



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA COMUNIDAD LA CANDELARIA, PARROQUIA SAN LUIS”

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR

ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA

RIOBAMBA – ECUADOR

-2014-

Agradezco a Dios y a mi Madre Dolorosa, por guiar mi camino y por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad.

A mis Padres Clemente y Mariana que por su incondicional apoyo culmino una etapa más de mi vida, por inculcarme buenos valores y por estar junto a mí apoyándome en todo momento.

A Fernando Aldás, quien siempre estuvo a mi lado apoyándome y que ha sido un pilar muy importante durante el transcurso de mis estudios.

Al Ing. José Usiña, al Ing. Hugo Calderón; Director y Miembro del Tribunal de Tesis, quienes con sus conocimientos y experiencia contribuyeron en la realización de este trabajo de investigación.

Por último, quiero agradecer a todas las personas que de una u otra forma aportaron con su granito de arena en la realización del presente trabajo.

Elizabeth M. Abarca Bonilla

Dedico este trabajo a mis Padres porque gracias a su esfuerzo, trabajo y sacrificio puedo culminar una de mis metas tan anheladas.

A mis amigos, compañeros y familiares, quienes confiaron en mí y que hoy puedo decir que no los defraudé, con quienes he compartido buenos y malos momentos; a todos ellos mil gracias por su apoyo incondicional.

Elizabeth M. Abarca Bonilla

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Silvio Álvarez

DECANO FAC. CIENCIAS

Ing. Mario Villacrés

DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA

Ing. José Usiña

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Hugo Calderón

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Tec. Carlos Rodríguez

**DIRECTOR CENTRO
DE DOCUMENTACIÓN**

NOTA DE TESIS

.....

“Yo, ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA, 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”

ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA

ÍNDICE 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_r	Área de la resina
A_s	Área superficial de sedimentación acelerada
A_T	Área del tanque intercambiador
A_{Tc}	Área del tanque para la mezcla de cloro
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
B_{Tc}	Ancho del tanque para la mezcla de cloro
C	Concentración de la solución
CU	Coefficiente de uniformidad de la arena
C_a	Altura de la capa de agua
C_s	Altura de la capa de soporte
C_v	Profundidad del canal del vertedero
d	Profundidad del agua
D	Dosis de cloro necesario
D_{60}	Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad, o percentil 60 del análisis granulométrico
D_i	Diámetro del tanque intercambiador
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
E	Expansión de la resina al retrolavarla
f_s	Factor de seguridad
F	Número de Froude
F_c	Altura del drenaje
g	Aceleración de la gravedad
G	Gradiente de velocidad
G_t	Número adimensional de Camp
galón/día	Galón por día
g/l	Gramos por litro
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_r	Altura de la resina
h_T	Pérdida de energía total
h_{Tanque}	Altura del tanque intercambiador
hab	Habitantes
H	Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua
H_{Tc}	Altura del tanque para la mezcla de cloro
k	Constante empírica
K_1	Consumo máximo diario
K_c	Coefficiente de mínimo costo
Kg	Kilogramos
Kg/d	Kilogramos por día
Kg/L	Kilogramos por litro
$K_{\text{granos/ft}^3}$	Kilogramos por pie cúbico
$K_{\text{granos/ft}^3 \text{ día}}$	Kilogramos por pie cúbico 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 _{Tc}	Longitud del tanque para la mezcla de cloro
L/día	Litros por día
L/hab*día	Litros por habitante por día
L/s	Litros por segundo
lb/ft ³	Libras por pie cúbico
m	Metros
min	Minutos
ml	Mililitros
mm	Milímetros
m _r	Masa de la resina
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 /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
NTU	Unidades de turbidez nefelométrica
N_L	Número de laterales
N_p	Número de placas
N_{Re}	Número de Reynolds
N/m^3	Newton por metro cúbico
P	Altura de la pared del vertedero
P_a	Población actual
P_{Cl}	Peso de cloro necesario
P_{cal}	Cantidad de cal que se debe aplicar en el dosificador
P_f	Población futura
$Pa.s$	Pascal por segundo
q	Caudal por unidad de ancho
Q	Caudal de diseño
Q_o	Caudal que ingresa a cada orificio
Q_{md}	Caudal medio diario
Q_{Md}	Caudal máximo diario
R	Radio hidráulico
r	Tasa de crecimiento
rpm	Revoluciones por minuto
S	Cantidad de cloruro de sodio
s	Segundos
S_c	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 del 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 del 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_H	Volumen del hipoclorador
V_1	Cantidad de agua para el lavado
V_{agua}	Cantidad de agua
V_r	Volumen de resina
V_s	Volumen del tanque de salmuera
V_{Ts}	Volumen del sedimentador
V_T	Volumen del tanque intercambiador
V_{Tc}	Volumen del tanque para la mezcla de cloro
Z_f	Altura del filtro
Z_s	Altura del sedimentador
%	Porcentaje
θ	Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación
γ	Peso específico del agua
μ	Viscosidad dinámica del agua
ν	Viscosidad cinemática del fluido
$\mu\text{Siems/cm}$	Micro siems por centímetro
$\mu\text{g/l}$	Microgramos por litro
ρ_r	Densidad de la resina

TABLA DE CONTENIDOS

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

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1	MARCO TEÓRICO	1
1.1	AGUA POTABLE.....	1
1.1.1	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE	1
1.2	AGUA SUBTERRÁNEA.....	2
1.2.1	COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	2
1.2.2	FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS ...	3
1.3	AGUA ENTUBADA.....	3
1.3.1	CONDUCCIÓN DEL AGUA	3
1.3.2	CONTAMINACIÓN DEL AGUA A TRAVÉS DE LA TUBERÍA	4
1.4	CALIDAD DEL AGUA	5
1.4.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	5
1.4.2	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	7
1.4.3	CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS	9
1.5	TIPO DE MUESTRAS.....	11
1.5.1	MUESTRA SIMPLE O PUNTUAL	11
1.5.2	MUESTRAS PERIÓDICAS	12
1.5.3	MUESTRAS CONTINUAS.....	12
1.5.4	MUESTRAS COMPUESTAS	12
1.6	MÉTODOS DE MUESTREO DEL AGUA.....	12
1.6.1	MUESTREO ALEATORIO SIMPLE.....	12

1.6.2	MUESTREO COMPUESTO	13
1.7	MEDICIÓN DEL CAUDAL	13
1.7.1	MÉTODO VOLUMÉTRICO	13
1.7.2	MÉTODO VELOCIDAD – ÁREA	14
1.8	POTABILIZACIÓN	14
1.8.1	TIPOS DE TRATAMIENTO PARA POTABILIZAR EL AGUA.....	14
1.8.1.1	COMPONENTES O IMPUREZAS A ELIMINAR.....	15
1.8.1.2	PARÁMETROS DE CALIDAD	15
1.8.2	PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA	18
1.8.2.1	CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL AGUA	18
1.8.2.2	AIREACIÓN	19
1.8.2.3	MEZCLA RÁPIDA.....	20
1.8.2.4	ABLANDAMIENTO CON CAL.....	22
1.8.2.5	COAGULACIÓN QUÍMICA DEL AGUA.....	22
1.8.2.6	FLOCULACIÓN	24
1.8.2.7	SEDIMENTACIÓN	26
1.8.2.8	INTERCAMBIO IÓNICO	27
1.8.2.9	FILTRACIÓN	32
1.8.2.10	DESINFECCIÓN	33
1.8.3	PRUEBA DE JARRAS	35
1.9	DISEÑO.....	36
1.9.1	CAUDAL DE DISEÑO.....	36
1.9.1.1	Población de diseño	36
1.9.1.2	Nivel de complejidad del sistema	36
1.9.1.3	Dotación neta.....	37
1.9.1.4	Dotación bruta	37
1.9.1.5	Caudal medio diario.....	38
1.9.1.6	Caudal máximo diario	38
1.9.2	MEZCLA RÁPIDA EN VERTEDERO RECTANGULAR	39
1.9.2.1	Canal del Vertedero	39
1.9.2.2	Ancho del Vertedero.....	39
1.9.2.3	Caudal por unidad de ancho	40

1.9.2.4	Profundidad crítica de flujo	40
1.9.2.5	Longitud del salto	41
1.9.2.6	Profundidad supercrítica o altura del agua después del salto	41
1.9.2.7	Velocidad del agua en el salto	41
1.9.2.8	Número de Froude	42
1.9.2.9	Profundidad subcrítica o altura del agua después del resalto	42
1.9.2.10	Velocidad del agua en el resalto	42
1.9.2.11	Pérdida de energía en el resalto	43
1.9.2.12	Longitud del resalto	43
1.9.2.13	Velocidad media en el resalto	43
1.9.2.14	Tiempo de mezcla	44
1.9.2.15	Gradiente de velocidad	44
1.9.2.16	Criterios complementarios	45
1.9.3	FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL	45
1.9.3.1	Distancia total recorrida por el agua	45
1.9.3.2	Volumen de agua	46
1.9.3.3	Sección transversal de los canales	46
1.9.3.4	Profundidad del agua	46
1.9.3.5	Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque	47
1.9.3.6	Longitud efectiva de cada canal	47
1.9.3.7	Numero requerido de canales	47
1.9.3.8	Longitud total de la cámara de floculación	48
1.9.3.9	Radio hidráulico	48
1.9.3.10	Pérdidas por fricción en el tanque	48
1.9.3.11	Pérdidas adicionales	49
1.9.3.12	Pérdida de energía total	49
1.9.3.13	Gradiente de velocidad	49
1.9.3.14	Número adimensional de Camp	50
1.9.3.15	Criterios complementarios	50
1.9.4	SEDIMENTADOR LAMINAR	51
1.9.4.1	Carga Superficial después de instalar las placas	51
1.9.4.2	Área de sedimentación acelerada	52

1.9.4.3	Longitud del área de sedimentación acelerada	52
1.9.4.4	Longitud relativa del sedimentador	52
1.9.4.5	Longitud relativa en la región de transición	53
1.9.4.6	Longitud relativa corregida	53
1.9.4.7	Velocidad crítica de sedimentación	53
1.9.4.8	Número de Reynolds	54
1.9.4.9	Volumen del sedimentador	54
1.9.4.10	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	55
1.9.4.11	Número de placas	55
1.9.4.12	Criterios complementarios.....	55
1.9.5	FILTRO RÁPIDO DE ARENA	57
1.9.5.1	Número de filtros.....	57
1.9.5.2	Área del filtro.....	57
1.9.5.3	Coefficiente de mínimo costo	57
1.9.5.4	Longitud del filtro.....	58
1.9.5.5	Ancho del filtro.....	58
1.9.5.6	Composición del lecho filtrante.....	59
1.9.5.7	Altura del filtro	59
1.9.5.8	Sistema de drenaje	59
1.9.5.9	Tubería de entrada al filtro	60
1.9.5.10	Tubería de salida del filtro.....	61
1.9.5.11	Sistema de lavado del filtro	61
1.9.5.12	Criterios Complementarios.....	62
1.9.6	TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES	63
1.9.6.1	Transformación de la dureza en granos/galón.....	63
1.9.6.2	Granos necesarios en un día	63
1.9.6.3	Volumen de resina	63
1.9.6.4	Volumen del tanque intercambiador.....	64
1.9.6.5	Área del tanque intercambiador.....	64
1.9.6.6	Diámetro del tanque intercambiador	64
1.9.6.7	Altura del tanque intercambiador	65
1.9.7	DESINFECCIÓN	65

1.9.7.1	Peso de cloro necesario.....	65
1.9.7.2	Volumen del hipoclorador.....	65
1.9.7.3	Tanque de contacto para la mezcla de cloro.....	66
1.9.7.4	Altura del tanque para la mezcla de cloro.....	66
1.9.7.5	Criterios complementarios.....	66

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2	PARTE EXPERIMENTAL.....	68
2.1	MUESTREO.....	68
2.2	METODOLOGÍA.....	68
2.2.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	68
2.2.2	TRATAMIENTO DE MUESTRAS.....	69
2.3	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	69
2.3.1	MÉTODOS.....	69
2.3.2	TÉCNICAS.....	72
2.3.2.1	POTENCIAL DE HIDRÓGENO pH.....	73
2.3.2.2	CONDUCTIVIDAD.....	74
2.3.2.3	TURBIDEZ.....	75
2.3.2.4	DUREZA.....	76
2.3.2.5	CALCIO.....	77
2.3.2.6	ALCALINIDAD.....	78
2.3.2.7	CLORUROS.....	79
2.3.2.8	SULFATOS.....	80
2.3.2.9	NITRITOS.....	81
2.3.2.10	COLOR.....	82
2.3.2.11	NITRATOS.....	83
2.3.2.12	FOSFATOS.....	84
2.3.2.13	HIERRO.....	85
2.3.2.14	SÓLIDOS TOTALES.....	86
2.3.2.15	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS.....	87

2.3.2.16	CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA	88
2.4	DATOS EXPERIMENTALES.....	89
2.4.1	SITUACIÓN INICIAL – CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE CAPTACIÓN	89
2.4.2	PARÁMETROS FUERA DE LOS LÍMITES PERMISIBLES.....	90
2.5	PROPUESTA DE DISEÑO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA	92

CAPÍTULO III

DISEÑO

3	DISEÑO.....	94
3.1	PRUEBAS DE TRATABILIDAD.....	94
3.1.1	PRUEBA DE JARRAS	94
3.1.2	INTERCAMBIO CATIÓNICICO	98
3.2	CÁCULOS.....	100
3.2.1	CAUDAL DE DISEÑO.....	100
3.2.1.1	Población de diseño	100
3.2.1.2	Nivel de complejidad del sistema.....	101
3.2.1.3	Dotación neta.....	102
3.2.1.4	Dotación bruta	102
3.2.1.5	Caudal medio diario.....	103
3.2.1.6	Caudal máximo diario	103
3.2.2	VERTEDERO RECTANGULAR.....	104
3.2.2.1	Canal del Vertedero	104
3.2.2.2	Ancho del Vertedero.....	105
3.2.2.3	Caudal por unidad de ancho	105
3.2.2.4	Profundidad crítica de flujo	105
3.2.2.5	Longitud del salto	106
3.2.2.6	Profundidad supercrítica.....	106
3.2.2.7	Velocidad del agua en el salto	106
3.2.2.8	Número de Froude	107
3.2.2.9	Profundidad subcrítica.....	107

3.2.2.10	Velocidad del agua en el resalto	107
3.2.2.11	Pérdida de energía en el resalto	107
3.2.2.12	Longitud del resalto	108
3.2.2.13	Velocidad media en el resalto	108
3.2.2.14	Tiempo de mezcla	108
3.2.2.15	Gradiente de velocidad	108
3.2.3	FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL	110
3.2.3.1	Distancia total recorrida por el agua	110
3.2.3.2	Volumen de agua	110
3.2.3.3	Sección transversal de los canales	111
3.2.3.4	Profundidad del agua	111
3.2.3.5	Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque	111
3.2.3.6	Longitud efectiva de cada canal	112
3.2.3.7	Número requerido de canales	112
3.2.3.8	Longitud total de la cámara de floculación	112
3.2.3.9	Radio hidráulico	112
3.2.3.10	Pérdidas por fricción en el tanque	113
3.2.3.11	Pérdidas adicionales	113
3.2.3.12	Pérdida de energía total	113
3.2.3.13	Gradiente de velocidad	114
3.2.3.14	Número adimensional de Camp	114
3.2.3.15	Dosificación de cal	115
3.2.3.16	Dosificación de policloruro de aluminio	115
3.2.4	SEDIMENTADOR LAMINAR	117
3.2.4.1	Carga Superficial después de instalar las placas	117
3.2.4.2	Área de sedimentación acelerada	117
3.2.4.3	Longitud del área de sedimentación acelerada	118
3.2.4.4	Longitud relativa del sedimentador	118
3.2.4.5	Longitud relativa en la región de transición	119
3.2.4.6	Longitud relativa corregida	119
3.2.4.7	Velocidad crítica de sedimentación	119
3.2.4.8	Número de Reynolds	120

3.2.4.9	Volumen del sedimentador	120
3.2.4.10	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	121
3.2.4.11	Número de placas	121
3.2.5	FILTRO RÁPIDO DE ARENA	122
3.2.5.1	Número de filtros	122
3.2.5.2	Área del filtro.....	123
3.2.5.3	Coefficiente de mínimo costo	123
3.2.5.4	Longitud del filtro.....	123
3.2.5.5	Ancho del filtro.....	124
3.2.5.6	Composición del lecho filtrante.....	124
3.2.5.7	Altura del filtro	124
3.2.5.8	Sistema de drenaje	125
3.2.5.9	Tubería de entrada al filtro	126
3.2.5.10	Tubería de salida del filtro.....	127
3.2.5.11	Sistema de lavado del filtro	127
3.2.6	TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES	129
3.2.6.1	Transformación de la dureza en granos/galón.....	129
3.2.6.2	Granos necesarios en un día	129
3.2.6.3	Volumen de resina	130
3.2.6.4	Volumen del tanque intercambiador.....	130
3.2.6.5	Área del tanque intercambiador.....	131
3.2.6.6	Diámetro del tanque intercambiador	131
3.2.6.7	Altura del tanque intercambiador	131
3.2.6.8	Ciclos de regeneración.....	132
3.2.6.9	Tanque de salmuera	132
3.2.7	DESINFECCIÓN	133
3.2.7.1	Peso de cloro necesario.....	134
3.2.7.2	Volumen del hipoclorador	134
3.2.7.3	Tanque de contacto para la mezcla de cloro.....	134
3.2.7.4	Altura del tanque para la mezcla de cloro	135
3.3	RESULTADOS DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN	136
3.3.1	CAUDAL DE DISEÑO.....	136

3.3.2	VERTEDERO RECTANGULAR.....	136
3.3.3	FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL	137
3.3.4	SEDIMENTADOR LAMINAR.....	137
3.3.5	FILTRO RÁPIDO DE ARENA	138
3.3.6	TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES	139
3.3.7	DESINFECCIÓN	139
3.4	SITUACIÓN FINAL – RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA TRATADA.....	140
3.5	DIAGRAMA DEL PROCESO	144
3.6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	145

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO

4	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	148
4.1	COSTO DE INVERSIÓN	148
4.2	COSTO DE OPERACIÓN AL DÍA	150

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	151
5.1	CONCLUSIONES.....	151
5.2	RECOMENDACIONES	153

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

		Pp.
Tabla 1.1	Parámetros para el Agua de Consumo Humano	10
Tabla 1.2	Procesos Unitarios en función de los contaminantes presentes.....	15
Tabla 1.3	Parámetros del Agua Bruta que determinan el grado de Tratamiento de Potabilización según R. D. 927/1988	16
Tabla 1.4	Procesos Unitarios referidos a cada Grado de Tratamiento.....	17
Tabla 1.5	Nivel de Complejidad del Sistema	36
Tabla 1.6	Dotación Neta	37
Tabla 1.7	Pérdidas Técnicas	37
Tabla 1.8	Valores de K_1	38
Tabla 1.9	Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera	45
Tabla 1.10	Parámetros de Diseño para Floculadores Hidráulicos de Tabiques.....	50
Tabla 1.11	Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad de Manning.....	51
Tabla 1.12	Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares	55
Tabla 1.13	Parámetros de Diseño de las Placas Planas de Asbesto - Cemento.....	56
Tabla 1.14	Valores de S_c Típicos	56
Tabla 1.15	Viscosidad Cinemática del Agua a 1 Atmósfera	56
Tabla 1.16	Parámetros de Diseño de Filtros Rápidos de Arena	62
Tabla 1.17	Parámetros de Diseño de laterales	62
Tabla 1.18	Velocidades de Diseño para tuberías del filtro	62
Tabla 1.19	Demanda de Cloro para Aguas	67
Tabla 2.1	Recolección de Muestras, STANDARD METHODS *2310 A y B	68
Tabla 2.2	Métodos de Análisis del Agua.....	69
Tabla 2.3	STANDARD METHODS *4500 HB.....	73
Tabla 2.4	STANDARD METHODS *2510	74
Tabla 2.5	STANDARD METHODS *2130 B.....	75
Tabla 2.6	STANDARD METHODS *2340 B Y C	76
Tabla 2.7	STANDARD METHODS *3500 Ca.....	77
Tabla 2.8	STANDARD METHODS *2320 B.....	78
Tabla 2.9	STANDARD METHODS *4500 CI B.....	79

Tabla 2.10	STANDARD METHODS *4500 SO ₄ E	80
Tabla 2.11	STANDARD METHODS *4500 NO ₂	81
Tabla 2.12	MÉTODO HACH*	82
Tabla 2.13	MÉTODO HACH*	83
Tabla 2.14	MÉTODO HACH*	84
Tabla 2.15	MÉTODO HACH*	85
Tabla 2.16	STANDARD METHODS *2540	86
Tabla 2.17	MÉTODO HACH*	87
Tabla 2.18	STANDARD METHODS	88
Tabla 2.19	Análisis Físico – Químico del Agua de la Comunidad La Candelaria	89
Tabla 2.20	Análisis Microbiológico del Agua de la Comunidad La Candelaria	90
Tabla 2.21	Parámetros Físico – Químicos fuera de Norma	90
Tabla 2.22	Parámetros Microbiológicos fuera de Norma	92
Tabla 3.1	Prueba de Jarras con CAL y PAC	95
Tabla 3.2	Intercambio Catiónico	98
Tabla 3.3	Proyección de la Población	101
Tabla 3.4	Resultados de Caudal de Diseño	136
Tabla 3.5	Resultados de Vertedero Rectangular	136
Tabla 3.6	Resultados de Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal	137
Tabla 3.7	Resultados de Sedimentador Laminar	137
Tabla 3.8	Resultados de Filtro Rápido de Arena	138
Tabla 3.9	Resultados de Tanque Intercambiador de Cationes	139
Tabla 3.10	Resultados Desinfección	139
Tabla 3.11	Análisis Físico – Químico del Agua Tratada	140
Tabla 3.12	Análisis Microbiológico del Agua Tratada	143
Tabla 3.13	Rendimiento de Potabilización	146
Tabla 3.14	Rendimiento de Potabilización	147
Tabla 4.1	Costo de Equipos y Accesorios	148
Tabla 4.2	Costo de Instalación Hidráulica y Mano de Obra	150
Tabla 4.3	Costo Total de Inversión	150
Tabla 4.4	Costo de Operación al día	150

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pp.
Figura 1.1	Aireadores típicos de Bandejas 19
Figura 1.2	Mezcladores Mecánicos 20
Figura 1.3	Mezcladores Hidráulicos 21
Figura 1.4	Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal 24
Figura 1.5	Floculador Mecánico de Paletas 25
Figura 1.6	Sedimentador Simple 26
Figura 1.7	Intercambiador Iónico 27
Figura 1.8	Filtro Lento de Arena 32
Figura 1.9	Filtro Rápido de Arena 33
Figura 1.10	Configuración del Resalto en un Vertedero Rectangular 39
Figura 1.11	Floculador de Tabiques de Flujo Horizontal 45
Figura 2.1	Diagrama de Bloques del Sistema de Tratamiento Propuesto 93
Figura 3.1	Prueba de Jarras con Cal y Policloruro de Aluminio 94
Figura 3.2	Dimensiones del Vertedero Rectangular 109
Figura 3.3	Dimensiones del Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal 116
Figura 3.4	Dimensiones del Sedimentador Laminar 122
Figura 3.5	Dimensiones del Filtro Rápido de Arena 128
Figura 3.6	Drenaje del Filtro con Tuberías Perforadas 129
Figura 3.7	Dimensiones del Tanque Intercambiador de Cationes 133
Figura 3.8	Dimensiones del Tanque la para mezcla de cloro 135

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pp.
Gráfico 2.1	Parámetros Físico – Químicos fuera de Norma..... 91
Gráfico 2.2	Parámetros Microbiológicos fuera de Norma..... 92
Gráfico 3.1	Cal vs Alcalinidad 96
Gráfico 3.2	Cal vs Fosfatos..... 96
Gráfico 3.3	Cal vs pH 97
Gráfico 3.4	Peso Resinas vs Dureza 99
Gráfico 3.5	Solución NaCl vs Dureza 99
Gráfico 3.6	Parámetros Físico – Químicos del Agua Tratada 141
Gráfico 3.7	Parámetros Físico – Químicos del Agua Tratada 142
Gráfico 3.8	Parámetros Microbiológicos del Agua Tratada 143
Gráfico 3.9	Turbiedad, Dureza, Calcio, Magnesio, Alcalinidad, Bicarbonatos, Fosfatos 146
Gráfico 3.10	Coliformes Totales y Coliformes Fecales 147

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011 AGUA POTABLE. REQUISITOS
ANEXO II	FICHA TÉCNICA RESINA CATIÓNICA FUERTEMENTE ÁCIDA
ANEXO III	FICHA TÉCNICA CAL
ANEXO IV	FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)
ANEXO V	PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CAL
ANEXO VI	PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)
ANEXO VII	PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO
ANEXO VIII	PROCEDIMIENTO PARA LA REGENERACIÓN DE LA RESINA CATIÓNICA DE ÁCIDO FUERTE
ANEXO IX	PROCEDIMIENTO PARA EL LAVADO DEL FILTRO RÁPIDO DE ARENA
ANEXO X	ABLANDAMIENTO CON CAL Y FLOCULACIÓN CON POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)
ANEXO XI	FILTRACIÓN CON ARENA E INTERCAMBIO CATIÓNICO
ANEXO XII	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M1
ANEXO XIII	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M2
ANEXO XIV	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M3
ANEXO XV	RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA CRUDA
ANEXO XVI	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA TRATADA
ANEXO XVII	RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA TRATADA

ANEXO XVIII	PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA
ANEXO XIX	MEZCLADOR – VERTEDERO RECTANGULAR
ANEXO XX	VISTA FRONTAL FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL
ANEXO XXI	VISTA PLANTA FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL
ANEXO XXII	SEDIMENTADOR LAMINAR
ANEXO XXIII	FILTRO RÁPIDO DE ARENA
ANEXO XXIV	TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES
ANEXO XXV	DESINFECCIÓN (TANQUE DE CLORACIÓN)

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo diseñar un sistema de tratamiento para potabilizar el agua en la Comunidad La Candelaria perteneciente a la Parroquia San Luis, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

Mediante los métodos cuantitativo y experimental, se estableció la caracterización inicial del agua a tratar, correspondiente a los análisis físico – químicos y microbiológicos, empleando técnicas espectrofotométricas, volumétricas e instrumentales; a su vez, empleados para la recolección de muestras y realización de pruebas de jarras estableciendo la dosificación adecuada de cal y policloruro de aluminio, mismas que se efectuaron en el Laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad de Ciencias, ESPOCH.

De las caracterizaciones iniciales del agua, fueron identificados siete parámetros físico – químicos por encima de los límites permisibles conforme establece la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”, siendo éstos: turbiedad, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos, fosfatos, en cuanto a los microbiológicos: coliformes totales y coliformes fecales.

Se estableció el sistema de tratamiento adecuado, obteniéndose como resultado: turbiedad: 0,10 NTU, dureza: 80 mg/l, calcio: 16 mg/l, magnesio: 9,7 mg/l, alcalinidad: 200 mg/l, bicarbonatos: 204 mg/l, fosfatos: 0,16 mg/l, para coliformes totales y fecales, ausencia; cumpliendo con la normativa vigente.

La planta de tratamiento se diseñó con un mezclador en vertedero rectangular de longitud: 0,69 m, ancho: 0,14 m, altura: 0,50 m; floculador hidráulico de flujo horizontal, longitud: 13,47 m, ancho: 4 m, profundidad: 0,10 m; sedimentador laminar, longitud: 1,35 m, ancho: 2,40 m, profundidad: 3 m; filtro rápido de arena, área: 2,03 m², profundidad: 3,06 m; tanque intercambiador de cationes con capacidad: 2,50 m³, diámetro: 1,41 m; finalmente la desinfección será directamente en el tanque de almacenamiento con una capacidad de 5,56 m³.

El tratamiento propuesto garantizará agua de calidad para el consumo de la Comunidad La Candelaria, por lo que se recomienda implementar dicho sistema.

SUMMARY

The present research has like objective to design a treatment system for making water drinkable in La Candelaria Community belongs to San Luis, Riobamba, and Chimborazo Province.

Through the quantitative and experimental methods, was established the initial characterization of the water to be treated, corresponding to the analysis physical – chemical and microbiological, employing espectrofometric, volumetric and instrumental techniques, used also for the compilation of samples and realization of evidence of pitchers, setting the correct dosage of lime and aluminium polychloride, the same that were carried out in the Lab of Technical Analysis, Science Faculty, ESPOCH.

Of the initial water characterizations, were identified seven physic – chemical parameters for over the permissible limitations according to INEN Norm 1108:2011 “Drinkable Water. Requisites”, being: turbidity, hardness, calcium, magnesium, alkalinity, bicarbonate, phosphates, in terms of the microbiological: total coliforms and faecal coliforms.

Was established the system of adequate treatment, obtaining like result: turbidity: 0,10 NTU, hardness: 80 mg/l, calcium: 16 mg/l, magnesium: 9,7 mg/l, alkalinity: 200 mg/l, bicarbonates: 204 mg/l, phosphates: 0,16 mg/l, for total and faecal coliforms, absence; complying with regulations in force.

The treatment plant was designed with a rectangular dumping site of 0,69 m long, 0,14 m wide and 0,50 m high; hydraulic flocculator of horizontal flow, length: 13,47 m, wide: 4 m, depth: 0,10 m; plate settler, length: 1,35 m, wide: 2,40 m, depth: 3 m; fast filter of sand, area: 2,03 m², depth: 3,06 m; cation exchanger tank with capacity: 2,50 m³, diameter: 1,41 m; finally the disinfection will be directly in the storage tank with capacity of 5,56 m³.

The proposed treatment will guarantee water of quality for the consumption of La Candelaria, therefore it is recommended to implement this system.

INTRODUCCIÓN

La purificación del agua es uno de los problemas de más urgente solución. El objetivo inmediato es proveer a todos los habitantes de agua potable, porque de esta manera cada comunidad satisface un requerimiento fundamental para su bienestar y comodidad.

La Junta Administradora del Agua Potable interesada por mejorar la calidad del agua para la distribución a los moradores de la comunidad, me permitió desarrollar la investigación para de esta manera ofrecer agua con características aceptables.

En la presente investigación se expone información sobre el diseño de un sistema de tratamiento para la potabilización del agua en la comunidad La Candelaria perteneciente a la Parroquia San Luis, cuya fuente principal es agua subterránea, misma que es conducida por gravedad a través de tuberías de PVC desde su fuente hasta la comunidad a una distancia de 10 Km.

El agua al no recibir tratamiento alguno, se considera que es poco aceptable para el consumo humano puesto que al realizar la caracterización físico – química y microbiológica del agua, se identificaron varios parámetros por encima de los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”.

La calidad del agua cruda oscila de una fuente a otra; por ello, el tipo de tratamiento de potabilización requerido para producir agua potable también varía, por lo que se seleccionó el tratamiento más adecuado, con tecnologías simples adaptadas a las necesidades de la comunidad, de fácil operación y mantenimiento; mediante pruebas de tratabilidad realizadas en el laboratorio de Análisis Técnicos, que tratará de mejorar la calidad del agua, garantizando su distribución a la comunidad La Candelaria cumpliendo con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”.

ANTECEDENTES

La comunidad La Candelaria se encuentra ubicada al sur - este de la ciudad de Riobamba, a 10 Km; la misma que pertenece a la Parroquia rural San Luis, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo; cuya superficie territorial es de 1 Km².

Sus límites son: Norte: San Luis, Sur: Guaslán, Este: San Antonio y Tiazo, Oeste: Cerros de Güiguan.

La comunidad se caracteriza por sus tierras y costumbres que hacen de ella una zona productiva y comercial, siendo su principal actividad económica la agricultura y la actividad pecuaria.

La mayor parte de la comunidad está conformada por campesinos, cuyo dominio de lengua es el español. El vestido tradicional de indígena ya no lo conservan y los jóvenes usan vestimenta amestizada.

Mantienen sus tradiciones propias como las prestas manos; la solidaridad se expresa ante cualquier calamidad doméstica sobre todo en la velación de alguno de los miembros de la comuna. Tienen como tradición festejar las Fiestas de la Virgen de la Candelaria el 3 de marzo de cada año y formar parte de las fiestas patronales de San Luis, Rey de Francia. Aproximadamente, el 80% de la población son católicos y un 20% son evangélicos.

La comunidad se acogió a la Ley de Comunas decretada en 1948, obteniendo su jurisdicción territorial en calidad de comuna en 1970, la misma que fue otorgada por el MAG; en la actualidad cuenta con unos 600 habitantes, los mismos que no tienen acceso al servicio de agua potable, disponen únicamente de agua entubada la cual es recolectada desde una vertiente hidrográfica, en un reservorio de hormigón.

Los primeros pobladores de la comunidad se abastecían del agua que se emplea para riego y/o en ocasiones recurrían a las vertientes de agua existentes en la Parroquia San Luis; con el paso de los años y con el crecimiento de la población, la comuna optó por

abastecerse de agua en cada uno de sus hogares para lo cual se creó la Junta Administradora del Agua Potable en dicha comunidad.

La comunidad hace aproximadamente cinco años, logró obtener la jurisdicción del agua entubada para el consumo humano que proviene de una vertiente hidrográfica ubicada en la quebrada de Siguilan, perteneciente a la Parroquia de Punín; acogándose en la Ley Constitutiva de las Juntas Administradoras de Agua Potable y Alcantarillado, Decreto No. 3327, marzo de 1979; la misma que les fue atribuida por el MIDUVI.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad de agua en el mundo es indispensable debido al acelerado crecimiento de la población humana. El agua potable para beber, cocinar y lavar es esencial para el mantenimiento de la salud y por ende un recurso muy importante como el agua debe ser debidamente tratado para asegurarse de que sea apta para el consumo.

El agua entubada para consumo de la comunidad La Candelaria de la Parroquia San Luis, al momento no recibe un tratamiento previo a su distribución, por lo que el agua que es consumida por los moradores no es de buena calidad y se considera necesario ofrecer un suministro de agua potable de excelentes características que cumpla con la Norma de calidad NTE INEN 1108:2011, cuarta versión, la misma que especifica los valores de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas para agua potable (Ver Anexo I); para lo cual se propone el tema de tesis cuyo objeto es el diseño de un sistema de tratamiento para potabilizar el agua, para que abastezca a la población actual y a una población proyectada en años futuros.

Por otra parte, el tema de tesis propuesto es de mucho interés tanto para la comuna como para la Junta Administradora del Agua Potable La Candelaria por lo que apoyan y facilitan los estudios para el diseño del sistema de potabilización del agua; ya que con dicho estudio se podrá solicitar a entidades como EP-EMAPAR y Prefectura de Chimborazo, el presupuesto necesario para la implementación del sistema de tratamiento del agua para el beneficio de la comunidad asegurando su bienestar social.

OBJETIVOS

GENERAL

- ✓ Diseñar un sistema de tratamiento para la potabilización del agua en la Comunidad La Candelaria, Parroquia San Luis.

ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar la caracterización físico – química y microbiológica del agua en la captación, identificando y comparando los parámetros de calidad de acuerdo a la norma NTE INEN 1108:2011 de Agua Potable apta para el consumo humano.
- ✓ Establecer el sistema de tratamiento de agua más adecuado a nivel operacional, planteando alternativas de viabilidad técnica, en base a los parámetros identificados en la caracterización.
- ✓ Identificar las variables de proceso que se requieren para el diseño del sistema de potabilización del agua.
- ✓ Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de potabilización.
- ✓ Realizar la caracterización físico – química y microbiológica del agua en la captación posterior al diseño del sistema.
- ✓ Elaborar los planos de la planta de potabilización de agua con procesos y operaciones acordes al diseño.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1 MARCO TEÓRICO

1.1 AGUA POTABLE

Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de purificación, no representa un riesgo para la salud. Es un agua de apariencia limpia, inodora, incolora y sabor agradable, libre de toda contaminación, así como de organismos y en particular, patógenos.

1.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE

Cuando se purifica el agua, una de las cosas más importantes es que después de todo su proceso, ésta ya no cuente con sustancias que la hacen tóxica y nada saludable para el consumo humano ni animal.

El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos sanitarios:

- ✓ Tener un color transparente o blanco, esto se deberá a la presencia del cloro, sustancia que ayuda a eliminar las bacterias que no son benéficas para el consumo del hombre y de los animales.
- ✓ Ser fresca y limpia.
- ✓ No tener ni olor ni sabor más que el peculiar. El agua potable tendrá un sabor y olor a cloro.
- ✓ No contener materia orgánica ni en suspensión ni en disolución.
- ✓ No contener microorganismos patógenos causantes de enfermedades, y de los no patógenos solo un límite reducido y determinado.
- ✓ Contener determinada proporción de gases disueltos.
- ✓ No contener sustancias como el plomo, zinc, yodo; debido a que pueden ser perjudiciales para el ser humano.¹

¹ Características del Agua Potable. <http://www.filtrosdeaguaalcalina.co/caracteristicas-del-agua-potable/>

1.2 AGUA SUBTERRÁNEA

Las aguas subterráneas presentan normalmente un grado de contaminación inferior a las superficiales, pero, en la mayoría de los casos, deben tener un tratamiento previo antes de ser aptas para el consumo humano.

Las aguas subterráneas se encuentran en acuíferos² y desde ellos se realiza la mayoría de las extracciones de este tipo de agua. Es también desde estos acuíferos, en la forma de manantiales, desde donde sale la mayor proporción del caudal de algunos ríos.

1.2.1 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La composición de las aguas subterráneas es muy variable, y depende de distintos factores, principalmente relacionados con el tipo de formación geológica por el cual se mueven y por el tiempo de residencia en ésta hasta que es descargada.

En las aguas subterráneas naturales, las sustancias disueltas en ellas se encuentran principalmente como iones. Los iones presentes en las aguas se pueden clasificar en función de su abundancia relativa en varios tipos:

- ✓ **Constituyentes mayoritarios:** Son una serie de elementos comunes a todas las aguas que constituyen casi la totalidad de iones en solución. Estos iones fundamentales son: cloruros, sulfatos, bicarbonatos, calcio, sodio, magnesio, anhídrido carbónico y sílice.
- ✓ **Constituyentes minoritarios:** Son elementos que, por lo general, constituyen menos del 1% del contenido iónico total. Se encuentran en menor concentración; en este grupo se engloban nitratos, fluoruros, hierro, potasio, boro y estroncio.
- ✓ **Elementos de traza:** Son compuestos que se presentan en el agua en cantidades muy pequeñas. Dentro de este grupo se encuentran iones metálicos como arsénico, antimonio, cromo, plomo, cobre, zinc, bario, vanadio, mercurio, uranio, etc., y aniones como fosfatos, yoduros, bromuros.³

² Acuíferos: Formación geológica y permeable capaz de almacenar agua y permitir su circulación.

³ Contaminación de suelos y aguas subterráneas., Unidad conceptos básicos de edafología e hidrogeología., Madrid-España., Formaselect S.L., 2007., Pp. 49-50.

1.2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La contaminación de las aguas subterráneas puede proceder de distintos tipos de fuentes entre las que se encuentran distintas actividades agrarias, urbanas y/o industriales, además, se puede originar la salinización de acuíferos por sobreexplotación.

La principal contaminación del agua subterránea en una zona rural es la contaminación agrícola, cuyas prácticas agrícolas realizadas en el suelo, pueden provocar contaminación indirecta de las aguas subterráneas.

Por otra parte las actividades ganaderas también son fuente de contaminación de las aguas subterráneas, siendo los residuos ganaderos las heces sólidas y orines del ganado.⁴

1.3 AGUA ENTUBADA

El agua entubada es el agua transportada mediante tubos directamente del manantial o río, pero no está purificada por lo que sigue siendo agua contaminada. Algunas comunidades traen el agua directamente del manantial o río a través de tubos, y esto ahorra tiempo, pero pone en peligro la salud del ser humano.⁵

1.3.1 CONDUCCIÓN DEL AGUA

La conducción del agua forma parte de un sistema de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades; en esto no difiere de los grandes esquemas. Se necesita transportar el agua desde la fuente hasta la planta de tratamiento, si existe alguna, y más allá hasta el área de distribución. Dependiendo de la topografía y las condiciones locales, se puede transportar el agua a través de conductos de flujo libre o abierto como canales o acequias, conductos cerrados como tuberías, o una combinación de ambos, la transmisión del agua será ya sea bajo gravedad o mediante bombeo.

⁴ Contaminación de Suelos y Aguas Subterráneas., Unidad Origen y Mecanismos de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas., Madrid-España., Formaselect S.L., 2007., Pp. 68-70.

⁵ Agua entubada

http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3502/4/BVCI0002407_1.pdf

Para propósitos de abastecimiento público de agua, las tuberías son los medios más comunes de transmisión de agua, pero también se utilizan los canales, acueductos y túneles.⁶

1.3.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA A TRAVÉS DE LA TUBERÍA

Las tuberías que contienen agua durante largos trayectos pueden liberar moléculas tóxicas al agua como son:

- ✓ El cobre, genera compuestos tóxicos como cloruros y sulfatos, que provocan alteraciones digestivas e impregnaciones en los huesos.
- ✓ Las tuberías de hierro se corroen con facilidad, fomentando la formación de biocapas; el crecimiento de microbios hierro-dependientes, como *Legionella*,⁷ supone un riesgo adicional a las aguas de abastecimiento.
- ✓ Las tuberías de cemento se permeabilizan en suelos salinos, permitiendo la contaminación externa antes de que se detecten las averías.
- ✓ Los distintos materiales plásticos, sobre todo el PVC, es el más utilizado por sus bajos costos y facilidad de manejo, no se oxidan y no afectan al sabor del agua; contienen altos niveles de plomo por lo que al estar en contacto con el calor y directamente con el sol pueden deteriorarse y liberar niveles altos peligrosos de polvo de plomo que puede causar enfermedades al ser humano.

Los plásticos en general, empleados para el transporte del agua tienen una vida útil promedio de 50 años, siempre y cuando reciban tratamiento adecuado durante su uso.⁸

⁶ Conducción del agua. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-19.pdf>

⁷ *Legionella*: Bacteria causante de la enfermedad del legionario, una forma de neumonía grave.

⁸ Agua de bebida saludable por tubería. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n11/ajmar.html>

1.4 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Estas características afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal.

1.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etc.), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

Se consideran importantes las siguientes:

- ✓ **Turbidez:** La turbidez o turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua.

La turbidez en un agua puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica, y microorganismos.

El método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica (UTN).

- ✓ **Color:** Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico⁹, y algunos residuos industriales.

Dos tipos de color se reconocen en el agua; el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que se ha removido su turbidez, y el color aparente, que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el

⁹ Ácido húmico: Mezcla compleja de material orgánico como hojas, ramas, troncos en descomposición.

color debido al material suspendido. El color se mide en unidades de color aparente, Pt-Co.

- ✓ **Olor y sabor:** Los olores y sabores en el agua con frecuencia ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Entre las causas más comunes de olores y sabores en el agua se encuentran: materia orgánica en solución, H₂S, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc.

Tanto el olor como el sabor pueden describirse cualitativamente, pero además existen diferentes métodos cuantitativos para expresar la concentración de olor y de sabor. El método más usado consiste en determinar la relación de dilución a la cual el olor o el sabor son apenas detectables. El valor de dicha relación se expresa como número detectable (ND) de olor o de sabor.

- ✓ **Sólidos totales:** Corresponden a la materia que permanece como residuo después de secar una muestra de agua. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto.
- ✓ **Sólidos disueltos o residuos disueltos:** Conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada. Son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Las unidades utilizadas para la medición de los sólidos totales y disueltos son mg/l.
- ✓ **pH:** El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. No tiene efectos directos sobre la salud, pero puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.
- ✓ **Conductividad:** Es la capacidad que presenta el agua para conducir la electricidad, debido a las sales que lleva disueltas. Se determina mediante electrometría con un electrodo conductimétrico, expresándose el resultado en $\mu\text{Siemens/cm}$.

1.4.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

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

Los parámetros químicos más comúnmente utilizados para establecer la calidad del agua se determinan por el método espectrofotométrico y volumétrico, siendo éstos:

- ✓ **Amonios:** Las aguas de manantiales cálidos pueden contener concentraciones altas de amonio. La concentración en la que se encuentra el amonio en agua de consumo no representa riesgo para la salud del consumidor. En muchas aguas se encuentran cantidades pequeñas del ión amonio en forma natural. El ión amonio presente en el agua se expresa en mg/l.
- ✓ **Alcalinidad:** Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. La alcalinidad se debe generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

Este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor. La alcalinidad del agua se expresa como mg/l de carbonato de calcio.

- ✓ **Calcio:** Junto con el magnesio son los principales causantes de la dureza. Los iones de calcio disueltos en el agua forman depósitos en tuberías y calderas cuando el agua es dura, es decir, cuando contiene demasiado calcio. Las concentraciones de calcio en aguas varían mucho, pero en general suelen ir asociadas al nivel de mineralización; por esta misma razón, las aguas subterráneas habitualmente presentan contenidos mayores a las superficiales correspondientes. Las unidades utilizadas para su medición son mg/l.
- ✓ **Dureza:** Se define como la suma de todos los cationes multivalentes presentes en el agua, siendo los más importantes calcio y magnesio. Los principales cationes que causan dureza en el agua y los principales aniones asociados con ellos son: calcio, magnesio, estroncio, hierro, manganeso, bicarbonatos, sulfatos, cloruros,

nitratos y silicatos. La expresión más habitual de la dureza es en mg/l o ppm de carbonato de calcio.

- ✓ **Fosfatos:** Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro, meta y polifosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos pueden estar solubles en los cuerpos de los organismos acuáticos.

Su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, etc.

Para una buena interpretación de la presencia de fosfatos en las fuentes de aguas crudas, es recomendable la diferenciación analítica de las especies químicas existentes en ellas. Las unidades utilizadas para su medición son mg/l.

- ✓ **Fluoruros:** La mayor parte de los fluoruros son de baja solubilidad; por ello la concentración de fluoruros en aguas naturales es normalmente baja. Las unidades utilizadas para su medición son mg/l.

- ✓ **Hierro y Manganeseo:** Tanto el hierro como el manganeso crean problemas de suministros de agua. Estos problemas son más comunes en aguas subterráneas, en algunos casos, también en aguas superficiales provenientes de algunos ríos y embalses. El hierro y el manganeso están presentes como Fe^{++} y Mn^{++} .

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua.

La presencia de manganeso en el agua provoca el desarrollo de ciertas bacterias que forman depósitos insolubles de estas sales, debido a que se convierte, por oxidación, de manganeso en solución al estado mangánico en el precipitado. Las unidades utilizadas tanto para el hierro como para el manganeso son mg/l.

- ✓ **Magnesio:** Es uno de los minerales que junto con el calcio produce la dureza del agua. En cantidades importantes puede producir efectos laxantes. Las unidades utilizadas para su medición son mg/l.
- ✓ **Sulfatos:** El ión sulfato, uno de los aniones más comunes en las aguas naturales, se encuentra en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/l.

Los sulfatos pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo. Las unidades utilizadas para su medición son mg/l.

- ✓ **Nitritos y Nitratos:** El nitrógeno, en el agua se lo encuentra como amoníaco, nitratos y nitritos. Los nitratos son muy solubles en agua debido a la polaridad del ión. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos.

Los nitritos son solubles en agua. Se transforman naturalmente a partir de los nitratos, ya sea por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos y terrestres o por reducción bacteriana. Las unidades utilizadas para la medición de nitritos y nitratos son mg/l.

1.4.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también pueden provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia.

La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica.

En el análisis bacteriológico es importante detectar un grupo específico de bacterias llamado Grupo Coliforme, pero no todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se distinguen:

- ✓ **Coliformes totales:** Comprenden la totalidad del grupo coliforme.
- ✓ **Coliformes fecales:** El grupo coliforme incluye las bacterias anaeróbicas, Gram-negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas a 35 °C. Son un tipo de bacterias que se encuentran en las heces y pueden producir enfermedades. Representan la fracción de coliformes presentes en intestinos y materias fecales del hombre o animales de sangre caliente.

La presencia de coliformes fecales en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.¹⁰

En la tabla 1.1 se expone los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 de los parámetros físico – químicos y microbiológicos más utilizados para establecer la calidad del agua para consumo humano.

Tabla 1.1 Parámetros para el Agua de Consumo Humano

Requisitos Físico – Químicos		
Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable

¹⁰ ROMERO, J., Calidad del Agua., 3^{ra} ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2009.

Sabor	---	no objetable
pH	---	6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	500
Sólidos Totales	mg/l	1000
<i>Inorgánicos</i>		
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
Cloro libre residual	mg/l	0,3 – 1,5
Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	1,0
Fósforo (P-PO ₄)	mg/l	0,3
Flúor, F	mg/l	1,5
Requisitos Microbiológicos		
Coliformes totales	NMP/100 ml	< 2*
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 2*

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011. Agua Potable. Requisitos.

1.5 TIPO DE MUESTRAS

1.5.1 MUESTRA SIMPLE O PUNTUAL

Las muestras puntuales son muestras individuales, recogidas de forma manual o automática, para aguas en la superficie, a una profundidad específica y en el fondo.

Se recomienda tomar muestras puntuales si el flujo del agua a muestrear no es uniforme, si los valores de los parámetros de interés no son constantes o si el uso de la muestra compuesta presenta diferencias con la muestra individual debido a la reacción entre las muestras.

Las muestras puntuales son esenciales cuando el objetivo del programa de muestreo es estimar si la calidad del agua cumple con los límites o se aparta del promedio de calidad.

La toma de muestras puntuales se recomienda para la determinación de parámetros inestables como: la concentración de gases disueltos, cloro residual y sulfitos solubles.

1.5.2 MUESTRAS PERIÓDICAS

Muestras periódicas tomadas a intervalos de tiempo fijos, estas muestras se toman usando un mecanismo cronometrado para iniciar y finalizar la recolección del agua durante un intervalo de tiempo específico.

1.5.3 MUESTRAS CONTINUAS

Muestras continuas tomadas a flujos fijos, las muestras tomadas por esta técnica contienen todos los constituyentes presentes durante un período de muestreo, pero en muchos casos no proporciona información de la variación de la concentración de parámetros específicos durante el período de muestreo.

1.5.4 MUESTRAS COMPUESTAS

Las muestras compuestas se pueden obtener de forma manual o automática, sin importar el tipo de muestreo. Se toman continuamente muestras que se reúnen para obtener muestras compuestas.

Las muestras compuestas suministran el dato de composición promedio. Por lo tanto, antes de mezclar las muestras se debe verificar que ese es el dato requerido o que los parámetros de interés no varían significativamente durante el período de muestreo.¹¹

1.6 MÉTODOS DE MUESTREO DEL AGUA

1.6.1 MUESTREO ALEATORIO SIMPLE

Consiste en la toma al azar de muestras independientes y temporales. Se toma en un sitio determinado y una sola vez, se utiliza para determinar los parámetros de calidad

¹¹ Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:1998. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. Pp. 2-3.

del agua como potabilidad principalmente en redes de abastecimiento de agua de una comunidad.

1.6.2 MUESTREO COMPUESTO

Es una mezcla de varias muestras simples tomadas en el mismo punto a distintas horas. Es útil para detectar vertidos puntuales de contaminación, sirve para valorar parámetros que se alteran con el tiempo como pH, temperatura media, cloro residual y gases en disolución.

1.7 MEDICIÓN DEL CAUDAL

La mayoría de sistemas de abastecimientos de agua potable en las poblaciones rurales tienen como fuente los manantiales. Existen varios métodos para determinar el caudal de agua y los más utilizados en los proyectos de abastecimiento de agua potable en zonas rurales, son los métodos volumétrico, utilizado para calcular caudales hasta un máximo de 10 L/s, y de velocidad – área, para caudales mayores a 10 L/s.

1.7.1 MÉTODO VOLUMÉTRICO

El método consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse fácilmente con agua un recipiente de volumen conocido. Posteriormente, se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal:

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

Ec. 1.1

Donde:

Q: Caudal, L/s

V: Volumen del recipiente, L

t: Tiempo que tarda en llenarse el recipiente, s

Con la finalidad de definir el tiempo promedio, se recomienda realizar como mínimo 5 mediciones.

1.7.2 MÉTODO VELOCIDAD – ÁREA

El método consiste en medir la velocidad del agua que discurre del manantial tomando el tiempo que demora un objeto flotante en llegar de un punto a otro en una sección uniforme, habiéndose previamente definido la distancia entre ambos puntos.

La velocidad del agua en la superficie es la máxima e irá disminuyendo a medida que las capas de agua estén a más profundidad. Teóricamente, la capa de agua más profunda, en contacto con el fondo, tiene velocidad nula. Por esta razón, se añade un coeficiente de corrección del 85% para homogeneizar la velocidad de la corriente.

El caudal se determina de la siguiente manera:

$$Q = 0.085 \times v \times A$$

Ec. 1.2

Donde:

Q: Caudal, L/s

v: Velocidad superficial, m/s

A: Área de sección transversal, m²

Al igual que en el método volumétrico, para determinar el tiempo promedio se recomienda realizar un mínimo de 5 pruebas o mediciones, para mayor precisión.¹²

1.8 POTABILIZACIÓN

1.8.1 TIPOS DE TRATAMIENTO PARA POTABILIZAR EL AGUA

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

- ✓ Los componentes o impurezas a eliminar
- ✓ Parámetros de calidad

¹² Agua Potable para Poblaciones Rurales.

[http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_\(CAP\[1\].%203\).pdf](http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_(CAP[1].%203).pdf)

1.8.1.1 COMPONENTES O IMPUREZAS A ELIMINAR

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

Tabla 1.2 Procesos Unitarios en función de los contaminantes presentes

Tipo de contaminante	Operación unitaria
Sólidos gruesos	Desbaste ¹³
Partículas coloidales	Coagulación – Floculación + Decantación ó Filtración
Sólidos en suspensión	Decantación – Filtración
Materia orgánica	Preoxidación, Afino con Carbón Activo
Nitrógeno amoniacal	Preoxidación: Cloración al Breakpoint ¹⁴
Gérmenes patógenos	Desinfección
Metales no deseados (Fe, Mn)	Precipitación por oxidación + Filtración
Sólidos disueltos (Cl ⁻ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , K ⁺)	Ósmosis Inversa

Fuente: Contaminación de Aguas y Procesos de Depuración. Potabilización del Agua.

1.8.1.2 PARÁMETROS DE CALIDAD

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

- ✓ **Tipo A1:** Tratamiento físico simple y desinfección.
- ✓ **Tipo A2:** Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.
- ✓ **Tipo A3:** Tratamiento físico y químico intensivo, afino¹⁵ y desinfección.

¹³ Desbaste: Retención de los sólidos gruesos del agua mediante rejillas o tamices.

¹⁴ Cloración al Breakpoint: Consiste en añadir cloro hasta conseguir cloro residual libre en el agua para asegurar una desinfección continua durante el proceso, evitando el crecimiento de microorganismos o microalgas.

El Real Decreto 927/1988 – Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, Anexo I asocia a cada grado de tratamiento una serie de procesos unitarios, en función de los parámetros de calidad de las aguas de captación.

Tabla 1.3 Parámetros del Agua Bruta que determinan el grado de Tratamiento de Potabilización según R. D. 927/1988

Parámetro	Unidad	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3
pH	-	6.5 – 8.5	5.5 – 9	5.5 – 9
Color	Escala Pt	20	100	200
Sólidos en suspensión	mg/l	25	-	-
Temperatura	°C	25	25	25
Conductividad a 20 °C	S/cm	1 000	1 000	1 000
Nitratos	mg/l NO ₃	50	50	50
Fluoruros	mg/l F	1.5	0.7 / 1.7	0.7 / 1.7
Hierro disuelto	mg/l Fe	0.3	2	1
Manganeso	mg/l Mn	0.05	0.1	1
Cobre	mg/l Cu	0.05	0.05	1
Zinc	mg/l Zn	3	5	5
Boro	mg/l B	1	1	1
Arsénico	mg/l As	0.05	0.05	0.1
Cadmio	mg/l Cd	0.005	0.005	0.005
Cromo total	mg/l Cr	0.05	0.05	0.05
Plomo	mg/l Pb	0.05	0.05	0.05
Selenio	mg/l Se	0.01	0.01	0.01
Mercurio	mg/l Hg	0.001	0.001	0.001
Bario	mg/l Ba	0.1	1	1
Cianuro	mg/l CN	0.05	0.05	0.05
Sulfatos	mg/l SO ₄	250	250	250
Cloruros	mg/l Cl	200	200	200
Detergentes	mg/l (laurilsulfato)	0.2	0.2	0.5

¹⁵ Afino: Tratamiento para eliminar sustancias orgánicas que pudiese contener el agua. Consiste en la aplicación de ozono al agua o el paso del agua a través de un lecho filtrante con carbón activado.

Fosfatos	mg/l P ₂ O ₅	0.4	0.7	0.7
Fenoles	mg/l C ₆ H ₅ OH	0.001	0.005	0.1
Hidrocarburos disueltos o emulsionados	mg/l	0.05	0.2	1
DQO	mg/l O ₂	-	-	30
Oxígeno disuelto	% satur	70	50	30
DBO ₅	mg/l O ₂	3	5	7
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l N	1	2	3
Amoniaco	mg/l NH ₄	0.05	1.5	4
Coliformes totales 37°C	100 ml	50	5 000	50 000

Fuente: Contaminación de Aguas y Procesos de Depuración. Potabilización del Agua

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

Tabla 1.4 Procesos Unitarios referidos a cada Grado de Tratamiento

Grado de tratamiento	Composición del tratamiento	Descripción
Tipo A1	Tratamiento Físico simple + Desinfección	Filtración rápida (sin reactivos) + Desinfección
Tipo A2	Tratamiento Físico normal + Tratamiento Químico + Desinfección	Preoxidación + Coagulación – Floculación + Decantación + Filtración + Desinfección
Tipo A3	Tratamiento Físico y Químico intensos + Afino + Desinfección	Cloración al Breakpoint + Coagulación – Floculación + Decantación + Filtración +

		Afino con Carbón Activo u otro tratamiento de afino + Desinfección
--	--	---

Fuente: Contaminación de Aguas y Procesos de Depuración. Potabilización del Agua

Como puede observarse, en cualquier tipo de tratamiento al menos siempre hay un proceso de desinfección que es siempre la última operación unitaria del tratamiento.

1.8.2 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Los procesos de potabilización resultan ser de lo más variados y pueden oscilar desde una simple desinfección añadiéndole cloro al agua en cuestión para eliminar aquellos organismos patógenos hasta procesos mucho más sofisticados como la destilación, la filtración, coagulación, floculación, entre otros.

1.8.2.1 CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL AGUA

La captación es un conjunto de estructuras y dispositivos construidos o colocados junto a un medio hídrico, para aumentar un servicio de abastecimiento de agua destinada al consumo humano. La captación del agua puede ser de dos tipos de fuentes: superficiales y/o subterráneos.

Dependiendo de la fuente de captación de agua disponible, los sistemas de conducción pueden ser por gravedad, donde la propia energía potencial del agua se encarga del transporte, si el lugar de captación se encuentra a mayor altura que la estación de tratamiento o bien un sistema de bombeo cuando el lugar de captación de agua está a menor cota que la Estación de Tratamiento de Aguas Potables (ETAP).

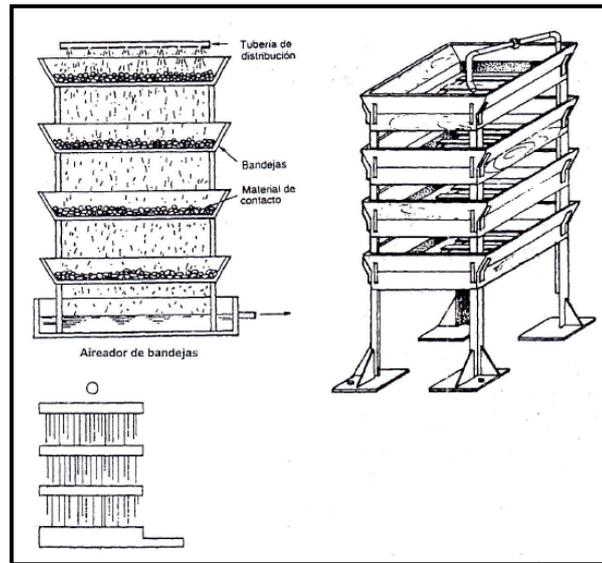
La captación de aguas provenientes de embalses se produce por tubería sin elevación de aguas, mientras las captaciones desde ríos o aguas costeras suelen utilizar, necesariamente, sistemas más o menos sofisticados de bombeo empleando bombas centrífugas o sumergidas.¹⁶

¹⁶ Contaminación de aguas y procesos de depuración., Unidad potabilización del agua., Madrid-España., Formaselect S.L., 2007., Pp. 6-8, 13-17.

1.8.2.2 AIREACIÓN

La aireación es el proceso mediante el cual se pone el agua en contacto íntimo con el aire, para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella, es decir, es el proceso de introducir aire al agua.

Figura 1.1 Aireadores típicos de Bandejas



Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Aireación

Las funciones más importantes de la aireación son:

- ✓ Transferir oxígeno al agua para aumentar el oxígeno disuelto (OD).
- ✓ Disminuir la concentración de CO_2 .
- ✓ Disminuir la concentración de H_2S .
- ✓ Remover gases como metano, cloro y amoníaco.
- ✓ Oxidar hierro y manganeso.
- ✓ Remover compuestos orgánicos volátiles.
- ✓ Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

Los principales aireadores, utilizados comúnmente en purificación de aguas de pozos, son los de toberas, cascadas, canales inclinados y aireadores de bandejas.

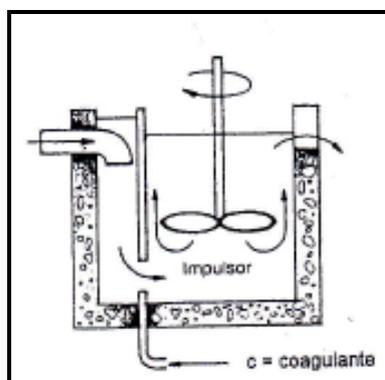
1.8.2.3 MEZCLA RÁPIDA

Es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar sustancias químicas y gases. En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

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

- ✓ **Mezcladores rápidos mecánicos:** Los mezcladores mecánicos consisten en tanques de sección circular o cuadrada con hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera.

Figura 1.2 Mezcladores Mecánicos

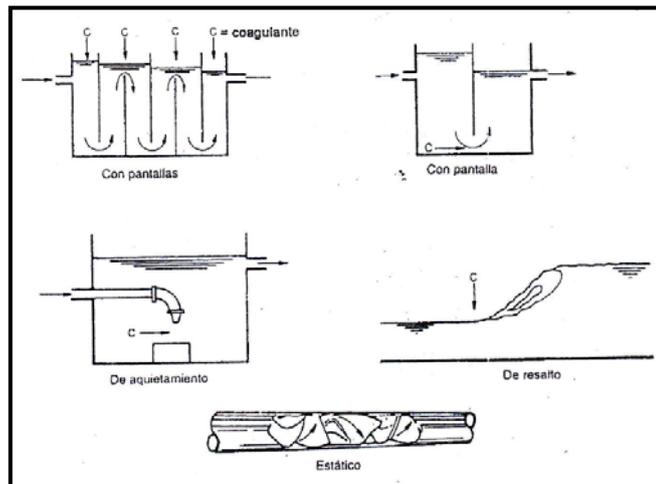


Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

- ✓ **Mezcladores rápidos hidráulicos:** Los mezcladores hidráulicos se utilizan cuando se dispone de suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada. En general se usan resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, dispersores de tubos perforados y tanques con baffles, para disipar energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla del coagulante.¹⁷

¹⁷ ROMERO, J., Purificación del Agua., 2^{da} ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2006., Pp. 53-5

Figura 1.3 Mezcladores Hidráulicos



Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

Entre los tipos de vertederos que se pueden emplear para la mezcla rápida están:

- **Vertedero Rectangular:** Los vertederos rectangulares tienen su escotadura en forma rectangular que puede variar de tamaño. Pueden dividirse en dos grupos: los sin contracción y los con contracción.

Cuando el canal rectangular tiene el mismo ancho del vertedero no hay contracción del área de flujo; y cuando el canal es más ancho que el vertedero, hay una reducción en el área de flujo, y es un vertedero con contracción.

Este tipo de vertedero tiene la ventaja de que es el más exacto para la medición de caudales.

- **Vertedero Triangular:** Tiene la escotadura en forma de V, cuyo vértice es un ángulo recto. Este tipo de vertedero tiene la ventaja que puede medir con exactitud grandes fluctuaciones de caudal.
- **Vertedero Trapezoidal o Cipoletti:** El ingeniero Cipoletti propuso este tipo de vertedero para eliminar la corrección y longitud efectiva de la cresta. Este vertedero tiene los bordes con una inclinación de 4V:1H.

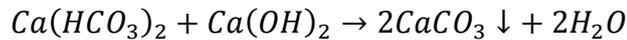
1.8.2.4 ABLANDAMIENTO CON CAL

El método consiste en la precipitación del calcio como carbonato de calcio, CaCO_3 , y el magnesio como hidróxido de magnesio, Mg(OH)_2 , al añadir cal (hidróxido de calcio) al agua, misma que eleva el pH transformando dichos compuestos en insolubles.

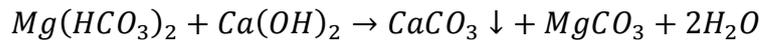
La cal remueve la dureza carbonácea y la dureza por magnesio. Adicionalmente, reacciona con el CO_2 presente en el agua, aumentando la dosis requerida. Para elevar de modo suficiente el pH se hace necesario un exceso de cal.

Las reacciones básicas del proceso son:

Dureza Carbonácea:

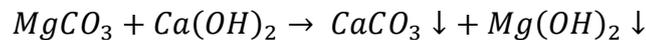


Rx.1.1

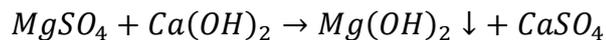


Rx.1.2

Dureza por Magnesio:



Rx.1.3



Rx.1.4

1.8.2.5 COAGULACIÓN QUÍMICA DEL AGUA

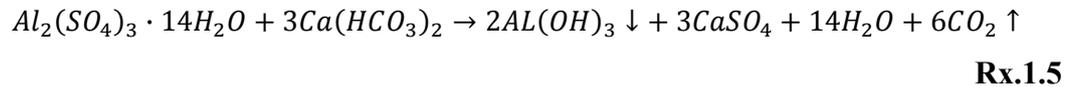
La coagulación se define como un proceso unitario utilizado para causar la agregación de material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua; es el proceso en el que se reducen las fuerzas repelentes existentes entre partículas coloidales para formar partículas mayores de buena sedimentación.

Entre los coagulantes más usados se tienen los siguientes:

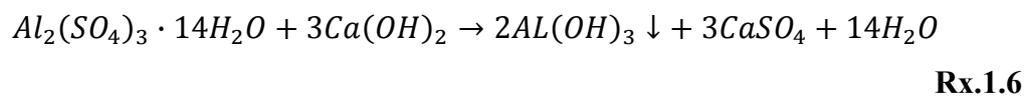
- ✓ **Sulfato de aluminio o Alumbre:** Es una sal ácida de aluminio que actúa como coagulante, dependiendo de su concentración y el pH del agua. El alumbre

funciona mejor en el intervalo de pH de 5,5 – 7,0, puesto que esta sal produce protones en el proceso de hidrólisis, si el agua no tiene una alcalinidad adecuada será necesario añadir un producto alcalino para mantener el pH.

Con la alcalinidad:



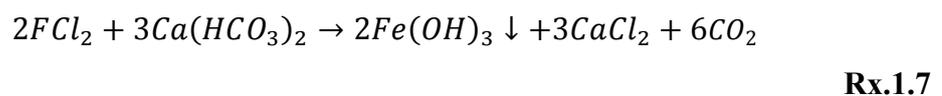
Al añadir cal:



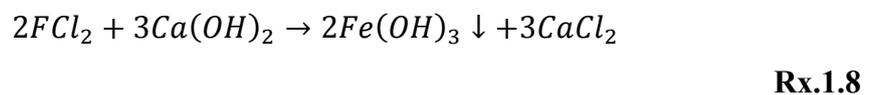
El alumbre genera lodos muy voluminosos, lo cual acarrea un problema de desechos de lodos y limpieza de clarificadores, aumenta el contenido de sólidos disueltos, aumentando la carga de los suavizadores, cuando éstos son utilizados para completar el tratamiento del agua, y el flóculo por sales metálicas es muy frágil y quebradizo, una vez que se rompe no vuelve a formarse.

- ✓ **Cloruro Férrico:** Se usa principalmente en aguas residuales y no en aguas potables debido a que produce color.

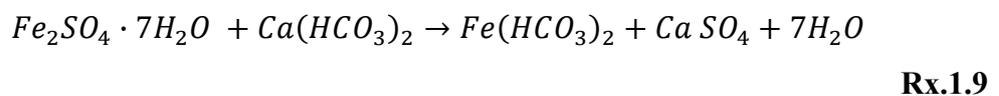
Con la alcalinidad:

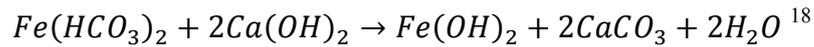


Al añadir cal:



- ✓ **Sulfato Ferroso y Cal:** Se suministran en forma sólida y para que sea realmente eficaz, el sulfato ferroso debe oxidarse a la férrica.





Rx.1.10

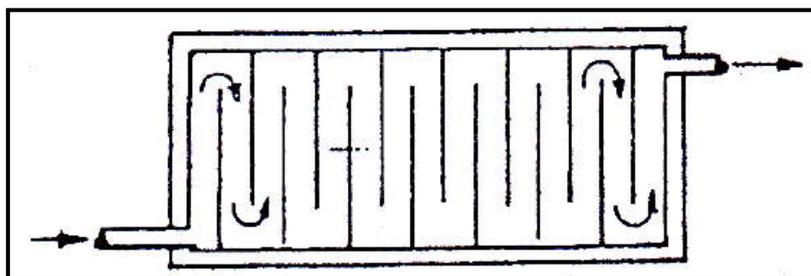
1.8.2.6 FLOCULACIÓN

Se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas, es decir, una vez estabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas, sin romper o disturbar los agregados preformados.

