



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE PARA LA PARROQUIA DE SANTA FÉ, CANTÓN
GUARANDA, PROVINCIA BOLÍVAR”**

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: GISELA ALEXANDRA VERGARA YÉPEZ

TUTOR: Msc. JOSÉ USIÑA MANZANO

RIOBAMBA – ECUADOR

- 2015 -

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

El tribunal de tesis certifica que el trabajo de investigación: “**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA DE SANTA FÉ, CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA BOLÍVAR**” de responsabilidad de la señorita egresada Gisela Alexandra Vergara Yépez, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dra. Nancy Veloz DECANA FAC. DE CIENCIAS
Dr. Juan Marcelo Ramos DIRECTOR DE ESCUELA
Ing. José Usiña DIRECTOR DE TESIS
Ing. Mónica Andrade MIEMBRO DEL TRIBUNAL
COORDINADOR SISBIB ESPOCH
NOTA DE TESIS	

HOJA DE RESPONSABILIDAD

“Yo, Gisela Alexandra Vergara Yépez, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

Gisela Alexandra Vergara Yépez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que ha bendecido cada paso de mi existencia y me ha permitido culminar con éxito una etapa más de mi vida.

A mis Padres quienes son pilar fundamental en mi vida, con su sacrificio y entrega han permitido que se logren cada una de mis metas planteadas.

En general a mis amigos, quienes con sus ánimos y consejos me ayudaron a ser una mejor persona y recuperarme de los momentos dolorosos que eh tenido que atravesar.

Al Ing. José Usiña en calidad de Director de tesis y a al Ing. Mónica Andrade miembro de tesis, quienes aportaron con sus extensos conocimientos para la finalización de esta investigación.

A la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Guaranda por permitir el desarrollo de este estudio, al Ing. Raúl Allan Naranjo Responsable de la Planta de Tratamiento “Chaquishca” por brindarme todas las facilidades para la culminación de este trabajo.

Gisela Alexandra Vergara Yépez

DEDICATORIA

A Dios quién supo guiarme por el buen camino, dándome fuerzas para seguir adelante enseñándome a enfrentar los infortunios sin perder nunca la dignidad, ni desfallecer en el intento.

A mi pequeño hermanito Brayan que nunca me dio la espalda y siempre me apoyo en cada idea que me proponía y aunque ya no lo pueda ver, siempre lo voy a tener en mi corazón.

Para mis padres por sus consejos, comprensión, amor, apoyo en los momentos difíciles, por ayudarme con los recursos necesarios para mis estudios y por haberme dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi empeño, mi constancia y mi coraje para alcanzar mis metas.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”.(*Thomas Chalmers*)

Gisela Alexandra Vergara Yépez

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

θ	Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa (°).
ρ	Densidad (Kg/L).
μ	Viscosidad dinámica del agua ($\text{N} \times \text{s} / \text{m}^2$).
ν	Viscosidad cinemática (m^2/s).
u	Velocidad en la tubería de los filtros (m/s).
γ	Peso específico del agua (N/m^3).
a_{fu}	Longitud de pared común por unidad de filtración (m).
A_{cf}	Área de los canales del floculador (m^2).
A_f	Área de filtración (m^2).
A_i	Área de aireación (m^2).
A_{if}	Área para cada unidad de filtración (m^2).
A_{of}	Área de cada orificio en filtros (m^2).
A_{orificio}	Área de cada orificio de las unidades de aireación (m^2).
A_s	Área superficial en sedimentador (m^2).
A_t	Área total del aireador (m^2).
A_{t_o}	Área total de orificios en filtros (m^2).
b_{cf}	Ancho de canales del floculador (m).
b_f	Ancho del floculador (m).
b_{fu}	Ancho de la unidad de filtro (m).
b_{if}	Ancho útil de la lámina en el floculador (m).
b_s	Ancho de sedimentador (m).
b_{vf}	Ancho de las vueltas en la floculación (m).
C	Concentración (mg/L).
C_a	Altura del lecho filtrante, (m).
C_s	Altura de la capa de soporte, (m).
dp	Ancho del conducto o espaciamiento entre placas (m).
D^1	Ancho de la sección del canal Parshall, (m).
	Diámetro de los orificios (m).

D_o	Diámetro de la tubería en la entrada al filtro (m).
D_t	Diámetro de la tubería en la salida del filtro (m).
D_{Ts}	Dotación básica (L/hab x día).
DB	Dotación media futura (L/hab x día).
DMF	Espesor de bandejas (m).
e_b	Espesor de las láminas del floculador (m).
e_l	Espacio entre orificios de filtros, (m).
e_o	Espesor de las placas (m).
e_p	Carga hidráulica disponible en torre de aireación (m).
Eo	Factor de seguridad, (%).
f_s	Altura del drenaje, (m).
F_c	Gravedad (m^2/s).
g	Gradiente de velocidad (s^{-1}).
G	Altura de la cresta del medidor Parshall (m).
h_a	Altura de garganta del medidor Parshall (m).
h_b	Pérdida de carga total del floculador (m).
hf_1	Pérdida de carga en las vueltas del floculador (m).
hp_1	Pérdida de carga en los canales del floculador (m).
hp_2	Altura del vertedero triangular (m).
H	Altura de agua sobre las unidades de aireación (m).
$H_{lámina}$	Altura de agua en el Canal de Parshall (m).
H_o	Altura total del sedimentador, (m).
H_s	Altura de agua en el floculador (m).
Hu_f	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
INEC	Instituto Ecuatoriano de Normalización
INEN	Coefficiente de variación diaria, (adimensional).
k_1	Coefficiente de variación horaria, (adimensional).
k_2	Constante, (adimensional).
K	Coefficiente de pérdida de carga en vueltas del floculador, (adimensional).
Kf	Factor de mayorización, (adimensional).
FM	Lado de bandeja (m).

l	Longitud recorrida a través de la placa (m).
l_p	Altura del lecho filtrante, (m).
L_a	Longitud relativa del sedimentador corregida, (adimensional).
L_{cr}	Longitud del floculador (m).
L_f	Longitud de cada lateral (m).
L_L	Longitud de sedimentación (m).
L_s	Longitud de canales del floculador (m).
L_{Cf}	Longitud total mínima de pared en filtros (m).
L_{m_p}	Longitud relativa del sedimentador, (adimensional).
L_r	Longitud total de pared de filtros (m).
L_{t_p}	Longitud de transición en sedimentador, (adimensional).
L'	Cantidad de masa, (Kg).
m	Coefficiente de Manning, (adimensional).
n	Número de filtros, (unidad).
n_f	Número de laterales en filtros (unidad).
n_L	Número de laterales por lado en filtros (unidades).
n_{Lf}	Número total de orificios en filtros (unidad).
n_o	Dimensiones de la cancheta, (m).
N	Número de bandejas o unidades de aireación requerida (unidad).
N_b	Población al inicio del período (habitantes).
N_o	Número de placas en sedimentador (unidad).
N_p	Población futura, resultado de la proyección (habitantes).
N_t	Número de torres (unidad).
N_{torre}	Número de canales del floculador (unidad).
N_{Cf}	Número de perforaciones en las unidades de aireación (unidad).
N_p	Organización Mundial de la Salud.
OMS	Población en miles.
p	Pérdida de carga (m).
P_c	Perímetro mojado de las secciones del floculador (m).
P_m	Caudal (L/s).
Q	Caudal sobre cada bandeja (L/s).

