7 l/s y la población que hará uso del fluido es de 2 714 habitantes en un intervalo de tiempo de 5 años, cuando la población exceda este número se deberá optar por construir otra planta.

TABLA 3.12. Porcentaje de remoción de parámetros fuera de norma del sistema

Parámetros	Porcentaje de remoción
Fosfatos	85%
Plomo	80 %

Elaborado por: María Augusta Guadalupe

Con los resultados obtenidos de toda la caracterización del agua cruda y tratada, y el porcentaje de remoción de los parámetros fuera de norma, se comprueba que el diseño ingenieril realizado es eficiente de acuerdo a la secuencia de los dispositivos hidráulicos adoptados para la potabilización del agua de la planta San Juan Alto del cantón Guamote.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ❖ Se realizó la caracterización físico-química y microbiológica tanto del agua que llega a la planta y de la que es distribuida a la población; se analizaron los parámetros más importantes, resultados que se muestran en la tabla 2.6., para posteriormente compararlos con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable”.
- ❖ Luego de comparar los parámetros analizados en la caracterización físico-química y microbiológica del agua con los límites máximos permisibles de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable”, se determinó aquellos que se encontraban fuera de rango, como son: plomo y fosfatos, (tabla 2.6), con valores promedios de 0,03 mg/l y 1,63 mg/l, respectivamente.
- ❖ Las pruebas de jarras realizadas en el agua cruda en el Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias, usando policloruro de aluminio permitieron encontrar la dosis adecuada del químico para la remoción de plomo y fosfatos, la concentración de la solución es de 80ppm, de la cual se usan 8ml por litro de agua a tratar. En el proceso general de potabilización se incertan las siguientes etapas para complementar las ya existentes: mezcla rápida en vertedero rectangular, floculación y filtración. Se cuenta ya con un tanque sedimentador que deberá mejorarse y la cloración que funciona correctamente.
- ❖ Luego de realizar la caracterización del agua tratada, resultados expuestos en la tabla 3.6, se pueden observar nuevos valores que indican que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable”.

De esta manera, al tener todos los parámetros dentro de norma, observamos que al añadir el químico, como es el policloruro de aluminio, y al ser ésta una alternativa de mejora, el tratamiento elegido es el adecuado para la optimización de una de las etapas de la planta.

El porcentaje de rendimiento de potabilización que brinda el sistema de tratamiento propuesto se menciona en la tabla 3.6, observándose para el plomo y los fosfatos rendimientos de 80 y 85 % respectivamente, esto nos muestra un cambio significativo de la condiciones de agua cruda a agua tratada, cumpliendo con la Normativa que se rige en nuestro medio.

RECOMENDACIONES

- ✓ Aplicar el estudio realizado para la optimización del tratamiento de agua potable que abastece a la población Guamoteña.
- ✓ Evitar que la planta de tratamiento esté en contacto con las condiciones ambientales que puedan alterar la calidad del agua tratada, es decir, polvo, viento, lluvia, etc.
- ✓ Revisar y si es necesario cambiar los accesorios y la tubería de conducción del agua desde la vertiente hacia la planta: La existencia de infiltraciones o roturas en los tubos explican la contaminación orgánica presente en el fluido cuando este llega a la planta.
- ✓ Los operarios de la planta deben ser personas competentes, capacitadas y responsables, que puedan controlar cada una de las etapas de potabilización, asegurando que el proceso tenga la eficiencia esperada.
- ✓ El mantenimiento y limpieza a la planta deben ser frecuentes, es importante usar cloro para remover cualquier agente patógeno que pueda existir.
- ✓ Realizar caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas semanalmente que permitan corregir la dosis de policloruro de aluminio de acuerdo a las necesidades del agua.
- ✓ Realizar el análisis de cloro libre residual dos veces a la semana que permita corregir la dosificación de cloro gas en el agua.

BIBLIOGRAFÍA

Agua subterránea como fuente de abastecimiento para varios usos. Proaño Cadena, Gastón y Olaya. 2008.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6372/3/Presentaci%C3%B3n%20Ing.%20Olaya.pdf>.

2014-05-01

American Water Works Asociation. Agua, su calidad y tratamiento. Madrid-España. MacGraw Hill. 2002, pp. 31-69, 275-291.

Diseño de floculadores. L. Cánepa de Vargas. 2014.

http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap3.pdf.

2013-11-10

El Agua Potable. Tratamiento de aguas. Ramirez, F. 2014.

http://www.elaguapotable.com/mapa_del_web.htm.

2014-03-11

Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. Norma INEN 1108:2011 Agua Potable Requisitos. Quito-Ecuador. INEN, 2011.

Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. Norma INEN 2176 Calidad de Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo. Quito-Ecuador. INEN. 2013

Optimización de Sistemas de Tratamientos de Agua. Chavarría, Febronio. 2014.

<http://watergymex.org/odsdttagua.htm>.

2014-02-23

Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías para la calidad del agua Potable. Ginebra-Suiza. OMS. 2006, pp. 14, 105, 147, 149, 150, 154. .

Potabilización del agua. Wordpress. 2014.

<http://ambientaling.files.wordpress.com/2010/03/tema33.pdf>.

2014-04-12

Romero, Jairo A. Calidad de agua. Tercera, Bogotá-Colombia. Colombia. 2009, pp. 107 - 110, 112, 114, 118, 119, 130, 149, 162, 164, 169, 215, 217.

Romero, Jairo A. Purificación de Agua. Bogotá-Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2006, pp. 29, 53-57, 72-76, 63, 64, 97, 102-105, 141-143, 219, 238, 240, 243, 246, 249, 355-359.

Sedimentación. Maldonado, Víctor. 2009.

www.dspace.espol.edu.ec/.../Sedimentador%20Laminar%20en%20el%20...