En la floculación, una vez introducido y mezclado el floculante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes mediante agitación lenta prolongada, floculación, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad. El floculador es, por lo tanto, un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado.

- ✓ **Floculadores hidráulicos:** Los más comunes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical. Los floculadores hidráulicos con una velocidad de flujo apropiada y un número adecuado de baffles¹⁹ para asegurar suficientes curvas, proveen una floculación efectiva.

Figura 1.4 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal



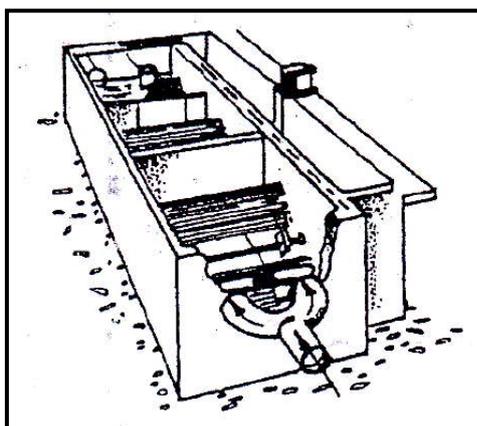
Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Floculación

¹⁸ VILLEGAS, M., Purificación de Aguas., 2^{da} ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2007., Pp.83-84, 95-96.

¹⁹ Baffles: Paredes o muros que se instalan en un tanque de floculación, coagulación o sedimentación para dirigir el sentido del flujo, evitar la formación de cortocircuitos hidráulicos y espacios muertos.

- ✓ **Floculadores mecánicos:** En estos floculadores, se introduce potencia al agua para asegurar una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos. El tipo de agitador mecánico más utilizado es el de paletas, ya sean de eje horizontal o vertical, las cuales imparten movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna.

Figura 1.5 Floculador Mecánico de Paletas



Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Floculación

Entre los floculantes más utilizados se tiene:

- ✓ **Polielectrolitos:** Puede ser catiónico o aniónico, y si no contiene grupo ionizable se llama *no iónico*. Suelen ser cadenas de gran tamaño y alto peso molecular.

Los polielectrolitos reemplazan total o parcialmente al sulfato de aluminio, no alteran el pH del agua, el flóculo producido con polielectrolitos tiene mayor capacidad de penetración en los medios filtrantes, alargando la carrera de los filtros, y el flóculo resultante es menos frágil que el obtenido con sales orgánicas, por lo que soporta agitaciones más fuertes.²⁰

- ✓ **Policloruro de aluminio:** El policloruro de aluminio es un producto formado por una combinación de polímeros inorgánicos de hidróxido de cloruro de aluminio. Es usado como floculante y/o coagulante para remover materia coloreada y coloidal en suspensión en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua,

²⁰ Contaminación de aguas y procesos de depuración., Unidad potabilización del agua., Madrid-España., Formaselect. S.L., 2007., Pp. 27-28.

afluentes y plantas de tratamiento de efluentes líquidos industriales, como reemplazo del sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas.

Aplicación

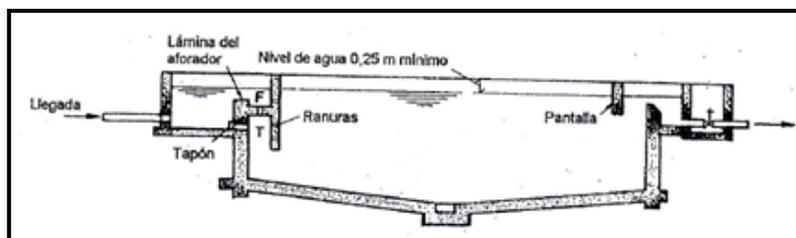
- Rápida formación de flóculos.
- Tiempos cortos para reaccionar y sedimentar.
- Muy versátil para tratar aguas de variada turbiedad, alcalinidad y contenido de materia orgánica.

1.8.2.7 SEDIMENTACIÓN

Es la operación por la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos, se denomina clarificación o espesamiento. Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

La sedimentación simple es un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en esos casos se conoce como pre sedimentación. La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se emplea para remover los sólidos sedimentables producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal.

Figura 1.6 Sedimentador Simple



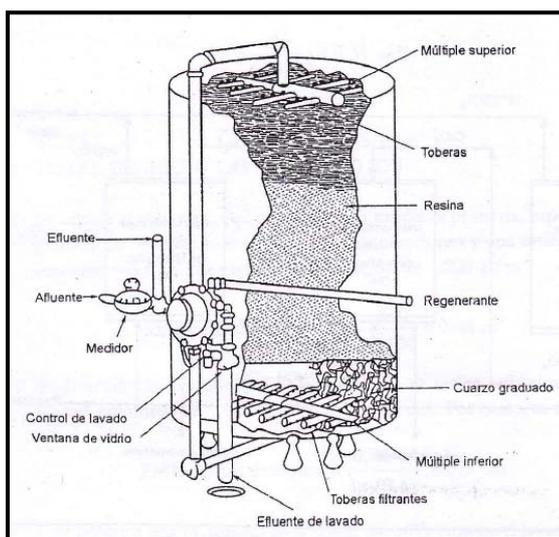
Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Sedimentación

- ✓ **Sedimentación tipo 1:** Se refiere a la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida.
- ✓ **Sedimentación tipo 2:** Se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, en las cuales es necesario considerar las propiedades floculentas de la suspensión junto con las características de asentamiento de las partículas.
- ✓ **Sedimentación zonal:** Describe la sedimentación másica y se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento, en las cuales se presenta un asentamiento interferido a causa de la cercanía entre partículas.
- ✓ **Comprensión:** Ocurre cuando la concentración aumenta a un valor en que las partículas están en contacto físico unas con otras y el peso de éstas lo sostiene parcialmente la masa compactada.

1.8.2.8 INTERCAMBIO IÓNICO

Es un proceso en el cual iones retenidos, por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales con carga eléctrica, sobre la superficie de un sólido, son intercambiados por iones de carga similar en solución.

Figura 1.7 Intercambiador Iónico



Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Intercambio Iónico

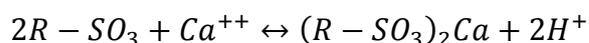
- ✓ **Intercambio catiónico:** Se denomina intercambio catiónico, o intercambio básico, el desplazamiento de un ión positivo, o catión, por otro ión positivo. En aguas naturales, dichos cationes son por lo regular calcio, magnesio, sodio, hierro y manganeso.

Para el intercambio catiónico se pueden utilizar dos tipos de resinas:

- **Resinas catiónicas de ácido fuerte:** Derivan su funcionalidad de los grupos ácidos sulfónicos. Este tipo de resina funciona a cualquier nivel de pH, dividen todas las sales y requiere una cantidad sustancial de regenerante. Esta es la resina que se escoge para casi todas las aplicaciones de suavizado y como primera unidad en desmineralizadores de dos lechos, o como componente catiónico de un lecho mixto.

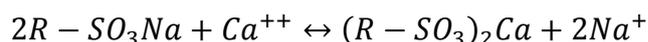
Los regenerantes apropiados para la resina catiónica de ácido fuerte son:

a) *Forma de hidrógeno: se regeneran con HCl o H₂SO₄*



Rx.1.11

b) *Forma de sodio: se regeneran con NaCl*



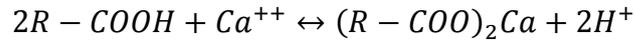
Rx.1.12

- **Resinas catiónicas de ácido débil:** Contienen grupos carboxílicos como sitios de intercambio. Tienen menor capacidad de intercambio, no son funcionales a pH bajos, elevado hinchamiento y contracción lo que hace aumentar las pérdidas de carga o provocar roturas en las botellas cuando no cuentan con suficiente espacio en su interior.

Se trata de una resina muy eficiente, requiere menos ácido para su regeneración, aunque trabajan a flujos menores que las de ácido fuerte.

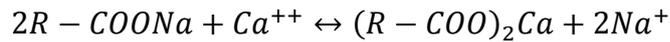
Los regenerantes apropiados para la resina catiónica de ácido débil son:

a) *Forma de hidrógeno: se regeneran con HCl o H₂SO₄*



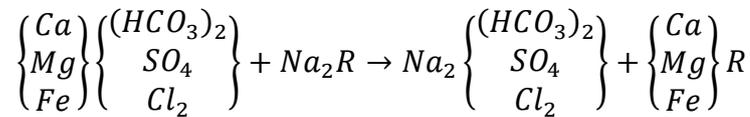
Rx. 1.13

b) *Forma de sodio: se regeneran con NaOH*



Rx. 1.14

Para resinas catiónicas que intercambian sodio, la reacción que se genera es:

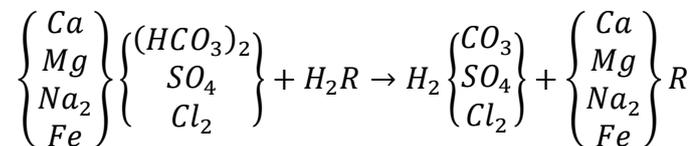


Rx. 1.15

Agua dura + resina catiónica → agua blanda + resina agotada

Rx. 1.16

Para resinas catiónicas que intercambian hidrógeno, la reacción que se genera es:



Rx. 1.17

Agua cruda + resina catiónica → agua blanda + resina agotada

Rx. 1.18

✓ **Intercambio aniónico:** Se denomina intercambio aniónico, o intercambio ácido, el desplazamiento de un ión negativo, o anión, por otro ión negativo. En aguas naturales, dichos aniones son comúnmente cloruro, sulfato, nitrato, carbonato, hidróxido y fluoruro.

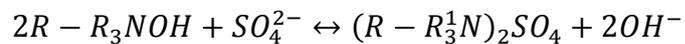
- **Resinas aniónicas de base fuerte:** Derivan su funcionalidad de los sitios de intercambio de amonio cuaternario. Los dos grupos principales de resinas aniónicas de base fuerte son las de Tipo 1 y Tipo 2, dependiendo del tipo de amina que se utiliza durante el proceso de activación química.

Las resinas de Tipo 1 son adecuadas para la eliminación total de aniones en todas las aguas, deben ser usadas en aguas de alta alcalinidad y alto contenido de silicio.

Las resinas de Tipo 2 también presentan la eliminación de todos los aniones, pero pueden ser menos efectivas para eliminar el silicio y dióxido de carbono de las aguas donde estos ácidos débiles constituyen más del 30% del total de aniones.

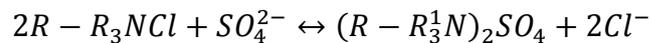
Los regenerantes apropiados para la resina aniónica de base fuerte son:

a) *Forma de hidróxido: se regeneran con NaOH*



Rx. 1.19

b) *Forma de cloruro: se regeneran con NaCl o HCl*



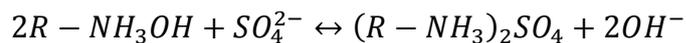
Rx. 1.20

- **Resinas aniónicas de base débil:** Se trata de una resina muy eficiente, requiere menos sosa para su regeneración, no se pueden utilizar a pH altos.

Estas resinas deben ser usadas en aguas con niveles elevados de sulfatos o cloruros, o donde se requiera la eliminación de alcalinidad y del silicio.

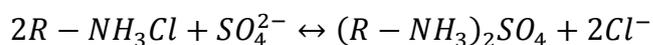
Los regenerantes apropiados para la resina aniónica de base débil son:

a) *Forma de hidróxido o de base libre: se regeneran con NaOH, NH₄OH, Na₂CO₃*



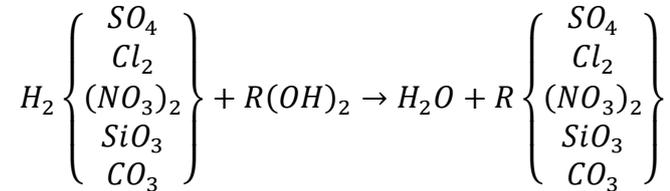
Rx. 1.21

b) *Forma de cloruro: se regeneran con HCl*



Rx. 1.22

Las resinas aniónicas que se regeneran mediante soda cáustica, precedida de una del ciclo de hidrógeno, permiten obtener agua desmineralizada de calidad similar a la del agua destilada. La reacción que se genera es:



Rx. 1.23

Agua intercambiador catiónico + resina aniónica → agua tratada + resina agotada

Rx. 1.24

Entre los factores de mayor influencia, sobre el intercambio iónico, son los siguientes:

- ✓ **pH:** Es muy importante porque la adsorción está relacionada con la solubilidad y, por tanto, con el pH.
- ✓ **Temperatura:** Afecta la viscosidad de las soluciones y, por ende, influye sobre la adsorción. En líquidos viscosos es conveniente aumentar la temperatura para asegurar un contacto mejor con el adsorbente y conseguir una mayor retención del adsorbato.
- ✓ **Tiempo de contacto:** Existe, generalmente, un tiempo mínimo de contacto para asegurar máxima adsorción o remoción completa del contaminante.
- ✓ **Tamaño de partícula del adsorbente:** La remoción del adsorbato sucede en dos etapas: la primera es el traslado de la molécula adsorbida desde el líquido hasta la superficie del adsorbente, y la segunda, la migración del adsorbato desde la superficie del adsorbente hasta el sitio de adsorción, dentro de la partícula de adsorbente.²¹

²¹ ROMERO, J., Purificación del Agua., 2^{da} ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2006., Pp. 357-359.

1.8.2.9 FILTRACIÓN

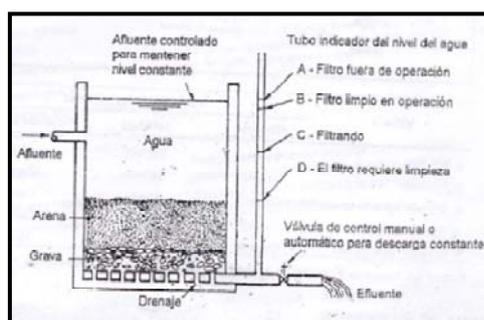
Es una operación unitaria que consiste en hacer pasar un líquido que contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante. De este modo, las partículas que no han sedimentado en el decantador 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, sobre un lecho de grava como soporte, aunque también existen otros lechos como membranas filtrantes de otros materiales. El paso del agua por el lecho de arena permite retener los sólidos de tamaño superior a los intersticios entre los granos de arena. Además, se producen efectos superficiales que permiten retener partículas más pequeñas.

En función de la velocidad de filtración se tiene:

- ✓ **Filtros lentos:** Se utilizan para aguas poco turbias, siempre sin acondicionamiento químico previo. Requieren una granulometría fina de la arena, las retenciones se van a producir principalmente en la superficie del lecho. Son generalmente filtros de gravedad que requieren mucha superficie de filtración.

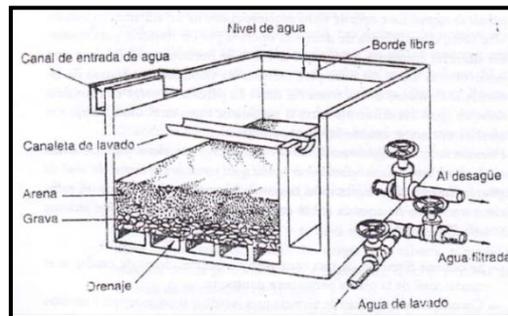
Figura 1.8 Filtro Lento de Arena



Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Filtración

- ✓ **Filtros rápidos:** Son los filtros usados normalmente en aguas potables, con o sin acondicionamiento químico previo. Generalmente son filtros de presión y suelen ser más pequeños pues no requieren altas superficies de filtración.

Figura 1.9 Filtro Rápido de Arena



Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Filtración

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:** Es el medio filtrante más usado, por ser el más económico. La arena para filtros debe tener una solubilidad en ácido clorhídrico 1:1 menor del 5%, una densidad relativa mayor de 2,5 y debe ser limpia.
- ✓ **Antracita:** En ocasiones se usa carbón de antracita triturado en vez de arena como medio granular filtrante. La antracita para filtros debe ser limpia, dura, con dureza mayor de 2,7, en la escala de MOHS,²² de densidad relativa mayor de 1,4, solubilidad en ácido menor del 5% y coeficiente de uniformidad igual o menor de 1,7.
- ✓ **Grava:** El lecho de grava ideal es en el cual ésta es casi esférica en forma y existe incremento uniforme en tamaño desde el techo hasta el fondo. La grava debe ser dura, redondeada, con una densidad relativa promedio no menor de 2,5.

1.8.2.10 DESINFECCIÓN

La etapa final del proceso de tratamiento de aguas potables siempre es la desinfección. En algunos casos de plantas muy sencillas, ésta es la única etapa del proceso.

²² Escala de Mohs: es una relación de diez minerales ordenados por su dureza, de menor a mayor.

Hay tres tipos básicos de desinfección:

- ✓ **Tratamientos físicos:** El objetivo de este tratamiento es la eliminación de coloides y de sólidos en suspensión. Esto se consigue con tratamientos ya realizados como son: la coagulación – floculación, la decantación y la filtración.
- ✓ **Tratamientos químicos:** Los agentes químicos desinfectantes más utilizados son el cloro, el dióxido de cloro y el ozono.
 - a) **Cloro:** Es el agente desinfectante más usado, ya sea en su forma gaseosa o como hipoclorito. La aceptación del cloro es debida a tres factores principales:
 - Oxidación de sustancias inorgánicas como hierro, nitritos, manganeso que causan mal sabor, corrosión y deterioro en las plantas potabilizadoras.
 - Acción microbicida del cloro como algicida, bactericida y, en menor medida, virucida.
 - Mejora conseguida en los procesos de coagulación y floculación, ya que favorece la formación de flóculos.
 - b) **Química acuosa de cloro:** Se puede aplicar en una planta de tratamiento por dos métodos: aplicación directa a través de difusores y saturación de una pequeña parte del caudal de agua con cloro y posterior mezcla de esta parte con el caudal principal.
 - c) **Dióxido de cloro:** Es un gas inestable, que se obtiene a partir de la mezcla de cloro con clorito sódico. Presenta un carácter bactericida y virucida que no se ve afectado por incrementos de pH, ya que incluso aumenta su potencialidad frente a amebas y enterovirus.
 - d) **Ozono:** Constituye la tercera alternativa tras el cloro y el dióxido de cloro. Se trata de un gas compuesto por tres átomos de oxígeno, que no se encuentra habitualmente en la atmósfera a bajas alturas, donde su presencia se considera contaminante, puesto que su poder oxidante puede afectar a la salud pública o a la vegetación. Tiene un gran poder desinfectante y mejora las características

organolépticas del agua como color, olor y sabor, ya que reacciona tanto con sustancias inorgánicas, eliminando hierro y manganeso que transforma en óxidos o hidróxidos insolubles, como la materia orgánica y produce una reducción importante de la absorbancia de la muestra y, por tanto, de su turbidez.

- ✓ **Radiación:** Hay varias formas de radiación que pueden desempeñar un papel desinfectante. Las radiaciones más útiles son la radiación UV, los rayos X y los rayos γ .²³

1.8.3 PRUEBA DE JARRAS

La prueba de jarras es un procedimiento que se utiliza en los laboratorios. Este método determina las condiciones de operación óptimas para el tratamiento de aguas. La prueba de jarras permite ajustar el pH, hacer variaciones en las dosis de las diferentes 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. Una prueba de jarras puede simular los procesos de coagulación o floculación.

La prueba de jarras tiene los siguientes pasos a seguir:

- ✓ Llenar los vasos precipitados del aparato con el agua a analizar. Un contenedor deberá ser el control, mientras que los demás pueden ser ajustados a las condiciones deseadas.
- ✓ Adicionar el coagulante a cada contenedor y mezclar a aproximadamente 100 rpm por 1 min.
- ✓ Reducir la velocidad de mezclado a 25 o 35 rpm y continuar el proceso de mezclado por 15 o 20 min.
- ✓ Apagar el equipo de mezclado y esperar a que se sedimente de 20 a 45 min.
- ✓ Filtrar el contenido de los contenedores y hacer las pruebas necesarias con el precipitante y el sobrenadante.

²³ Contaminación de aguas y procesos de depuración., Unidad potabilización del agua., Madrid-España., Formaselect S.L., 2007., Pp. 32, 39-40.

1.9 DISEÑO

1.9.1 CAUDAL DE DISEÑO

1.9.1.1 Población de diseño

La población de diseño o futura es un parámetro básico en el cálculo del caudal de diseño para una comunidad. Es necesario determinar las demandas futuras de una población para prever en el diseño las exigencias, de las fuentes de abastecimiento, líneas de conducción, redes de distribución, equipo de bombeo, planta de potabilización y futuras extensiones del servicio. Por lo tanto, es necesario predecir la población futura para un número de años.

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

Ec. 1.3

Donde:

P_f : Población futura, hab

P_a : Población actual, hab

r : Tasa de crecimiento, %

n_t : Intervalo de tiempo, años

1.9.1.2 Nivel de complejidad del sistema

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

Tabla 1.5 Nivel de Complejidad del Sistema

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

Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Apéndices

1.9.1.3 Dotación neta

La dotación neta es la cantidad mínima de agua requerida 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 1.6 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, J. Purificación del Agua. Apéndices

1.9.1.4 Dotación bruta

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

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

Ec. 1.4

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

Tabla 1.7 Pérdidas Técnicas

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

Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Apéndices

1.9.1.5 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:

$$Qmd = P_f * Dotación\ bruta$$

Ec. 1.5

Donde:

Qmd: Caudal medio diario, L/día

P_f: Población futura, hab

1.9.1.6 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. 1.6

Donde:

QMd: Caudal máximo diario, L/s

K₁: Consumo máximo diario, adimensional

Los valores del consumo máximo diario, K₁, son:

Tabla 1.8 Valores de K₁

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

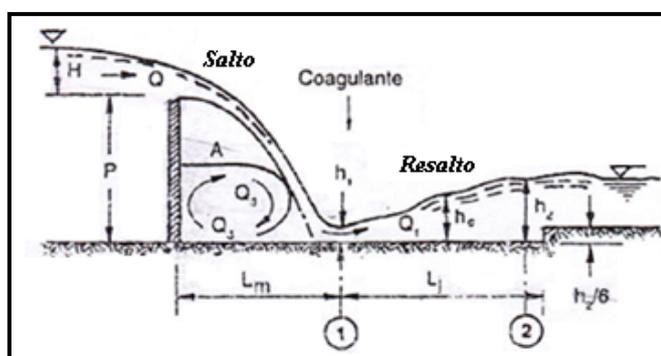
Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Apéndices

1.9.2 MEZCLA RÁPIDA EN VERTEDERO RECTANGULAR

En los mezcladores rápidos hidráulicos, la mezcla se logra mediante la turbulencia generada por un resalto hidráulico.

Se considerará un mezclador hidráulico en vertedero rectangular sin contracciones por ser uno de los más sencillos para su construcción, por su economía y además de poseer una excelente efectividad al momento de realizar la mezcla rápida; y por estos motivos es uno de los más utilizados.

Figura 1.10 Configuración del Resalto en un Vertedero Rectangular



Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

1.9.2.1 Canal del Vertedero

La profundidad del canal del vertedero puede calcularse a partir de la ecuación:

$$C_v = f_s * H$$

Ec. 1.7

Donde:

C_v : Profundidad del canal del vertedero, m

f_s : Factor de seguridad, %

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

1.9.2.2 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. 1.8

Donde:

Q: Caudal de diseño, m³/s

B: Ancho del vertedero, m

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

1.9.2.3 Caudal por unidad de ancho

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

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

Ec. 1.9

Donde:

q: Caudal por unidad de ancho, m²/s

1.9.2.4 Profundidad crítica de flujo

La profundidad crítica de flujo es la profundidad en la cual un determinado caudal transita por un canal con el mínimo de energía específica. La profundidad crítica de flujo es:

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

Ec. 1.10

Donde:

h_c: Profundidad crítica de flujo, m

g: Aceleración de la gravedad, m/s²

1.9.2.5 Longitud del salto

La longitud del salto es la distancia a la cual debe aplicarse el coagulante para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en toda la masa 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. 1.11

Donde:

L_m : Longitud del salto, m

P: Altura de la pared del vertedero, m

1.9.2.6 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. 1.12

Donde:

h_1 : Profundidad supercrítica, m

1.9.2.7 Velocidad del agua en el salto

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

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

Ec. 1.13

Donde:

v_1 : Velocidad del agua en el salto, m/s

1.9.2.8 Número de Froude

El 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.

Para que haya resalto estable y mezcla eficiente, el número de Froude debe estar comprendido entre 4,5 y 9,0.²⁴

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

Ec. 1.14

Donde:

F: Número de Froude, adimensional

1.9.2.9 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 ecuación:

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

Ec. 1.15

Donde:

h_2 : Profundidad subcrítica, m

1.9.2.10 Velocidad del agua en el resalto

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

²⁴ ROMERO, J., Purificación del Agua., 2^{da} ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2006., Pp. 73.

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

Ec. 1.16

Donde:

v_2 : Velocidad del agua en el resalto, m/s

1.9.2.11 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. 1.17

Donde:

h : Pérdida de energía en el resalto, m

1.9.2.12 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. 1.18

Donde:

L_j : Longitud del resalto, m

1.9.2.13 Velocidad media en el resalto

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

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

Ec. 1.19

Donde:

v_m : Velocidad media en el resalto, m/s

1.9.2.14 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:

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

Ec. 1.20

Donde:

t: Tiempo de mezcla o retención, s

1.9.2.15 Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad es ampliamente aceptado como un medio para calcular los requerimientos energéticos de mezcla.

El gradiente de velocidad puede calcularse con la ecuación siguiente:

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

Ec. 1.21

Donde:

G: Gradiente de velocidad, s^{-1}

γ : Peso específico del agua, N/m^3

μ : Viscosidad dinámica del agua, Pa.s

1.9.2.16 Criterios complementarios

Tabla 1.9 Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera

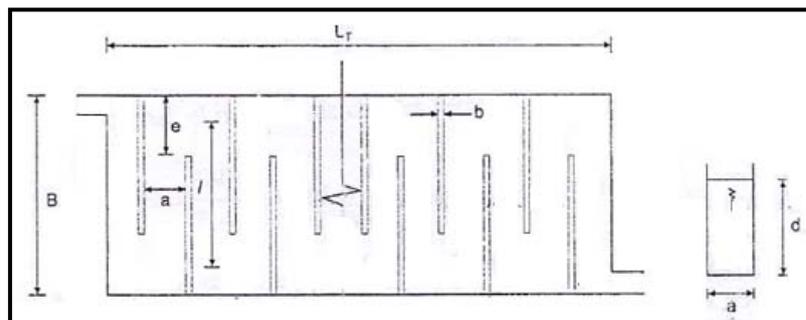
Temperatura °C	Densidad ρ Kg/m ³	Peso específico γ kN/m ³	Viscosidad dinámica μ 10 ³ Pa s
15	999,103	9,798	1,139
17	998,778	9,795	1,081
18	998,599	9,793	1,053
19	998,408	9,791	1,027
20	998,207	9,789	1,002

Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Apéndices

1.9.3 FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL

El floculador hidráulico de flujo horizontal consiste en un tanque de concreto u hormigón dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuesto en tal forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques.

Figura 1.11 Floculador de Tabiques de Flujo Horizontal



Fuente: VILLEGAS, M. Purificación de Aguas. Floculadores

1.9.3.1 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. 1.22

Donde:

L: Longitud total recorrida por el agua, m

v: Velocidad de flujo, m/s

t: Tiempo de mezcla o retención, s

1.9.3.2 Volumen de agua

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

$$V = Qt$$

Ec. 1.23

Donde:

V: Volumen de agua, m³

Q: Caudal de diseño, m³/s

1.9.3.3 Sección transversal de los canales

La sección o área transversal requerida de un canal entre baffles será:

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

Ec. 1.24

Donde:

A: Sección o área transversal requerida de los canales, m²

1.9.3.4 Profundidad del agua

La profundidad del agua puede calcularse con la siguiente ecuación:

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

Ec. 1.25

Donde:

d: Profundidad del agua, m

a: Separación entre tabiques, m

1.9.3.5 Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque

Es la distancia de los baffles o tabiques a la pared del tanque, y es 1,5 veces la separación entre tabiques y puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$e = 1,5 a$$

Ec. 1.26

Donde:

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

a: Separación entre tabiques, m

1.9.3.6 Longitud efectiva de cada canal

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

$$l = B_F - e$$

Ec. 1.27

Donde:

l: Longitud efectiva de cada canal, m

B_F: Ancho del floculador, m

1.9.3.7 Numero requerido de canales

El número requerido de canales se calcula por la expresión:

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

Ec. 1.28

Donde:

N: Número de canales, adimensional

1.9.3.8 Longitud total de la cámara de floculación

La longitud total interior de la cámara de floculación se calcula por la expresión:

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

Ec. 1.29

Donde:

L_T : Longitud total de la cámara de floculación, m

b: Espesor de la lámina o tabique, m

1.9.3.9 Radio hidráulico

El radio hidráulico, es un parámetro importante en el dimensionado de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas, generalmente es representado 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. 1.30

Donde:

R: Radio hidráulico, m

1.9.3.10 Pérdidas por fricción en el tanque

Las pérdidas por fricción son las que 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. 1.31

Donde:

h_f : Pérdidas por fricción en el tanque, m

v : Velocidad de flujo, m/s

n : Coeficiente de Manning, adimensional

1.9.3.11 Pérdidas adicionales

Las pérdidas adicionales son las 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. 1.32

Donde:

h_a : Pérdidas adicionales, m

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

g : Aceleración de la gravedad, m/s^2

1.9.3.12 Pérdida de energía total

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. 1.33

Donde:

h_T : Pérdida de energía total, m

1.9.3.13 Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad al igual que el tiempo son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas descendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo.

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

Ec. 1.34

Donde:

G: Gradiente de velocidad, s⁻¹

γ: Peso específico del agua, N/m³

μ: Viscosidad dinámica del agua, Pa.s

1.9.3.14 Número adimensional de Camp

El número adimensional de Camp puede calcularse por la expresión:

$$G_t = G * t$$

Ec. 1.35

Donde:

G_t: Número adimensional de Camp

1.9.3.15 Criterios complementarios

Tabla 1.10 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, M. Purificación Aguas. Floculadores

Tabla 1.11 Valores Típicos de Coeficientes 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

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/152131826/Coeficientes-de-Rugosidad-Haestad-pdf>

1.9.4 SEDIMENTADOR LAMINAR

Las partículas que se sedimentan sobre las placas inclinadas se acumulan y caen por sí mismas al fondo del sedimentador, lo que lo hace autolimpiable; siendo muy útil para la sedimentación de partículas floculentas y precipitantes, en las que la densidad y el volumen cambian a medida que éstas se adhieren unas a otras mediante el mecanismo de floculación.

1.9.4.1 Carga Superficial después de instalar las placas

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

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

Ec. 1.36

Donde:

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

1.9.4.2 Área de sedimentación acelerada

El área de sedimentación acelerada será:

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

Ec. 1.37

Donde:

A_s : Área superficial de sedimentación acelerada, m²

Q: Caudal de diseño, m³/d

θ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación.

1.9.4.3 Longitud del área de sedimentación acelerada

La longitud del área de sedimentación acelerada será:

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

Ec. 1.38

Donde:

L_s : Longitud del área de sedimentación acelerada, m

B_s : Ancho del sedimentador, m

1.9.4.4 Longitud relativa del sedimentador

La longitud relativa del sedimentador está definida como:

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

Ec. 1.39

Donde:

L_r : Longitud relativa del sedimentador, adimensional

e_p : Distancia entre placas, m

1.9.4.5 Longitud relativa en la región de transición

La longitud relativa en la región de transición puede calcularse de acuerdo con la ecuación de Schulze:

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

Ec. 1.40

Donde:

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

ν : Viscosidad cinemática del fluido, m^2/s

1.9.4.6 Longitud relativa corregida

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

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

Ec. 1.41

Ó, L_c , puede calcularse por:

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

Ec. 1.42

Donde:

L_c : Longitud relativa corregida, adimensional

1.9.4.7 Velocidad crítica de sedimentación

La velocidad crítica de asentamiento o sedimentación está dada por:

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

Ec. 1.43

Donde:

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

1.9.4.8 Número de Reynolds

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

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

Ec. 1.44

Donde:

N_{Re} : Número de Reynolds, adimensional

1.9.4.9 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. 1.45

Donde:

V_{Ts} : Volumen del sedimentador, m³

Z_s : Altura del sedimentador, m

1.9.4.10 Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

El tiempo de retención en sedimentadores con placas inclinadas es igual al volumen del tanque dividido para el caudal y se calcula por la expresión:

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

Ec. 1.46

Donde:

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

Q : Caudal de diseño, m³/s

1.9.4.11 Número de placas

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

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

Ec. 1.47

Donde:

N_p : Número de placas, adimensional

b_p : Espesor de las placas, m

1.9.4.12 Criterios complementarios

Tabla 1.12 Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares

Parámetro	Valor
Tiempo de retención en las placas	15 – 25 min
Número de Reynolds	< 500 (Fisherstrom) < 250 (Arboleda) < 200 (Montgomery) < 280 (Schulz y Okun)
Inclinación de las placas	60°

Distancia entre placas	5 cm
Profundidad	3 – 5 m
Pendiente del fondo	> 2%

Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Sedimentación

Tabla 1.13 Parámetros de Diseño de las Placas Planas de Asbesto - Cemento

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

Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Sedimentación

Tabla 1.14 Valores de S_c Típicos

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

Fuente: VILLEGAS, M. Purificación Aguas. Sedimentadores

Tabla 1.15 Viscosidad Cinemática del Agua a 1 Atmósfera

Temperatura °C	Viscosidad cinemática $\nu \cdot 10^6$ m ² /s
15	1,140
17	1,082
18	1,054
19	1,029
20	1,004

Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Apéndices

1.9.5 FILTRO RÁPIDO DE ARENA

El filtro rápido de arena a gravedad es muy utilizado en las plantas de purificación del agua, utilizan arena gruesa y capa de soporte de grava para eliminar las partículas floculentas generadas en la floculación química.

1.9.5.1 Número de filtros

De acuerdo con Morril y Wallace, el número de filtros puede estimarse a partir de:

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

Ec. 1.48

Donde:

n_f : Número de filtros, adimensional

Q : Caudal de diseño, m³/d

1.9.5.2 Área del filtro

El área del filtro se calcula por la expresión:

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

Ec. 1.49

Donde:

A_f : Área del filtro, m²

1.9.5.3 Coeficiente de mínimo costo

La relación entre la longitud y el ancho del filtro se diseña con el fin de obtener un balance económico entre el ahorro que resulta por una parte de una galería de tuberías más corta, placa de piso y placa de techo y el aumento debido al coste del hormigón para las paredes del filtro.

Una relación entre la longitud y el ancho del filtro, K_c , puede definirse como:

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

Ec. 1.50

Ó también, K_c , puede calcularse por:

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

Ec. 1.51

Donde:

K_c : Coeficiente de mínimo costo, adimensional

L_f : Longitud del filtro, m

a_f : Ancho del filtro, m

1.9.5.4 Longitud del filtro

La longitud del filtro se calcula por la ecuación siguiente:

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

Ec. 1.52

Donde:

L_f : Longitud del filtro, m

1.9.5.5 Ancho del filtro

El ancho del filtro se calcula por la ecuación siguiente:

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

Ec. 1.53

Donde:

a_f : Ancho del filtro, m

1.9.5.6 Composición del lecho filtrante

La composición del lecho filtrante para un filtro rápido de arena se determinará en función de los parámetros de diseño expuestos en la tabla 1.16.