Q_{bandejas}	Caudal de captación (L/s).
$Q_{\text{captación}}$	Caudal de dosificación de PAC (L/s).
Q_d	Caudal de diseño para cada filtro (L/s).
Q_i	Caudal que ingresa a cada orificio de filtros (m^3/s).
Q_o	Caudal de la Planta de Tratamiento (L/s).
$Q_{\text{tratamiento}}$	Caudal de diseño (L/s).
Q_d	Gasto medio diario (L/s).
Q_{med}	Caudal que ingresa a la torre (L/s).
Q_t	Gasto máximo diario (L/s).
Q_{Md}	Gasto máximo horario (L/s).
Q_{Mh}	Tasa crecimiento anual de crecimiento (%).
r	Radio medio hidráulico en floculador (m).
R	Número de Reynolds (adimensional).
Re	Separación entre bandejas (m).
s_b	Separación entre laterales de filtros (m).
s_{lf}	Separación entre orificios de filtros (m).
s_o	Separación entre placas (m).
s_p	Sumergencia máxima (m/m).
S	Parámetro característico para sedimentadores de placas, adimensional.
S_c	Número de años que se va a proyectar la población (años).
t	Tiempo de exposición en el área de aireación (s).
t_{eA}	Tiempo de retención en floculador(s).
t_{r_f}	Tiempo de retención en las placas del sedimentador(s).
t_{r_p}	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación(s).
t_{r_s}	Temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$).
T	Tasa de filtración, (m/d).
T_f	Total de usuarios servidos (usuario).
T_{US}	Carga Hidráulica ($\text{L}/\text{m}^2 \times \text{s}$).
TA	Velocidad del fluido en el floculador (m/s).
v_f	Velocidad de agua en el caudal de Parshall (m/s).
v_o	Velocidad en el orificio de filtros (m/s).

V_{of}	Carga superficial después de instalar las placas, (m/d).
v_{so}	Velocidad de agua a través de la tubería de salida, (m/s).
v_s	Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas sedimentador (m/s).
V_p	Volumen (L).
V	Volumen del sedimentador (m^3).
V_s	Volumen de agua consumida (L/día).
V_{TCM}	Volumen de emergencia (L).
V_e	Volumen para protección contra incendios (L).
V_i	Volumen de regulación (L).
V_r	Velocidad crítica de asentamiento de sedimentación de alta tasa (m/s).
V_{sc}	Volumen total (L).
V_t	Ancho de la garganta del medidor Parshall (m).
W	Altura del filtro, (m).
Z_f	

ÍNDICE DE TABLAS

		Pp.
Tabla 1-1.	Principales diferencias entre Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas.	8
Tabla 2-1.	Parámetros recomendados.....	23
Tabla 3-1.	Valores del coeficiente k_2	25
Tabla 4-1.	Parámetros de diseño para aireadores de bandeja.....	32
Tabla 5-1.	Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta agua.....	40
Tabla 6-1.	Determinación de W de la canaleta de Parshall en función del caudal ..	41
Tabla 7-1.	Valores de K y n según el tamaño de W.....	42
Tabla 8-1.	Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall.....	43
Tabla 9-1.	Parámetros de diseño de floculadores.....	52
Tabla 10-1.	Valores Típicos del Coeficiente de Rugosidad (coeficiente de Mannig)	56
Tabla 11-1.	Propiedades Físicas del Agua.....	57
Tabla 12-1.	Parámetros de Diseño de las Placas Planas de Asbesto - Cemento.....	59
Tabla 13-1.	Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares.....	59
Tabla 14-1.	Valores de Sc Típicos.....	62
Tabla 15-1.	Parámetros de diseño de filtros lentos de arena.....	67
Tabla 16-1.	Parámetros de diseño para drenajes por tuberías.....	70
Tabla 17-1.	Parámetros de diseños laterales.....	71
Tabla 18-1.	Velocidades de Diseño para tuberías del filtro.....	73
Tabla 19-1.	Compuestos desinfectantes utilizados para el tratamiento de aguas	74
Tabla 1-2.	Plan de muestreo.....	79
Tabla 2-2.	Toma de muestras.....	80
Tabla 3-2.	Parámetros de caracterización del agua potable.....	82
Tabla 4-2.	Equipos materiales y reactivos.....	83
Tabla 5-2.	Métodos de análisis.....	84
Tabla 6-2.	Resultados Análisis físico-químico y bacteriológico. Semana 1.	86
Tabla 7-2.	Resultados Análisis físico-químico y bacteriológico. Semana 2.	87

Tabla 8-2.	Resultados Análisis físico-químico y bacteriológico. Semana 3.	88
Tabla 9-2.	Prueba de Jarras efectuadas a las muestras.Turbiedad 38.65 NTU.....	90
Tabla 10-2.	Prueba de Jarras efectuadas a las muestras.Turbiedad 87.65 NTU.....	91
Tabla 11-2.	Prueba de Jarras efectuadas a las muestras. Turbiedad 98.47 NTU.....	91
Tabla 12-2.	Prueba de Jarras efectuadas a las muestras.Turbiedad 158.64 NTU.....	92
Tabla 13-2.	Prueba de Jarras efectuadas a las muestras.Turbiedad 165.83 NTU.....	92
Tabla 14-2.	Prueba de Jarras efectuadas a las muestras.Turbiedad 189.68 NTU.....	93
Tabla 1-3.	Resultados proyección futura (2034)	157
Tabla 2-3.	Resultados de la Torre de bandejas	158
Tabla 3-3.	Resultados del Vertedero Triangular.....	158
Tabla 4-3.	Resultados de dosificación de PAC a distintas concentraciones.....	159
Tabla 5-3.	Resultados para canaleta Parshall.....	159
Tabla 6-3.	Resultados Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal.....	160
Tabla 7-3.	Resultados Sedimentador de Alta Tasa (placas)	160
Tabla 8-3.	Resultados de Filtros Lentos en arena.....	161
Tabla 9-3.	Resultados de dosificación de Hipoclorito de Calcio.....	161
Tabla 10-3.	Resultados de Tanque de cloración	162
Tabla 11-3.	Resultados de Caracterización Físico-Químico y Microbiológicos del agua tratada	163
Tabla 12-3.	Presupuesto general de la Planta de Potabilización.....	165
Tabla 13-3.	Aforo de solución de PAC y costo diario.....	167
Tabla 14-3.	Inversión para el Tratamiento.....	167
Tabla 15-3.	Inversión de implementos	168
Tabla 16-3.	Porcentajes de Remoción del agua tratada	175

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pp.
Ecuación 1-1	21
Ecuación 2-1	22
Ecuación 3-1	23
Ecuación 4-1	24
Ecuación 5-1	24
Ecuación 6-1	25
Ecuación 7-1	25
Ecuación 8-1	26
Ecuación 9-1	26
Ecuación 10-1	27
Ecuación 11-1	28
Ecuación 12-1	28
Ecuación 13-1	29
Ecuación 14-1	31
Ecuación 15-1	32
Ecuación 16-1	32
Ecuación 17-1	33
Ecuación 18-1	33
Ecuación 19-1	33
Ecuación 20-1	34
Ecuación 21-1	35
Ecuación 22-1	35
Ecuación 23-1	36
Ecuación 24-1	36
Ecuación 25-1	36
Ecuación 26-1	37
Ecuación 27-1	37

Ecuación 28-1	.....	37
Ecuación 29-1	.....	38
Ecuación 30-1	.....	38
Ecuación 31-1	.....	38
Ecuación 32-1	.....	39
Ecuación 33-1	.....	39
Ecuación 34-1	.....	39
Ecuación 35-1	.....	40
Ecuación 36-1	.....	42
Ecuación 37-1	.....	42
Ecuación 38-1	.....	43
Ecuación 39-1	.....	44
Ecuación 40-1	.....	44
Ecuación 41-1	.....	44
Ecuación 42-1	.....	45
Ecuación 43-1	.....	45
Ecuación 44-1	.....	45
Ecuación 45-1	.....	46
Ecuación 46-1	.....	46
Ecuación 47-1	.....	46
Ecuación 48-1	.....	47
Ecuación 49-1	.....	47
Ecuación 50-1	.....	47
Ecuación 51-1	.....	48
Ecuación 52-1	.....	50
Ecuación 53-1	.....	52
Ecuación 54-1	.....	52
Ecuación 55-1	.....	53
Ecuación 56-1	.....	53
Ecuación 57-1	.....	53
Ecuación 58-1	.....	54