2014-01-16

Spellman, F y Drianan, Joanne. Manual del Agua Potable. Madrid-España. CRC Press BocaRaton. 2000, pp. 51-55,78,79,133-143,149-151, 232-234.

Teoría de la Sedimentación. Pérez, Luis. 2005.

<http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Sedimentacion.pdf>.

2014-03-30

Villagran , Heidy. Canal Parshall. 2011.

<http://es.scribd.com/doc/55876801/Canal-Parshall>

2014-06-30

Villegas, M P. Purificación de Aguas. Segunda. Medellín-Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2007, pp. 83, 84, 95,96, 157 - 160.

ANEXOS

ANEXO I NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011 AGUA POTABLE. REQUISITOS

1. OBJETO

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

2. ALCANCE

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

3. DEFINICIONES

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

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

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

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

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

- 3.1.5** *NMP*. Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.
- 3.1.6** *mg/l.* (miligramos por litro). Unidades de concentración de parámetros físico químicos.
- 3.1.7** *Microorganismo patógeno*. Son los causantes de enfermedades para el ser humano.
- 3.1.8** *Plaguicidas*. Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repelar o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nematodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.
- 3.1.9** *Desinfección*. Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.
- 3.1.10** *Subproductos de desinfección*. Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.
- 3.1.11** *Cloro residual*. Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.
- 3.1.12** *Sistema de abastecimiento de agua potable*. El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.
- 3.1.13** *Sistema de distribución*. Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

4. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

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

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos específicos

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

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

Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cobalto, Co	mg/l	0,20
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Fósforo (P-PO ₄)	mg/l	0,1
Litio, Li	mg/l	0,2
Molibdeno, Mo	mg/l	0,07
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Plata, Ag	µg/l	0,13
Potasio, K	mg/l	20
Sodio, Na	mg/l	200
Vanadio, V	µg/l	6
Zinc, Zn	mg/l	3
Flúor, F	mg/l	1,5
Radiación total α *	Bg/l	0,1
Radiación total β **	Bg/l	1,0
<p>1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.</p> <p>* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu.</p> <p>** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra.</p>		

Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Alcanos clorinados		
tetracloruro de carbono		2
Diclorometano	µg/l	20
1,2 dicloetano		30
1,1,1 – tricloetano		2 000
Etanos clorinados		

Cloruro de vinilo		5
1,1 dicloroeteno	µg/l	30
1,2 dicloroeteno		50
tricloroeteno		70
Tetracloroeteno		40
Hidrocarburos Aromáticos		
Benceno		10
Tolueno	µg/l	170
Xileno		500
Etilbenceno		200
Estireno		20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	µg/l	0.3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)		
benzo (a)pireno		0,01
benzo (a)fluoranteno	µg/l	0,03
benzo (k)Fluoranteno		0,03
benzo (ghi)pirileno		0,03
indeno (1,2,3-cd)pireno		0,03
Bencenos clorinados		
monoclorobenceno		300
1,2-diclorobenceno	µg/l	1 000
1,3-diclorobenceno		
1,4-diclorobenceno		300
triclorobenceno (total)		20
di(2-etilhexil)adipato	µg/l	80
di(2-etilhexil) ftalato	µg/l	8
acrylamida	µg/l	0,5
epiclorohidrin	µg/l	0,4
Hexaclorobutadieno	µg/l	0,6
Ácido etilendiaminatetracético EDTA	µg/l	200
Ácido nitrotriácético	µg/l	200

Dialquil	µg/l	
Oxido tributiltin	µg/l	2

Pesticidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Alaclor	µg/l	20
Aldicarb	µg/l	10
Aldrin/dieldrin	µg/l	0,03
Atrazina	µg/l	2
Bentazona	µg/l	30
Carbofuran	µg/l	5
Clordano	µg/l	0,2
Clorotoluron	µg/l	30
Diclorodifeniltricloroetano DDT	µg/l	2
1,2-dibromo-3-cloropropano	µg/l	1
2,4-ácido diclorofenoxiacético 2,4-D	µg/l	30
1,2- dicloropropano	µg/l	20
1,3-dicloropropeno	µg/l	20
Heptacloro y heptacloro epoxi de etilendibromide	µg/l	0,03
Hexaclorobenceno	µg/l	1
Isoproturon	µg/l	9
Lindano	µg/l	2
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	µg/l	2
Metoxycloro	µg/l	10
Molinato	µg/l	6
Pendimetalin	µg/l	20
Pentaclorofenol	µg/l	9
Permetrin	µg/l	20
Propanil	µg/l	20
Piridato	µg/l	100
Simazina	µg/l	2

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

Residuos de desinfectantes

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

Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Bromato	µg/l	25
Clorito	µg/l	200
Clorofenoles	µg/l	
2,4,6-triclorofenol		200
Formaldehído	µg/l	900
Trihalometanos		
Bromoformo	µg/l	100
diclorometano		100
bromodiclorometano		60
cloroformo		200
Ácidos acéticos clorinados		
ácido dicloroacético	µg/l	50
ácido tricloroacético		100
Hidrato clorado	µg/l	
Tricloroacetaldeido		10
Acetonitrilos Halogenados	µg/l	
Dicloroacetonitrilo		90

Dibromoacetoniitrilo		100
Tricloroacetoniitrilo		1
Cianógeno clorado (como CN)	µg/l	70

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

Requisitos microbiológicos

	Máximo
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2*
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2*
Criptosporidium número de quistes//100 litros	Ausencia
GiardiaLambliia número de quistes/100 litros	Ausencia
* < 2 significa que en una serie de 9 tubos ninguno es positivo	
(1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.	

5.2 Requisitos complementarios

5.2.1 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.