1.9.5.7 Altura del filtro

La altura del filtro puede estimarse con la ecuación:

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

Ec. 1.54

Donde:

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 la capa de soporte, m

F_c : Altura del drenaje, m

1.9.5.8 Sistema de drenaje

La función más importante del drenaje del filtro consiste en proveer una distribución uniforme del agua de lavado, además sirve para recoger el agua filtrada.

✓ Área de los orificios laterales

El área de los orificios laterales se determina por la siguiente ecuación:

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

Ec. 1.55

Donde:

A_o : Área de cada orificio, m²

D_o : Diámetro del orificio, m

✓ **Caudal que ingresa a cada orificio**

El caudal que ingresa a cada orificio esta dado por:

$$Q_o = A_o v_o$$

Ec. 1.56

Donde:

Q_o : Caudal que ingresa a cada orificio, m³/s

v_o : Velocidad en orificio, m/s

✓ **Número de laterales**

El número de laterales está dado por:

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

Ec. 1.57

Donde:

N_L : Número de laterales, adimensional

n_L : Número de laterales por lado, adimensional

e_L : Separación entre laterales, m

1.9.5.9 Tubería de entrada al filtro

La tubería de entrada al filtro se diseña con base en criterios de velocidad y se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

Ec. 1.58

Donde:

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

Q : Caudal de diseño, m³/s

v_e : Velocidad del agua a través de la tubería de entrada, m/s

1.9.5.10 Tubería de salida del filtro

La tubería de salida del filtro se diseña con base en criterios de velocidad y se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

Ec. 1.59

Donde:

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

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

1.9.5.11 Sistema de lavado del filtro

✓ Velocidad óptima de lavado del filtro

Para el cálculo de la velocidad óptima de lavado, se utiliza la siguiente expresión:

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

Ec. 1.60

Donde:

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 el lavado se obtiene de:

$$V_l = v_l A_f t$$

Ec. 1.61

Donde:

V_f : Cantidad de agua para el lavado del filtro, m^3

t_f : Tiempo óptimo de lavado, min

1.9.5.12 Criterios Complementarios

Tabla 1.16 Parámetros de Diseño de Filtros Rápidos de Arena

Parámetro	Valor
Tasa de filtración	120 m/d
Medio	Arena
Altura del agua sobre el lecho	1,5 m
Profundidad del medio	0,60 – 0,75 m
Profundidad de grava	0,30 – 0,45 m
Tamaño efectivo del medio	0,35 – 0,70 mm (valor típico 0,5 mm)
Coefficiente de uniformidad	1,3 – 1,7 (valor típico 1,5)
Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje	0,10 - 0,25 m

Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Filtración

Tabla 1.17 Parámetros de Diseño de laterales

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

Fuente: ARBOLEDA, J. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua.

Tabla 1.18 Velocidades de Diseño para tuberías del filtro

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

Fuente: ROMERO, J. Purificación del Agua. Filtración

1.9.6 TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES

El intercambiador de cationes, consiste en un tanque, cuyo interior contiene la resina catiónica de ácido fuerte, activadas con cloruro de sodio, en el cual la resina intercambia sodio, catión no productor de dureza, por calcio y magnesio causantes de la dureza del agua.

1.9.6.1 Transformación de la dureza en granos/galón

Para transformar la dureza en granos/galón se utiliza el factor de conversión:

$$17,1 \text{ ppm} = 1 \text{ grano/galón}$$

1.9.6.2 Granos necesarios en un día

Los granos necesarios de resina en un día se calcula por:

$$\frac{\text{Granos}}{\text{día}} = Q * \text{Dureza}$$

Ec. 1.62

Donde:

Q: Caudal de diseño, galón/día

Dureza: Granos/galón

1.9.6.3 Volumen de resina

Usando factor de conversión: $1 \text{ ft}^3 = 30000$ granos de resina, el volumen de resina se calcula por la ecuación siguiente:

$$V_r = \frac{\text{granos / día}}{30000}$$

Ec. 1.63

Donde:

V_r : Volumen de resina, m^3

1.9.6.4 Volumen del tanque intercambiador

El volumen del tanque intercambiador que contiene la resina se calcula mediante la ecuación:

$$V_T = V_r E$$

Ec. 1.64

Donde:

V_T : Volumen del tanque intercambiador, m^3

E : Expansión de la resina al retrolavarla, %

1.9.6.5 Área del tanque intercambiador

El área del tanque intercambiador es igual al área de la resina y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A_T = A_r = \frac{V_r}{h_r}$$

Ec. 1.65

Donde:

A_T : Área del tanque intercambiador, m^2

A_r : Área de la resina, m^2

h_r : Altura de la resina, m

1.9.6.6 Diámetro del tanque intercambiador

El diámetro del tanque intercambiador puede calcularse por:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 A_T}{\pi}}$$

Ec. 1.66

Donde:

D_i : Diámetro del tanque intercambiador, m

1.9.6.7 Altura del tanque intercambiador

La altura del tanque intercambiador será:

$$h_{Tanque} = \frac{V_T}{A_T}$$

Ec. 1.67

Donde:

h_{Tanque} : Altura del tanque intercambiador, m

1.9.7 DESINFECCIÓN

En todo proceso de potabilización del agua, la desinfección es la última etapa, donde se elimina todos los microorganismos patógenos que pueden ser perjudiciales para la salud del ser humano.

1.9.7.1 Peso de cloro necesario

El peso de cloro necesario para tratar el agua viene dado por la ecuación:

$$P_{Cl} = \frac{Q D 86400}{1000}$$

Ec. 1.68

Donde:

P_{Cl} : Peso de cloro necesario, Kg/d

Q: Caudal de diseño, m³/s

D: Dosis de cloro necesario, mg/l

1.9.7.2 Volumen del hipoclorador

El volumen del hipoclorador puede determinarse por:

$$V_H = \frac{P_{Cl}}{5 C}$$

Ec. 1.69

Donde:

V_H : Volumen del hipoclorador, m^3

C: Concentración de la solución

1.9.7.3 Tanque de contacto para la mezcla de cloro

El tanque que se diseñará para el contacto del agua con el cloro a su vez será utilizado como tanque de almacenamiento, cuya capacidad puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$V_{Tc} = Q t f_s$$

Ec. 1.70

Donde:

V_{Tc} : Volumen del tanque para la mezcla de cloro, m^3

Q: Caudal de diseño, m^3/s

t: Tiempo de retención, s

f_s : Factor de seguridad, %

1.9.7.4 Altura del tanque para la mezcla de cloro

La altura del tanque para la mezcla de cloro será:

$$H_{Tc} = \frac{V_T}{A_{Tc}}$$

Ec. 1.71

Donde:

H_{Tc} : Altura del tanque para la mezcla de cloro, m

A_{Tc} : Área del tanque para la mezcla de cloro, m^2

1.9.7.5 Criterios complementarios

Tabla 1.19 Demanda de Cloro para Aguas

Tipo de Agua	Dosificación
Aguas Claras	0,3 mg/l
Aguas Turbias	1,5 mg/l

Fuente: Muñoz M. Balarezo A.

CAPÍTULO II

PARTE

EXPERIMENTAL

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 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 2.1 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 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✓ Temperatura ambiental.		

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Los análisis físico – químicos y microbiológicos se realizaron en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Se recogió 3 muestras durante un mes, las mismas que fueron trasladadas al laboratorio el mismo día en un periodo de 12 horas teniendo el debido cuidado con la finalidad de no alterar sus parámetros y obtener resultados de la caracterización reales para poder identificar los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”.

2.2.2 TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Se realizó la caracterización físico – química de cada una de las muestras recolectadas, siendo los parámetros físico - químicos analizados: color, pH, conductividad, turbiedad, cloruros, dureza, calcio, magnesio alcalinidad, bicarbonatos, sulfatos, amonios, nitritos, nitratos, hierro, fluoruros, fosfatos, sólidos totales y sólidos disueltos. También se realizó la caracterización microbiológica que está conformada por dos parámetros principalmente: coliformes totales y coliformes fecales.

2.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.3.1 MÉTODOS

Tabla 2.2 Métodos de Análisis del Agua

Parámetro	Método	Descripción
Color	Comparativo	Observación a través del comparador del color.
pH	Electrométrico	Utilización del pHmetro.
Conductividad	Electrométrico	Utilización del conductímetro.
Turbiedad	Nefelométrico	Utilización del turbidímetro.
Cloruros	Volumétrico	25 ml de muestra + 4 gotas de K_2CrO_4 . Titular con $AgNO_3$ (0,01 N) de amarillo a ladrillo.
Dureza	Volumétrico	25 ml de muestra + 2 ml Buffer pH 10 + indicador de Negro de Eriocromo T. Titular con EDTA (0,02 M) de rojo a azul.
Calcio	Volumétrico	25 ml de muestra + 1 ml KCN + indicador de Murexida. Titular con EDTA (0,02 M)
Alcalinidad	Volumétrico	25 ml de muestra + 2 gotas de Fenolftaleína. Titular con H_2SO_4 hasta incoloro (pH = 6,1) + 3 gotas de Naranja de Metilo. Titular con H_2SO_4 de naranja a rosado (pH = 8).

Sulfatos	Espectrofotométrico	En un balón de 100 ml, colocar una porción de muestra + 2 ml de Solución Acondicionadora + 1 g de BaCl ₂ , aforar con la muestra, medir en el Fotómetro a 410 nm.
Amonios	Espectrofotométrico	En un balón de 50 ml, colocar 25 ml de muestra + 1 ml NaK tartrato + 2 ml de Solución de Nessler, aforar con la muestra, medir en el Fotómetro a 425 nm.
Nitritos	Espectrofotométrico	En un balón de 50 ml, colocar 25 ml de muestra + 2 ml de Solución A + 2 ml de Reactivo B, aforar con la muestra, dejar reposar 30 min, medir en el Fotómetro a 510 nm.
Nitratos	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 355 N Nitrato RA PP, llenar una cubeta con la muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 5 en polvo, agitar, seleccionar el temporizador y esperar 1 min de reacción, preparar el blanco, limpiar el exterior de la cubeta, colocar el blanco en el equipo y encerar, colocar la muestra y leer el valor.
Hierro	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 265 Hierro FerroVer, llenar una cubeta con la muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo de Hierro FerroVer en polvo, agitar, seleccionar el temporizador y esperar 3 min de reacción, preparar el blanco, limpiar el exterior de la cubeta, colocar el blanco en el equipo y encerar, colocar la muestra y leer el valor.

Fluoruros	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 190 Fluoruro, llenar una cubeta con la muestra, añadir 2 ml de Reactivo circonio – ácido Spands, agitar, seleccionar el temporizador y esperar 3 min de reacción, preparar el blanco, limpiar el exterior de la cubeta, colocar el blanco en el equipo y encerar, colocar la muestra y leer el valor.
Fosfatos	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 490 P react. PV, llenar una cubeta con la muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo de PhosVer 3 en polvo, agitar, seleccionar el temporizador y esperar 2 min de reacción, preparar el blanco, limpiar el exterior de la cubeta, colocar el blanco en el equipo y encerar, colocar la muestra y leer el valor.
Sólidos Totales	Gravimétrico	Pesar una caja petri, colocar 25 ml de muestra en la caja, someter a baño María hasta sequedad, introducir la caja en la estufa, colocar la caja en el desecador por 15 min y pesarla.
Sólidos Totales Disueltos	Electrométrico	Utilización del electrodo de cristal adecuado para la lectura de sólidos totales disueltos.
Microbiológicos (Coliformes totales y Coliformes fécales)	Sembrado	Esterilizar el equipo microbiológico de filtración por membranas, sembrar y tomar la lectura a las 24 horas y realizar el conteo de las colonias si las hubiere.

Fuente: Técnicas del Laboratorio de Análisis Técnicos

2.3.2 TÉCNICAS

Para la caracterización de las diferentes muestras de agua se empleó el STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 17 TH EDITION DE LA AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF).

A continuación se indican los métodos empleados para cada uno de los análisis:

2.3.2.1 POTENCIAL DE HIDRÓGENO pH

Tabla 2.3 STANDARD METHODS *4500 HB

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
La base de la determinación de medición electrométrica del pH es la actividad de los iones de hidrógeno por medida potenciométrica utilizando un electrodo de hidrógeno estándar y un electrodo de referencia. El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua, tiene un rango de 1 a 14. Si el agua tiene un pH menor a 7 se dice que es ácida, mayor a 7, básica y un valor igual a 7 es neutra.	<ul style="list-style-type: none">✓ pHmetro✓ Vaso de precipitación	<ul style="list-style-type: none">✓ Lavar el electrodo del pHmetro con agua destilada y calibrar el equipo con las soluciones Buffer pH 4, pH 7 y pH 10.✓ Colocar el electrodo en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra.✓ Tomar la lectura.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3.2.2 CONDUCTIVIDAD

Tabla 2.4 STANDARD METHODS *2510

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
La conductividad es la capacidad que tiene una solución acuosa para conducir corriente eléctrica. Está relacionada con la cantidad de sólidos totales disueltos presentes en el agua. La escala de 1999,9 μS , corresponde a la conductividad de las aguas potables naturales.	<ul style="list-style-type: none">✓ Conductímetro✓ Vaso de precipitación	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar la muestra en el vaso de precipitación, la misma que debe ser agitada.✓ Colocar el electrodo del conductímetro en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra.✓ Tomar la lectura.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3.2.3 TURBIDEZ

Tabla 2.5 STANDARD METHODS *2130 B

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
El 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. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez.	<ul style="list-style-type: none">✓ Turbidímetro✓ Celda para turbidímetro	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar agua destilada en la celda para calibrar el equipo.✓ Colocar la muestra en la celda.✓ Tomar la lectura.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3.2.4 DUREZA

Tabla 2.6 STANDARD METHODS *2340 B Y C

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>La dureza se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio presentes en el agua como carbonato de calcio y de magnesio, en miligramos por litro.</p> <p>Para la determinación de la dureza se utiliza el método complexométrico en el cual se emplea la sal sódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como agente complejante; formando complejos estables con los metales Ca^{2+} y Mg^{2+}.</p>	<ul style="list-style-type: none">✓ Erlenmeyer✓ Bureta✓ Pipeta volumétrica✓ EDTA 0,02 M✓ Solución Buffer pH 10✓ KCN✓ Negro de Eriocromo T.	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer.✓ Agregar 2 ml de solución Buffer pH 10.✓ Agregar 1 ml de KCN.✓ Añadir el indicador Negro de Eriocromo T.✓ Titular con EDTA hasta que se dé un viraje de rojo a azul.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3.2.5 CALCIO

Tabla 2.7 STANDARD METHODS *3500 Ca

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Las sales de calcio contribuyen a la dureza total del agua. La cantidad de calcio se puede determinar directamente mediante una valoración con EDTA 0,02 M.	<ul style="list-style-type: none">✓ Erlenmeyer✓ Bureta✓ Pipeta volumétrica✓ EDTA 0,02 M✓ KCN✓ NaOH 1 N✓ Indicador Murexida	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer.✓ Agregar 1 ml de KCN.✓ Agregar 1 ml de NaOH.✓ Añadir el indicador Murexida.✓ Titular con EDTA hasta que dé un viraje de rosado a lila.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3.2.6 ALCALINIDAD

Tabla 2.8 STANDARD METHODS *2320 B

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables, el valor medio puede variar con el pH.</p> <p>La alcalinidad se debe al contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.</p> <p>Se utiliza fenolftaleína como indicador para cuantificar la alcalinidad de hidróxidos y parte de carbonatos, y naranja de metilo para cuantificar la alcalinidad restante.</p>	<ul style="list-style-type: none">✓ Erlenmeyer✓ Bureta✓ Pipeta volumétrica✓ H₂SO₄ 0,1 N✓ Indicador Fenolftaleína✓ Indicador Naranja de Metilo	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer.✓ Agregar 4 gotas de fenolftaleína.✓ Titular con H₂SO₄ hasta que dé un viraje de rosado a incoloro.✓ Agregar 3 gotas de naranja de metilo.✓ Titular con H₂SO₄ hasta que dé un viraje de naranja a rosado.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3.2.7 CLORUROS

Tabla 2.9 STANDARD METHODS *4500 Cl B

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Los cloruros se pueden determinar en una solución neutra ligeramente alcalina mediante una titulación con nitrato de plata, usando como indicador cromato de potasio.	<ul style="list-style-type: none">✓ Erlenmeyer✓ Bureta✓ Pipeta volumétrica✓ AgNO₃ 0,01 N✓ Indicador K₂CrO₄	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer.✓ Agregar 4 gotas de K₂CrO₄.✓ Titular con AgNO₃ hasta que dé un viraje de amarillo a ladrillo.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3.2.8 SULFATOS

Tabla 2.10 STANDARD METHODS *4500 SO₄ E

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
El sulfato precipita en una solución de ácido clorhídrico como sulfato de bario por la adición de cloruro de bario.	<ul style="list-style-type: none">✓ Balón aforado✓ Espectrofotómetro✓ Pipeta volumétrica✓ Solución Acondicionadora✓ BaCl₂	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar una porción de muestra en un balón de 100 ml.✓ Agregar 2 ml de solución acondicionadora.✓ Agregar 1 g de BaCl₂.✓ Aforar con la muestra.✓ Medir en el Espectrofotómetro a 410 nm.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3.2.9 NITRITOS

Tabla 2.11 STANDARD METHODS *4500 NO₂

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>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 sulfanilamidiazotado con N-(1 - naftil) - dihidrocloruro de etilendiamina.</p> <p>El rango de aplicación del método para mediciones espectrofotométricas es de 10 a 1000 µg de NO₂.</p>	<ul style="list-style-type: none">✓ Balón aforado✓ Espectrofotómetro✓ Pipeta volumétrica✓ Solución A✓ Reactivo B	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar 25 ml de muestra en un balón de 50 ml.✓ Agregar 2 ml de solución A.✓ Agregar 2 ml de reactivo B.✓ Aforar con la muestra.✓ Dejar reposar la muestra por 30 min.✓ Medir en el Espectrofotómetro a 510 nm.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3.2.10 COLOR

Tabla 2.12 MÉTODO HACH*

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>El color del agua se debe al contacto con desechos orgánicos, sólidos en suspensión, presencia de taninos y residuos industriales.</p> <p>El color verdadero es el color de la muestra una vez que se ha removido la turbidez, y el color aparente es el que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales, sino también el color debido al material suspendido.</p>	<ul style="list-style-type: none">✓ Equipo Hach✓ Celdas de la Hach✓ Pipeta✓ Agua destilada✓ Muestra problema	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerrar el equipo.✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda.✓ Colocar la celda en el equipo.✓ Tomar la lectura que indica el equipo.

Fuente: *HACH MODEL DR/4000V

2.3.2.11 NITRATOS

Tabla 2.13 MÉTODO HACH*

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Los niveles de nitratos en aguas subterráneas y superficiales son unos pocos miligramos por litro.	<ul style="list-style-type: none">✓ Equipo Hach✓ Celdas de la Hach✓ Pipeta✓ Agua destilada✓ Reactivo N Nitrato RA PP	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerrar el equipo.✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo de N Nitrato RA PP en polvo.✓ Colocar la celda en el equipo.✓ Tomar la lectura que indica el equipo.

Fuente: *HACH MODEL DR/4000V

2.3.2.12 FOSFATOS

Tabla 2.14 MÉTODO HACH*

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
El fósforo se encuentra en aguas naturales y en las aguas residuales casi exclusivamente como fosfatos. Estos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados y fosfatos ligados orgánicamente.	<ul style="list-style-type: none">✓ Equipo Hach✓ Celdas de la Hach✓ Pipeta✓ Agua destilada✓ Reactivo PhosVer	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerar el equipo.✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo de PhosVer 3 en polvo.✓ Colocar la celda en el equipo.✓ Tomar la lectura que indica el equipo.

Fuente: *HACH MODEL DR/4000V

2.3.2.13 HIERRO

Tabla 2.15 MÉTODO HACH*

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
El hierro se encuentra principalmente en aguas subterráneas, en cantidades apreciables, está presente como Fe^{2+} creando problemas en suministros de agua.	<ul style="list-style-type: none">✓ Equipo Hach✓ Celdas de la Hach✓ Pipeta✓ Agua destilada✓ Reactivo FerroVer	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerrar el equipo.✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo de FerroVer en polvo.✓ Colocar la celda en el equipo.✓ Tomar la lectura que indica el equipo.

Fuente: *HACH MODEL DR/4000V

2.3.2.14 SÓLIDOS TOTALES

Tabla 2.16 STANDARD METHODS *2540

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>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.</p> <p>Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales, sólidos retenidos en un filtro y sólidos disueltos totales.</p>	<ul style="list-style-type: none">✓ Caja Petri tarada✓ Baño María✓ Estufa✓ Desecador✓ Balanza analítica✓ Muestra problema	<ul style="list-style-type: none">✓ Pesar la caja petri vacía.✓ Colocar 25 ml de muestra en la caja petri.✓ Someter a baño María hasta sequedad.✓ Secar en la estufa, enfriar y pesar.

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.3.2.15 SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Tabla 2.17 MÉTODO HACH*

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Los sólidos totales disueltos es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua.	<ul style="list-style-type: none">✓ Electrodo sensible de Hach✓ Vaso de precipitación✓ Muestra problema	<ul style="list-style-type: none">✓ Colocar la muestra en el vaso de precipitación, la misma que debe ser agitada.✓ Colocar el electrodo para sólidos totales disueltos en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra.✓ Tomar la lectura.

Fuente: *HACH MODEL DR/4000V

2.3.2.16 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

Tabla 2.18 STANDARD METHODS

REQUISITOS	ENSAYO	STANDARD METHODS
Coliformes totales	Filtración por membranas. Sembrado	PEE/M-01
Coliformes fecales	Filtración por membranas. Sembrado	PEE/M-01

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.4 DATOS EXPERIMENTALES

2.4.1 SITUACIÓN INICIAL – CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE CAPTACIÓN

Tabla 2.19 Análisis Físico – Químico del Agua de la Comunidad La Candelaria

Determinación	Unidades	*Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2011	Muestras			Promedio
			1	2	3	
Color	Unid. Co/Pt	15	20	12	15	15
pH	Unid.	6,5 – 8,5	7,73	7,75	7,70	7,73
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	1009	1034	1010	1017,67
Turbiedad	UNT	5	10,0	1,0	4,7	5,23
Cloruros	mg/l	250	4,3	5,7	5,7	5,23
Dureza	mg/l	300	392,0	416,0	400,0	402,67
Calcio	mg/l	70	73,6	80,0	76,8	76,80
Magnesio	mg/l	30 – 50	50,5	52,5	50,5	51,17
Alcalinidad	mg/l	250 – 300	620,0	580,0	580,0	593,33
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300	632,4	591,6	591,6	605,20
Sulfatos	mg/l	200	159,6	155,0	153,9	156,17
Amonios	mg/l	< 0,50	0,173	0,76	0,173	0,37
Nitritos	mg/l	0,2	0,00	0,02	0,01	0,01
Nitratos	mg/l	50	1,7	1,9	1,2	1,6
Hierro	mg/l	0,3	0,140	0,010	0,090	0,08
Fluoruros	mg/l	1,5	1,0	0,8	1,4	1,07
Fosfatos	mg/l	< 0,30	0,408	0,301	0,326	0,345
Sólidos Totales	mg/l	1000	1064,0	1084,0	1052,0	1066,7
Sólidos Disueltos	mg/l	500	496,0	508,0	496,0	500,0

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

Tabla 2.20 Análisis Microbiológico del Agua de la Comunidad La Candelaria

Determinación	Unidades	*Límite máximo permisible	Muestra
Coliformes Totales	UFC/100 ml	0 (Ausencia)	20
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	0 (Ausencia)	1

Fuente: CESTTA, Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección.

2.4.2 PARÁMETROS FUERA DE LOS LÍMITES PERMISIBLES

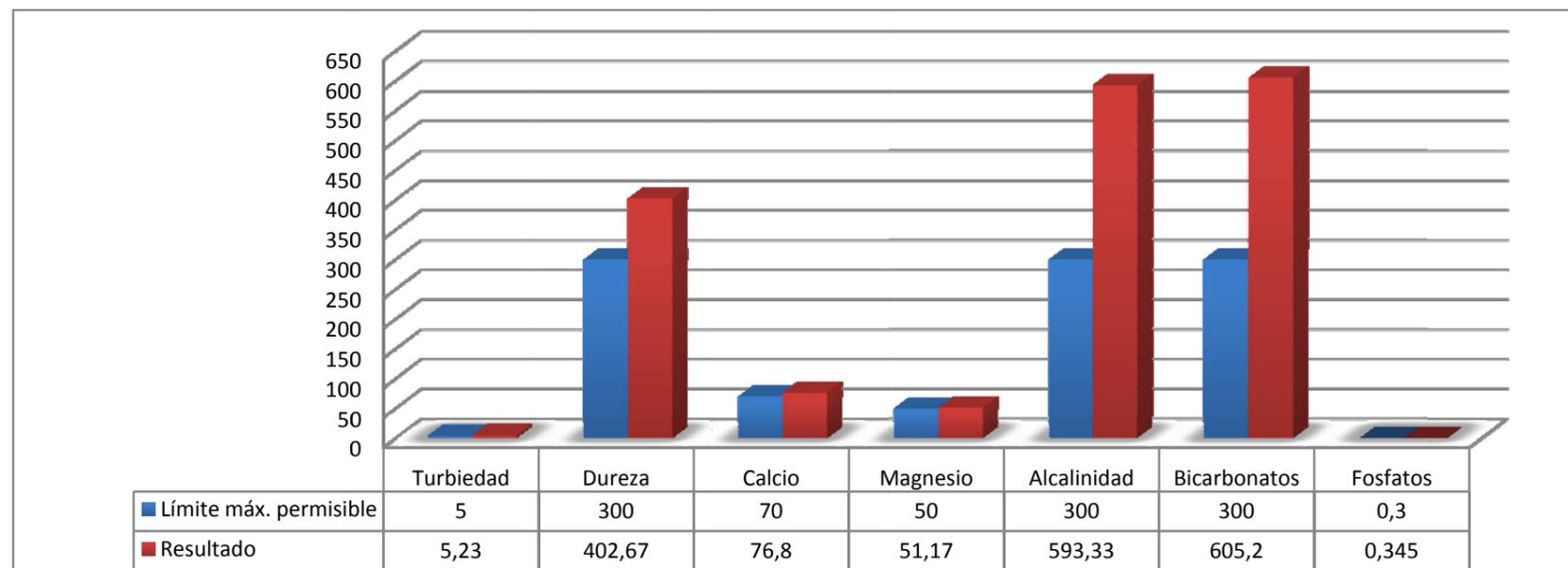
Una vez que se realizó la caracterización del agua de la comunidad La Candelaria, Parroquia San Luis, se comparó con los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos” y se identificó 7 parámetros físico - químicos fuera de norma, siendo éstos: turbiedad, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos y fosfatos.

Tabla 2.21 Parámetros Físico – Químicos fuera de Norma

Parámetro	Unidades	Límite máximo permisible	Resultado
Turbiedad	UNT	5	5,23
Dureza	mg/l	300	402,67
Calcio	mg/l	70	76,80
Magnesio	mg/l	30 – 50	51,17
Alcalinidad	mg/l	250 – 300	593,33
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300	605,20
Fosfatos	mg/l	< 0,30	0,345

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Gráfico 2.1 Parámetros Físico – Químicos fuera de Norma



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

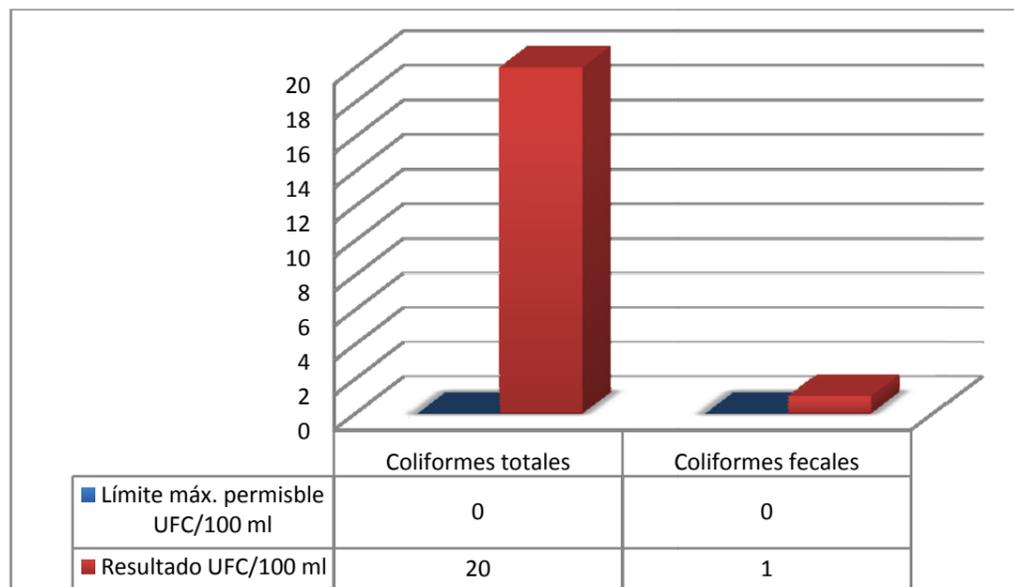
En cuanto a los análisis microbiológicos se tiene fuera de norma los coliformes totales y coliformes fecales.

Tabla 2.22 Parámetros Microbiológicos fuera de Norma

Parámetro	Unidades	Límite máximo permisible	Resultados
Coliformes Totales	UFC/100 ml	0	20
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	0	1

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Gráfico 2.2 Parámetros Microbiológicos fuera de Norma

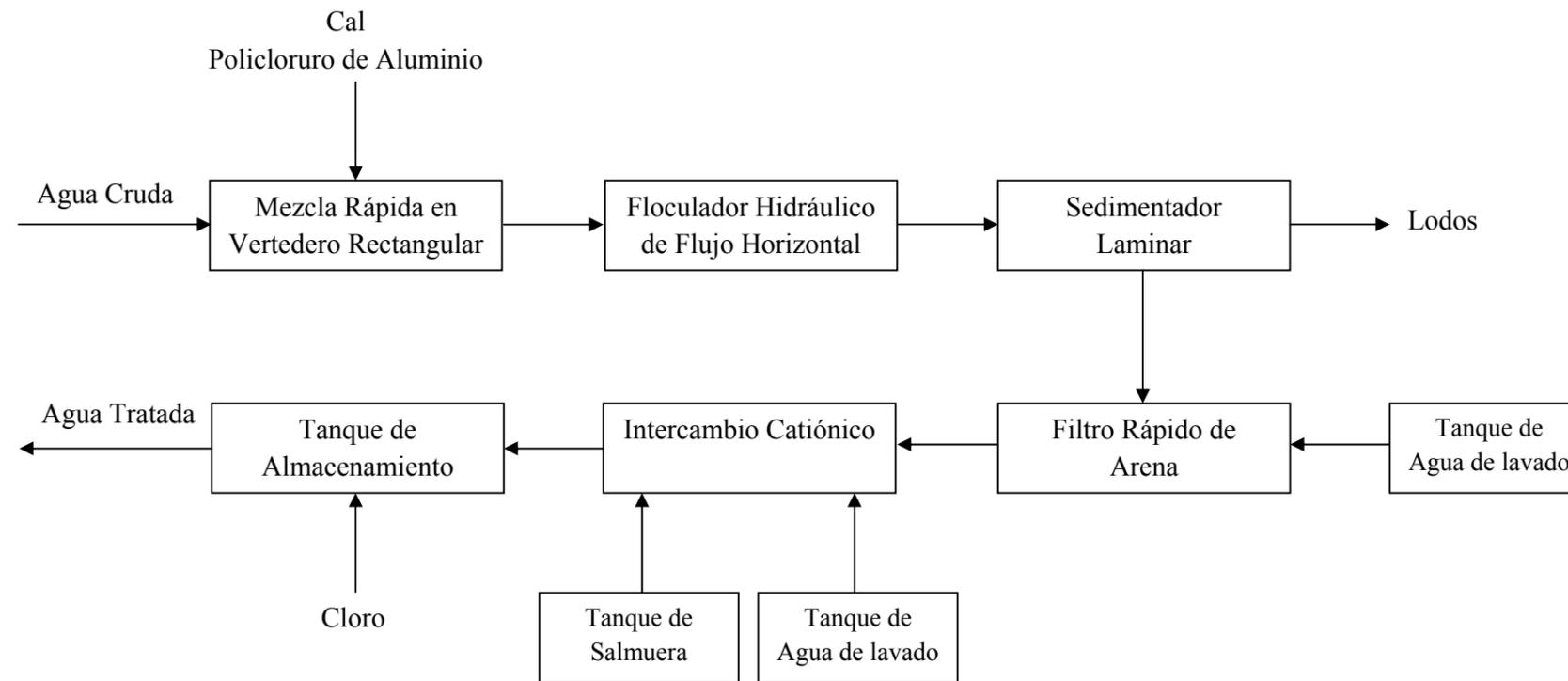


Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

2.5 PROPUESTA DE DISEÑO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

En base a las caracterizaciones físico – químicas y microbiológicas que se realizaron a las diferentes muestras de agua, se plantea la siguiente propuesta para el diseño de potabilización del agua para la Comunidad La Candelaria:

Figura 2.1 Diagrama de Bloques del Sistema de Tratamiento Propuesto



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

CAPÍTULO III

DISEÑO

3 DISEÑO

3.1 PRUEBAS DE TRATABILIDAD

Luego de que se determinó los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles de acuerdo a 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 y seguro de tal manera que la comunidad La Candelaria pueda abastecerse de agua potable de calidad.

Durante las pruebas de tratabilidad del agua se realizó la prueba de jarras utilizando cal y policloruro de aluminio (PAC) para la remoción de la turbiedad, alcalinidad, bicarbonatos y fosfatos, y un intercambio catiónico utilizando resinas catiónicas fuertemente ácidas, para la remoción de la dureza generada principalmente el calcio y magnesio que presenta el agua.