Ecuación 59-1	54
Ecuación 60-1	54
Ecuación 61-1	55
Ecuación 62-1	55
Ecuación 63-1	56
Ecuación 64-1	56
Ecuación 65-1	57
Ecuación 66-1	59
Ecuación 67-1	60
Ecuación 68-1	60
Ecuación 69-1	60
Ecuación 70-1	61
Ecuación 71-1	61
Ecuación 72-1	61
Ecuación 73-1	61
Ecuación 74-1	62
Ecuación 75-1	63
Ecuación 76-1	63
Ecuación 77-1	63
Ecuación 78-1	64
Ecuación 79-1	64
Ecuación 80-1	64
Ecuación 81-1	66
Ecuación 82-1	66
Ecuación 83-1	67
Ecuación 84-1	68
Ecuación 85-1	68
Ecuación 86-1	68
Ecuación 87-1	69
Ecuación 88-1	69
Ecuación 89-1	70

Ecuación 90-1	.....	70
Ecuación 91-1	.....	70
Ecuación 92-1	.....	71
Ecuación 93-1	.....	71
Ecuación 94-1	.....	72
Ecuación 95-1	.....	72
Ecuación 96-1	.....	73
Ecuación 97-1	.....	75
Ecuación 98-1	.....	75
Ecuación 99-1	.....	75
Ecuación 100-1	.....	76
Ecuación 101-1	.....	76
Ecuación 102-1	.....	76
Ecuación 103-1	.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pp.
Figura 1-1. Equipo de prueba de jarras de 4 puestos cuadrado.	18
Figura 2-1. Aireadores de Bandejas.....	31
Figura 3-1. Vertedero Triangular.....	35
Figura 4-1. Dimensiones de la canaleta Parshall.....	41
Figura 5-1. Floculador hidráulico de flujo horizontal.....	51
Figura 6-1. Sedimentador de alta tasa.....	58
Figura 7-1. Unidad de Filtración lenta en arena.....	66
Figura 8-1. Esquema de instalación.....	74
Figura 1-2. Tanque de Reserva.....	85

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pp.
Gráfica 1-3. Resultados promedio semanal de los parámetros problema (agua tratada)	163
Gráfica 2-3. Resultados de test de jarras con turbiedad 38,65 NTU	170
Gráfica 3-3. Resultados de test de jarras con turbiedad 87,65 NTU	171
Gráfica 4-3. Resultados de test de jarras con turbiedad 98,47 NTU	172
Gráfica 5-3. Resultados de test de jarras con turbiedad 158,64 NTU	172
Gráfica 6-3. Resultados de test de jarras con turbiedad 165,83 NTU	173
Gráfica 7-3. Resultados de prueba de jarras con turbiedad 189,68 NTU	174

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.	Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 108:2006.Segunda Revisión.
ANEXO B.	Métodos y técnicas utilizadas para el análisis físico-químico del agua
ANEXO C.	Métodos y técnicas utilizadas para el análisis microbiológico del agua
ANEXO D.	Proyección de la población futura para el diseño
ANEXO E.	Boletín Técnico PAC -08
ANEXO F.	Ficha Técnica Hipoclorito De Calcio
ANEXO G.	Dosificaciones DE HTH Y PAC
ANEXO H.	Resultados análisis físico-químico y bacteriológico de entrada del agua al tanque recolector sector santa fe (agua cruda)
ANEXO I.	Resultados (agua salida planta vs ensayos)
ANEXO J.	Recolección de muestras
ANEXO K.	Análisis físico – químicos y microbiológicos
ANEXO L.	Test de Jarras
ANEXO M.	Aireador de bandejas
ANEXO N.	Vertedero Triangular
ANEXO O.	Canaleta Parshall
ANEXO P.	Floculador hidráulico de flujo horizontal
ANEXO Q.	Sedimentador de tasa alta (placas)
ANEXO R.	Filtros lentos en arena
ANEXO S.	Tanque de cloración
ANEXO T.	Diseño de Planta de Tratamiento de agua Potable “Santa Fé”

TABLA DE CONTENIDO

	Pp.
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	
JUSTIFICACIÓN	
OBJETIVOS	
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO	
1.1. Agua	5
1.2. Agua potable	5
<i>1.2.1. Importancia</i>	5
<i>1.2.2. Calidad del agua potable</i>	6
<i>1.2.3. Fuente de abastecimiento</i>	7
<i>1.2.4. Principales diferencias entre aguas superficiales y subterráneas</i>	7
1.3. Agua subterránea	8
<i>1.3.1. Fuentes de agua subterránea</i>	9
<i>1.3.2. Caracterización del agua</i>	9
<i>1.3.2.1. Características Físicas</i>	9
<i>1.3.2.2. Características químicas</i>	11
<i>1.3.2.3. Características Microbiológicas</i>	14
1.4. Consideraciones para la elección de un tratamiento de potabilización	15
<i>1.4.1. Toma de muestra</i>	15
<i>1.4.1.1. Tipos de muestras</i>	15
<i>1.4.1.2. Envases para la toma de muestras</i>	16
<i>1.4.1.3. Precauciones para la toma de muestra</i>	16
<i>1.4.1.4. Conservación de muestras</i>	17
<i>1.4.2. Pruebas de tratabilidad</i>	17
<i>1.4.2.1. Ensayos de laboratorio</i>	18

1.5.	Parámetros de Diseño para una Planta de Tratamiento de Agua Potable	20
1.5.1.	Captación de agua subterránea	20
1.5.1.1.	Por conducción	20
1.5.1.2.	Por aducción	21
1.5.2.	Población futura para el diseño	21
1.5.2.1.	Cálculos de población futura para el diseño	21
1.5.3.	Dotación de agua para el diseño	22
1.5.3.1.	Cálculo de las dotaciones	22
1.5.4.	Caudal de diseño	23
1.5.4.1.	Cálculo de los gastos	24
1.5.4.2.	Cálculo los caudales de diseño	25
1.5.4.2.1.	Caudal de captación	25
1.5.5.	Volúmenes de reserva	26
1.5.5.1.	Cálculos de los volúmenes de reserva	27
1.6.	Diseño de una Planta convencional de Tratamiento de Agua Potable	29
1.6.1.	Aireación	30
1.6.1.1.	Aireador de bandejas	30
1.6.2.	Medición de caudales	34
1.6.2.1.	Vertederos Calibrados	34
1.6.2.2.	Canaleta Parshall	40
1.6.3.	Coagulación	48
1.6.3.1.	Reactivos	48
1.6.3.2.	Cálculo de diseño para la correspondiente dosificación del coagulante	50
1.6.4.	Floculación	50
1.6.4.1.	Floculadores hidráulicos de flujo horizontal	51
1.6.5.	Sedimentación	58
1.6.5.2.	Sedimentador de alta tasa	58
1.6.6.	Filtración	65
1.6.6.1.	Filtración lenta en arena (FLA)	65
1.6.7.	Desinfección	73
1.6.7.1.	Desinfección del agua para consumo humano	74
1.6.7.2.	Cálculo de dosificación para HTH	75

1.6.7.3.	<i>Cálculos para el diseño del tanque contacto para mezcla de cloro</i>	76
----------	---	----

CAPITULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1.	Muestreo	78
2.1.1.	<i>Localización de la investigación</i>	78
2.1.2.	<i>Método de recopilación de la información</i>	78
2.1.3.	<i>Procedimiento para la recolección de información</i>	79
2.1.4.	<i>Recolección de muestras</i>	79
2.1.5.	<i>Plan de tabulación y análisis</i>	81
2.2.	Metodología	81
2.2.1.	<i>Metodología de trabajo</i>	81
2.2.2.	<i>Tratamiento de muestras</i>	81
2.2.3.	<i>Equipos materiales y reactivos</i>	83
2.2.4.	<i>Métodos y técnicas</i>	83
2.2.4.1.	<i>Métodos</i>	83
2.2.4.2.	<i>Técnicas</i>	84
2.3.	Datos experimentales	84
2.3.1.	<i>Descripción del sistema existente en el sector</i>	84
2.3.2.	<i>Datos</i>	85
2.3.2.1.	<i>Caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda</i>	85
2.3.2.2.	<i>Prueba de jarras para la turbiedad</i>	90
2.3.2.3.	<i>Caracterización físico-química y microbiológica del agua después de realizar las pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio</i>	93