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo

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

6.1.2 El agua potable debe ser monitoreada permanentemente para asegurar que no se producen desviaciones en los parámetros aquí indicados.

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

7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Los Métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods) especificados en su última edición. En caso que no conste el método de análisis para un parámetro en el Standard Methods, se utilizará un método estandarizado propuesto por un organismo reconocido.

ANEXO II FICHA TÉCNICA CLORO GAS

	FICHA TÉCNICA CLORO GAS	Hoja 1 de 1
---	----------------------------	-------------

1. ASPECTOS GENERALES

PRODUCTO:	Cloro Gas
FORMULA	Cl ₂
DESCRIPCIÓN:	Líquido color ámbar, gas amarillo verdoso.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

COMPONENTE	ESPECIFICACIÓN	
	Min.	Max
Concentración como Cl ₂ en volumen	99.5	
Humedad (p.p.m)		150
Residuo no volátil (p.p.m)		150

3. EMPAQUE Y EMBARQUE

Cilindros de 68, 907 y 1000 kg. Netos

NOTA: Los datos contenidos en boletín tienen por objeto orientar y dar servicio.

Dirección: Baños, Trece de mayo s/n y Villalobos
TELF: 4092344. EMAIL: quimicalzen@gmail.com
CUENCA - ECUADOR

ANEXO III COTIZACIÓN DE LA BOMBA Y DEL POLICLORURO DE ALUMINIO



TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.

Profesionales al servicio de la Industria



N°0047-
104

R-PCT1-4	PROCESO DE VENTAS COTIZACION	20/06/2011 Edición 1
-----------------	---------------------------------	-------------------------

Quito, 8 de Julio del 2014

Señores
MUNICIPIO DE GUAMOTE
Atención: Srta. Guadalupe
Presente.-

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

COTIZACION

ITEM	CANT.	UND.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	1	UND.	BOMBA DOSIFICADORA AUTOMATICA Marca: Chem Tech; Casa: PULSAFEEDER Series: 250; Modelo: X253 Caudal: 0 - 76,8 GPD; Presión Máxima: 225 PSI	585,00	585,00
2	120	kg	TQ- FLOC- PCAB COAGULANTE PARA CLARIFICACION EN AGUAS	1,12	134,40
SUBTOTAL					719,40
12% I.V.A					86,33
TOTAL					805,73

- * **Validez de la oferta:** 30 días
- * **Plazo de entrega:** 24 horas
- * **Forma de pago:** contado

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

ISO 9001-2008: Satisfacción al Cliente.

ISO 14001-2004: Cuidado del Medio Ambiente.

OHSAS 18001-2007: Seguridad y salud Ocupacional de los Trabajadores.

Atentamente,

Ing. Nancy Velasco
ASESOR TECNICO
Cel.: 0996144154

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)
Teléfonos: 02 2800 387 / 2486 684 / 2485 226 / 099 9461 518 / Fax: 02 2807 445
E-mail: ventas@tesquimsa.com.ec / www.tesquimsa.com.ec
Quito - Ecuador



ANEXO IV HOJA DE MANEJO Y SEGURIDAD DEL CLORO GAS



TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.

Profesionales al servicio de la Industria



HOJA DE MANEJO Y SEGURIDAD

1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

IDENTIFICACION: TQ FLOQ PCA B
COAGULANTE FLOCULANTE PARA CLARIFICACION
NOMBRE DEL FABRICANTE: TESQUIMSA C.A.
TELEFONO: 2486684
DIRECCION: Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes

2. COMPONENTES QUIMICOS PELIGROSOS

Nº- CAS	NOMBRE QUIMICO	CONCENTRACIÓN
NP	Policloruro de aluminio	30-40 %

3. DATOS SOBRE PELIGRO PARA LA SALUD

OJOS: CORROSIVO. Causa serias lesiones en los ojos.
INHALACIÓN: CORROSIVO. Causa irritaciones en el sistema respiratorio. Náuseas.
INGESTIÓN: CORROSIVO. Causa serias lesiones en la garganta, la tráquea y las Mucosas del sistema gastro intestinal.
PIEL: CORROSIVO. Causa serias lesiones en contacto con la piel.

4. INFORMACION SOBRE PRIMEROS AUXILIOS

OJOS: Lave con agua abundante por 15 minutos como mínimo. Procure asistencia medica.
INHALACIÓN: Traslade a la víctima para un sitio aireado y en caso de respiración dificultosa suministre oxígeno. Procure asistencia médica.
INGESTIÓN: NO INDUZCA A VOMITO. De a la víctima, si esta consciente agua fría o leche de a poco. Procure asistencia médica.
PIEL: Lave con agua y jabón abundante por 15 minutos como mínimo. Remueva las vestimentas contaminadas durante el lavado

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)
Teléfonos: 02 2800 387 / 2486 684 / 2485 226 / 099 9461 518 / Fax: 02 2807 445
E-mail: ventas@tesquimsa.com.ec / www.tesquimsa.com.ec
Quito - Ecuador





TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.

Profesionales al servicio de la Industria



5. INFORMACION SOBRE FUEGO Y EXPLOSION

PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C): **NO PRESENTA** VA () VC ()

TEMP. DE AUTO IGNICIÓN (°C): ND

MEDIOS DE EXTINCIÓN: ESPUMA QUÍMICA () CO2 () POLVO QCO () AGUA (X) NIEBLA AGUA (X)

PROCEDIMIENTOS ESPECIALES: En caso de que ocurra calentamiento extremo de los envases, enfríelos con agua en forma de niebla. Use protección personal apropiada para casos de incendio.

6. PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAME O FUGAS

Aísle el área, colóquese a favor del viento, elimine fuentes de ignición; absorba el producto en material inerte (tierra, arena, aserrín, etc.). Remueva con elementos adecuados. Recoja en recipientes apropiados para posterior tratamiento y rotúelos. Evite que los residuos entren en contacto con la red de desagüe. Después de recogido los residuos, lave el lugar del derrame con abundante agua.