3.1.1 PRUEBA DE JARRAS

Figura 3.1 Prueba de Jarras con Cal y Policloruro de Aluminio



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

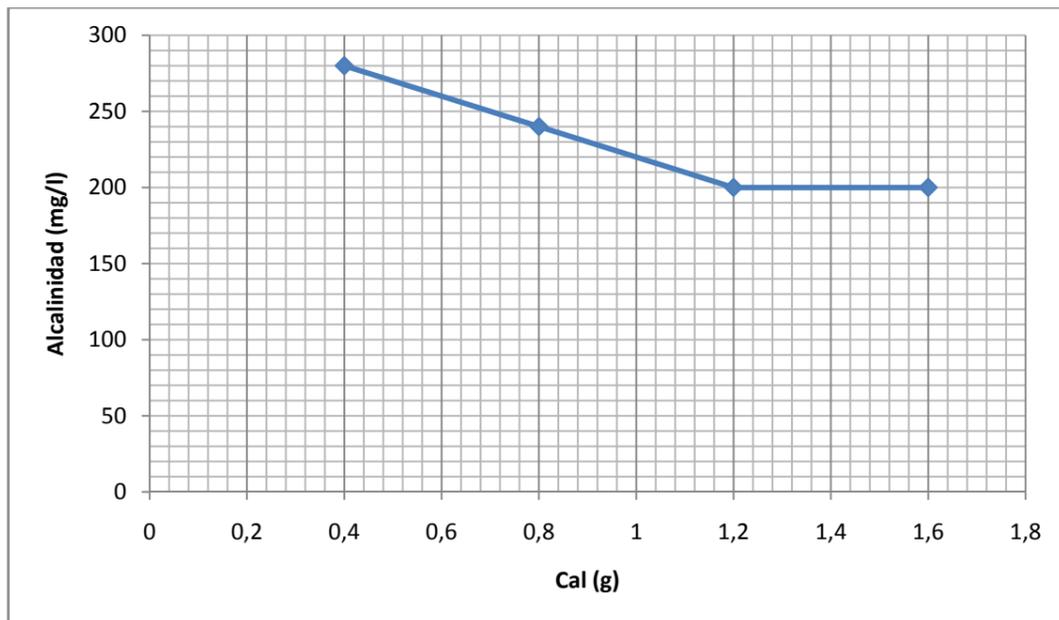
Se realizó la prueba de jarras que consiste en la simulación de los procesos de coagulación y/o floculación, en este caso se simuló un proceso de ablandamiento con cal, misma que reacciona con los bicarbonatos solubles de calcio y magnesio, causantes de la dureza por carbonatos; y un proceso de floculación con policloruro de aluminio (PAC), donde el PAC que puede ser usado como coagulante o floculante, en este caso como floculante, ayuda a reducir la turbiedad y los fosfatos presentes en el agua. Se llenó cuatro vasos con la muestra problema y se dosificó juntos la cal y el policloruro de aluminio a diferentes concentraciones de tal manera de determinar experimentalmente la concentración más adecuada del reactivo.

Tabla 3.1 Prueba de Jarras con CAL y PAC

Volumen de agua (L)	Cal (g)	Solución PAC al 4%	Alcalinidad (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	pH
1	0,4	8	300	0,29	9,80
	0,8		290	0,28	10,42
	1,2		260	0,28	11,08
	1,6		240	0,29	11,30
1	0,4	16	280	0,16	8,19
	0,8		240	0,16	8,27
	1,2		200	0,17	8,54
	1,6		200	0,17	9,34

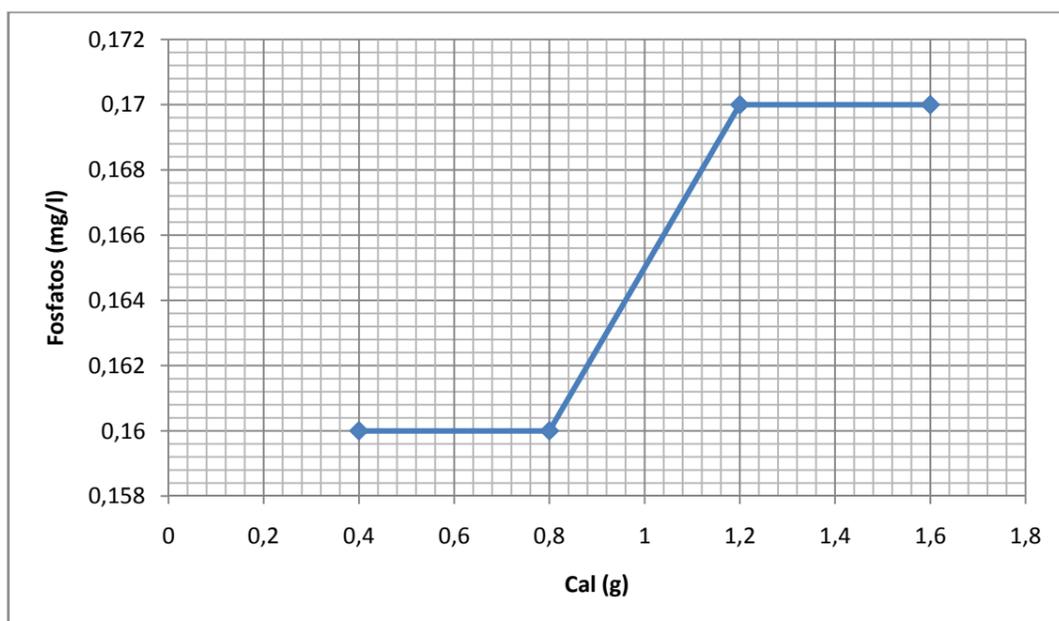
Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Gráfico 3.1 Cal vs Alcalinidad



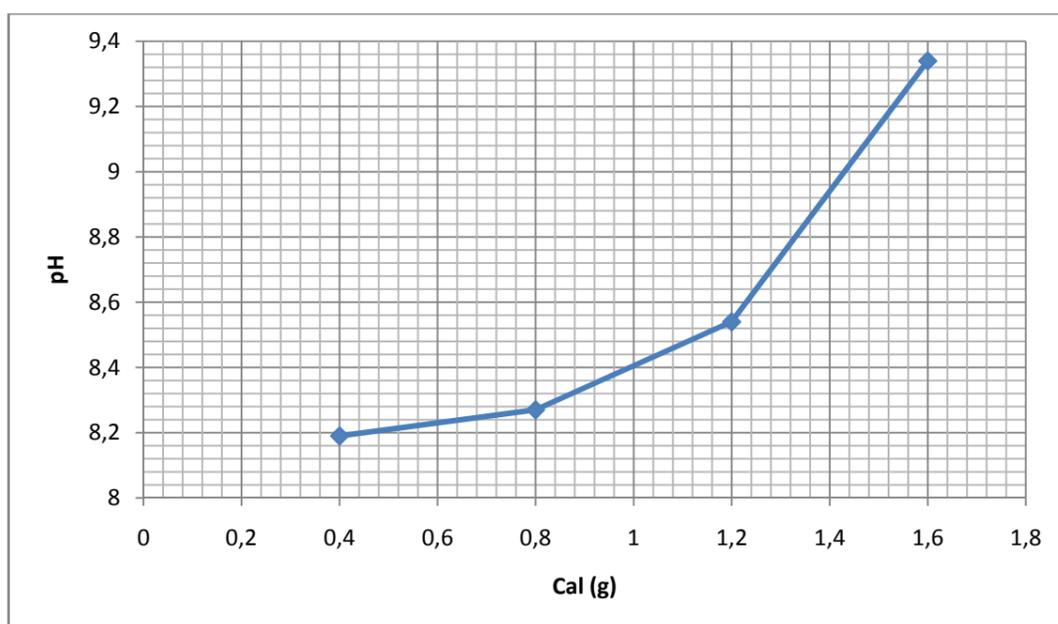
Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Gráfico 3.2 Cal vs Fosfatos



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Gráfico 3.3 Cal vs pH



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Nota: Los gráficos 3.1, 3.2 y 3.3 comprenden la dosificación de 16 ml de policloruro de aluminio.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al añadir la cal se elimina únicamente la dureza temporal, es decir, la dureza en forma de bicarbonatos, debido a que el pH del agua aumenta, generando una baja solubilidad de dichos compuestos.

A partir de los datos de la tabla 3.1 y en función de los gráficos 3.1, 3.2 y 3.3, se considera que la concentración más adecuada de cal es de 0,8 g en un litro de agua, para reducir el nivel de bicarbonatos presentes en el agua en donde el calcio precipita como carbonato cálcico y el magnesio como hidróxido de magnesio; y la concentración de policloruro de aluminio es al 4%, ya que si se prepara una concentración menor, el PAC no ayuda a formar los flóculos, ni a bajar el pH elevado que contiene el agua debido a la cal; y una mayor concentración genera un aumento considerable de los sólidos disueltos y por ende la conductividad del agua. Además en un litro de agua se requieren 16 ml de

solución de policloruro de aluminio para ayudar a la remoción de la turbiedad, fosfatos y a bajar el pH del agua incrementado por la cal.

3.1.2 INTERCAMBIO CATIONICO

Después del proceso de ablandamiento y floculación, se considera muy apropiado pasar el agua por un sedimentador para sedimentar las partículas floculentas y después por un filtro rápido de arena, debido a que no todas las partículas floculentas precipitan en el sedimentador, las mismas que si pasan al intercambio catiónico, éstas pueden ocasionar el taponamiento de las resinas, disminuyendo su efectividad.

El agua pasa a la etapa de intercambio catiónico en el cual se emplean resinas catiónicas de ácido fuerte (PUROLITE C – 100 E) activadas con solución de cloruro de sodio, para remover la dureza generada por calcio y magnesio en las etapas anteriores.

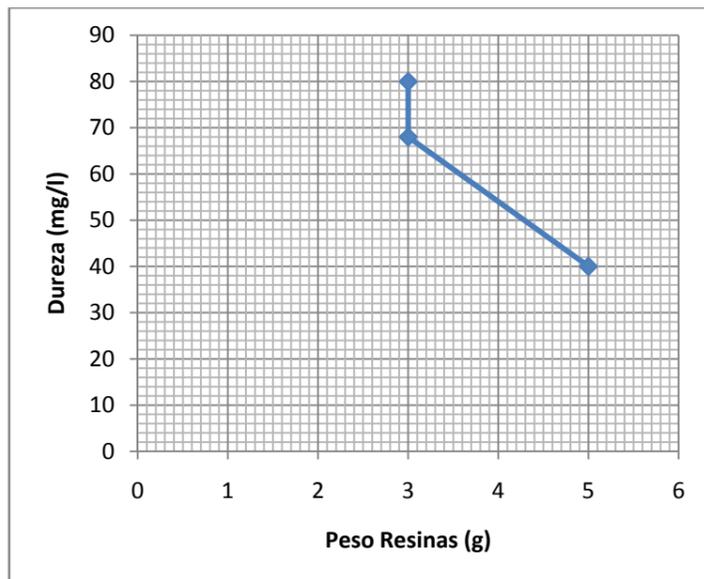
Las resinas que se emplearon son muy estables y de rápida velocidad de intercambio que pueden durar hasta veinte años o más siempre y cuando reciban un tratamiento adecuado.

Tabla 3.2 Intercambio Catiónico

Bureta	Peso resinas (g)	Solución NaCl	Tiempo de activación (min)	Agua de lavado (ml)	Dureza (mg/l)
1	3	3 %	15	500	80
2	3	5%	15	800	68
3	5	5%	15	1000	40

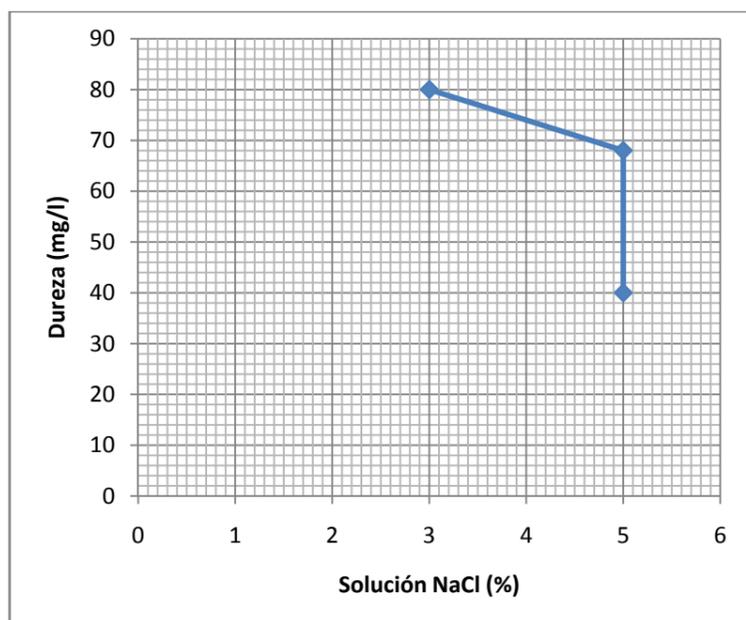
Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Gráfico 3.4 Peso Resinas vs Dureza



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Gráfico 3.5 Solución NaCl vs Dureza



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La resina catiónica de ácido fuerte, PUROLITE C – 100 E, empleada es muy eficiente y fácil de activar, siendo los datos obtenidos alentadores, ya que los valores de dureza se encuentran por debajo de los límites permitidos. En los tres casos presentados en la tabla 3.2 y en función de los gráficos 3.4 y 3.5, la dureza es removida considerablemente, por lo que se ha escogido el proceso de la bureta 1, donde se emplea 3 g de resina activadas con una solución de cloruro de sodio al 3% ya que implica un consumo mínimo tanto de resina como de la solución y por tanto se economiza costos.

Las pruebas de tratabilidad se realizaron durante un mes, obteniendo el proceso más eficiente para generar agua de calidad, en el cual todos los parámetros se encuentran dentro los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”.

3.2 CÁLCULOS

3.2.1 CAUDAL DE DISEÑO

3.2.1.1 Población de diseño

La población futura se proyectará a 20 años y se calcula mediante la Ec. 1.3:

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

Datos:

P_a : 600 hab.

r : 3,18% (Tasa de crecimiento de la Parroquia San Luis, tomado del Plan Estratégico de Desarrollo Cantonal Riobamba 2020)

Tabla 3.3 Proyección de la Población

N	Año	Población
0	2013	600
1	2014	619
2	2015	639
3	2016	659
4	2017	680
5	2018	702
6	2019	724
7	2020	747
8	2021	771
9	2022	795
10	2023	821
11	2024	847
12	2025	874
13	2026	901
14	2027	930
15	2028	960
16	2029	990
17	2030	1022
18	2031	1054
19	2032	1088
20	2033	1122

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.2.1.2 Nivel de complejidad del sistema

En base a la población futura calculada, se determina el nivel de complejidad del sistema de acuerdo a la tabla 1.5:

Nivel	Población de diseño
Bajo	< 2500

Medio	2501 – 12500
Medio Alto	12501 – 60000
Alto	> 60000

Como la población de diseño proyectada a 20 años es de 1122 habitantes, se determina que el nivel de complejidad del sistema es bajo.

3.2.1.3 Dotación neta

La dotación neta depende del nivel de complejidad del sistema, para lo cual se emplea la tabla 1.6:

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	-

Como el nivel de complejidad del sistema es bajo, la dotación neta a utilizar será de 100 L/hab*día.

Se escoge la dotación neta mínima de 100 L/hab*día ya que de acuerdo a las normas establecidas para zonas rurales según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cantidad de agua a utilizar por habitante y día para consumo doméstico es: bebida y cocina: 25 L, aseo personal: 45 L, lavado de ropa: 10 L, inodoros (por descarga): 15 L, aseo de la vivienda: 2 L/m³ y riego de jardín: 3 L/m; dando una total de dotación neta de 100 L/hab*día.

3.2.1.4 Dotación bruta

El porcentaje admisible de pérdidas técnicas se obtiene a partir de la tabla 1.7 de acuerdo al nivel de complejidad del sistema:

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

Como el nivel de complejidad del sistema es bajo, el porcentaje máximo admisible de pérdidas técnicas será del 40%.

Por tanto, la dotación bruta será, según la Ec. 1.4:

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

$$Dotación\ bruta = \frac{100}{1 - 0,40}$$

$$Dotación\ bruta = 166,67\ L/hab\ día$$

3.2.1.5 Caudal medio diario

El caudal medio diario será, según la Ec. 1.5:

$$Qmd = P_f * Dotación\ bruta$$

$$Qmd = 1122(166,67)$$

$$Qmd = 187000\ L/día$$

3.2.1.6 Caudal máximo diario

El caudal de diseño para la planta de tratamiento es el caudal máximo diario ya que el diseño del sistema de tratamiento contará con un tanque de almacenamiento.

El coeficiente de consumo máximo diario, K_1 , se obtiene a partir de la tabla 1.8 según el nivel de complejidad del sistema:

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

Como el nivel de complejidad del sistema es bajo, el coeficiente de consumo máximo diario, K₁, será de 1,3.

Por tanto, el caudal máximo diario será, según la Ec. 1.6:

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

$$QMd = \frac{1,3(187000)}{86400}$$

$$QMd = 2,81 \text{ L/s}$$

3.2.2 VERTEDERO RECTANGULAR

El vertedero rectangular será construido de **hormigón** y diseñado para un caudal de 2,81 L/s, el mismo que será utilizado para dispersar de manera rápida y uniforme la cal y el policloruro de aluminio a través del flujo de agua.

3.2.2.1 Canal del 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.

Por tanto, la profundidad del canal del vertedero con un factor de seguridad, f_s, del 10% será, según la Ec. 1.7:

$$C_v = f_s * H$$

$$C_v = 1,10(0,05)$$

$$C_v = 0,06 \text{ m}$$

Se asumirá una longitud del canal de 1 m, debido a que el caudal es pequeño y para que el agua tenga una buena caída y se genere turbulencia para la mezcla de las sustancias químicas.

3.2.2.2 Ancho del Vertedero

El ancho del vertedero será, según la Ec. 1.8:

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

$$B = \frac{0,00281}{(1,84)(0,05)^{3/2}}$$

$$B = 0,14 \text{ m}$$

3.2.2.3 Caudal por unidad de ancho

El caudal por unidad de ancho será, según la Ec. 1.9:

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

$$q = \frac{0,00281}{0,14}$$

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

3.2.2.4 Profundidad crítica de flujo

La profundidad crítica de flujo será, según la Ec. 1.10:

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

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

$$h_c = 0,035 \text{ m}$$

3.2.2.5 Longitud del salto

La altura de la pared del vertedero, P, será de 0,50 m para tener un resalto estable y mezcla eficiente, donde el número de Froude calculado en el literal 3.2.2.8 debe estar comprendido entre 4,5 y 9.

Po tanto, la longitud del salto será, según la Ec. 1.11:

$$L_m = 4,3P^{0,1}h_c^{0,9}$$
$$L_m = 4,3(0,50)^{0,1}(0,035)^{0,9}$$
$$L_m = 0,20 \text{ m}$$

3.2.2.6 Profundidad supercrítica

La profundidad supercrítica o altura del agua después del salto será, según la Ec. 1.12:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} h_c$$
$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{0,50}{0,035} + 1,5}} 0,035$$
$$h_1 = 0,0098 \text{ m}$$

3.2.2.7 Velocidad del agua en el salto

La velocidad del agua en el salto será, según la Ec. 1.13:

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$
$$v_1 = \frac{0,021}{0,0098}$$
$$v_1 = 2,14 \text{ m/s}$$

3.2.2.8 Número de Froude

El Número de Froude para que haya resalto estable y mezcla eficiente será, según la Ec. 1.14:

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$
$$F = \frac{2,14}{\sqrt{(9,8)(0,0098)}}$$
$$F = 6,91$$

3.2.2.9 Profundidad subcrítica

La profundidad subcrítica o altura del agua después del resalto será, según la Ec. 1.15:

$$h_2 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8F^2} - 1) h_1$$
$$h_2 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8(6,91)^2} - 1) 0,0098$$
$$h_2 = 0,091 \text{ m}$$

3.2.2.10 Velocidad del agua en el resalto

La velocidad del agua en el resalto será, según la Ec. 1.16:

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$
$$v_2 = \frac{0,021}{0,091}$$
$$v_2 = 0,23 \text{ m/s}$$

3.2.2.11 Pérdida de energía en el resalto

La pérdida de energía en el resalto será, según la Ec. 1.17:

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

$$h = \frac{(0,091 - 0,0098)^3}{4(0,0098)(0,091)}$$

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

3.2.2.12 Longitud del resalto

La longitud del resalto, para resalto estable, será, según la Ec. 1.18:

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

$$L_j = 6(0,091 - 0,0098)$$

$$L_j = 0,49 \text{ m}$$

3.2.2.13 Velocidad media en el resalto

La velocidad media en el resalto será, según la Ec. 1.19:

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

$$v_m = \frac{2,14 + 0,23}{2}$$

$$v_m = 1,19 \text{ m/s}$$

3.2.2.14 Tiempo de mezcla

El tiempo de mezcla rápida será, según la Ec. 1.20:

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

$$t = \frac{0,49}{1,19}$$

$$t = 0,41 \text{ s}$$

3.2.2.15 Gradiente de velocidad

El peso específico y la viscosidad dinámica del agua se obtienen de la tabla 1.9 a una temperatura de 18°C.

Por tanto, el gradiente de velocidad será, según la Ec. 1.21:

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

Datos:

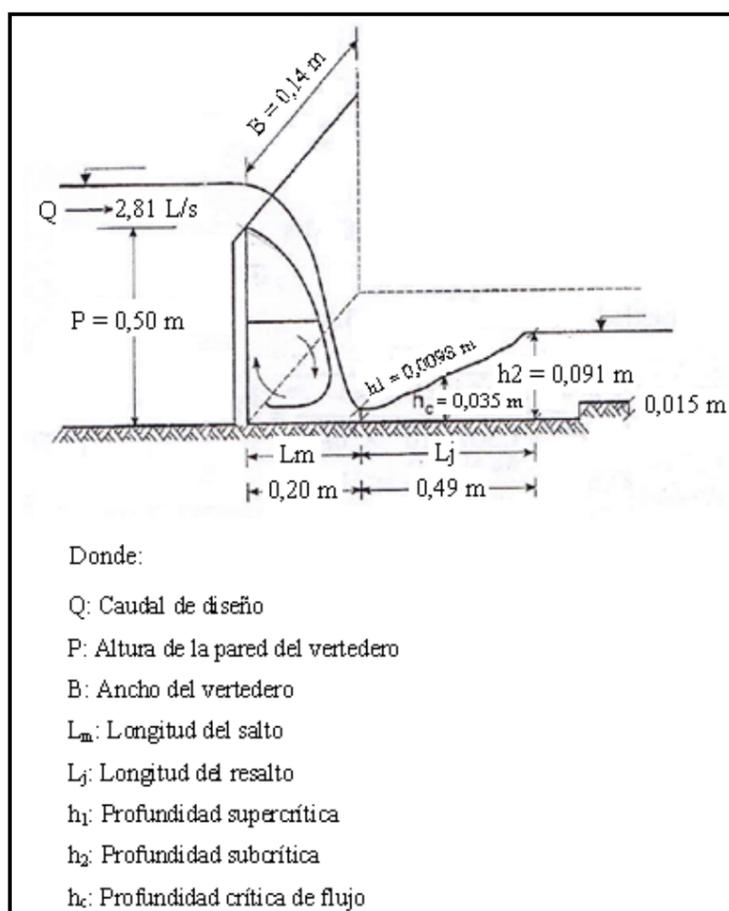
γ : 9793 N/m³

μ : 1,053 x 10⁻³ Pa s

$$G = \sqrt{\frac{(9793)(0,15)}{(1,053 \times 10^{-3})(0,41)}}$$

$$G = 1844,58 \text{ s}^{-1}$$

Figura 3.2 Dimensiones del Vertedero Rectangular



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.2.3 FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL

Después de que la cal y el policloruro de aluminio se han mezclado en el agua, empiezan a adherirse y aglutinarse las partículas difíciles de sedimentar dando lugar a la formación de flocs. Para que dichos flocs aumenten de tamaño y adquieran el suficiente peso que les permita sedimentar, el agua es sometida a una agitación lenta, es decir, al proceso de floculación; para lo cual se empleará un floculador hidráulico que será construido de *hormigón* y diseñado para un caudal de 2,81 L/s; además el paso del mezclador al floculador será instantáneo por lo que se evitará los canales y las interconexiones largas.

3.2.3.1 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 diseño de la tabla 1.10, considerando la velocidad de flujo.

Por tanto, la distancia total recorrida por el agua será, según la Ec. 1.22:

$$L = v * t$$

Datos:

v : 0,23 m/s

t : 20 min

$$L = 0,23(20)(60)$$

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

3.2.3.2 Volumen de agua

El volumen de agua que hay que mezclar en cada periodo de 20 min será, según la Ec. 1.23:

$$V = Qt$$

$$V = (0,00281)(20)(60)$$

$$V = 3,37 \text{ m}^3$$

3.2.3.3 Sección transversal de los canales

La sección o área transversal requerida de un canal entre baffles será, según la Ec. 1.24:

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

$$A = \frac{0,00281}{0,23}$$

$$A = 0,012 \text{ m}^2$$

3.2.3.4 Profundidad del agua

Para una distancia entre baffles, a , de 0,15 m, la profundidad del agua será, según la Ec. 1.25:

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

$$d = \frac{0,012}{0,15}$$

$$d = 0,081 \text{ m}$$

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

$$Z_{Tf} = 0,081(1,10)$$

$$Z_{Tf} = 0,090 \text{ m} \cong 0,10 \text{ m}$$

3.2.3.5 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. 1.26:

$$e = 1,5 a$$

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

$$e = 0,23 \cong 0,30 \text{ m}$$

3.2.3.6 Longitud efectiva de cada canal

Para un ancho útil de la cámara de floculación, B_F , de 4 m, la longitud efectiva de cada canal será, según la Ec. 1.27:

$$l = B_F - e$$

$$l = 4 - 0,30$$

$$l = 3,70 \text{ m}$$

3.2.3.7 Número requerido de canales

El número requerido de canales será, según la Ec. 1.28:

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

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

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

3.2.3.8 Longitud total de la cámara de floculación

Escogiendo un espesor de cada tabique, b , de 3 cm, la longitud total interior de la cámara de floculación será, según la Ec. 1.29:

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

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

$$L_T = 13,47 \text{ m}$$

3.2.3.9 Radio hidráulico

El radio hidráulico será, según la Ec. 1.30:

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

$$R = \frac{0,012}{2(0,081) + 0,15}$$

$$R = 0,038 \text{ m}$$

3.2.3.10 Pérdidas por fricción en el tanque

Las pérdidas por fricción en el tanque se calculan a partir de la Ec. 1.31, para lo cual el coeficiente de rugosidad de Manning, n , para el cemento se obtiene a partir de la tabla 1.11.

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

Datos:

n : 0,013

$$h_f = \frac{[(0,23)(0,013)]^2}{0,038^{4/3}} 276$$

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

3.2.3.11 Pérdidas adicionales

Las pérdidas adicionales serán, según la Ec.1.32:

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

$$h_a = 3(75 - 1) \frac{(0,23)^2}{2(9,8)}$$

$$h_a = 0,60 \text{ m}$$

3.2.3.12 Pérdida de energía total

La pérdida de energía total será, según la Ec. 1.33:

$$h_T = h_a + h_f$$

$$h_T = 0,60 + 0,19$$

$$h_T = 0,79 \text{ m}$$

El fondo del floculador de flujo horizontal deberá tener una pendiente igual a la pérdida de carga total calculada, es decir, que el fondo del floculador tendrá una inclinación de 0,79 m, de tal modo que la altura del agua permanezca constante y, por lo tanto, el gradiente de velocidad en todo el tramo también se mantenga así.

3.2.3.13 Gradiente de velocidad

El peso específico y la viscosidad dinámica del agua se obtienen de la tabla 1.9 a una temperatura de 18 °C.

Por tanto, el gradiente de velocidad será, según la Ec. 1.34:

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

Datos:

γ : 9793 N/m³

μ : 1,053 x 10⁻³ Pa.s

$$G = \sqrt{\frac{(9793)(0,79)}{(1,053 \times 10^{-3})(20)(60)}}$$

$$G = 78,25 \text{ s}^{-1}$$

3.2.3.14 Número adimensional de Camp

El número adimensional de Camp será, según la Ec. 1.35:

$$G_t = G * t$$

$$G_t = 78,25(20)(60)$$

$$G_t = 93900$$

El gradiente de velocidad y el número de Camp se encuentran dentro del rango recomendado por varios autores, Smethurst, Arboleda, Awwa y Cepis, expuestos en la tabla 1.10; por lo que se puede decir que el diseño del floculador hidráulico es correcto.

3.2.3.15 Dosificación de cal

La dosificación de la cal se efectuará por vía seca con la finalidad de mejorar la mezcla rápida, la misma que se determinó mediante un ensayo de laboratorio empleando la prueba de jarras.

Para la dosificación de cal por vía seca se utilizará un dosificador gravimétrico debido a que dosifica un peso constante del producto, tiene gran precisión y un amplio rango de dosificación.

La cantidad de cal que debe aplicar el dosificador será:

$$P_{cal} = Q * D$$

Datos:

Q: Caudal de diseño, (2,81 L/s)

D: Dosis de cal, (0,8 g/l)

$$P_{cal} = \frac{2,81(0,8)(3600)}{1000}$$

$$P_{cal} = 8,09 \text{ Kg/h}$$

Mediante conversión se tiene:

$$P_{cal} = 194,23 \text{ Kg/d}$$

3.2.3.16 Dosificación de policloruro de aluminio

La dosificación del policloruro de aluminio se efectuará por vía húmeda, empleando una bomba dosificadora, en una solución al 4%, cuyo volumen necesario de la solución se determinó mediante un ensayo de laboratorio empleando la prueba de jarras.

Entonces, la cantidad de PAC a utilizar por día será:

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

Datos:

Q: Caudal de diseño, (10,13 m³/h)

C: Concentración de acuerdo al test de jarras, (16 ppm)

P: Porcentaje de dilución, (4%)

ρ : Densidad del PAC, (1,24 Kg/L)

$$x = \frac{10,13(16)}{60(4)(1,24)}$$

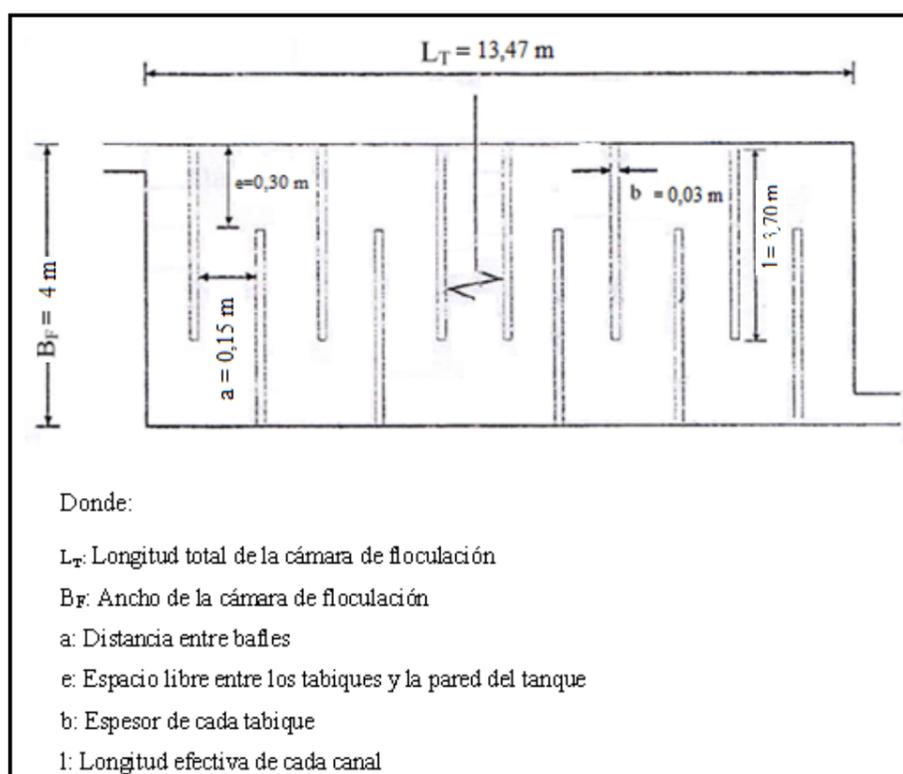
$$x = 0,54 \text{ ml}/\text{min}$$

Mediante conversión se tiene:

$$x = \frac{0,54(60)(24)}{1000}$$

$$x = 0,78 \text{ L}/\text{día}$$

Figura 3.3 Dimensiones del Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.2.4 SEDIMENTADOR LAMINAR

El tanque de sedimentación será construido de *hormigón*, cuyas placas contenidas en su interior serán de *asbesto - cemento* prefabricadas; y el paso del floculador al sedimentador debe ser lo más corto posible por lo que se evitará las interconexiones largas. Será diseñado para un caudal de 2,81 L/s, el mismo que será utilizado para sedimentar los flóculos generados en la etapa de floculación.

3.2.4.1 Carga Superficial después de instalar las placas

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 1.12 y 1.13 respectivamente.

Por tanto, la carga superficial después de instalar las placas será, según la Ec. 1.36:

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

Datos:

l_p : 1,20 m

t_{rp} : 20 min

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

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

$$v_{so} = 86,40 \text{ m/d}$$

3.2.4.2 Área de sedimentación acelerada

El ángulo de inclinación de las placas, θ , se obtiene a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.12.

Por tanto, el área de sedimentación acelerada será, según la Ec. 1.37:

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

Datos:

θ : 60°

$$A_s = \frac{243,10}{86,40(\text{sen}60)}$$

$$A_s = 3,25 \text{ m}^2$$

3.2.4.3 Longitud del área de sedimentación acelerada

Para un tanque de 2,40 m de ancho, la longitud del área de sedimentación acelerada será, según la Ec. 1.38:

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

$$L_s = \frac{3,25}{2,40}$$

$$L_s = 1,35 \text{ m}$$

3.2.4.4 Longitud relativa del sedimentador

La distancia entre placas, e_p , y la longitud de las placas, l_p , se obtienen a partir de los parámetros de diseño de las tablas 1.12 y 1.13 respectivamente.

Por tanto, la longitud relativa del sedimentador será, según la Ec. 1.39:

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

Datos:

l_p : 1,20 m

e_p : 0,05 m

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

$$L_r = 24$$

3.2.4.5 Longitud relativa en la región de transición

La distancia entre placas, e_p , y la viscosidad cinemática del fluido, ν , se obtienen a partir de los parámetros de diseño de las tablas 1.12 y 1.15 respectivamente.

Por tanto, la longitud relativa en la región de transición será, según la Ec. 1.40:

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

Donde:

e_p : 0,05 m

ν : $1,054 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$L' = 0,013 \frac{0,06(0,05)}{60 (1,054 \times 10^{-6})}$$

$$L' = 0,62$$

3.2.4.6 Longitud relativa corregida

Como $L' \leq L_r/2$, la longitud relativa corregida del sedimentador en la longitud de transición será, según la Ec. 1.42:

$$L_c = L_r - L'$$

$$L_c = 24 - 0,62$$

$$L_c = 23,38$$

3.2.4.7 Velocidad crítica de sedimentación

El ángulo de inclinación de las placas, θ , y la constante para las placas planas paralelas, S_c , se obtienen a partir de los parámetros de diseño de las tablas 1.12 y 1.14 respectivamente.

Por tanto, la velocidad crítica de asentamiento o sedimentación será, según la Ec. 1.43:

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

Datos:

θ : 60°

S_c : 1

$$v_{sc} = \frac{1(86,40)}{\text{sen}60 + 24 (\text{cos}60)}$$

$$v_{sc} = 6,72 \text{ m/d}$$

3.2.4.8 Número de Reynolds

La distancia entre placas, e_p , y la viscosidad cinemática del fluido, ν , se obtienen a partir de los parámetros de diseño de las tablas 1.12 y 1.15 respectivamente.