CAPITULO III

3. CÁLCULOS DE DISEÑO

3.1.	Cálculo población futura para el diseño	94
3.2.	Cálculo de las dotaciones	95
3.2.1.	<i>Cálculo de dotación básica</i>	95
3.2.2.	<i>Dotación media futura</i>	96
3.3.	Cálculos de los gastos	96
3.3.1.	<i>Gasto medio diario (Qmed)</i>	97

3.3.2.	<i>Gasto máximo diario (QMd)</i>	97
3.3.3.	<i>Gasto máximo horario (QMh)</i>	98
3.4.	Cálculos para Caudal de Diseño	98
3.4.1.	<i>Caudal de captación</i>	99
3.4.2.	<i>Caudal de la planta de tratamiento</i>	99
3.5.	Volúmenes de reserva	100
3.5.1.	<i>Volumen de regulación</i>	100
3.5.2.	<i>Volumen total</i>	101
3.6.	Consideraciones del diseño del proceso de potabilización	101
3.6.1.	<i>Diseño de la torre de aireación (bandejas)</i>	102
3.6.1.1.	<i>Área total del aireador</i>	102
3.6.1.2.	<i>Altura total de torre</i>	102
3.6.1.3.	<i>Dimensionamiento de cada bandeja</i>	103
3.6.1.4.	<i>Número de Torres</i>	104
3.6.1.5.	<i>Tiempo de exposición</i>	105
3.6.1.6.	<i>Cálculo del caudal sobre cada bandeja</i>	105
3.6.1.7.	<i>Determinación del número de perforaciones</i>	106
3.6.2.	<i>Diseño de un vertero triangular</i>	107
3.6.2.1.	<i>Altura del vertedero</i>	107
3.6.2.2.	<i>Ancho de la lámina vertiente y ancho del canal</i>	108
3.6.2.3.	<i>Caudal promedio unitario</i>	108
3.6.2.4.	<i>Altura critica</i>	109
3.6.2.5.	<i>Altura del agua al inicio del resalto</i>	109
3.6.2.6.	<i>Velocidad al inicio del resalto</i>	110
3.6.2.7.	<i>Número de Froude</i>	110
3.6.2.8.	<i>Altura del agua después del resalto</i>	111
3.6.2.9.	<i>Velocidad al final del resalto</i>	111
3.6.2.10.	<i>Energía disipada en el resalto</i>	112
3.6.2.11.	<i>Longitud del resalto</i>	112
3.6.2.12.	<i>Distancia del vertedero a la sección 1</i>	113
3.6.2.13.	<i>Velocidad promedio en el resalto</i>	113

3.6.2.14.	<i>Tiempo de mezcla</i>	114
3.6.2.15.	<i>Gradiente de velocidad</i>	114
3.6.3.	<i>Coagulación</i>	115
3.6.3.1.	<i>Cálculo de dosificación de PAC</i>	115
3.6.3.2.	<i>Diseño de canaleta Parshall</i>	118
3.6.4.	<i>Diseño de floculador hidráulico de flujo horizontal</i>	127
3.6.4.1.	<i>Longitud de canales</i>	128
3.6.4.2.	<i>Área de los canales del floculador</i>	128
3.6.4.3.	<i>Ancho de canales de floculación</i>	129
3.6.4.4.	<i>Ancho de vueltas de floculación</i>	129
3.6.4.5.	<i>Ancho del floculador</i>	130
3.6.4.6.	<i>Número de canales</i>	130
3.6.4.7.	<i>Longitud del floculador</i>	131
3.6.4.8.	<i>Pérdida de carga en las vueltas</i>	131
3.6.4.9.	<i>Perímetro mojado de las secciones</i>	132
3.6.4.10.	<i>Pérdida de la carga en los canales</i>	132
3.6.4.11.	<i>Radio medio hidráulico</i>	133
3.6.4.12.	<i>Pérdida de carga total</i>	133
3.6.4.13.	<i>Gradiente de velocidad</i>	134
3.6.5.	<i>Diseño del sedimentador de alta tasa (placas)</i>	134
3.6.5.1.	<i>Carga superficial o tasa de sedimentación superficial después de instalar las placas</i>	135
3.6.5.2.	<i>Área de sedimentación</i>	135
3.6.5.3.	<i>Longitud de sedimentación</i>	136
3.6.5.4.	<i>Longitud relativa del sedimentador de alta tasa</i>	136
3.6.5.5.	<i>Número de Reynolds</i>	137
3.6.5.6.	<i>Longitud de transición</i>	138
3.6.5.7.	<i>Longitud relativa corregida</i>	138
3.6.5.8.	<i>Velocidad de sedimentación crítica</i>	138
3.6.5.9.	<i>Tiempo de retención en las placas</i>	139
3.6.5.10.	<i>Tiempo de retención en el tanque de sedimentación</i>	140

3.6.5.11.	<i>Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas</i>	140
3.6.5.12.	<i>Número de placas por módulo</i>	141
3.6.5.13.	<i>Volumen del sedimentador</i>	142
3.6.6.	<i>Diseño de filtros lentos en arena</i>	142
3.6.6.1.	<i>Área de filtración</i>	142
3.6.6.2.	<i>Determinación del número de módulos de filtración</i>	143
3.6.6.3.	<i>Determinación del área de cada unidad</i>	143
3.6.6.4.	<i>Determinación de las dimensiones del filtro</i>	144
3.6.6.5.	<i>Diámetro de tubería de entrada al filtro</i>	146
3.6.6.6.	<i>Sistema de drenaje</i>	146
3.6.7.	<i>Diseño para el proceso de desinfección</i>	151
3.6.7.1.	<i>Cálculo de dosificación del cloro</i>	151
3.6.7.2.	<i>Dimensionamiento tanque de cloración</i>	155
3.6.7.3.	<i>Dimensionamiento del Hipoclorador</i>	156
3.7.	Resultados del dimensionamiento de los procesos de Potabilización	157
3.7.1.	<i>Proyección futura</i>	157
3.7.2.	<i>Torre de Aireación</i>	158
3.7.3.	<i>Vertedero Triangular</i>	158
3.7.4.	<i>Dosificación de Coagulante PAC</i>	158
3.7.5.	<i>Canaleta Parshall</i>	159
3.7.6.	<i>Floculador hidráulico de flujo horizontal</i>	160
3.7.7.	<i>Sedimentador de Alta Tasa (placas)</i>	160
3.7.8.	<i>Filtros Lentos en Arena</i>	161
3.7.9.	<i>Dosificación</i>	161
3.7.10.	<i>Resultados de Caracterización Físico-Químico y Microbiológicos del tratada agua</i>	162
3.8.	Requerimiento presupuestario	165
3.8.1.	<i>Presupuesto General de la Planta de Potabilización</i>	165
3.8.2.	<i>Costo de PAC al día</i>	167
3.8.3.	<i>Inversión de la empresa</i>	167
3.9.	Propuesta	168

3.10. Análisis y Discusión de resultados	169
CONCLUSIONES	176
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

RESUMEN

Se Diseñó una Planta de Tratamiento de Agua Potable para la Parroquia de Santa Fé perteneciente al Cantón Guaranda, Provincia de Bolívar con la finalidad de suministrar agua de calidad para la población de este sector.

Para el respectivo desarrollo de esta investigación se recogieron muestras de agua durante tres semanas consecutivas de la vertiente llamada Illangama, consumida por los habitantes de esta Parroquia, con el propósito de realizar la caracterización físico- químico y microbiológico en el laboratorio de la Planta de Potabilización “Chaquisheca” de la ciudad de Guaranda, aplicando los Métodos estandarizados para el agua potable y residual y el Manual de Análisis de Agua, teniendo como resultados 6 parámetros que están fuera de los límites permisibles dados por la Norma Técnica Ecuatoriana correspondiente como son: turbiedad, color, Hierro, Manganeso, Coliformes Fecales y Totales, mediante la realización ensayos de tratabilidad en el Test de Jarras se determinó la aplicación de Ploicloruro de Aluminio e Hipoclorito de Calcio como tratamiento ideal para solucionar los inconvenientes presentados en el líquido vital consumido.