7. MANIPULACION Y ALMACENAJE

Maneje el producto en lugares ventilados y/o con ventilación mecánica. Use equipos de protección (guantes, anteojos de seguridad, máscara etc.).

Almacene el producto en un lugar seco, aireado y a la sombra, lejos de fuentes de calor y llama viva. Mantener los envases cerrados

8. INFORMACION SOBRE PROTECCION ESPECIAL

VENTILACION: Utilícelo en un local ventilado y/o con ventilación mecánica

RESPIRACION: Utilícelo con máscara con filtro para vapores ácidos

OJOS: Utilícelo con anteojos de seguridad panorámicos o máscara facial

MANOS: Utilícelo con guantes impermeables de puño alto

PRECAUCIONES: Utilícelo con delantal y botas impermeables, después de manipular el producto lávelos con abundante agua.

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)
Teléfonos: 02 2800 387 / 2486 684 / 2485 226 / 099 9461 518 / Fax: 02 2807 445
E-mail: ventas@tesquimsa.com.ec / www.tesquimsa.com.ec
Quito - Ecuador





TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.

Profesionales al servicio de la Industria



9. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS

Aspecto físico: líquido
Color: ámbar oscuro
Gravedad específica: 1.12 +/- 0.02
pH: 4.50 +/- 0.50

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

ESTABILIDAD: (X) ESTABLE () INESTABLE

RIESGOS DE INCOMPATIBILIDAD: Evitar el contacto con Cinc y aluminio, puede generar hidrógeno

RIESGOS DE DESCOMPOSICION: El vapor generado a altas temperaturas (Descomposición Térmica) puede liberar gases irritantes de Al₂O₃, HCl

RIESGO DE POLIMERIZACION: (X) NO OCURRIRÁ () PUEDE OCURRIR

RECOMENDACIONES ESPECIALES: No presenta

11. INFORMACION TOXICOLOGICA

Los polímeros de aluminio son moderadamente tóxico por ingestión LD50 Oral (Ratas): 12700 mg/k; En contacto con la piel es considerado un fuerte corrosivo

12. INFORMACION ECOLOGICA

No se conoce efectos adversos al ambiente.

13. CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

RESIDUOS: Evite que los residuos y/o agua de lavado entren en contacto con manantiales de agua potable. Los residuos pueden ser eliminados en pequeñas cantidades en estaciones de tratamiento de efluentes o de acuerdo con la legislación ambiental local. Cantidades mayores de residuo pueden ser dispuestos por incineración.

ENVASES: Los envases no retornables tienen su uso prohibido para almacenamiento de productos para consumo humano y animal. Los envases vacíos pueden contener residuos de productos (vapor, líquido y/o sólido), por lo tanto todas las precauciones de riesgo contenidas en esta ficha de seguridad, deben ser tenidas en cuenta

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)
Teléfonos: 02 2800 387 / 2486 684 / 2485 226 / 099 9461 518 / Fax: 02 2807 445
E-mail: ventas@tesquimsa.com.ec / www.tesquimsa.com.ec
Quito - Ecuador





TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.

Profesionales al servicio de la Industria



14. INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

NÚMERO ONU: **1760**

FICHA DE INTERVENCION: 137

RECOMENDACIONES ESPECIALES: No debe ser transportado junto con alimentos

15. INFORMACION REGULATORIA

REGULACIONES NACIONALES APLICABLES:

DS 594/99 del Ministerio de Salud “Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas de los lugares de trabajo”

DS 298/94 del Ministerio de Transporte “Reglamento sobre transporte de cargas peligrosas por calles y caminos”

DS 148/2003 del Ministerio de Salud “Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos”

NCh 382 Of. 2004: Sustancias peligrosas – Clasificación general

NCh 2245 Of. 2003: Sustancias químicas – Hojas de datos de seguridad – Requisitos

NCh 2120/8 Of. 2004: Sustancias peligrosas – Parte 8: Clase 8 – Sustancias corrosivas

NCh 2190 Of. 2003: Transporte de sustancias peligrosas – Distintivos para identificación de riesgos

NCh 2137 Of. 1992: Sustancias peligrosas – Embalajes/Envases – Terminología, Clasificación Designación

NCh 2425 Of. 1998: Sustancias corrosivas – Hipoclorito de sodio en solución –

Disposiciones de Seguridad para el transporte

NCh 2809 Of. 2003: Hipoclorito de sodio en solución para uso doméstico – Requisitos.

REGULACIONES DE EE.UU APLICABLES: Nota: Copia MSDS Oxy y U.S.A.

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)
Teléfonos: 02 2800 387 / 2486 684 / 2485 226 / 099 9461 518 / Fax: 02 2807 445
E-mail: ventas@tesquimsa.com.ec / www.tesquimsa.com.ec
Quito - Ecuador





TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.

Profesionales al servicio de la Industria



16. INFORMACION ADICIONAL

Este producto debe ser transportado, almacenado, manejado y utilizado de acuerdo con las prácticas correctas de higiene industrial y respetando las normas ambientales vigentes. La información aquí contenida está basada en el estado actual de nuestro conocimiento y pretende describir las características del producto desde el punto de vista de las exigencias ambientales y de seguridad. Por lo tanto, no deben ser tomada como garantía de propiedades específicas

ELABORADO POR: Ing. Omar Fuertes

FECHA: 11-2-2014

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)
Teléfonos: 02 2800 387 / 2486 684 / 2485 226 / 099 9461 518 / Fax: 02 2807 445
E-mail: ventas@tesquimsa.com.ec / www.tesquimsa.com.ec
Quito - Ecuador



ANEXO V CARACTERÍSTICAS DEL POLICLORURO DE ALUMINIO



TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.