Por tanto, el número de Reynolds para verificar que en el sedimentador se dé un flujo laminar será, según la Ec. 1.44:

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

Datos:

e_p : 0,05 m

ν : $1,054 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$N_{Re} = \frac{86,40(0,05)}{86400(1,054 \times 10^{-6})}$$

$$N_{Re} = 47,44$$

El número de Reynolds está dentro del rango recomendado de la tabla 1.12, por lo que el diseño es correcto, además, el flujo de agua es laminar ya que el número de Reynolds es menor a 2000.

3.2.4.9 Volumen del sedimentador

La altura del sedimentador, Z_s , se obtiene a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.12.

Por tanto, el volumen del tanque sedimentador será, según la Ec. 1.45:

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

Datos:

Z_s : 3 m

$$V_{Ts} = 1,35(2,40)(3)$$

$$V_{Ts} = 9,72 \text{ m}^3$$

3.2.4.10 Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

El tiempo de retención en el tanque de sedimentación será, según la Ec. 1.46:

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

$$t_{rs} = \frac{9,72}{0,00281(60)}$$

$$t_{rs} = 57,65 \text{ min}$$

3.2.4.11 Número de placas

La distancia entre placas, e_p , y la inclinación de las placas, θ , se obtienen a partir de la tabla 1.12; la longitud de las placas, l_p , y el espesor de las placas, b_p , se obtienen a partir de la tabla 1.13.

Por tanto, el número de placas planas paralelas será, según la Ec. 1.47:

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

Datos:

θ : 60°

l_p : 1,20 m

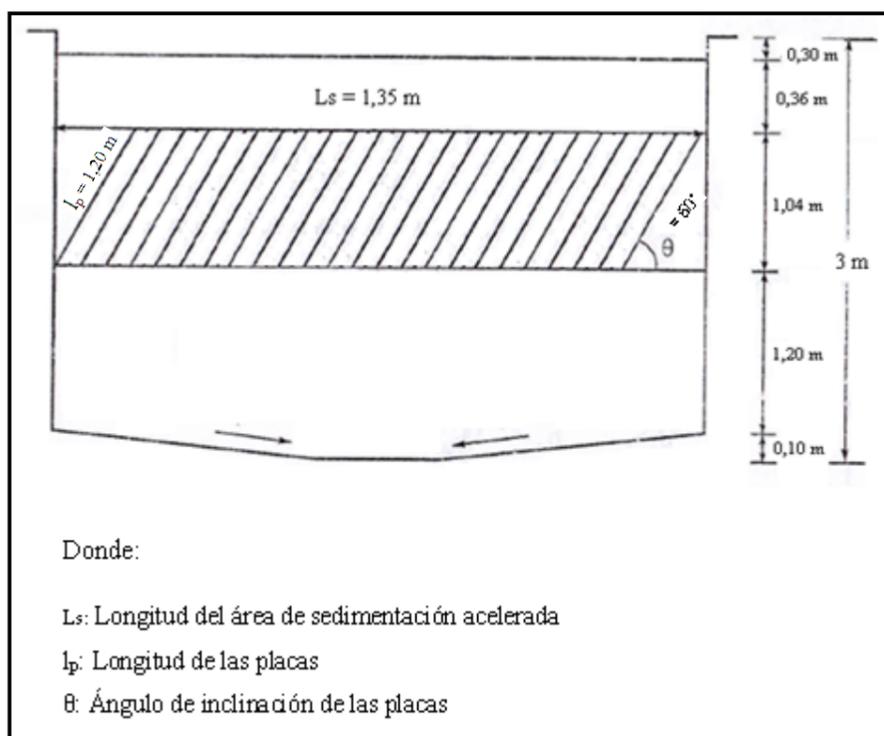
e_p : 0,05 m

b_p : 0,01 m

$$N_p = \frac{(1,35 - 1,20 * \cos 60) \operatorname{sen} 60 + 0,05}{0,05 + 0,01}$$

$$N_p = 11,66 \cong 12 \text{ placas}$$

Figura 3.4 Dimensiones del Sedimentador Laminar



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.2.5 FILTRO RÁPIDO DE ARENA

El filtro rápido de arena será construido de *hormigón* y diseñado para una caudal de 2,81 L/s, el mismo que será utilizado para retener las partículas suspendidas y coloidales que no se sedimentaron, en la etapa anterior.

3.2.5.1 Número de filtros

El número de filtros se estimará de acuerdo con la Ec. 1.48:

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

$$n_f = 0,044\sqrt{243,10}$$

$$n_f = 0,69 \cong 1 \text{ filtro}$$

3.2.5.2 Área del filtro

La tasa de filtración se obtiene a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.16.

Por tanto, el área del filtro será, según la Ec. 1.49:

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

Datos:

Tasa de filtración: 120 m/d

$$A_f = \frac{243,10}{120}$$

$$A_f = 2,03 \text{ m}^2$$

3.2.5.3 Coeficiente de mínimo costo

El coeficiente de mínimo costo será, según la Ec. 1.51:

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

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

$$K_c = 1$$

3.2.5.4 Longitud del filtro

La longitud del filtro será, según la Ec. 1.52:

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

$$L_f = \sqrt{2,03(1)}$$

$$L_f = 1,42 \text{ m}$$

3.2.5.5 Ancho del filtro

El ancho del filtro será, según la Ec.1.53:

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

$$a_f = \sqrt{\frac{2,03}{1}}$$

$$a_f = 1,42 \text{ m}$$

3.2.5.6 Composición del lecho filtrante

El lecho filtrante estará compuesto de 0,70 m de arena con un tamaño efectivo de 0,5 mm y un coeficiente de uniformidad de 1,5; en cuanto al soporte de grava será de 0,40 m; y la altura del agua sobre el lecho será 1,5 m. Escogiendo estos datos de acuerdo a los parámetros de diseño de la tabla 1.16.

3.2.5.7 Altura del filtro

La altura del sistema de drenaje, F_c , se obtiene a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.16.

Por tanto, la altura del filtro se calcula en función de la composición del lecho filtrante con un factor de seguridad, f_s , del 10% mediante la Ec. 1.54:

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

Datos:

F_c : 0,18 m

$$Z_f = 1,10(1,5 + 0,70 + 0,40 + 0,18)$$

$$Z_f = 3,06 \text{ m}$$

3.2.5.8 Sistema de drenaje

✓ Área de los orificios laterales

El diámetro de los orificios laterales, D_o , se obtiene a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.17.

Por tanto, el área de los orificios laterales será, según la Ec. 1.55:

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

Datos:

D_o : 10 mm

$$A_o = \frac{\pi(0,010)^2}{4}$$

$$A_o = 0,000079 \text{ m}^2$$

$$A_o = 0,79 \text{ cm}^2$$

✓ Caudal que ingresa a cada orificio

La velocidad en el orificio, v_o , se obtiene a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.17.

Por tanto, el caudal que ingresa a cada orificio será, según la Ec. 1.56:

$$Q_o = A_o v_o$$

Datos:

v_o : 4 m/s

$$Q_o = (0,000079)(4)$$

$$Q_o = 0,00032 \text{ m}^3/\text{s}$$

✓ **Número de laterales**

La separación entre laterales, e_L , se obtiene a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.17.

Por tanto, el número de laterales será, según la Ec.1.57:

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

Datos:

e_L : 1,2 m

$$N_L = 2 \frac{1,42}{1,2}$$

$$N_L = 2,36 \cong 2 \text{ laterales}$$

3.2.5.9 Tubería de entrada al filtro

La velocidad del agua a través de la tubería de entrada, v_e , se obtiene a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.18.

Por tanto, el diámetro de la tubería de entrada al filtro será, según la Ec.1.58:

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

Datos:

v_e : 6 m/s

$$D_T = \sqrt{\frac{4(0,00281)}{\pi(6)}}$$

$$D_T = 0,024 \text{ m}$$

3.2.5.10 Tubería de salida del filtro

La velocidad del agua a través de la tubería de salida, v_s , se obtiene a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.18.

Por tanto, el diámetro de la tubería de salida del filtro será, según la Ec. 1.59:

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

Datos:

v_e : 1,4 m/s

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4(0,00281)}{\pi(1,4)}}$$

$$D_{Ts} = 0,051 \text{ m}$$

3.2.5.11 Sistema de lavado del filtro

✓ Velocidad óptima de lavado del filtro

El tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad de la arena, se obtienen a partir de los parámetros de diseño de la tabla 1.16.

Por tanto, la velocidad óptima de lavado del filtro será, según la Ec. 1.60:

$$v_l = CU * TE$$

Datos:

TE: 0,5 mm

CU: 1,5

$$v_l = (0,5)(1,5)$$

$$v_l = 0,75 \text{ m/min}$$

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

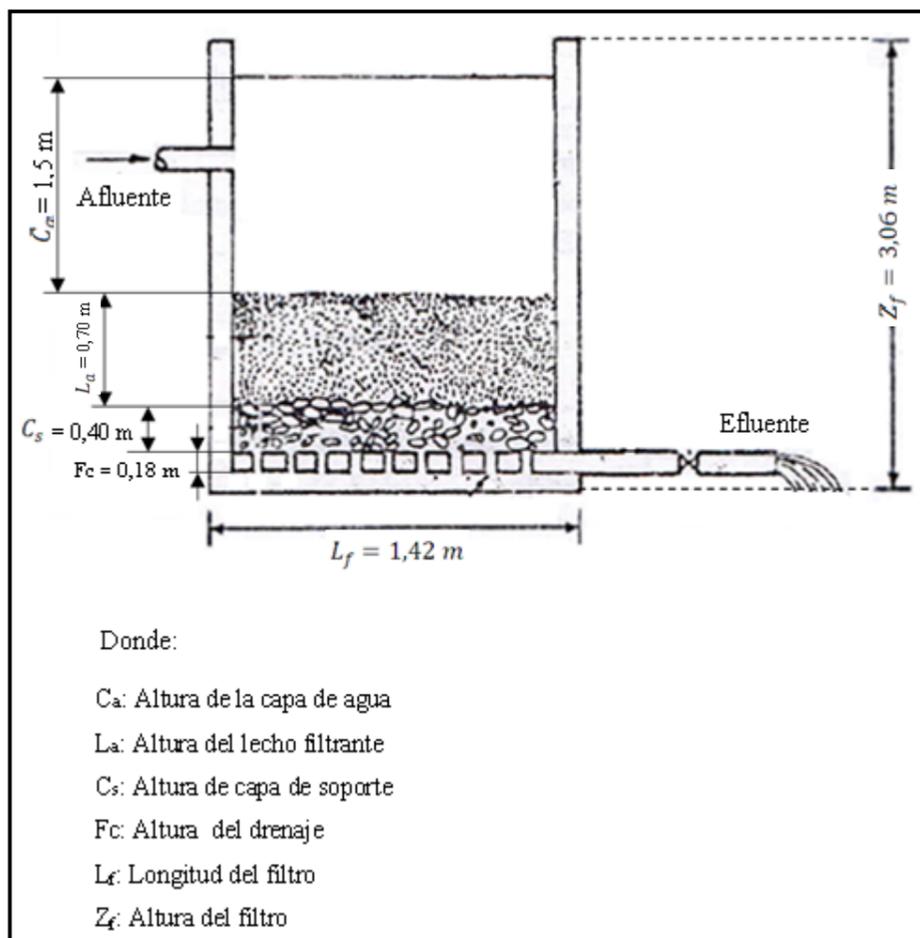
Para un tiempo óptimo de lavado de 10 min, la cantidad de agua necesaria para el lavado del filtro será, según la Ec. 1.61:

$$V_l = v_l A_f t$$

$$V_l = (0,75)(2,03)(10)$$

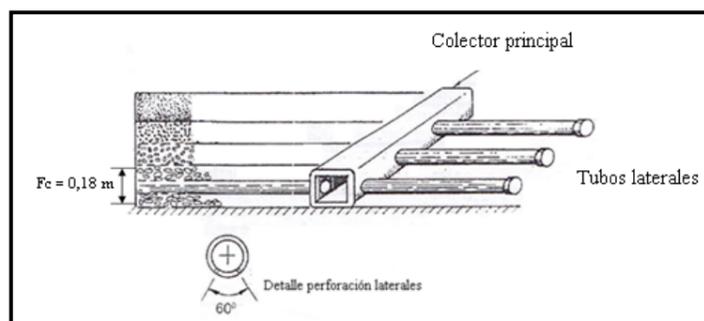
$$V_l = 15,23 \text{ m}^3$$

Figura 3.5 Dimensiones del Filtro Rápido de Arena



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Figura 3.6 Drenaje del Filtro con Tuberías Perforadas



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

El número de laterales a emplear serán 2 a una separación entre ellos de 1,20 m y los tubos laterales estarán soportados por 4 colectores principales con una separación de 30 cm.

3.2.6 TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES

El tanque intercambiador de cationes será construido de *hormigón*, tendrá una forma cilíndrica y diseñado para un caudal de 2,81 L/s, el mismo que se utilizará para remover la dureza del agua generada por los iones de calcio y magnesio en las etapas anteriores.

3.2.6.1 Transformación de la dureza en granos/galón

Para transformar la dureza del agua cruda en granos/galón se utilizará el factor de conversión: $17,1 \text{ ppm} = 1 \text{ grano/galón}$

$$Dureza = \frac{402,67}{17,1}$$

$$Dureza = 23,55 \text{ granos/galón}$$

3.2.6.2 Granos necesarios en un día

El caudal de diseño de 2,81 L/s se transforma a galones/día mediante conversión:

$$243,10 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ galón}}{0,003785 \text{ m}^3} = 64227,21 \text{ galones/día}$$

Por tanto, los granos necesarios de resina en un día serán, según la Ec. 1.62:

$$\frac{\text{Granos}}{\text{día}} = Q * \text{Dureza}$$

$$\frac{\text{granos}}{\text{día}} = 64227,21(23,55)$$

$$\frac{\text{granos}}{\text{día}} = 1512550,86$$

3.2.6.3 Volumen de resina

Mediante la Ec. 1.63 y usando un factor de conversión, $1 \text{ ft}^3 = 30000$ granos de resina, el volumen de resina será:

$$V_r = \frac{\text{granos} / \text{día}}{30000}$$

$$V_r = \frac{1512550,86}{30000} = 50,42 \text{ ft}^3$$

$$50,42 \text{ ft}^3 \times \frac{0,02832 \text{ m}^3}{1 \text{ ft}^3}$$

$$V_r = 1,43 \text{ m}^3$$

3.2.6.4 Volumen del tanque intercambiador

El factor de expansión de la resina catiónica al retrolavarla, E, es de 1,75, dato obtenido del documento de Ingeniería de Procesos en el Intercambio Iónico.²⁵

Por tanto, el volumen del tanque intercambiador será, según la Ec. 1.64:

$$V_T = V_r E$$

$$V_T = (1,43)(1,75)$$

$$V_T = 2,50 \text{ m}^3$$

²⁵ Ingeniería de Procesos en el Intercambio Iónico
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/609/Capitulo7.pdf>

3.2.6.5 Área del tanque intercambiador

La altura más aconsejable para la resina, h_r , es de 3 pies, dato tomado de la tesis del Ing. José Moreno, Diseño de tanque suavizador, capítulo 14.4.

Por tanto, el área del tanque intercambiador será, según la Ec. 1.65:

$$A_T = A_r = \frac{V_r}{h_r}$$

$$A_T = \frac{50,42}{3}$$

$$A_T = 16,81 \text{ ft}^2$$

$$A_T = 1,56 \text{ m}^2$$

3.2.6.6 Diámetro del tanque intercambiador

El diámetro del tanque intercambiador será, según la Ec. 1.66:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 A_T}{\pi}}$$

$$D_i = \sqrt{\frac{4(1,56)}{\pi}}$$

$$D_i = 1,41 \text{ m}$$

3.2.6.7 Altura del tanque intercambiador

La altura del tanque intercambiador será, según la Ec. 1.67:

$$h_{Tanque} = \frac{V_T}{A_T}$$

$$h_{Tanque} = \frac{2,50}{1,56}$$

$$h_{Tanque} = 1,60 \text{ m}$$

3.2.6.8 Ciclos de regeneración

De la resina catiónica empleada para el tratamiento, de acuerdo a la ficha técnica de la misma, se conoce que tiene una capacidad de intercambio de 30,4 Kgranos/ft³ resina.

Por tanto, los Kgranos por pie cúbico por día de resina se obtienen dividiendo el número de granos de resina para el volumen de resina:

$$\frac{\text{granos/día resina}}{V_r}$$
$$\frac{1512550,86 \frac{\text{granos}}{\text{día}} \text{ resina}}{50,42 \text{ ft}^3(1000)} = 30 \text{ Kgranos/ft}^3 * \text{ día}$$

Para determinar los días entre regeneraciones se multiplica la capacidad total de la resina por 0,80 que es la eficiencia actual de la resina y el producto obtenido se divide para los Kgranos por pie cúbico de resina en un día de trabajo:

$$\frac{30,4 \frac{\text{Kgranos}}{\text{ft}^3} \times (0,80)}{30 \frac{\text{Kgranos}}{\text{ft}^3 * \text{día}}} = 0,81 \text{ día}$$

Es decir, que cada día se debe regenerar la resina para mantener la dureza bajo control.

3.2.6.9 Tanque de salmuera

El diseño del tanque de salmuera está relacionado directamente con la cantidad de resina que se vaya a utilizar para el ablandamiento del agua, la salmuera se preparó en una solución al 3%, y se empleaba 5 ml de ésta para la reactivación de 3 g de resina; entonces para un volumen de 50,42 ft³ de resina, se determinará la cantidad de solución necesaria para lo cual se conoce que la densidad de la resina de acuerdo a la ficha técnica es de 50 lb/ft³.

La cantidad de resina se obtiene multiplicando la densidad de la resina por el volumen de resina:

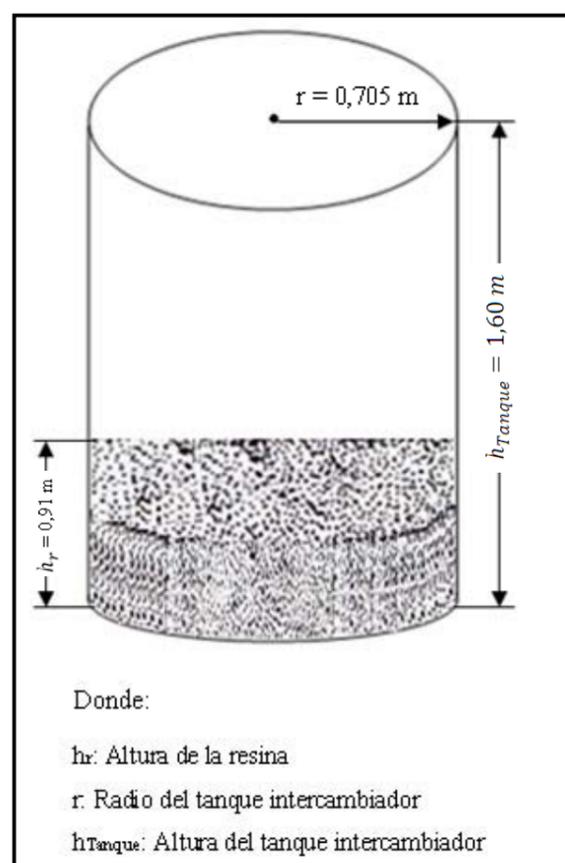
$$m_r = (50)(50,42)$$

$$m_r = 2521 \text{ lb} = 1145,91 \text{ Kg}$$

Entonces, se empleará 1909,85 L de salmuera para tratar 1145,91 Kg de resina. Además se necesitará 57,30 Kg de NaCl (cloruro de sodio) para preparar dicha cantidad de salmuera al 3%.

La cantidad de salmuera necesaria es de 1909,85 L, pero se debe tener un margen de tolerancia por lo que la capacidad del tanque de salmuera será de 1950 L, cuyo volumen será de $1,95 \text{ m}^3$.

Figura 3.7 Dimensiones del Tanque Intercambiador de Cationes



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.2.7 DESINFECCIÓN

La dosificación de cloro será determinado para un caudal de 2,81 L/s, la desinfección del agua se realizará directamente en el tanque almacenamiento que será construido de *hormigón*, mediante la aplicación de hipoclorito de sodio.

3.2.7.1 Peso de cloro necesario

El hipoclorito de sodio se aplicará al agua con una dosificación de 1,5 mg/l, dato tomado de la tabla 1.19, se inyectará hipoclorito de sodio a dicha concentración ya que el agua proviene de una fuente subterránea y se considera que está contaminada.

Por tanto, el peso de cloro necesario será, según la Ec. 1.68:

$$P_{Cl} = \frac{Q * D * 86400}{1000}$$
$$P_{Cl} = \frac{(0,00281)(1,5)(86400)}{1000}$$
$$P_{Cl} = 0,36 \text{ Kg/d}$$

3.2.7.2 Volumen del hipoclorador

La concentración del hipoclorito de sodio, C, es 5%, cuyo valor es similar a la concentración del cloro doméstico.

Por tanto, el volumen del hipoclorador será, según la Ec. 1.69:

$$V_H = \frac{P_{Cl}}{5 C}$$
$$V_H = \frac{0,36}{5(5)}$$
$$V_H = 0,015 \text{ m}^3$$

3.2.7.3 Tanque de contacto para la mezcla de cloro

El tanque será construido de hormigón y diseñado para un caudal de 2,81 L/s y a su vez, será utilizado como tanque de almacenamiento, cuyo tiempo óptimo de retención será de 30 min, para tener un volumen suficiente que abastezca a la comunidad y es el tiempo requerido para que el cloro esté en contacto con el agua y pueda eliminar cualquier tipo de microorganismo.

El volumen del tanque para la mezcla de cloro se calcula mediante la Ec. 1.70, con un factor de seguridad, f_s , del 10%:

$$V_{Tc} = Q t f_s$$

$$V_{Tc} = (0,00281)(30)(60)(1,10)$$

$$V_{Tc} = 5,56 \text{ m}^3$$

3.2.7.4 Altura del tanque para la mezcla de cloro

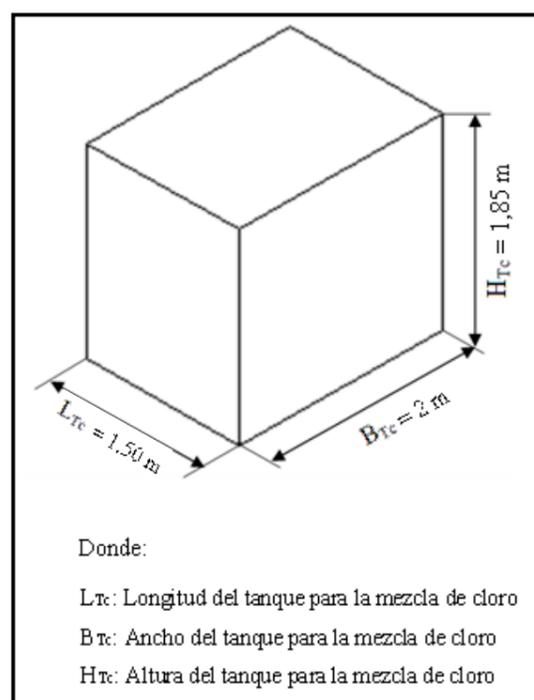
Para un área de base cuadrada, A_{Tc} , de 3 m^2 , la altura del tanque para la mezcla de cloro será, según la Ec. 1.71:

$$H_{Tc} = \frac{V_{Tc}}{A_{Tc}}$$

$$H_{Tc} = \frac{5,56}{3}$$

$$H_{Tc} = 1,85 \text{ m}$$

Figura 3.8 Dimensiones del Tanque la para mezcla de cloro



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.3 RESULTADOS DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN

3.3.1 CAUDAL DE DISEÑO

Tabla 3.4 Resultados de Caudal de Diseño

Cálculo	Símbolo	Unidades			
		hab.	L/s	m ³ /s	m ³ /d
Caudal de diseño	Q	-	2,81	0,00281	243,10
Población futura	P _f	1122	-	-	-

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.3.2 VERTEDERO RECTANGULAR

Tabla 3.5 Resultados de Vertedero Rectangular

Cálculos	Símbolo	Valor	Unidades
Profundidad del canal del vertedero	C _v	0,06	m
Longitud del canal del vertedero	-	1	m
Ancho del vertedero	B	0,14	m
Caudal por unidad de ancho	q	0,021	m ² /s
Profundidad crítica de flujo	h _c	0,035	m
Longitud del salto	L _m	0,20	m
Profundidad supercrítica	h ₁	0,0098	m
Velocidad del agua en el salto	v ₁	2,14	m/s
Número de Froude	F	6,91	-
Profundidad subcrítica	h ₂	0,091	m
Velocidad del agua en el resalto	v ₂	0,23	m/s
Pérdida de energía en el resalto	h	0,15	m
Longitud del resalto	L _j	0,49	m
Velocidad media en el resalto	v _m	1,19	m/s
Tiempo de mezcla	t	0,41	s
Gradiente de velocidad	G	1844,58	s ⁻¹

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.3.3 FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL

Tabla 3.6 Resultados de Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal

Cálculos	Símbolo	Valor	Unidades
Distancia total recorrida por el agua	L	276	m
Volumen de agua	V	3,37	m ³
Sección transversal de los canales	A	0,012	m ²
Profundidad del agua	d	0,081	m
Profundidad total del tanque de floculación	Z _{Tf}	0,10	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	0,038	m
Pérdidas por fricción en el tanque	h _f	0,19	m
Pérdidas adicionales	h _a	0,60	m
Pérdida de energía total	h _T	0,79	m
Gradiente de velocidad	G	78,25	s ⁻¹
Número adimensional de Camp	G _t	93900	-

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.3.4 SEDIMENTADOR LAMINAR

Tabla 3.7 Resultados de Sedimentador Laminar

Cálculos	Símbolo	Valor	Unidades
Carga superficial después de instalar las placas	v _{so}	86,40	m/d
Área de sedimentación acelerada	A _s	3,25	m ²
Ancho del tanque de sedimentación	B _s	2,40	m
Longitud del área de sedimentación acelerada	L _s	1,35	m
Longitud relativa del sedimentador	L _r	24	-
Longitud relativa en la región de transición	L'	0,62	-

Longitud relativa corregida	L_c	23,38	-
Velocidad crítica de sedimentación	v_{sc}	6,72	m/d
Número de Reynolds	N_{Re}	47,44	-
Volumen del sedimentador	V_{Ts}	9,72	m^3
Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	t_{rs}	57,65	min
Número de placas	N_p	12	-

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.3.5 FILTRO RÁPIDO DE ARENA

Tabla 3.8 Resultados de Filtro Rápido de Arena

Cálculos	Símbolo	Valor	Unidades
Número de filtros	n_f	1	-
Área del filtro	A_f	2,03	m^2
Coefficiente de mínimo costo	K_c	1	-
Longitud del filtro	L_f	1,42	m
Ancho del filtro	a_f	1,42	m
Altura del filtro	Z_f	3,06	m
Área de los orificios laterales	A_o	0,79	cm^2
Caudal que ingresa a cada orificio	Q_o	0,00032	m^3/s
Número de laterales	N_L	2	-
Diámetro de la tubería de entrada al filtro	D_T	0,024	m
Diámetro de la tubería de salida del filtro	D_{Ts}	0,051	m
Velocidad óptima de lavado del filtro	v_l	0,75	m/min
Cantidad de agua para el lavado del filtro	V_l	15,23	m^3

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.3.6 TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES

Tabla 3.9 Resultados de Tanque Intercambiador de Cationes

Cálculos	Símbolo	Valor	Unidades
Dureza	-	23,55	granos/galón
Granos necesarios en un día	-	1512550,86	granos/día
Volumen de resina	V_r	1,43	m^3
Volumen del tanque intercambiador	V_T	2,50	m^3
Área del tanque intercambiador	A_T	1,56	m^2
Diámetro del tanque intercambiador	D_i	1,41	m
Altura del tanque intercambiador	h_{Tanque}	1,60	m
Ciclos de regeneración	-	1	día
Tanque de salmuera			
Cantidad de cloruro de sodio necesaria	S	57,30	Kg
Cantidad de agua	V_{agua}	1909,85	L
Volumen del tanque	V_s	1,95	m^3

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

3.3.7 DESINFECCIÓN

Tabla 3.10 Resultados Desinfección

Cálculos	Símbolo	Valor	Unidad
Dosis de cloro necesario	D	1,5	mg/l
Periodo de almacenamiento del cloro	T	24	horas
Concentración del cloro	C_{Cl}	5	%
Peso de cloro necesario	P_{Cl}	0,36	Kg/d
Volumen del hipoclorador	V_H	0,015	m^3
Tanque de contacto para mezcla de cloro y almacenamiento			
Volumen del tanque para mezcla de cloro	V_{Tc}	5,56	m^3
Altura del tanque para mezcla de cloro	H_{Tc}	1,85	m

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

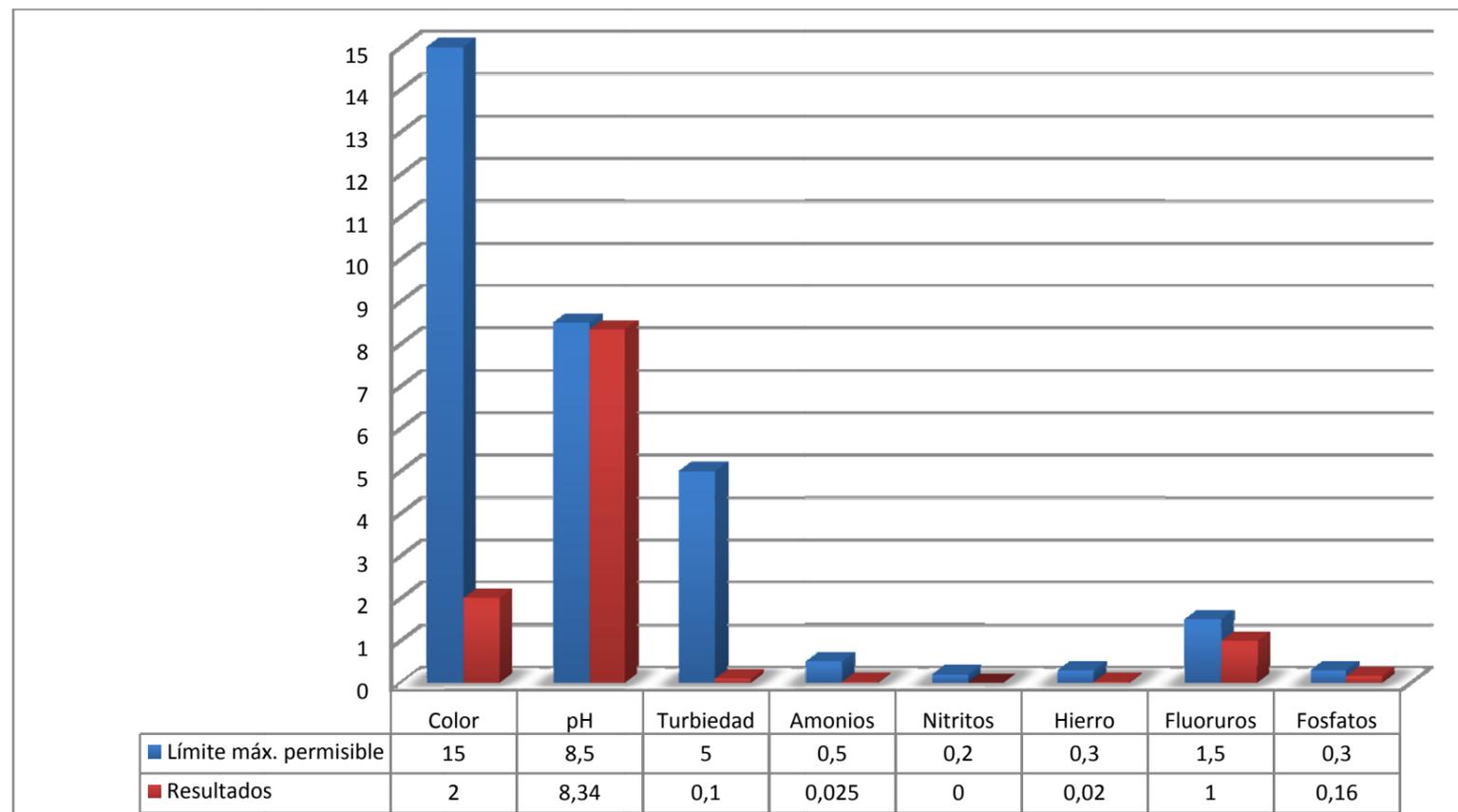
3.4 SITUACIÓN FINAL – RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA TRATADA

Tabla 3.11 Análisis Físico – Químico del Agua Tratada

Determinación	Unidades	Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2011	Resultados
Color	Unid. Co/Pt	15	2
pH	Unid.	6,5 – 8,5	8,34
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	977
Turbiedad	UNT	5	0,10
Cloruros	mg/l	250	25,50
Dureza	mg/l	300	80,0
Calcio	mg/l	70	16,0
Magnesio	mg/l	30 – 50	9,70
Alcalinidad	mg/l	250 – 300	200,0
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300	204,0
Sulfatos	mg/l	200	153,9
Amonios	mg/l	< 0,50	0,025
Nitritos	mg/l	0,2	0,00
Nitratos	mg/l	50	1,5
Hierro	mg/l	0,3	0,020
Fluoruros	mg/l	1,5	1,0
Fosfatos	mg/l	< 0,30	0,16
Sólidos Totales	mg/l	1000	944,0
Sólidos Disueltos	mg/l	500	480,0

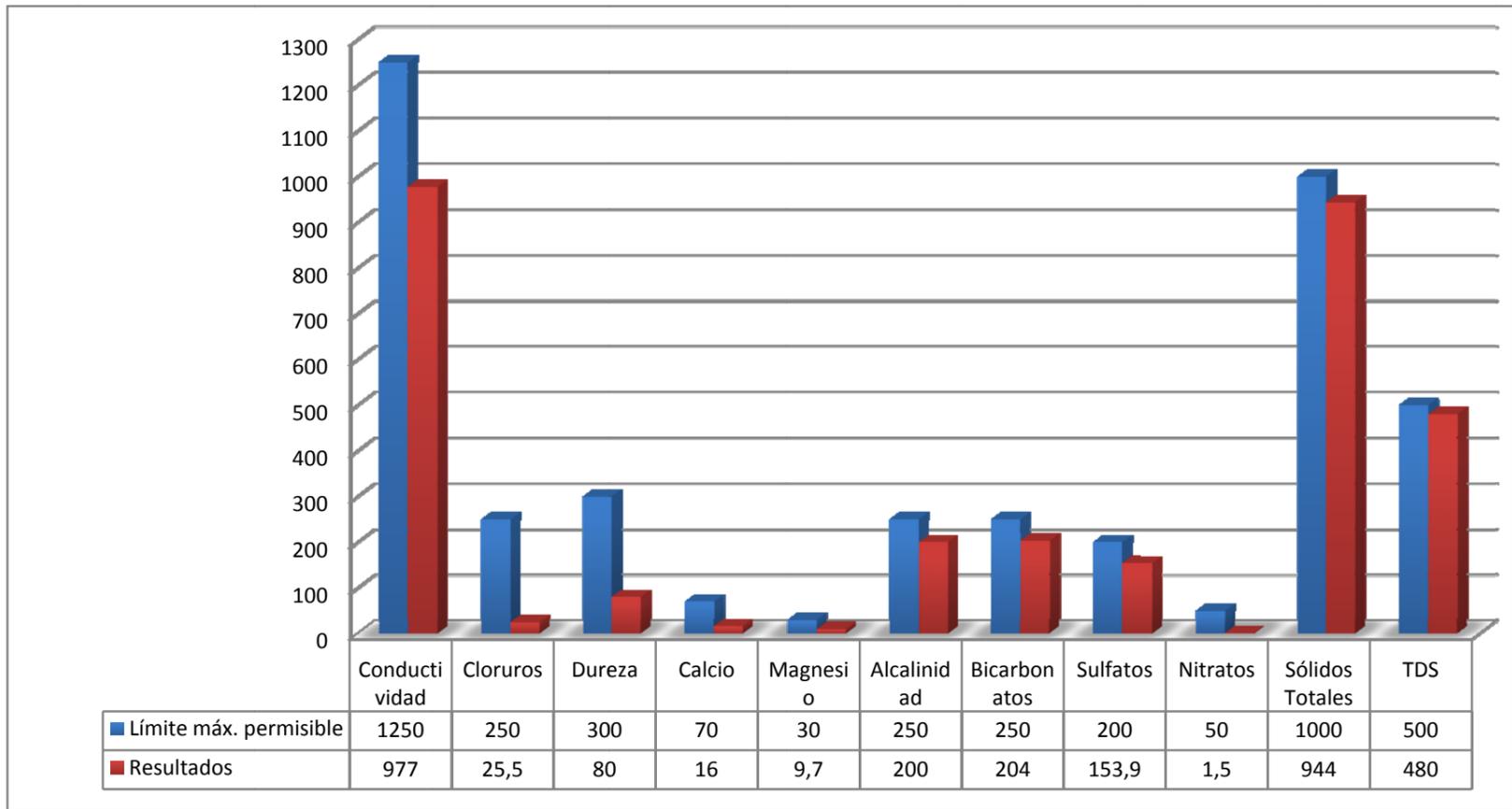
Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias.