Mediante los resultados obtenidos se estableció que el diseño de la planta de potabilización constar de: una torre de aireación, un vertedero triangular, una caneleta de Parshall, un floculador de flujo horizontal, un sedimentador de tasa alta, dos filtros lento de arena, un tanque de cloración y un tanque de almacenamiento. Será beneficioso para 4 598 habitantes proyectados para 20 años para un caudal de 15L/s.

Con la realización de este diseño se obtendrá un porcentaje de remoción de: 97,14 % color; 99,59% turbiedad; 92,16 % Hierro; 96,65 % Manganeso; 100% Coliformes Fecales y Totales.

Se recomienda a la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Guaranda aplicar este tratamiento de potabilización porque cambiará la calidad de vida de la población de la Parroquia por su alta efectividad.

ABSTRACT

A Drinking Water Treatment Plant was designed in Santa Fé Parish from Guaranda Canton, province of Bolivar in order to supply quality water to the population living in this sector. For the research development water samples were collected for three consecutive weeks from the fountain called Illangama, consumed by residents of this Parish, with the purpose to carry out the physical-chemical and microbiological characterization in the “Chaquishca” water treatment plant laboratory from Guaranda city, applying standardized methods for drinking water and waste water and the Water Analysis Guidebook, resulting 6 parameters which are out of the permissible limits given by Ecuadorian Technical Standard such as: turbidity, color, Iron, Manganese, Total and Fecal Coliforms, through treatability test in the Jar test determining the application of Aluminum Polychloride and Calcium Hypochlorite as an adequate treatment to solve inconveniences presented in the vital liquid consumed. From the results obtained were established that the design of the Water Treatment Plant should have: A tower of ventilation, triangular dump, and Arkon parshall flumes, a horizontal flow flocculators, one secondary sedimentation tank, two slow sand filters, one chlorination tank and one storage tank that will be beneficial for 4 598 residents a 20-year project with a flow of 15 L/s. With the implementation of the Drinking Water Treatment Plant design will get a removal percentage of: color 97,14%; turbidity 99,59%; Iron 92,16%; Manganese 96,65%; Total and Fecal Coliforms 100%. It is recommended to the Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado from Guaranda city to implement this Water Treatment Plant because will change the quality of life of the population in the Parish for its high effectiveness.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de agua potable es importante para toda la población perteneciente a la Parroquia de Santa Fé, ya que es importante tanto para el uso personal como doméstico por esto debe ser saludable; es decir, libre de microorganismos, y sustancias químicas que constituyan una amenaza para la salud humana. Las medidas de seguridad del agua potable vienen normalmente definidas por estándares de calidad del agua.

En la presente investigación se presenta información sobre el estudio realizado para el diseño de una planta de potabilización a partir de aguas subterráneas para la población de Santa Fé Parroquia Rural, perteneciente al Cantón Guaranda de la Provincia de Bolívar para satisfacer las necesidades que presentara la población dentro de un periodo futuro de 20 años. El proceso de tratamiento conlleva cinco etapas importantes: aireación, sedimentación, floculación, filtración y desinfección. El agua que atravesara la serie de procesos presentara condiciones aptas para el consumo humano, cumpliendo así los requisitos exigidos por la Norma NTE INEN 1108:2006.Segunda Revisión, Agua Potable Requisitos, la cual es utilizada en el presente estudio por el motivo de ser una norma obligatoria y además en ella se consideran más parámetros para la calidad del agua con sus respectivos límites permisibles.

El presente trabajo de tesis aporta información importante para las autoridades de turno, en cuyo servicio está el beneficio de la población del sector, que es la de tener agua de excelente calidad y cantidad.

ANTECEDENTES

La Parroquia Santa Fé, fue creada el 23 de abril de 1884, al igual que la Provincia Bolívar, siendo sus fundadores el Dr. Ángel Polivio Chávez y Gabriel Ignacio Veintimilla, cuando eran senadores del Congreso Nacional, según consta anotado en el Decreto

Legislativo del 17 de abril de 1884, y ejecutado el 23 de abril del mismo año. Oficio Ministerial del Gobernador de la Provincia Bolívar, remitiendo una copia de la solicitud a los vecinos de Santa Fé. La Parroquia Rural perteneciente al Cantón Guaranda de la Provincia de Bolívar, posee una superficie de 26 Km², se encuentra localizada al suroeste del Cantón Guaranda, sus límites son los siguientes: al norte La Parroquia de Julio Moreno; al sur el Río Chimbo; al este la Ciudad de Guaranda y Río Salinas; al oeste el Parte del Cantón Chimbo, es la más pequeña de todas las Parroquias Rurales del Cantón, cuenta con una población aproximada de 3125 habitantes, está integrada por 9 comunidades, como son: San Rafael del Tuso, Verdepamba, Pianda, Shunguna, Chagcha, Illapa, Las Palmas, San Vicente de las tres cruces, Curgua; la Cabecera Parroquial se encuentra a 5 km de Guaranda. Se encuentra a una altitud de 2670 m.s.n.m y su economía gira alrededor de la agricultura, sus productos son comercializados en Guaranda.

La problemática que surge en la Parroquia de Santa Fé, es que no cuenta con una planta de tratamiento de agua potable la misma que es necesario para un mejor vivir. En la actualidad los moradores de esta Parroquia únicamente disponen de agua entubada la cual, es recolectada desde una vertiente llamada Illangama, donde es almacenada en reservorios sin el mayor cuidado técnico e higiénico para ser distribuida mediante tuberías de PVC para toda la población de este sector. En cuanto a las condiciones de calidad del agua que se tiene en la actualidad, fueron comparados con límites máximos permisibles de la Norma NTE INEN 1108:2006. Segunda Revisión, Agua Potable Requisitos, se presenta en la muestra de agua analizada concentraciones mayores a los límites permisibles en los siguientes parámetros: turbiedad, Hierro, Manganeso, color, Coliformes Fecales y Totales.

Pero gracias a la nueva tecnología que se tiene en la actualidad se tiene la oportunidad de diseñar una planta de potabilización para mejorar la calidad del producto, utilizando un sistema de tratamiento con operaciones unitarias nada complejas y especialmente factibles económicamente hablando, así optimizando el estilo de vida de la población existente en este sector en un futuro.

JUSTIFICACIÓN

La Parroquia de Santa Fé no cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Potable, lo que ha provocado inconvenientes a los habitantes del sector con relación a su salud, presentándose así enfermedades de origen hídrico que han afectado principalmente a los niños/as, además conociendo que el agua es el recurso natural renovable más trascendental para el sostenimiento de la vida humana, se ha visto degradado y amenazado por las situaciones climáticas y por falta del cuidado humano.

La E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Guaranda viendo la necesidad de ofrecer a la población de la Parroquia Rural Santa Fé del Cantón Guaranda de la Provincia de Bolívar un suministro de agua potable que posea los parámetros adecuados para su consumo, la empresa solicita se desarrolle el presente estudio, cuyo objetivo principal es el Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Potable que cuente con todas las etapas necesarias para lograr el fin propuesto, de tal manera que el agua reciba un tratamiento adecuado previa a su respectiva distribución, la cual, es necesario para proteger la salud de los moradores de este sector.

El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda se ha interesado en diseñar una Planta de Tratamiento de Agua Potable para la Parroquia de Santa Fé, con el fin de mejorar el nivel de vida y minimizar los problemas que se han producido a causa de la ausencia de este previo tratamiento.

La realización de este proyecto beneficiara a toda la parroquia, por esta razón se aplicaran todos los conocimientos adquiridos en la carrera para lograr la solución de un problema que aqueja a la población de este sector.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar una Planta de Tratamiento de Agua Potable para la Parroquia de Santa Fé, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar.

ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización físico-química y microbiológica del agua que abastece a toda la parroquia y comparar con los parámetros de calidad del agua determinados en la NORMA INEN 1108: 2006.
- Determinar los parámetros de calidad de agua más adecuados, planteando alternativas de viabilidad técnicas en base a la caracterización realizada.
- Identificar las variables de proceso que se requieren para el diseño de una planta de potabilización.
- Diseñar la planta de tratamiento de agua con procesos y operaciones, en base a parámetros identificados en la caracterización.
- Validar el diseño de la planta de tratamiento de agua a través de las pruebas de tratabilidad elaborando el plano del proceso de potabilización.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agua

El agua es líquida, inodora, insípida, en pequeñas cantidades incolora y verdosa o azulada en grandes masas. El agua es considerada como uno de los recursos más primordiales para el desarrollo de la vida.

1.2. Agua potable

Es el agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas con la finalidad de garantizar que son aptas para el consumo humano, según ciertos estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales, que no afecta a la salud del ser humano, no ocasiona daño a las tuberías y otros materiales. El agua es uno de los recursos más valiosos que dispone la vida en nuestro planeta, además es adecuada para todos los usos domésticos frecuentes, incluida la higiene personal, así como para beber y cocinar.

1.2.1. *Importancia*

El agua potable es primordial para la vida y es el líquido más importante del medio sin el cual no podríamos vivir, por eso es trascendental conservar limpia el agua potable y detener la contaminación. El agua es un recurso renovable, pero muchos de los depósitos subterráneos que sirven para distribuir a la población se encuentran contaminados, que cuestan mucho trabajo y dinero remover las impurezas del líquido; por este motivo el compromiso de cada persona es cuidar el agua y no desperdiciarla. El agua que servirá como suministro para la población deberá tener calidad potable, es decir que llene los

requisitos de la norma NTE INEN 1108:2006. Segunda Revisión. Requisitos para Agua Potable.

1.2.2. Calidad del agua potable

La calidad del agua potable es importante, el cual cumple con los parámetros físico-químicos y biológicos de la norma NTE INEN 1108:2006. Segunda Revisión, dando como resultado un agua exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los usuarios y está libre de sustancias que transmitan sensaciones sensoriales desagradables para el consumo, como el color, el olor, el sabor o turbiedad. Entre los factores que determinan la calidad del agua están:

a. Factores físicos.

Pueden ser detectadas por medio de los sentidos, que tienen relación con las condiciones estéticas del agua, las características físicas del agua son: los sólidos en suspensión, la turbidez, el color, la temperatura, sabor, olor.

b. Factores químicos.

Tanto las actividades industriales como agrícolas que generan contaminación al agua cuando hay presencia metales pesados tóxicos para los humanos que son arrastrados hacia las aguas tales como: plomo, cromo, nitratos y nitritos.

c. Factores biológicos.

Existen diversos organismos que contaminan el agua, los coliformes representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica, sin embargo, son buenos indicadores microbianos de la calidad de agua.

1.2.3. Fuente de abastecimiento

Se conocen tres tipos de fuentes de abastecimiento:

a. Aguas meteóricas.

Pueden encontrarse en estado de vapor o como líquido suspendido que se encuentran en las nubes, donde luego el agua puede llegar a la superficie de la tierra en forma de granizo, lluvia o nieve. Es usualmente pura, se caracteriza por su escasez de sales minerales, es blanda, saturada de oxígeno, con alto contenido de dióxido de carbono y por lo tanto corrosiva.

b. Aguas superficiales.

Se almacenan sobre la superficie terrestre tales como: ríos, lagos, mares. Al fluir por la superficie estas corrientes naturales están expuestas a contaminaciones provocadas por el hombre y sus actividades convirtiéndolas en muchos casos en nocivas o inadecuadas para la salud.

c. Aguas subterráneas.

Son las que penetran por las porosidades del suelo mediante el proceso denominado infiltración.

1.2.4. Principales diferencias entre aguas superficiales y subterráneas

En el presente cuadro se muestran las principales diferencias que existen entre aguas superficiales y subterráneas.

Tabla 1-1. Principales diferencias entre Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas

CARACTERÍSTICAS EXAMINADAS	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS SUBTERRÁNEAS
Temperatura	Variables según la época del año	Relativamente constante.
Turbiedad (materia en suspensión)	Variable, a veces elevada	Baja o nula.
Mineralización	Variable en función de los terrenos, precipitación, vertidos, etc.	Sensiblemente constante, generalmente mayor que en la superficie de las misma región.
Hierro y Manganeseo divalentes en estado disuelto	Generalmente ausentes, salvo en el fondo de cuerpos de agua en estado de eutroficación.	Generalmente presentes.
Dióxido de carbono	Generalmente ausentes.	Normalmente presentes en gran cantidad.
Amonio	Presente solo en aguas contaminadas.	Presencia frecuente, sin ser un índice sistemático de contaminación.
Ácido Sulfhídrico	Ausente.	Normalmente presente.
Sílice	Contenido moderado.	Contenido normalmente elevado
Nitratos	Poco abundante en general.	Contenido a veces elevado, riesgo de metahemoglobinemia.
Microorganismos	Bacterias (algunas patógenas), virus, placnton.	Fuentes ferrobacterias.

Fuente: DEGREMONT, G. 1979. Manual técnico del Agua.
Realizado por Gisela Vergara.

1.3. Agua subterránea

En la actualidad se conoce que es el agua que se infiltra en el suelo formando grandes depósitos o almacenamientos, que muchas veces son la única fuente de líquido vital para una población. A veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías, en algunos lugares regresan a la superficie, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales y otras hay que ir a recogerlas a distintas profundidades excavando pozos. Afortunadamente, por lo general, estas fuentes no están contaminadas, sin embargo presentan un alto contenido de minerales principalmente hierro y manganeso que son necesarios remover. Se distinguen dos tipos de esta agua:

- **Agua freática:** Es aquella que está contenida en el subsuelo, procedente del agua superficial infiltrada.

- **Agua artesiana:** Es el agua que está contenida entre dos capas impermeables, no se mueve libremente, está confinada y tiene una presión diferente a la atmosférica. ¹
(BRITO, Nancy. 2007. pp. 5,6.)

1.3.1. Fuentes de agua subterránea

Las fuentes de agua subterránea de las que podríamos abastecernos son las siguientes:

a. Acuíferos.

Son aquellas formaciones físicas en donde se encuentra agua y son filtrables permitiendo así el almacenamiento del líquido en espacios subterráneos. El agua de los acuíferos no está normalmente a disposición simple del hombre ya que se encuentra bajo tierra y para que pueda aprovechar este tipo de agua debe realizar excavaciones y pozos.

b. Manantiales.

Un manantial es un flujo natural de agua que surge del interior de la tierra desde un solo punto. Los manantiales tienen su origen en el agua de lluvia que se filtra o tener un origen ígneo, dando lugar a manantiales de agua caliente.

1.3.2. Caracterización del agua

La caracterización del agua ayuda a conocer los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para determinar su calidad y elegir que tratamientos se deben llevar a cabo para obtener un agua apta para el consumo humano.

1.3.2.1. Características Físicas

El agua subterránea es clara, incolora, con poca o ninguna sustancia en suspensión y tiene una temperatura relativamente constante. El agua subterránea como consecuencia de su

composición química y de acciones naturales presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas como: color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, etc.

- **Turbiedad**

La turbiedad en el agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían de tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros.² (BRITO, Nancy. 2007. pp. 19.)

- **Color**

Torna sobre el aspecto estético del agua, quitándole transparencia, las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución.

- **Potencial de Hidrogeno**

Determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente.

- **Temperatura**

La temperatura del agua subterránea, en un punto y momento determinado, representa un estado de equilibrio entre los aportes y las extracciones caloríficas en ese punto, por lo general poseen temperaturas muy poco variable.³ (RIGOLA, M. 1990. pp.19,20.)

- **Conductividad**

Como consecuencia de su contenido iónico el agua se hace conductora de la electricidad a medida que la concentración iónica aumenta, aumenta también conductividad.

- **Alcalinidad**

La alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos, esta capacidad debe definirse para ciertos rangos de pH, en la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente por los iones carbonato y bicarbonato aunque.

- **Dureza**

La dureza de un agua mide la capacidad de ésta para consumir jabón o producir incrustaciones, aunque en la reacción con jabón para producir compuestos insolubles puede intervenir Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Na, Zn, etc. Actualmente la dureza se define en términos de contenido en Ca y Mg (dureza total).