Profesionales al servicio de la Industria



TQ- FLOC- PCAB

COAGULANTE PARA CLARIFICACION EN AGUAS

TQ-FLOC-PCAB es un producto líquido que contiene en su formulación polímeros inorgánicos y está diseñado para dar un alto grado de clarificación tanto en aguas de proceso como en aguas residuales. Funciona mediante coagulación - floculación, separando los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua.

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS:

Aspecto físico:	líquido
Color:	café
Densidad:	1.25 ± 0.03
pH (Sol. 1%):	4.4 ± 0.5

MODO DE EMPLEO:

La dosificación del **TQ-FLOC-PCAB** estará en función de la turbidez del agua a tratarse. Las pruebas de jarras nos darán un valor más exacto de su dosificación.

PRECAUCIONES:

TQ-FLOC-PCAB puede causar irritación a la piel y a los ojos. Evitar el contacto prolongado o repetido con la piel. Se recomienda el uso de guantes de caucho y anteojos de seguridad.

PRESENTACION:

TQ-FLOC-PCAB se expende en envases de 20,60 y 220 Kilos.

Rev. 08-11-2012

A F

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)
Teléfonos: 02 2800 387 / 2486 684 / 2485 226 / 099 9461 518 / Fax: 02 2807 445
E-mail: ventas@tesquimsa.com.ec / www.tesquimsa.com.ec
Quito - Ecuador



ANEXO VI PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO

DOSIFICACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO

La dosificación del policloruro de aluminio se realizará por vía húmeda, mediante el siguiente procedimiento:

- 1.** Pesar la cantidad adecuada de policloruro de aluminio.
- 2.** Aforar el caudal de agua que ingresa al tanque de solución.
- 3.** Preparar la solución de policloruro de aluminio al 1%.
- 4.** Calibrar la bomba dosificadora y mantenerla siempre calibrada para asegurar la exactitud en la dosificación.

Bombear la solución de PAC mediante la bomba dosificadora hasta el punto de mezcla.

ANEXO VII PROCEDIMIENTO PARA EL LAVADO DEL FILTRO LENTO DE ARENA

LAVADO DEL FILTRO LENTO DE ARENA

Para el lavado del filtro lento de arena se sugiere lo siguiente:

- 1.** La noche anterior al día de la limpieza, cerrar el ingreso de agua cruda a la caja del filtro y se deja filtrar con tasa declinante durante la noche, para evitar el desperdicio de agua durante la eliminación de la capa sobrenadante.
- 2.** A la mañana siguiente, apenas aclara el día, el personal encargado de esta tarea debe estar listo para iniciar la limpieza, tratando de concluirla antes de la salida del sol, para proteger de su efecto lesivo a la formación biológica del lecho filtrante.
- 3.** El lavado del filtro se realizará en contraposición, el cual se hace a contracorriente donde el agua ingresará por la parte inferior de filtro y será evacuada por la parte superior del mismo, para eliminar cualquier resto de suciedad.
- 4.** Es indispensable que el lavado sea efectivo para devolver al lecho filtrante sus cualidades iniciales, sin las cuales, el filtro iría perdiendo eficacia y el material filtrante debería retirarse para su limpieza completa o para ser reemplazado.
- 5.** El lavado del filtro se recomienda realizarlo por lo menos una vez al mes, dependiendo de la carga contaminante que contenga el medio filtrante.
- 6.** Cada cinco años se debe realizar un lavado completo del filtro y consiste en la limpieza del fondo del filtro, del sistema de drenaje, de la caja del filtro y el lavado de la grava y de la arena.

ANEXO VIII VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

Material	Coeficiente de Manning N
Asbesto – cemento	0,012
Latón	0,011
Hierro fundido	0,012
Concreto (cimbra metálica)	0,011
Concreto (cimbra madera)	0,015
Concreto simple	0,013
Cobre	0,011
Acero corrugado	0,022
Plástico (PVC)	0,009
Madera (duelas)	0,012
Vidrio (laboratorio)	0,011