Gráfico 3.6 Parámetros Físico – Químicos del Agua Tratada



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Gráfico 3.7 Parámetros Físico – Químicos del Agua Tratada



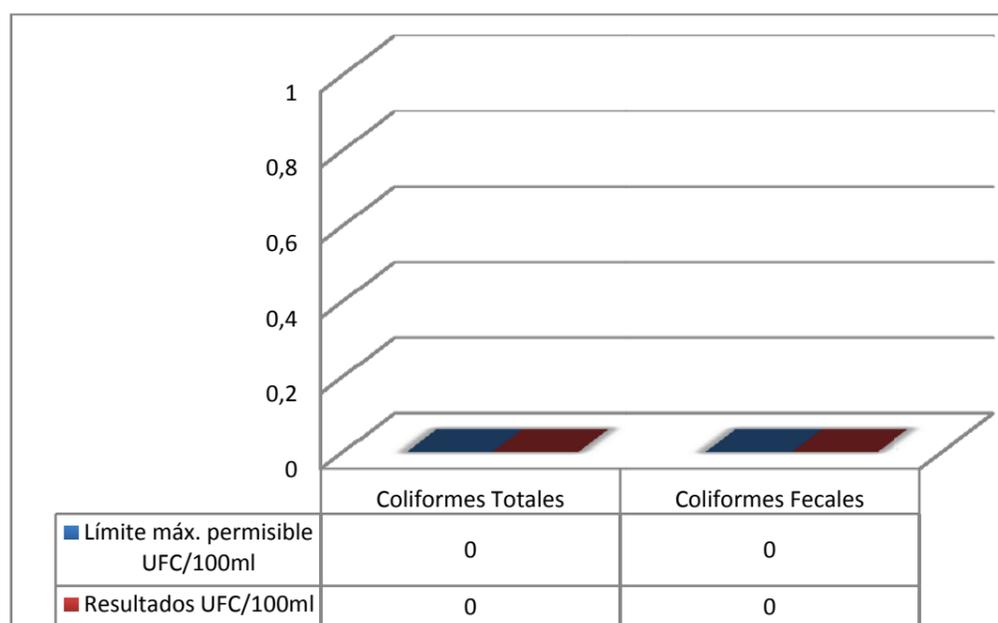
Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Tabla 3.12 Análisis Microbiológico del Agua Tratada

Determinación	Unidades	*Límite máximo permisible	Resultados
Coliformes Totales	UFC/100 ml	0 (Ausencia)	0 (Ausencia)
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	0 (Ausencia)	0 (Ausencia)

Fuente: SAQMIC, Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos.

Gráfico 3.8 Parámetros Microbiológicos del Agua Tratada



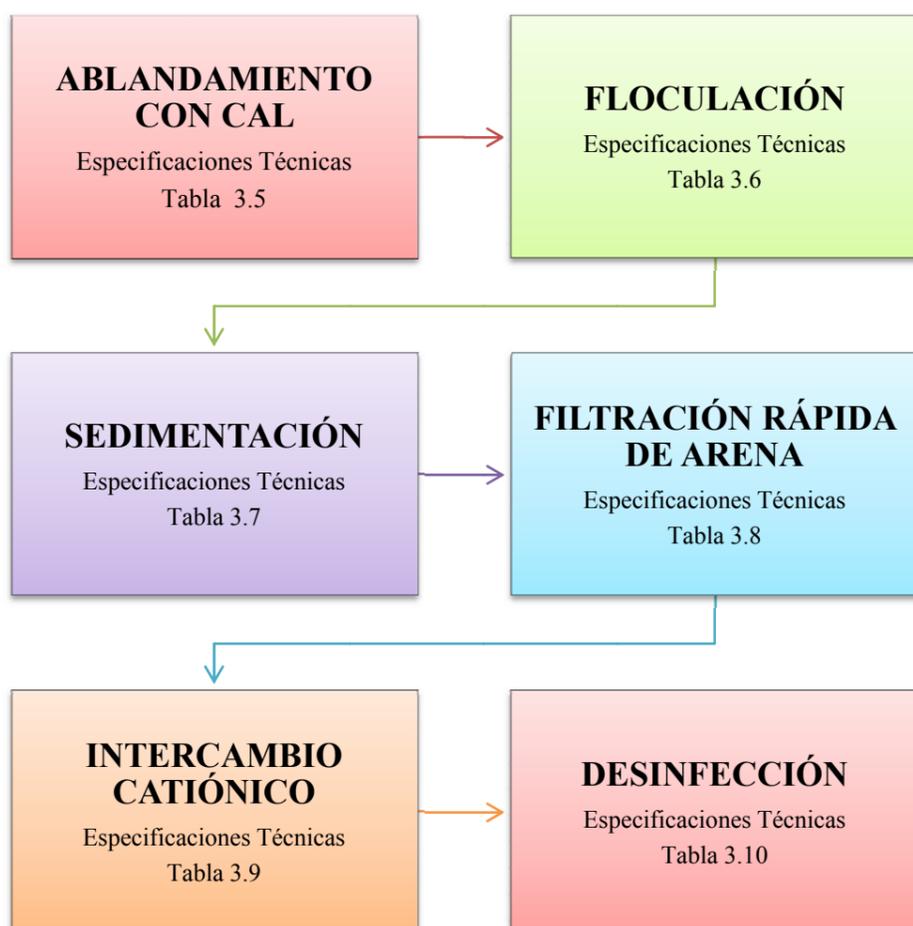
Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El sistema de tratamiento propuesto es confiable y seguro donde los parámetros físico – químicos y microbiológicos expuestos en la tabla 3.11 y tabla 3.12 y de acuerdo a los gráficos 3.6, 3.7 y 3.8, se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”, permitiendo que el agua que es consumida por la comunidad La Candelaria sea apta para el consumo humano.

3.5 DIAGRAMA DEL PROCESO

Después de realizar las caracterizaciones físico – químicas y microbiológicas de las diferentes muestras, se plantea el siguiente diseño de potabilización a implementar en la comunidad La Candelaria para mejorar la calidad del agua:



3.6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De la caracterización físico – química y microbiológica del agua en la capación, presentados en la tabla 2.19 y tabla 2.20, se determinó que la turbiedad: 5,23 NTU, dureza: 402,67 mg/l, calcio: 76,80 mg/l, magnesio: 51,17 mg/l, alcalinidad: 593,33 mg/l, bicarbonatos: 605,20mg/l, fosfatos: 0,345 mg/l y en el aspecto microbiológico, coliformes totales: 20 UFC/100ml y coliformes fecales: 1 UFC/100ml, no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”.

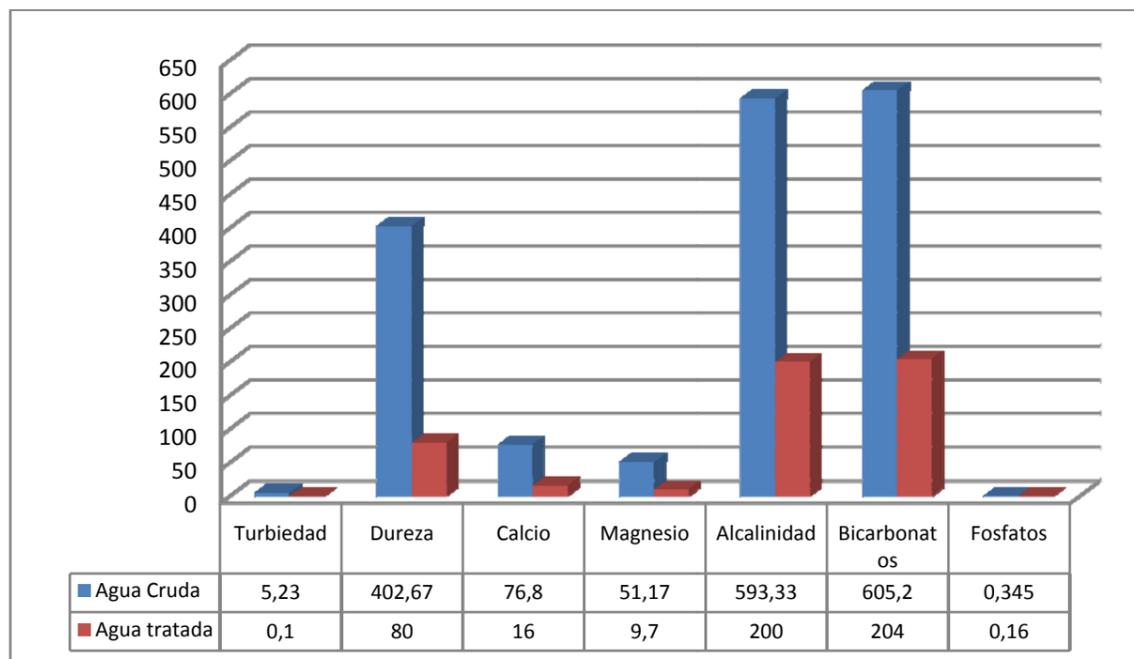
Con los parámetros físico – químicos y microbiológicos antes mencionados se optó por un sistema de tratamiento que consta de: ablandamiento con cal, para poder reducir los bicarbonatos presentes en el agua, en el cual la concentración de cal empleada es mínima debido a que mayor concentración, el pH del agua aumentaría considerablemente haciendo que se encontrara fuera de los límites establecidos en la norma; floculación con policloruro de aluminio (PAC) para formar partículas floculentas de cal de manera que éstas precipiten y a su vez para reducir la turbiedad, el pH y la concentración de fosfatos en el agua.

Después de la adición de los coagulantes y de la floculación, se utiliza la sedimentación para remover los sólidos sedimentables producidos por el tratamiento químico; va seguida de la filtración rápida de arena para retener las partículas que no han precipitado en la etapa anterior; intercambio catiónico para reducir la concentración de la dureza generada principalmente por los iones de calcio y magnesio ya que las resinas tienen la capacidad alta, estabilidad excelente y una selectividad preferencial por dichos iones y la cloración es muy importante para eliminar microorganismos patógenos, en este caso se empleó para eliminar los coliformes totales y fecales que se encontraban presentes en el agua.

Los resultados obtenidos de los parámetros físico – químicos y microbiológicos del agua posterior al sistema de tratamiento propuesto, presentados en la tabla 3.11 y tabla 3.12, presentan nuevos valores, mismos que se encuentran dentro de los límites admisibles que se estipula en la normativa.

Los resultados en cuanto al proceso de potabilización propuesto se encuentran representados en los gráficos 3.9 y 3.10, cuyos parámetros físico – químicos y microbiológicos valorados son: turbiedad, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos, fosfatos, coliformes totales y coliformes fecales.

Gráfico 3.9 Turbiedad, Dureza, Calcio, Magnesio, Alcalinidad, Bicarbonatos, Fosfatos



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

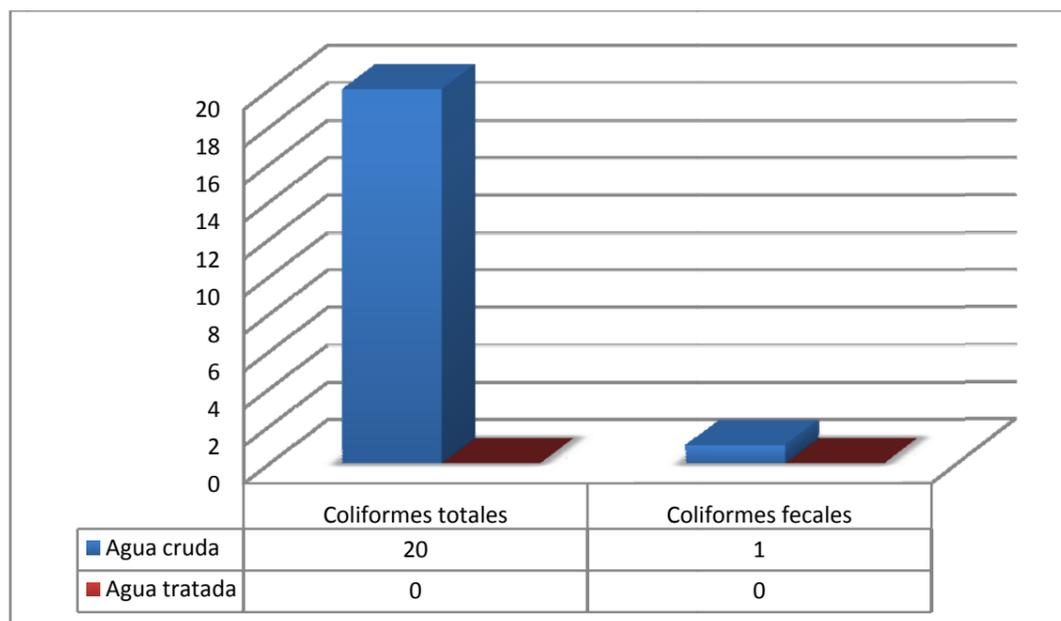
Al analizar el gráfico 3.9 se considera que el proceso de potabilización es el adecuado, cuyo porcentaje de rendimiento de potabilización entre el agua cruda y el agua tratada presentados en la tabla 3.13 son:

Tabla 3.13 Rendimiento de Potabilización

Parámetro	Rendimiento
Turbiedad	98%
Dureza	80,13%
Calcio	79,17%
Magnesio	81,04%
Alcalinidad	66,29%
Bicarbonatos	66,29%
Fosfatos	54%.

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Gráfico 3.10 Coliformes Totales y Coliformes Fecales



Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Al analizar el gráfico 3.10 se aprecia que la dosificación de cloro es la correcta ya que elimina los coliformes totales y fecales, cuyo porcentaje de rendimiento se encuentra en la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Rendimiento de Potabilización

Parámetro	Rendimiento
Coliformes totales	100%
Coliformes fecales	100%

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Además al analizar el cloro residual se tiene un resultado de 0,75 mg/l siendo un valor aceptable debido a que el límite máximo permisible está entre 0,3 – 1,5 mg/l.

Con los datos de la caracterización físico – química y microbiológica del agua cruda y agua tratada, y el rendimiento obtenido del sistema de tratamiento se comprueba que el diseño ingenieril realizado es eficiente en cuanto a la secuencia de los dispositivos hidráulicos adoptados para potabilizar el agua de la comunidad La Candelaria, Parroquia San Luis.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS
ECONÓMICO

4 ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 COSTO DE INVERSIÓN

Tabla 4.1 Costo de Equipos y Accesorios

Cantidad	Equipos/Accesorios		Material	Capacidad/Dimensiones	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
13 m	Tubería		PVC	1 pulg	0,70/m	9,10
4 m	Tubería		PVC	2 pulg	1,32/m	5,28
2	Codos de 90°		PVC	1 pulg	0,80	1,60
2	Codo de 90°		PVC	2 pulg	1,50	3,00
1	T		PVC	1 pulg	0,80	0,80
7	Válvula de bola		PVC	1 pulg	3,50	24,50
3	Válvulas de bola		PVC	2 pulg	9,00	27,00
1	Tanque de agua para lavado del filtro		Hormigón simple	1 m ³	170/m ³	170,00
1	Tanque de agua para el lavado de la resina		Hormigón simple	1 m ³	170/m ³	170,00
1	Tanque de salmuera		Hormigón simple	1,95 m ³	170/m ³	331,50
1	Mezclador en vertedero rectangular	Estructura	Hormigón armado	0,056 m ³	245/m ³	13,82
		Bomba	-	-	-	1500,00
		Dosificadora	-	-	-	

1	Floculador Hidráulico de flujo horizontal		Hormigón armado	5,39 m ³	245/m ³	1320,55
1	Sedimentador laminar	Estructura	Hormigón armado	9,72 m ³	245/m ³	2381,14
		Placas planas	Asbesto – cemento	34,56 m ²	67,50/m ²	2332,80
1	Filtro rápido de arena	Estructura	Hormigón armado	6,17 m ³	245/m ³	1511,65
		Grava media (2 – 3 cm)	-	0,81 m ³	5070/m ³	4106,70
		Arena media (0,25 – 0,5 m)	-	1,42 m ³	1800/m ³	2556,00
1	Tanque intercambiador de cationes	Estructura	Hormigón armado	2,50 m ³	245/m ³	612,50
		Resina catiónica fuertemente ácida	-	1,43 m ³	3200/m ³	4576,00
1	Tanque de desinfección	Estructura	Hormigón armado	5,56 m ³	245/m ³	1362,20
		Hipoclorador por goteo	-	0,009 m ³	-	100,00
TOTAL						23116,14

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Tabla 4.2 Costo de Instalación Hidráulica y Mano de Obra

Ítem	Costo (\$)
Instalación hidráulica	1000,00
Mano de obra	3000,00
TOTAL	4000, 00

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

Tabla 4.3 Costo Total de Inversión

Ítem	Costo (\$)
Equipos y accesorios	23116,14
Instalación hidráulica y mano de obra	4000,00
TOTAL	27116,14

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

4.2 COSTO DE OPERACIÓN AL DÍA

Tabla 4.4 Costo de Operación al día

Requerimientos	Dosis	Presentación	Costo por presentación (\$)	Costo total (\$)
Cal	194,23 Kg/d	Saco de 25 Kg	2,00	15,54
Policloruro de Aluminio (PAC)	0,78 L/d	Tambor de 250 L	211,69	0,66
Cloruro de sodio (NaCl)	57,30 Kg/d	Saco de 25 kg	4,30	9,86
Cloro líquido	0,36 Kg/d	Tambor de 60 Kg	10,20	0,061
TOTAL				26,12

Fuente: ABARCA, Elizabeth, M.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó la caracterización físico – química y microbiológica del agua de la comunidad La Candelaria, expuesto en la tabla 2.19 y tabla 2.20, la misma es poco aceptable para el consumo humano ya que al comparar los resultados de la caracterización con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011“Agua Potable. Requisitos”, se identificaron varios parámetros fuera de norma como son: turbiedad: 5,23 NTU, dureza: 402,67 mg/l, calcio: 76,80 mg/l, magnesio: 51,17 mg/l, alcalinidad: 593,33 mg/l, bicarbonatos: 605,20 mg/l, fosfatos: 0,345 mg/l, coliformes totales: 20 UFC/100ml y coliformes fecales: 1 UFC/ 100ml.
- ✓ Se estableció el sistema de tratamiento de agua más adecuado en base a varias pruebas de tratabilidad que se realizaron en el laboratorio de Análisis Técnicos, Facultad de Ciencias, ESPOCH, el mismo que constará de las siguientes etapas: ablandamiento con cal, floculación con policloruro de aluminio, sedimentación, filtración, intercambio catiónico y desinfección.
- ✓ Se identificaron las variables de proceso que se requieren y se deben controlar en la planta de potabilización, siendo: el caudal, el nivel y la intensidad de agitación de las sustancias químicas.
- ✓ Se realizó el diseño de la planta de potabilización de agua en base a la remoción de turbidez, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos, fosfatos, coliformes totales y coliformes fecales.

El proceso de tratamiento que se diseñó para cumplir con los requerimientos de calidad del agua para el consumo de la comunidad La Candelaria consta de un vertedero rectangular, floculador hidráulico de flujo horizontal, sedimentador laminar, filtro rápido de arena, tanque intercambiador de cationes y tanque de desinfección, cuyas dimensiones calculadas se mencionan en las tablas de resultados.

- ✓ Se realizó la caracterización físico – química y microbiológica del agua después del tratamiento de potabilización, expuesto en la tabla 3.11 y tabla 3.12, donde todos los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites establecidos en la normativa, cuyo porcentaje de rendimiento de potabilización que brinda el sistema de tratamiento propuesto se mencionan en la tabla 3.13 y tabla 3.14, observándose un cambio notorio de la condiciones del agua cruda a agua tratada, cumpliendo con la normativa que se rige en nuestro medio.
- ✓ Se elaboró los planos correspondientes al proceso de potabilización del agua, presentándose un plano general de la planta de potabilización en el Anexo XVIII, la vista frontal y vista planta de cada uno de los dispositivos hidráulicos en los Anexos XIX, XX, XXI, XXII, XXIII, XXVI, XXV.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Aplicar el sistema de potabilización propuesto para mejorar la calidad del agua de la comunidad La Candelaria, para de esta manera mejorar el abastecimiento de agua.
- ✓ Para la localización de la planta se deben considerar los siguientes aspectos: área futura de servicio, ubicación con respecto a la fuente de distribución, topografía del área del proyecto, facilidades de acceso y disposición de residuos.
- ✓ En la construcción de la planta de tratamiento se debe considerar las dimensiones calculadas de las instalaciones a fin de que el sistema de tratamiento sea eficiente.
- ✓ Para un mantenimiento satisfactorio de la planta de potabilización, se deben considerar los siguientes factores: la responsabilidad del mantenimiento debe asignarse a personal competente, contar con el equipo y la cantidad de herramientas, repuestos y equipos apropiados para proveer el mantenimiento, planear y programar todas las actividades de mantenimiento.
- ✓ La planta de potabilización del agua debe ser construida con material de buena calidad, como el hormigón armado, donde su durabilidad y resistencia lo hace más perdurable al paso del tiempo.
- ✓ La resina catiónica de ácido fuerte, la cal y el policloruro de aluminio deben almacenarse en sacos resistentes contra daños físicos, en un lugar seco, alejado del agua y la humedad.
- ✓ Realizar caracterizaciones físico – químicas y microbiológicas del agua periódicamente para obtener una base de datos que permita identificar la calidad del agua.
- ✓ Las dosificaciones de cal, policloruro de aluminio e hipoclorito de sodio (cloro) aplicar de acuerdo a los procedimientos establecidos en el Anexo V, Anexo VI y Anexo VII respectivamente.

- ✓ Para la regeneración y lavado de la resina catiónica de ácido fuerte seguir el manual de procedimiento detallado en el Anexo VIII.
- ✓ Para el lavado del filtro rápido de arena seguir el manual de procedimiento expuesto en el Anexo IX.

BIBLIOGRAFÍA

- 1. ROMERO, J.,** Calidad del Agua., 3^{ra} ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2009., Pp. 107-110, 112, 114, 118, 119, 130, 149, 162, 164, 169, 215, 217.

- 2. ROMERO, J.,** Purificación del Agua., 2^{da} ed., Bogotá-Colombia., Editorial 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.

- 3. VILLEGAS, M.,** Purificación de Aguas., 2^{da} ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2007., Pp. 83, 84, 95, 96, 157-160.

4. ESPAÑA., AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION.,
Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.,
17ª ed., Madrid-España., Díaz de Santos S.A., 1992., Pp. 95-
110.

5. ESPAÑA., CONTAMINACIÓN DE AGUAS Y PROCESOS DE
DEPURACIÓN., Unidad Potabilización del Agua., Madrid-
España., Formaselect S.L., 2007., Pp. 6-8, 13-17, 27, 28, 32,
39, 40.

6. ESPAÑA., CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y AGUAS
SUBTERRÁNEAS., Unidad Conceptos Básicos de Edafología
e Hidrogeología., Madrid-España., Formaselect S.L., 2007.,
Pp. 49, 50.

7. ESPAÑA., CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y AGUAS
SUBTERRÁNEAS., Unidad Origen y Mecanismos de
Contaminación del Suelo y de las Aguas Subterráneas., Madrid-
España., Formaselect S.L., 2007., Pp. 68-70.

8. MORENO, J., Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la Empresa Dober Osmotech de Colombia LTDA., Facultad de Ingenierías., Departamento de Automática y Electrónica., Ingeniería Mecatrónica., Universidad Autónoma de Occidente., Santiago de Cali- Colombia., TESIS., 2011., Pp. 71.

EBook

<http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/3076/1/TBM00990.pdf>

INTERNET

1. AGUA DE BEBIDA SALUDABLE POR TUBERÍA

<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n11/ajmar.html>

2013-09-12

2. AGUA ENTUBADA

http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3502/4/BVCI0002407_1.pdf

2013-09-12

3. AGUA POTABLE PARA POBLACIONES RURALES

[http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_\(CAP\[1\].%203\).pdf](http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_(CAP[1].%203).pdf)

2013-11-18

3. CARÁCTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE

<http://www.filtrosdeaguaalcalina.co/caracteristicas-del-agua-potable/>

2013-09-12

4. CONDUCCIÓN DEL AGUA

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-19.pdf>

2013-09-12

6. ECUADOR., INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN., NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011

<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.ntc.1108.2011.pdf>

2013-09-05

7. ECUADOR., INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN., NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2176:1998

<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.ntc.2176.1998.pdf>

2013-09-05

8. INGENIERÍA DE PROCESOS EN EL INTERCAMBIO IÓNICO

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/609/Capitulo7.pdf>

2013-12-10

9. POLICLORURO DE ALUMINIO

<http://www.aris.com.pe/Quimicos/Pac2.html>

2013-12-10

10. PRUEBA DE JARRAS

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/padillasmf/capitulo3.pdf

2013-12-10

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

Hexaclorobutadieno	µg/l	0,6
Ácido etilendiaminatetracético EDTA	µg/l	200
Ácido nitrotriacético	µg/l	200
Dialquil	µg/l	
Oxido tributiltin	µg/l	2

Pesticidas

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

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

Residuos de 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
Dibromoacetonitrilo		100
Tricloroacetonitrilo		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
Giardia Lamblia número de quistes/100 litros	Ausencia
* < 2 significa que en una serie de 9 tubos ninguno es positivo	
(1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.	

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 Methods).
- 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 Methods).

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 Methods) 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 RESINA CATIÓNICA FUERTEMENTE ÁCIDA



PUROLITE C-100 E
RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO FUERTEMENTE ÁCIDA
(PARA USAR EN LA DESCALCIFICACIÓN DEL AGUA)

HOJA TÉCNICA

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

PUROLITE C-100 E es una resina catiónica de poliestireno sulfonado tipo gel, de elevada pureza, diseñada especialmente para el tratamiento de alimentos, bebidas, aguas potables, y agua empleada en la manipulación de alimentos.

C 100 E cumple con la normativa de la **U.S. Food and Drug Administration** sección 21, párrafo 173.25 sobre empleo de resinas en el tratamiento de alimentos para el consumo humano.

C 100 E está inscrita en el **Registro General Sanitario de Alimentos del Ministerio de Sanidad y Consumo**, con el Nº 31.01108/B-11046, para el tratamiento de aguas potables.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estructura del polímero	poliestireno reticulado con DVB
Forma física y aspecto	perlas esféricas transparentes
Grupo Funcional	poliestireno sulfonado
Forma de suministro	Na ⁺
Densidad aparente (aprox.)	800-840 g/l (50-52,5 lb/ft ³)
Tamaño de malla, U.S. estándar Mesh (húmeda)	16 – 50
Rango tamaño de partícula	1,2 mm < 5% - 0,3 mm < 1%
Retención humeada, forma Na ⁺	46-50%
Hinchamiento, Ca ²⁺ → Na ⁺ (máx.)	+8%
Densidad forma Na ⁺ (húmeda)	1,27
Capacidad total, forma Na ⁺ , húmeda (mín.)	1,9 eq/l
Temperatura de trabajo, forma Na ⁺ (máx.)	140°C (285°F)
Rango estabilidad pH	0 – 14
Rango operativo pH, ciclo Na ⁺	6 – 10

**CONDICIONES DE TRABAJO ESTÁNDAR
(DESCALCIFICACIÓN EN CO - CORRIENTE)**

OPERACIÓN	CAUDAL	DISOLUCIÓN	MINUTOS	CANTIDAD
Servicio	8 – 40 BV/h	Agua entrada		
Contralavado	7 – 12 m/h	Agua entrada	5 – 20	1,5 – 4 BV
Regeneración	2 – 7 BV/h	8 – 20% NaCl	15 – 60	60 – 320 g/l
Lavado (lento)	2 – 7 BV/h	Agua entrada	30 (aprox.)	2 – 4 BV
Lavado (rápido)	8 – 40 BV/h	Agua entrada		3 -10 BV

1BV = 1 Volumen/Volumen resina

ANEXO III

FICHA TÉCNICA CAL

	FICHA TÉCNICA CAL HIDRATADA	Código: T-CC-001 Emisión: 23/09/2009 Revisión: 0 Fecha: 23/09/2009
Descripción General del Producto y Usos		
<p><u>Producto:</u> Cal Hidratada</p> <p><u>Nombre Comercial:</u> Cal Maxical</p> <p><u>Nombre Técnico:</u> Cal Apagada o Hidróxido de Calcio</p> <p><u>Descripción general del producto:</u> Polvo blanco fino, de granulometría uniforme</p> <p><u>Usos:</u></p> <ul style="list-style-type: none">✓ Tratamiento de aguas residuales.✓ Potabilización de agua.✓ Ajuste de pH en agua y suelos.✓ Para curtir pieles o cuero.✓ Tratamiento de gases.✓ Albañilería y construcción.✓ Producción de azúcar.✓ Tratamiento de la materia orgánica y fertilizante.✓ Producción de químicos, tales como: óxido de propileno, carbonato de sodio y glicerina✓ Para estabilizar suelos arcillosos.✓ En medicina como antiácido.✓ Procesos de conservación de alimentos, específicamente en las cámaras de refrigeración.		

- ✓ Manufactura de cartón para disolver los materiales no celulosos y desintegrar las fibras de paja.
- ✓ Es un magnífico impermeabilizante evitando la transminación del agua.
- ✓ Producción del Carbonato de Calcio precipitado.
- ✓ Entre otros usos.

Empaques:

Sacos de papel

Presentaciones:

8, 10 y 20 Kg.

Especificaciones Técnicas

Fórmula Química:

Ca (OH)₂

Composición:

Hidróxido de Calcio

Características Organolépticas:

Olor y sabor característico, cáustico.

Características físico-químicas:

Calcio Aprovechable como CaO: 67 – 73%

Calcio Aprovechable como Ca(OH)₂: 88,5 – 96%

Óxido de Magnesio en porcentaje (%MgO): 0,27 – 0,56%

Óxido de Hierro (III) (Fe₂O₃): 0,03 – 0,08%

Óxido de Silicio (IV) (SiO₂): 0,05 – 1,16%

pH: 12/14

Retenido en malla 200: 7% máx.

Humedad: 3% máx.

Almacenamiento, Seguridad y Manejo

Almacenamiento:

- ✓ Protéjase el saco contra daños físicos.
- ✓ Almacénese en un lugar seco, alejado del agua y la humedad.

Seguridad y Manejo:

- ✓ Para la manipulación del producto se requiere el uso de mascarilla con capacidad de filtrado para polvo.
- ✓ Evitar el contacto con los ojos.

Información Adicional:

- ✓ Incompatible con ácidos fuertes, tales como: Clorhídrico, Sulfúrico y Nítrico.
- ✓ Evitar el contacto del producto con Anhídrido Maléico, Nitroetano, Nitrometano, Nitropropano, Nitroparafinas y Fósforos, ya que se producen reacciones violentas.

ANEXO IV

FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

	FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO – PAC QUIMIPAC	FTP PAG. 1 DE 1 VERSION: 1
---	---	---

1. PROPIEDADES

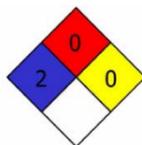
FÓRMULA: $Aln(OH)_m Cl_{3-n-m}$

SINÓNIMOS: PAC, QUIMIPAC

PESO MOLECULAR: 219 gramos/mol

2. REGULACIONES

RIESGO ASOCIADO: Irritante, Corrosivo



3. USOS PRINCIPALES

El policloruro de aluminio tiene excelentes resultados en el uso como coagulante y/o floculante en el tratamiento de aguas potables, industriales y residuales. Amplio uso en agua con turbiedades altas y aguas con elevado contenido de materia orgánica. En la industria del papel se utiliza como agente de retención y para encolado en la fabricación del papel. Tiene aplicación en la industria textil, cerámica, extracción de petróleo y cosmética.

4. PROPIEDADES TÍPICAS

Apariencia	Sólido Amarillo
pH (1% Sln)	3,5 – 5
Basicidad %	75 – 90
Al ₂ O ₃ %	30±1
Insolubles %	Máx. 5

5. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

El PAC no es tóxico pero deben ser manejados como ligeramente corrosivos; se debe utilizar guantes de caucho, gafas de seguridad y overol.

El PAC es un producto higroscópico por lo que se debe almacenar en lugares frescos, con mínima humedad y buena ventilación.

El producto se comercializa en bolsas de 25 Kg.

6. PRECAUCIÓN

Usar los elementos de seguridad: guantes, gafas y protección respiratoria durante la manipulación del producto.

En caso de contacto con la piel y ojos lavar con abundante agua.

En caso de ingestión lavar la boca inmediatamente y suministrar 500 ml de agua.

En caso de inhalación salir del área y buscar un área con aire fresco.

En caso de paro respiratorio se debe suministrar oxígeno. Obtener ayuda médica inmediatamente para todos los casos.

En caso de derrame, recoja el residuo con precaución y lave la zona contaminada con agua.

ANEXO V

PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CAL

DOSIFICACIÓN DE CAL

La dosificación de cal se realizará por vía seca utilizando un dosificador gravimétrico, mediante el siguiente procedimiento:

1. Pesar la cantidad adecuada de cal que se debe aplicar al dosificador en el día, es decir, se pesará 194,23 Kg de cal.
2. Depositar la cal en la tolva del dosificador.
3. Abrir la compuerta de la tolva y descargar en la cámara de mezcla del dosificador la cal seca en cantidad, velocidad y concentración determinadas.
4. Aforar el caudal de agua que ingresa al tanque de solución del dosificador. Para la disolución de la cal, posterior al dosificador, el volumen de agua debe ser equivalente a la preparación de una solución al 1% del producto dosificado. Si el volumen del tanque del dosificador en seco no permite preparar dicha solución, se inyectará en la tubería de salida del dosificador el caudal de agua complementario para que la solución se aplique a dicha concentración.
5. Inyectar la solución a la tubería que conduce al punto de mezcla.