- **Sólidos Totales**

Son la suma de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión. Los sólidos disueltos o salinidad total es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. En cambio los sólidos en suspensión es una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser detenidos en un filtro.

1.3.2.2. Características químicas

Se define a partir de los análisis de muestras recogidas apropiadamente y se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado. Los factores que condicionan la composición del agua subterránea natural son múltiples, entre ellos cabe citar: naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, superficie y duración del contacto, temperatura, presión. A pesar de la gran variabilidad de los elementos presentes en el agua subterránea y de sus concentraciones, estos han sido clasificados por su frecuencia de aparición y valor de concentración decrecientes.

- **Cloruros**

Cuando su concentración es superior proporciona sabor desagradable al agua, además corroe los metales en el sistema de distribución, especialmente el agua de escasa alcalinidad y el tratamiento no elimina el cloruro existente en el agua.

- **Nitratos**

La presencia de nitratos cada vez es más frecuente en las aguas, debido a su uso industrial y agrícola. Su importancia, desde el punto de vista sanitario, radica en los grandes perjuicios que pueden provocar a la salud humana, por lo que su eliminación es muy importante.

- **Nitrito**

Son altamente tóxicos, su presencia en el agua tiene que ser nula o insignificante. Cuando se presente cabe pensar en una contaminación biológica cercana, además está en estudio sus propiedades altamente cancerígenas.

- **Nitrógeno Amoniacal**

La presencia de grandes cantidades indica una contaminación reciente por materia orgánica en descomposición, siendo viable una contaminación bacteriológica. El amoniaco favorece la proliferación de ciertas bacterias que otorga olores desagradables.

- **Hierro Total**

Es un elemento esencial para el metabolismo de animales y plantas, en aguas subterráneas suele encontrarse en forma de Fe^+ , contenido en oxígeno y dependiendo a menudo del contenido del agua en otros elementos (carbonatos, bicarbonato, sulfatos). ⁴ (TEBBUTT, T. 1990. pp.222-223.)

- **Manganeso**

En cantidades apreciables produce sabor desagradable en el agua lo que evita a menudo su ingestión en grandes dosis, que podría afectar al sistema nervioso central. Su concentración en el agua subterránea es debida a la disolución de dolomías y numerosos silicatos.

- **Sulfato**

Las aguas naturales no contienen generalmente altas concentraciones de sulfatos, pero cuando se hallan en cantidad apreciable, tienen efectos sobre el sabor.

- **Fluoruros**

Pueden proceder de algunos minerales que son típicos de rocas magmáticas, las concentraciones mayores a los 1,5 mg/d pueden provocar enfermedades dentales.

- **Cadmio**

Es potencialmente tóxico y su digestión tiene efectos acumulativos en el tejido del hígado y los riñones.

- **Cromo total**

El cromo está ampliamente distribuido en la corteza terrestre, en general los alimentos parecen ser la principal fuente de ingesta de este elemento. El cromo es un elemento esencial para mantener la salud del cuerpo pero a las altas concentraciones puede ser tóxico.

- **Bario**

El bario presente en el agua proviene principalmente de fuentes naturales. Los alimentos son la fuente principal de consumo para la población que no está expuesta por motivos

laborales, aunque si la concentración de bario del agua es elevada, el agua de consumo puede contribuir significativamente a la ingesta total.

- **Cobre**

Este elemento puede encontrarse en forma natural en las aguas pero raramente en concentraciones superiores a 1 mg/l. Su presencia en el agua es conveniente para el metabolismo humano y ocasionalmente es usado para controlar la proliferación de algas. Sin embargo produce sabor desagradable, color al agua, favorece la corrosión de tuberías, conexiones y utensilios de Aluminio - Zinc y puede originar problemas de sabor.

- **Aluminio**

A pesar de que el aluminio no existe naturalmente en forma elemental, es una de los metales más abundantes en la superficie terrestre y en el agua. Es un elemento de uso muy común en la industria y en las casas, sirve como antiácido, analgésico, antitranspirante, aditivo de alimentos, y en las vacunas. Los compuestos del aluminio son también comúnmente utilizados para la potabilización del agua.

1.3.2.3. Características Microbiológicas

En condiciones naturales las aguas subterráneas contienen muy pocos microorganismos, debido a la escasez de nutrientes, al escaso o nulo aporte energético y al filtrado que sufre el agua al atravesar los materiales del acuífero. Para asegurar la calidad sanitaria del agua se evalúan los microorganismos principales que son utilizados como indicadores de contaminación para la obtención de un agua potable aceptable, los cuales son:

- **Coliformes totales**

Generalmente se refiere a los géneros *Escherichia*, puede existir como saprófitos de vida libre asociados con otros microorganismos de origen intestinal.

- **Coliformes fecales**

Ellos se distinguen de los Coliformes totales porque tienen la habilidad de fermentar la lactosa (son básicamente *Escherichia* y *Klebsiella* spp) a temperaturas más elevadas de 35 grados centígrados, ha sido seleccionada como óptima para Coliformes fecales. Todos los conteos de Coliformes totales pueden incluir los Coliformes fecales.

1.4. Consideraciones para la elección de un tratamiento de potabilización

Se necesita tener una información adecuada para elegir el tipo de tratamiento con el que se trabajará para este proyecto y esto depende de la calidad del agua de la fuente. A continuación se explicará los pasos para la elección del tratamiento de potabilización:

1.4.1. Toma de muestra

La toma de muestra de aguas es una operación delicada, que debe llevarse a cabo con el mayor cuidado, dado que condiciona los resultados analíticos y su interpretación. De una manera general, la muestra debe ser homogénea y representativa y no modificar las características físicoquímicas o biológicas del agua (gases disueltos, materias en suspensión, etc.).

1.4.1.1. Tipos de muestras

- **Muestras simples:** Son las que se toman en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual.
- **Muestras compuestas:** Son las obtenidas por mezcla y homogeneización de muestras simples recogidas en el mismo punto y en diferentes tiempos.
- **Muestras integradas:** Son las obtenidas por mezcla y homogeneización de muestras simples recogidas en puntos diferentes y simultáneamente.

- **Muestras para el laboratorio:** Son las muestras obtenidas por reducción de las muestras anteriores (simples, compuestas o integradas) para realizar el análisis de cada uno de los parámetros.

1.4.1.2. Envases para la toma de muestras.

Los recipientes en que se recogen las muestras deberán ser de vidrio borosilicatado o material plástico y tendrán que cumplir los siguientes requisitos:

- No desprender materia orgánica o elementos que puedan contaminar la muestra recogida.
- Que la adsorción ejercida por sus paredes sea mínima sobre cualquiera de los componentes presentes en la muestra de agua.
- Que el material constituyente del recipiente no reaccione con los componentes de la muestra.
- Deberán poderse cerrar y sellar herméticamente.

1.4.1.3. Precauciones para la toma de muestra

- Los envases de plástico no deben utilizarse para el análisis de gases disueltos, debido a su permeabilidad, ni para analizar compuestos orgánicos y algunos elementos minerales (por ejemplo fósforo) dada su capacidad de adsorber dichos compuestos.
- Los envases de vidrio no deben utilizarse para tomar las muestras en que se deben determinar elementos alcalinos, fluoruros.
- En el momento de la toma de muestra, los envases han de ser enjuagados varias veces con el agua a analizar y después llenados completamente sin dejar cámara de aire.

- Antes de tomar una muestra se debe purgar no solamente para eliminar el agua estancada sino que también para dar un lavado adicional que remueva cualquier sedimento u otra impureza que presente.

1.4.1.4. Conservación de muestras

- Una vez tomada la muestra, ésta sufre una serie de procesos que alteran sus características fisicoquímicas y biológicas, por lo que ciertos parámetros del agua requieren determinaciones "in situ" (por ejemplo, pH, temperatura, conductividad, etc.) o bien de forma inmediata en el laboratorio.
- Es necesario conservar las muestras a baja temperatura (4°C) tanto durante el transporte como en el laboratorio durante el tiempo que transcurra hasta la realización del análisis.
- La adición de ciertos compuestos químicos facilita la conservación de las muestras durante un cierto tiempo. No obstante, ciertos parámetros deben ser determinados dentro de las 24 horas siguientes.
- Cuando se trate con agua cuya composición varía frecuentemente deberán hacerse varias tomas que representen si es posible las características extremas.