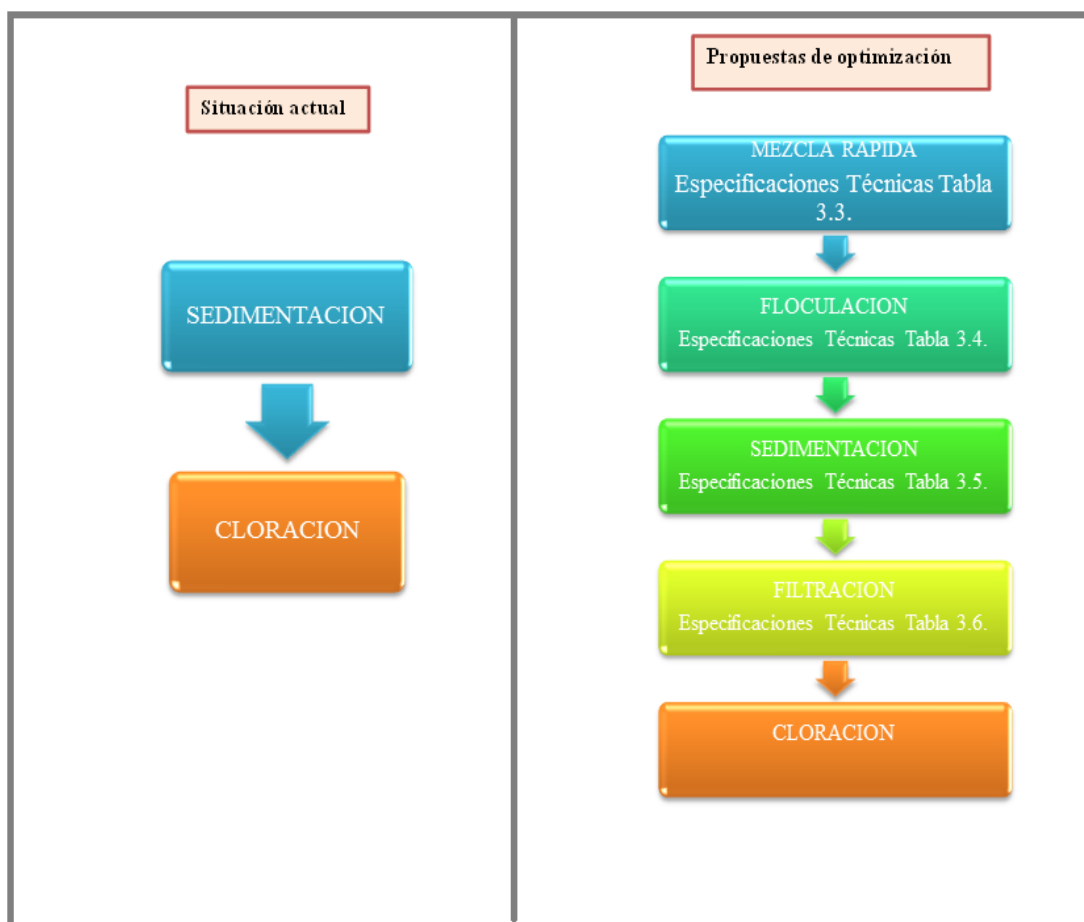
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Valores típicos de coeficiente de rugosidad de Manning		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina	Escala	Fecha
			1		18/07/2014

ANEXO IX PROPIEDADES DEL AGUA A 1 atm DE PRESIÓN

Temperatura °C	Densidad ρ Kg/m ³	Peso específico γ kN/m ³	Viscosidad dinámica μ 10 ⁻³ Pa s	Viscosidad cinemática ν 10 ⁻⁶ m ² /s
10	999,703	9,804	1,307	1,307
12	999,500	9,802	1,235	1,236
15	999,103	9,798	1,139	1,140
17	998,778	9,795	1,081	1,082
18	998,599	9,793	1,053	1,054
19	998,408	9,791	1,027	1,029
20	998,207	9,789	1,002	1,004

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Propiedades del agua a 1 atm de presión		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina	Escala	Fecha
			2		18/07/2014

ANEXO X SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Situación actual y propuesta de optimización de la planta		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina	Escala	Fecha
			3		18/07/2014

ANEXO XI TANQUE SEDIMENTADOR

a)



b)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Tanque sedimentador		
a) Llegada del agua a la planta b) Sedimentador	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		4		18/07/14

ANEXO XII TANQUES DE LA PLANTA

a)



b)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Tanques de la planta		
a) Paso del sedimentador a los tanques b) Tanques de reposo del agua	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Tanques de la planta		
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		5		18/07/14

ANEXO XIII DISPOSITIVOS PARA LA CLORACIÓN

a)



b)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Dispositivos para la cloración		
a) Tanque de cloro gas b) Inyector de cloro	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina		
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		Escala		
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		Fecha		
			6		18/07/14

ANEXO XIV CISTERNA DE ALMACENAMIENTO



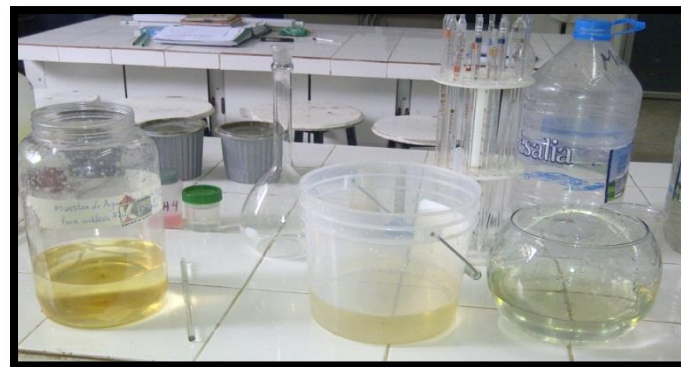
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Cisterna de almacenamiento		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina	Escala	Fecha
			7		18/02/14

ANEXO XV PRUEBAS DE TRATABILIDAD

a)



b)

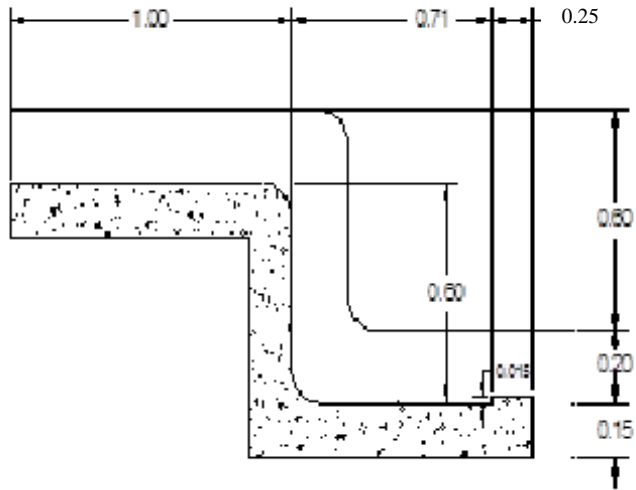


c)