ANEXO VI

PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

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 4%.
- 4.** Calibrar la bomba dosificadora y mantenerla siempre calibrada para asegurar la exactitud en la dosificación.
- 5.** Bombear la solución de PAC mediante la bomba dosificadora hasta el punto de mezcla.

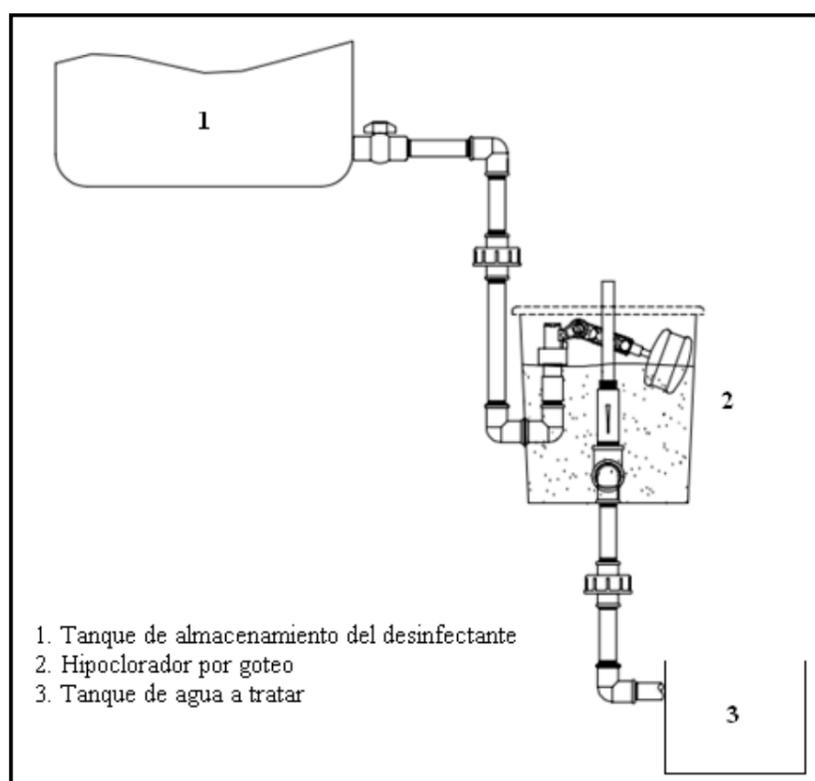
ANEXO VII

PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO

DOSIFICACIÓN DE CLORO

La cantidad de cloro que se va a dosificar equivale a la demanda de cloro a la que debe adicionarse la cantidad de cloro residual esperada en el extremo de la red de distribución de agua; en este caso, el hipoclorito de sodio se aplicará al agua con una dosificación de 1,5 mg/l.

El cloro se dosificará mediante un hipoclorador por goteo, permitiendo transferir la solución directamente al tanque de almacenamiento del agua, el mismo que estará ubicado encima del tanque de almacenamiento, protegido con una caseta para evitar el deterioro del cloro.



Para la instalación del hipoclorador por goteo se seguirán los siguientes pasos:

1. Conectar la entrada del dosificador a la salida del tanque de almacenamiento del desinfectante.
2. Conectar la tubería de alimentación desde el dosificador al punto de aplicación, es decir, al tanque de agua que se va a desinfectar.
3. Asegurarse que el control de dosificación esté cerrado. Luego abrir la llave del tanque de almacenamiento del desinfectante para llenar el dosificador.
4. Una vez lleno el dosificador, girar el dispositivo de control hasta obtener el caudal de aplicación del desinfectante. Hasta obtener la cantidad deseada de desinfectante se puede ayudar con un recipiente de volumen conocido y un cronómetro.

ANEXO VIII

PROCEDIMIENTO PARA LA REGENERACIÓN DE LA RESINA CATIÓNICA DE ÁCIDO FUERTE

REGENERACIÓN DE LA RESINA CATIÓNICA DE ÁCIDO FUERTE

La resina catiónica de ácido fuerte (PUROLITE C – 100 E), es una resina fácil de activar mediante una solución de cloruro de sodio.

Solución de cloruro de sodio concentrada (salmuera) al 3%

1. Pesar la cantidad adecuada de cloruro de sodio, es decir, 57,30 Kg de NaCl para la regeneración diaria de la resina.
2. Aforar el caudal de agua que ingresa al tanque de salmuera.
3. Añadir el cloruro de sodio en el tanque de salmuera.
4. Agitar hasta formar una solución de cloruro de sodio.

Regeneración de la Resina Catiónica

1. Aplicar la solución de salmuera (regenerante) a la resina por medio de un proceso en cochada, es decir, que la resina estará en contacto con la solución durante un tiempo de 10 a 15 minutos.
2. Después de la regeneración, ejecutar un lavado de la resina con agua durante un periodo de 10 a 30 min para remover todo el regenerante ocluido y asegurar una distribución apropiada de la resina.
3. La regeneración y el lavado del medio intercambiador se realizarán en contracorriente para obtener un mejor rendimiento en cuanto a la eficiencia de la resina, es decir, el regenerante y el agua de lavado ingresarán por la parte inferior del tanque, y en cuanto al agua de lavado, ésta saldrá por la parte superior del tanque intercambiador de cationes.

ANEXO IX

PROCEDIMIENTO PARA EL LAVADO DEL FILTRO RÁPIDO DE ARENA

LAVADO DEL FILTRO RÁPIDO DE ARENA

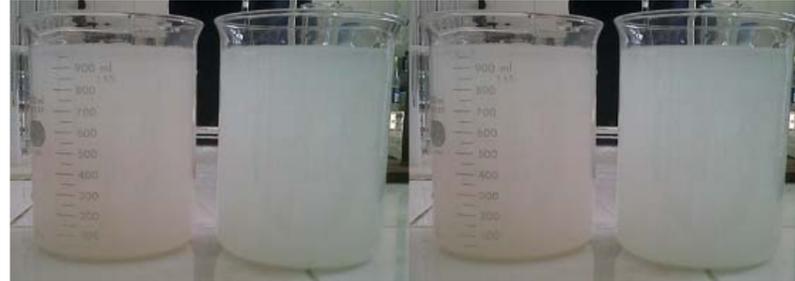
Para el lavado del filtro rápido de arena se sugiere lo siguiente:

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 X
ABLANDAMIENTO CON CAL Y FLOCULACIÓN CON POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)



a)



b)



c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ABLANDAMIENTO CON CAL Y FLOCULACIÓN CON POLICLORURO DE ALUMINIO		
a) Solución de PAC al 4%	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA	Lámina	Escala	Fecha
b) Ablandamiento con cal	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	1		18/02/14
c) Floculación con PAC	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información				

**ANEXO XI
FILTRACIÓN CON ARENA E INTERCAMBIO CATIÓNICO**



a) b)



c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	FILTRACIÓN CON ARENA E INTERCAMBIO CATIÓNICO		
a) Filtración con arena b) Intercambio catiónico c) Solución de NaCl al 3%	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	Lámina	Escala	Fecha
			2		18/02/14

**ANEXO XII
RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M1**

ESPOCH

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

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

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Elizabeth Abarca

Fecha de análisis: 14 de noviembre del 2013

Fecha de entrega de resultados: 20 de noviembre del 2013

Tipo de muestra: Agua de vertiente.

Localidad: Comunidad La Candelaria Parroquia San Luis

TRABAJO DE TESIS

Código: LAT 212-13

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 5	20.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.73
Conductividad	µ Siems/cm	< 1250	1009
Turbiedad	UNT	1	10.0
Cloruros	mg/L	250	4.3
Dureza	mg/L	200	392.0
Calcio	mg/L	70	73.6
Magnesio	mg/L	30 - 50	50.5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	620.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	632.4
Sulfatos	mg/L	200	159.6
Amonios	mg/L	< 0.50	0.173
Nitritos	mg/L	0.01	0.00
Nitratos	mg/L	< 40	1.7
Hierro	mg/L	0.30	0.140
Fluoruros	mg/L	< 1.5	1.0
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.408
Sólidos Totales	mg/L	1000	1064.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	496.0

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de turbiedad, alcalinidad, dureza y fosfitos fuera de norma.

Atentamente,

 ESPOCH 

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

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

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M1		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	Lámina	Escala	Fecha
			3		18/02/14

**ANEXO XIII
RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M2**

ESPOCH

**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

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

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Elizabeth Abarca

Fecha de análisis: 22 de noviembre del 2013

Fecha de entrega de resultados: 25 de noviembre del 2013

Tipo de muestra: Agua de vertiente.

Localidad: Comunidad La Candelaria Parroquia San Luis

TRABAJO DE TESIS

Código: LAT 212-13

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	umd Co/Pt	< 5	12.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.75
Conductividad	µ Siemens/cm	< 1250	1034
Turbiedad	UNT	1	1.0
Cloruros	mg/L	250	5.7
Dureza	mg/L	200	416.0
Calcio	mg/L	70	80.0
Magnesio	mg/L	30 - 50	52.5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	580.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	591.6
Sulfatos	mg/L	200	155.0
Amonios	mg/L	< 0.50	0.760
Nitritos	mg/L	0.01	0.02
Nitratos	mg/L	< 40	1.9
Hierro	mg/L	0.30	0.010
Fluoruros	mg/L	< 1.5	0.8
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.301
Sólidos Totales	mg/L	1000	1084.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	508.0

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

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

Atentamente,


Dra. Gina Alvarez
LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS
RESP. LAB. ANALISIS TECNICOS

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

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M2		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	Lámina	Escala	Fecha
			4		18/02/14

**ANEXO XIV
RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M3**

ESPOCH

**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

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

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Elizabeth Abarca

Fecha de análisis: 29 de noviembre del 2013

Fecha de entrega de resultados: 02 de diciembre del 2013

Tipo de muestra: Agua de vertiente.

Localidad: Comunidad La Candelaria Parroquia San Luis

TRABAJO DE TESIS

Código: LAT 212-13

Determinaciones	Unidades	*Limites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 5	15.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.70
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	1010
Turbiedad	UNT	1	4.7
Cloruros	mg/L	250	5.7
Dureza	mg/L	200	400.0
Calcio	mg/L	70	76.8
Magnesio	mg/L	30 - 50	50.5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	580.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	591.6
Sulfatos	mg/L	200	153.9
Amonios	mg/L	< 0.50	0.173
Nitritos	mg/L	0.01	0.01
Nitratos	mg/L	< 40	1.2
Hierro	mg/L	0.30	0.090
Fluoruros	mg/L	< 1.5	1.4
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.326
Sólidos Totales	mg/L	1000	1052.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	496.0

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de turbiedad, alcalinidad, dureza y fosfatos fuera de norma.

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

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

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA CRUDA – M3		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	Lámina	Escala	Fecha
			5		18/02/14

**ANEXO XV
RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA CRUDA**

 LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC	LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR	 LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-008
---	--	---

Coliformes Totales	PEE/LABCESTTA/47 Standard Methods No. 9222 B	UFC/100 ml	20
Coliformes Fecales	PEE/LABCESTTA/48 Standard Methods No. 9222 D y 92221	UFC/100 ml	<1

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

RESPONSABLES DEL INFORME:


 Dr. Mauricio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
 E INSPECCIÓN
 LAB - CESTTA
 ESPOCH


 Ing. Marcela Erazo
 JEFE DE LABORATORIO

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA CRUDA		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	Lámina	Escala	Fecha
			6		18/02/14

**ANEXO XVI
RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA TRATADA**

ESPOCH

**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

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

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Elizabeth Abarca

Fecha de análisis: 06 de diciembre del 2013

Fecha de entrega de resultados: 09 de diciembre del 2013

Tipo de muestra: Agua de vertiente.

Localidad: Comunidad La Candelaria Parroquia San Luis

TRABAJO DE TESIS

Código: LAT 212-13

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 5	2.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	8.34
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1250	977
Turbiedad	UNT	1	0.1
Cloruros	mg/L	250	25.5
Dureza	mg/L	200	80.0
Calcio	mg/L	70	16.0
Magnesio	mg/L	30 - 50	9.7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	200.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	204.0
Sulfatos	mg/L	200	153.9
Amonios	mg/L	< 0.50	0.025
Nitritos	mg/L	0.01	0.00
Nitratos	mg/L	< 40	1.5
Hierro	mg/L	0.30	0.020
Fluoruros	mg/L	< 1.5	1.0
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.160
Sólidos Totales	mg/L	1000	944.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	480.0

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

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

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS DEL AGUA TRATADA		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	Lámina	Escala	Fecha
			7		18/02/14

**ANEXO XVII
RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA TRATADA**



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

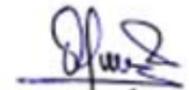
EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA

CÓDIGO: 501-2013

CLIENTE: Srta. Elizabeth Abarca
DIRECCION: San Luis, La Candelaria TELEFONO: 0987391170
TIPO DE MUESTRA: Agua de vertiente.
FECHA DE MUESTREO: 2013-12-06
FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 2013-12-06

DETERMINACIONES	MÉTODO USADO	VALOR ENCONTRADO
Coliformes Totales UFC/100 ml	Filtración por membrana	Ausencia
Coliformes Fecales UFC/100 ml	Filtración por membrana	Ausencia

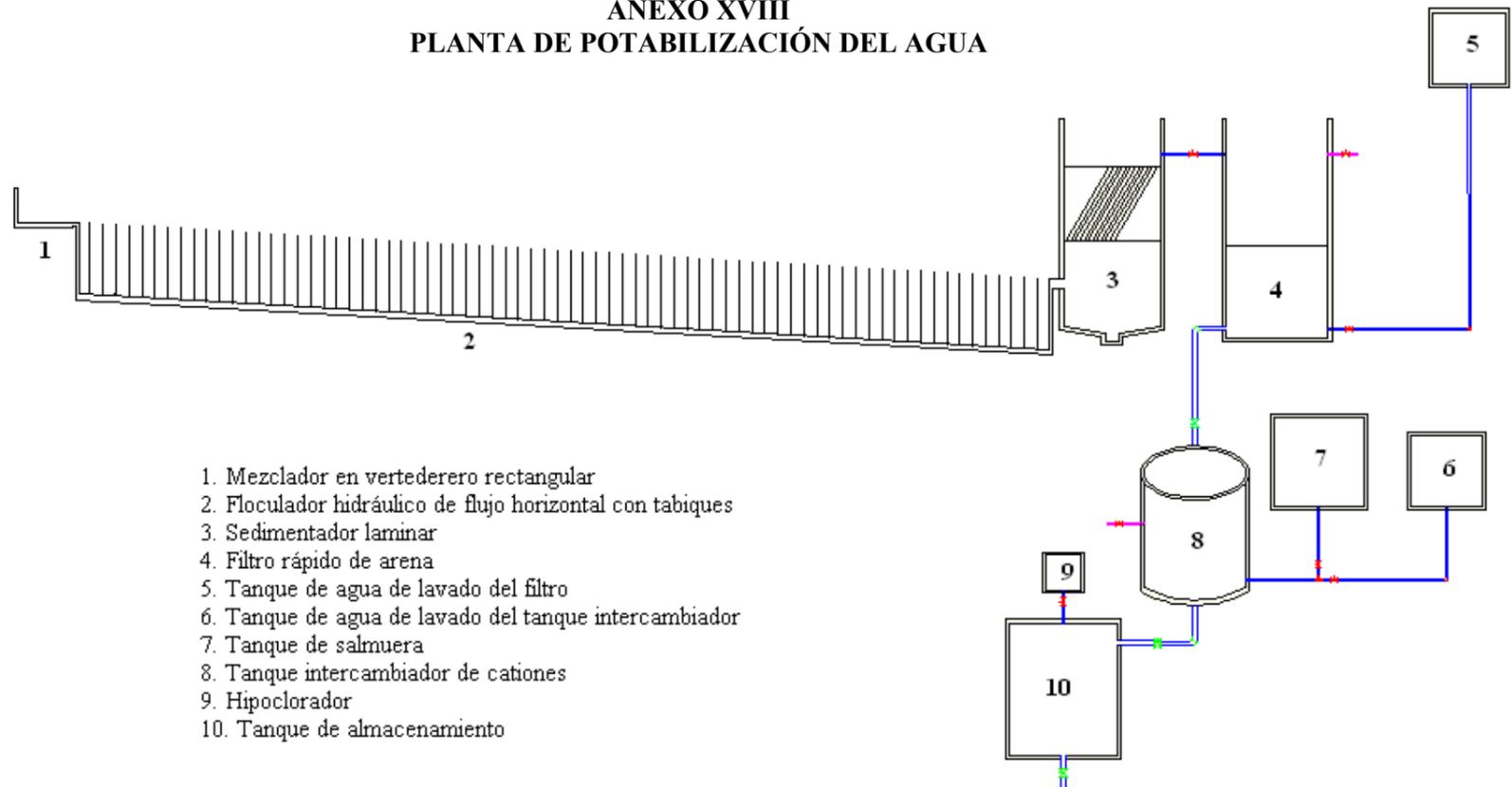
OBSERVACIONES:
FECHA DE ANALISIS: 2013-12-06
FECHA DE ENTREGA: 2013-12-11

RESPONSABLES:
 Dra. Gina Álvarez R.
 Fabiola Villa

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

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA TRATADA		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	Lámina	Escala	Fecha
			8		18/02/14

**ANEXO XVIII
PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA**

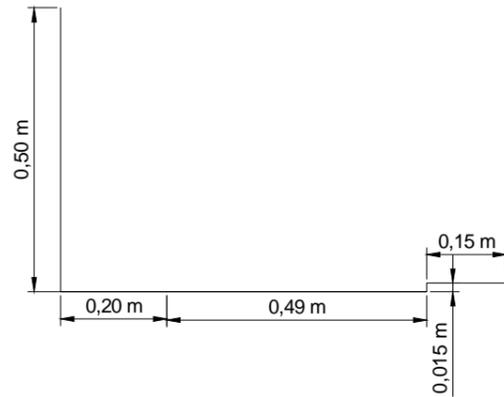


1. Mezclador en vertederero rectangular
2. Floculador hidráulico de flujo horizontal con tabiques
3. Sedimentador laminar
4. Filtro rápido de arena
5. Tanque de agua de lavado del filtro
6. Tanque de agua de lavado del tanque intercambiador
7. Tanque de salmuera
8. Tanque intercambiador de cationes
9. Hipoclorador
10. Tanque de almacenamiento

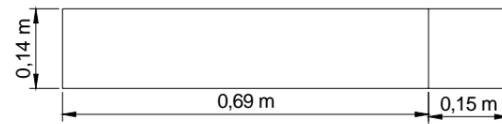
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	Lámina	Escala	Fecha
			9		18/02/14

**ANEXO XIX
MEZCLADOR – VERTEDERO RECTANGULAR**

a)

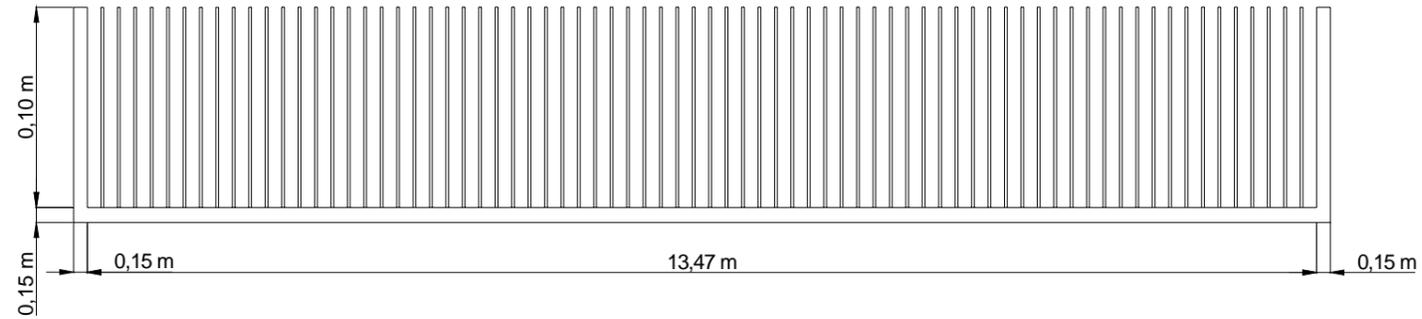


b)



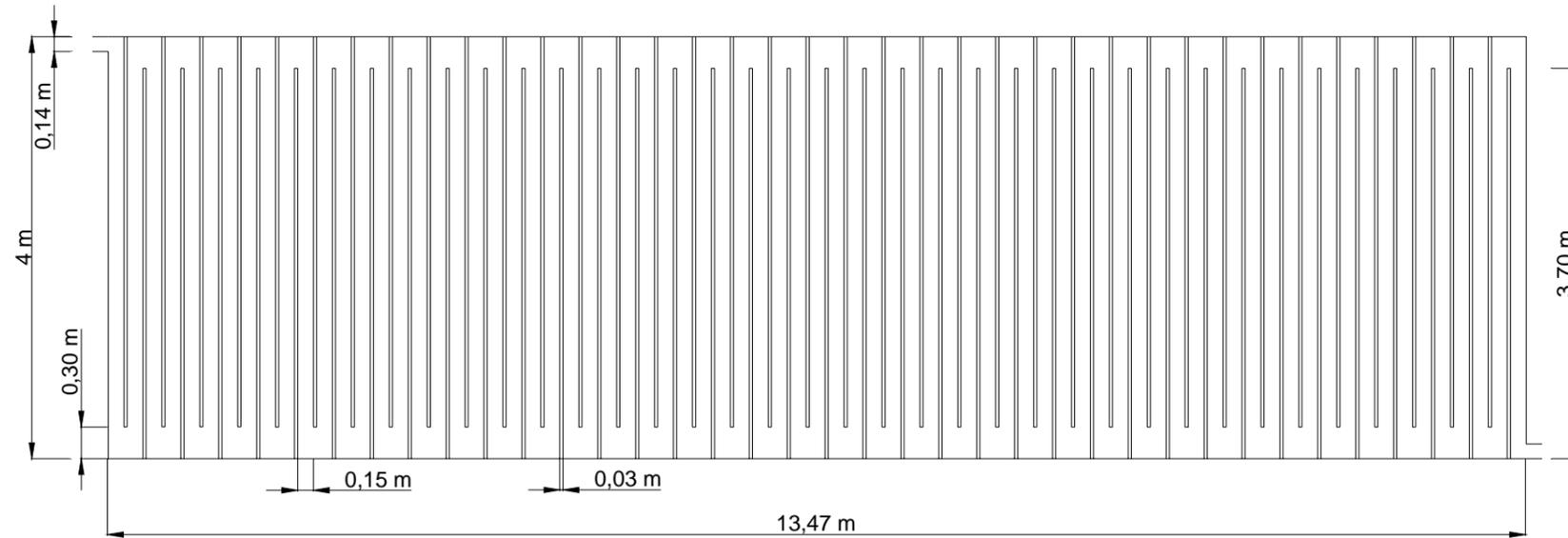
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	MEZCLADOR – VERTEDERO RECTANGULAR		
a) Vista Frontal	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA	Lámina	Escala	Fecha
b) Vista Planta	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	10		18/02/14
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información				

ANEXO XX
VISTA FRONTAL FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL



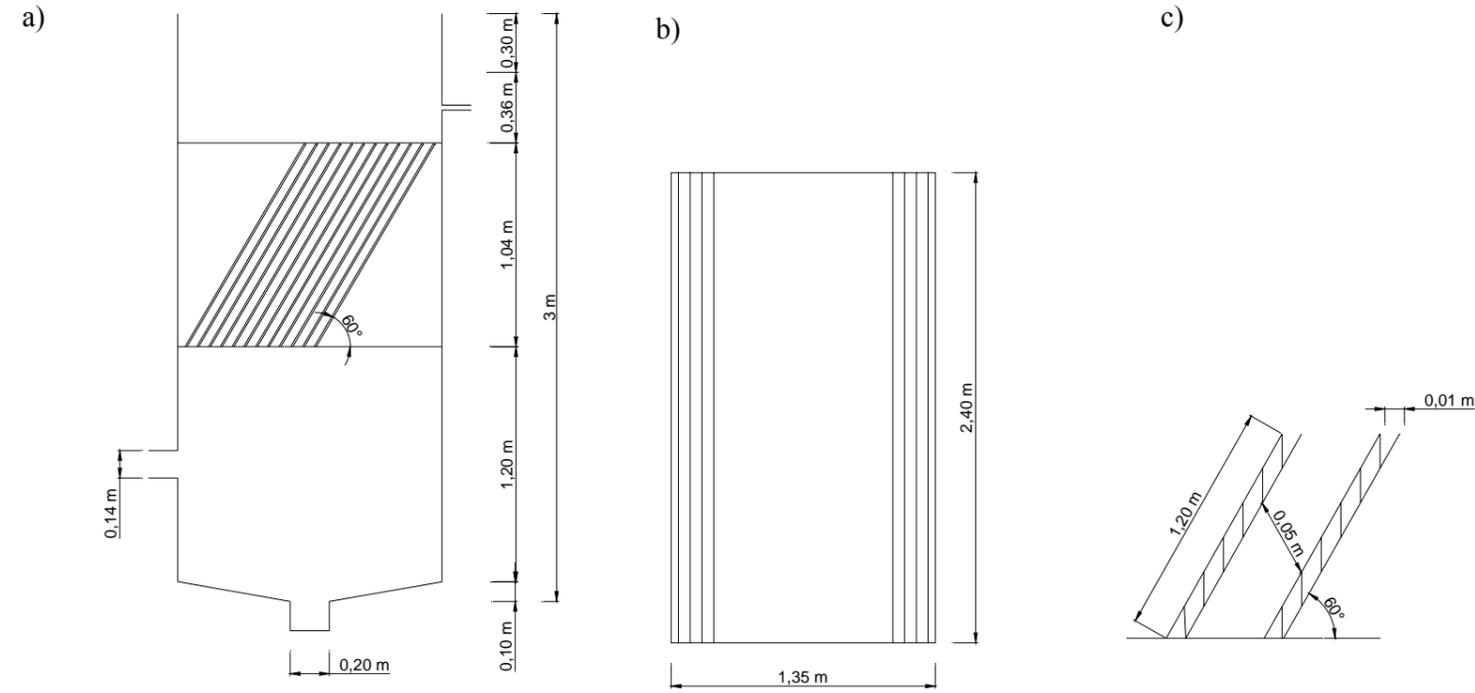
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	VISTA FRONTAL FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL					
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1546 1234 1712 1287">Lámina</th> <th data-bbox="1712 1234 1860 1287">Escala</th> <th data-bbox="1860 1234 1988 1287">Fecha</th> </tr> </thead> </table>			Lámina	Escala	Fecha
	Lámina		Escala	Fecha				
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		<table border="1"> <tbody> <tr> <td data-bbox="1546 1287 1712 1350">11</td> <td data-bbox="1712 1287 1860 1350"></td> <td data-bbox="1860 1287 1988 1350">18/02/14</td> </tr> </tbody> </table>	11		18/02/14		
11		18/02/14						
<input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información								

ANEXO XXI
VISTA PLANTA FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL



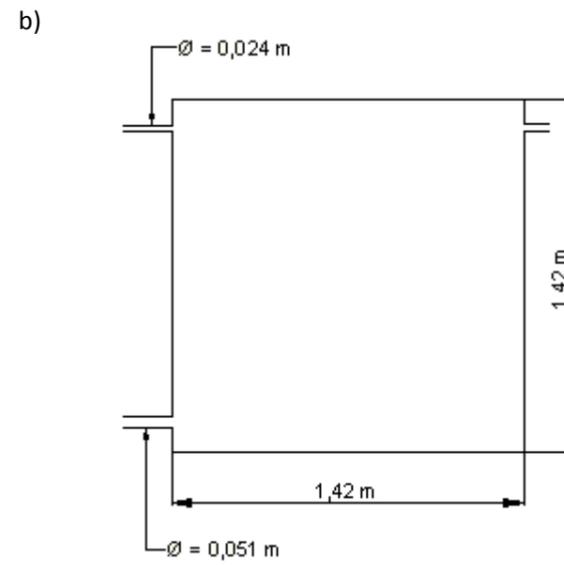
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	VISTA PLANTA FLOCULADOR HIDRÁULICO DE FLUJO HORIZONTAL		
			Lámina	Escala	Fecha
			12		18/02/14

**ANEXO XXII
SEDIMENTADOR LAMINAR**



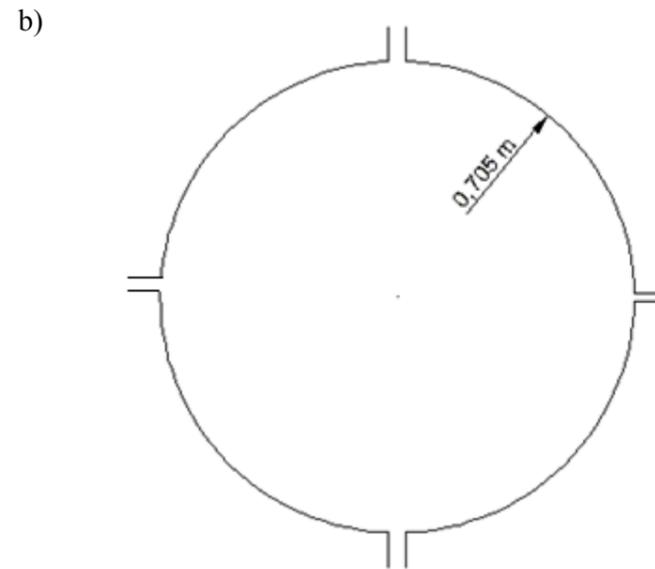
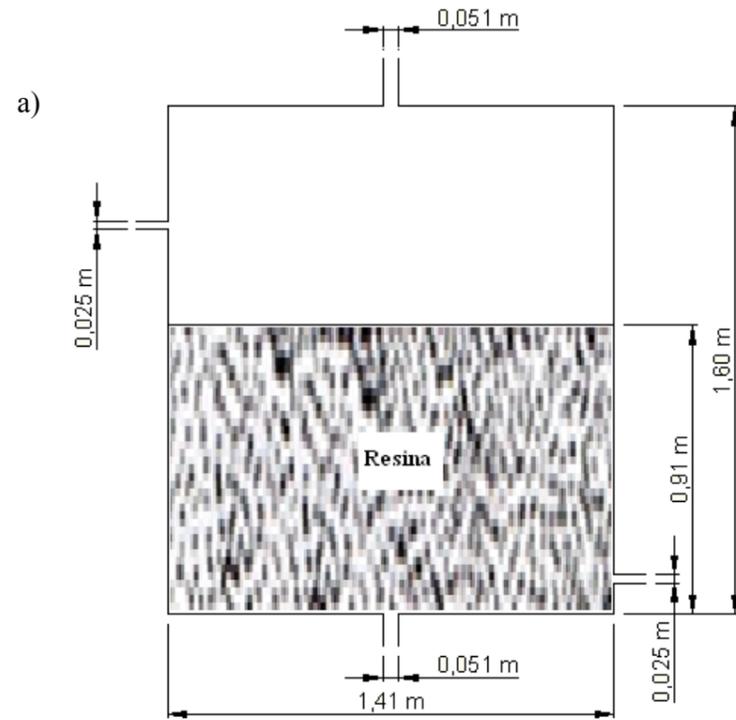
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SEDIMENTADOR LAMINAR		
a) Vista Frontal	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA	Lámina	Escala	Fecha
b) Vista Planta	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	13		18/02/14
c) Dimensiones de las placas	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información				

**ANEXO XXIII
FILTRO RÁPIDO DE ARENA**



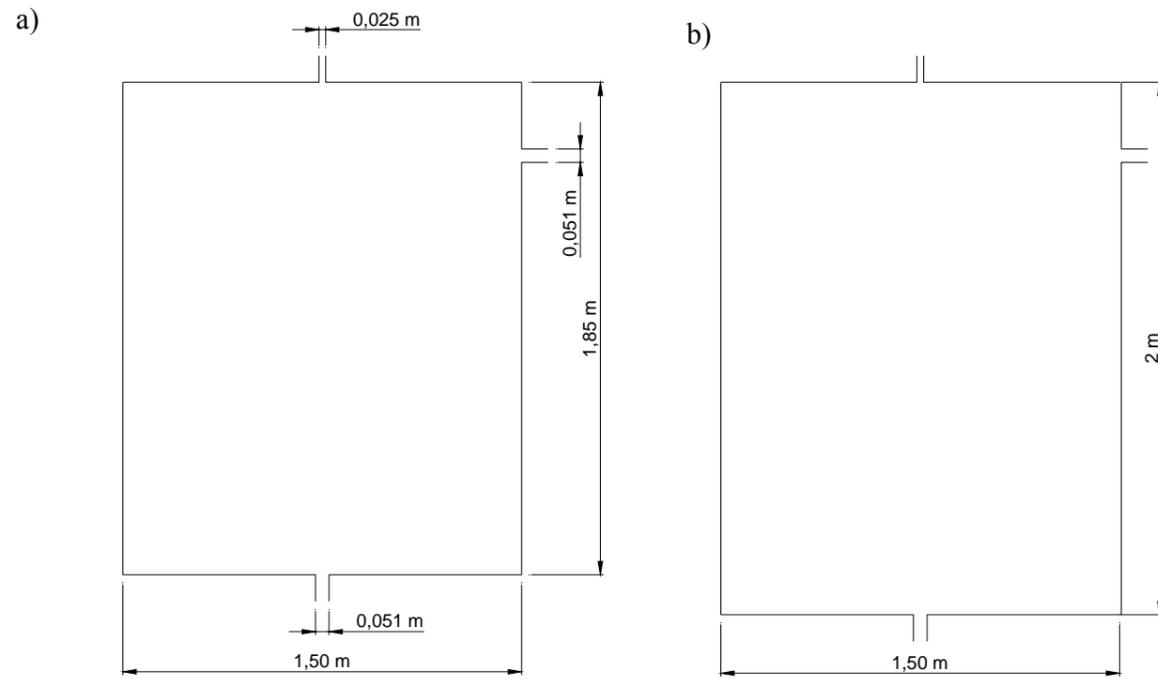
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	FILTRO RÁPIDO DE ARENA		
a) Vista Frontal	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA	Lámina	Escala	Fecha
b) Vista Planta	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	14		18/02/14
Ø: Diámetro de la tubería de entrada y salida del filtro	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información				

**ANEXO XXIV
TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES		
a) Vista Frontal	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA	Lámina	Escala	Fecha
b) Vista Planta	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	15		18/02/14
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información				

**ANEXO XXV
DESINFECCIÓN (TANQUE DE CLORACIÓN)**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DESINFECCIÓN (TANQUE DE CLORACIÓN)		
a) Vista Frontal b) Vista 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 checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA ELIZABETH MARIELA ABARCA BONILLA	Lámina	Escala	Fecha
			16		18/02/14