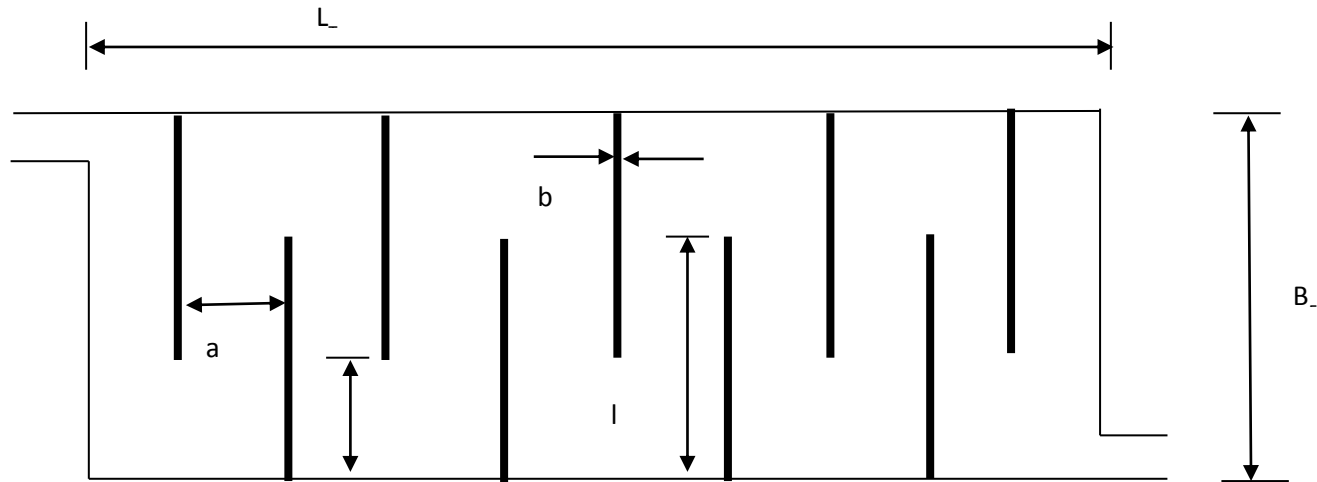
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	Pruebas de tratabilidad		
a) Solución de PAC	<input type="checkbox"/>	Certificado	<input type="checkbox"/>	Por Eliminar		
b) Pruebas de jarras	<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>	Por Aprobar		
c) Floc decantado en el agua tratada	<input type="checkbox"/>	Por Calificar	<input type="checkbox"/>	Para Información		
				FACULTAD DE CIENCIAS		
				ESCUELA DE ING. QUÍMICA		
				María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina	Escala
					8	Fecha
						18/02/14

ANEXO XVI VISTA FRONTAL VERTEDERO RECTANGULAR



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Vista frontal vertedero rectangular		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina	Escala	Fecha
			9		18/02/14

ANEXO XVII VISTA FRONTAL FLOCULADOR HORIZONTAL



L_T : 13,47 m

B_F : 4 m

a: 0,15 m

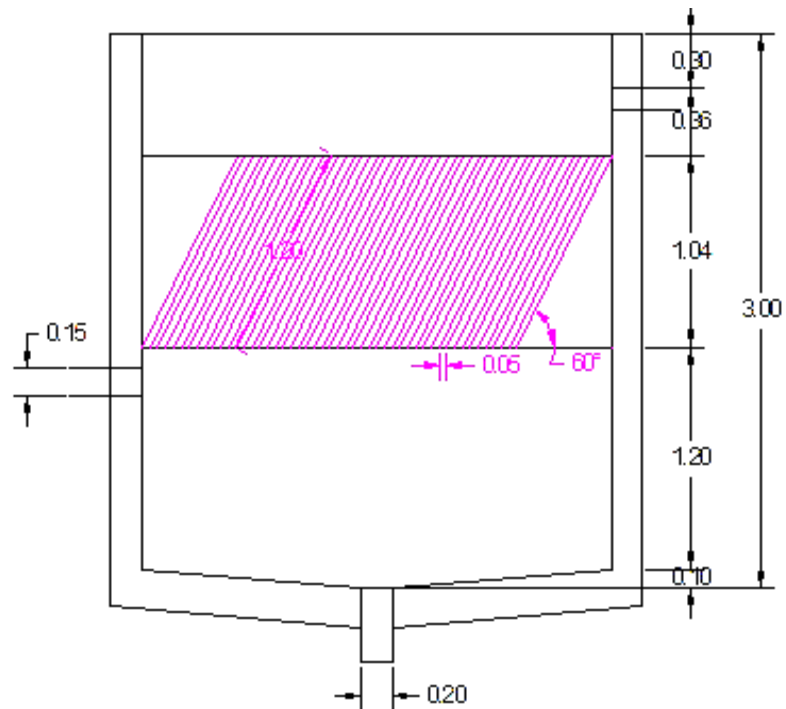
e: 0,30 m

b: 0,03 m

l: 3,70 m

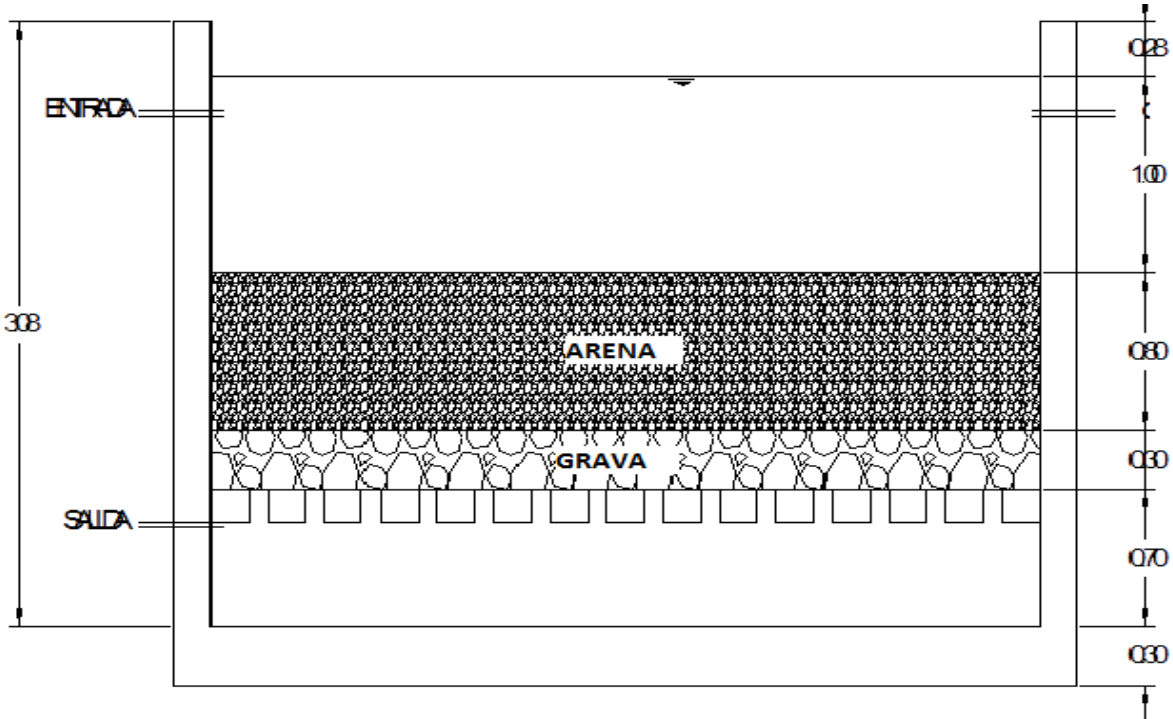
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Vista frontal floculador horizontal		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina	Escala	Fecha
			10	1	18/02/14

ANEXO XVIII VISTA FRONTAL SEDIMENTADOR LAMINAR



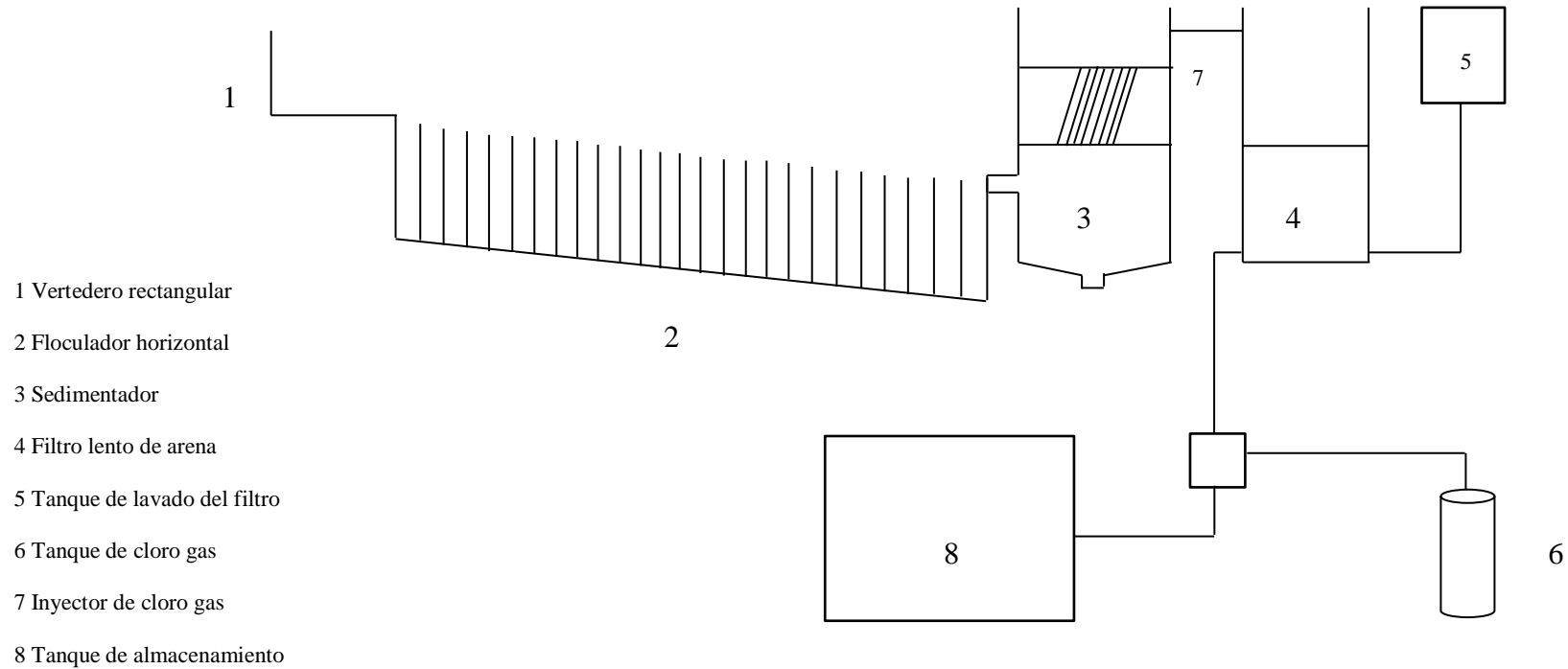
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Vista frontal sedimentador laminar		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina	Escala	Fecha
			11		18/02/14

ANEXO XIX VISTA FRONTAL FILTRO LENTO DE ARENA



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Vista frontal filtro lento de arena		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Eliminar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar				
	<input type="checkbox"/> Por Calificar	<input type="checkbox"/> Para Información		12	1 18/02/14	

ANEXO XX PLANO PLANTA



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Plano planta		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA María Augusta Guadalupe Alcoser	Lámina	Escala	Fecha
			13		18/02/14