1.4.2. Pruebas de tratabilidad

Para la selección de los procesos de tratamientos previos o paralelos al diseño de una planta, deben realizarse ensayos en el laboratorio siendo obligatorio entre estos, el Ensayo de Jarras; y posteriormente, si se justifica, realizar ensayos en planta piloto para determinar el tratamiento al que debe ser sometida el agua. La prueba de jarras es obligatoria para cualquier nivel de complejidad, no solamente para los estudios de tratabilidad en el proceso de diseño, sino también diariamente, durante la operación de la planta, y cada vez que se presenten cambios en la calidad del agua. Estos ensayos deben realizarse con todas las muestras tomadas por lo menos un ciclo hidrológico anual, con el fin de analizar todas las

posibles calidades de agua cruda que se puedan presentar; es decir, cambios en la turbiedad, color o demanda de cloro, temperatura, pH, alcalinidad, contenido de algas, hierro y manganeso, cambios en el sabor y olor, entre otros.

1.4.2.1. *Ensayos de laboratorio*

1.4.2.1.1. *Prueba de jarras*

La prueba de jarras es la técnica más extensamente usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros para la potabilización del agua. En ella se tratan de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes se debe utilizar una serie de jarras al mismo tiempo y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (r.p.m). En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos, entre éstos tenemos: pH, temperatura, concentración de coagulante, secuencia de aplicación de las sustancias químicas, grado de agitación y tiempo de sedimentación

Figura 1-1. Equipo de prueba de jarras de 4 puestos cuadrado.



Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EMAPA-G. 2014.

1.4.2.1.2. *Procedimiento para llevar una prueba de jarras*

- Las soluciones químicas deben ser recién preparadas. Mientras algunas soluciones químicas se benefician con el tiempo, la mayoría se deterioran.

- Las muestras para las pruebas deben ser lo más representativa del sistema y en cantidad suficiente para una serie de pruebas completas. En las muestras viejas la turbidez del agua usualmente coagula más fácilmente que en las muestras frescas, debido a la inestabilidad de la suspensión coloidal; por lo que no se recomienda correr pruebas de jarras con más de dos horas de captadas.
- La adición de químicos debe realizarse en el mismo orden en que son añadidos en planta. A las jarras se añaden normalmente coagulantes, floculantes y/o ajustadores de pH. Algunas plantas usan el cloro para la desinfección, oxidando la materia orgánica y eliminando parte del color.
- Se debe tener cuidado de no demorar la adición de los químicos si se necesita una adición simultánea de los mismos, ya que se estarían alternando las condiciones de la prueba.

1.4.2.1.3. Criterio para la evaluación

Para evaluar los resultados de una prueba de jarras no se siguen criterios convencionales o patrones universales y casi se trata de un criterio particular del analista, fabricante del equipo, operario de la planta de acuerdo a su larga experiencia, pero bajo la convicción que le da la certeza de trabajar en las mismas condiciones experimentales y bajo los mismos criterios analíticos.

No obstante, en la práctica se observan ciertos lineamientos a seguir para evaluar una prueba de jarra, como son:

- **Características de los flóculos.**

Tamaño, uniformidad, velocidad de aparición, voluminosos, de poco peso, si son densos, livianos y difusos, apenas puntos o microflóculos.

- **Calidad del sobrenadante.**

La claridad o transparencia, es el criterio más importante en la evaluación de una prueba de jarras, ya que es lo que se persigue en la clarificación del agua. Para ello se mide la turbiedad final del agua. Se debe observar si el sobrenadante es totalmente transparente, semiturbio, turbio, con apreciable cantidad de material suspendido (TSS).

1.5. Parámetros de Diseño para una Planta de Tratamiento de Agua Potable

1.5.1. Captación de agua subterránea

Una captación de agua subterránea, es la estructura civil que permita captar agua desde un cuerpo o corriente subterránea de forma continua, segura y sin disminución de las condiciones hidrológicas, geológicas y ecológicas en los alrededores o aguas abajo.

1.5.1.1. Por conducción

Son las tuberías que conducen el agua desde las fuentes de abastecimiento hasta la planta de tratamiento y desde ésta a los depósitos de regularización del régimen de consumo. La estructura deberá tener capacidad para conducir como mínimo, el caudal máximo, los tipos de conducción más comunes son:

- **Por conducción a gravedad:** donde la propia energía potencial del agua se encarga del transporte.
- **Conducción por bombeo:** si el lugar de captación se encuentra a mayor altura que la estación de tratamiento.

1.5.1.2. Por aducción

Se realiza por medio de tuberías o por canales que transporta el agua desde la captación hasta la planta de potabilización.

1.5.2. Población futura para el diseño

Para la determinación de la población futura que se tendrá, se va adoptar el criterio más razonable tomando en cuenta los datos censales que exprese el crecimiento poblacional al que nuestro país está sustentado. Se proyectará la población para un periodo de 20 años.

1.5.2.1. Cálculos de población futura para el diseño

1.5.2.1.1. Población actual

De acuerdo al Censo de Población, realizado el 28 de Noviembre del 2010, por el INEC, la Parroquia de Santa Fé cuenta con 3125 habitantes, con un índice de crecimiento intercensal de 1,95%.

1.5.1.1.1. Población futura

Para el cálculo de la población futura se trabaja con el método de crecimiento geométrico, dado que la población aumenta constantemente en una cifra proporcional a su volumen cambiante.

$$N_t = N_o \left(1 + \frac{r}{100} \right)^t$$

(Ecuación 1-1.)

Donde:

N_o: Población al inicio del período, (habitantes).

N_t : Población futura, resultado de la proyección, (habitantes).

r : Tasa media anual de crecimiento, (%).

t : Número de años que se va a proyectar la población, (años).

1.5.3. Dotación de agua para el diseño

Se refiere a la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades básicas de un habitante.

1.5.3.1. Cálculo de las dotaciones

1.5.3.1.1. Dotación básica

Se define como dotación a las cantidades de agua diariamente consumidas en las poblaciones. Es la cantidad de agua que se asigna a cada habitante y que incluye el consumo de todos los servicios que realiza en un día medio anual y se expresa de la siguiente manera:

$$DB = \frac{V_{TCM}}{T_{US}} \times 1\ 000$$

(Ecuación 2-1.)

Donde:

DB: Dotación básica, (L/hab × día).

V_{TCM} : Volumen de agua consumida, (L/día).

T_{US} : Total de usuarios servidos, (usuario).

1.5.3.1.2. Dotación de agua

Esta es la revisión del consumo futuro, en el cual influyen muchos factores como el clima, tamaño de la ciudad, grado de industrialización que influye en la demanda de agua, para lo cual la OMS recomienda los siguientes parámetros:

Tabla 2-1. Parámetros recomendados.

POBLACION (habitantes)	CLIMA	
	FRÍO	CALIDO
2 000 – 10 000	120	150
10 000 – 50 000	150	200
50 000	200	250

Fuente: Organización Mundial de la Salud. 2006.

1.5.3.1.3. Dotación media futura

Para obtener la dotación futura se debe multiplicar la dotación básica (DB) por un factor de mayorización (FM) que incluye los consumos comerciales, institucionales e industriales.

$$DMF = FM \times DB$$

(Ecuación 3-1.)

Donde:

FM: Factor de Mayorización.

DB: Dotación Básica, (L/hab × día).

1.5.4. Caudal de diseño

Caudales necesarios para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable que se desea para satisfacer las necesidades de los habitantes de dicha población.

1.5.4.1. Cálculo de los gastos

1.5.4.1.1. Gasto medio diario (Q_{med})

El gasto medio es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de la población en un día de consumo promedio. La expresión que define el consumo medio diario es:

$$Q_{med} = \frac{N_t \times DMF}{86\ 400}$$

(Ecuación 4-1.)

Donde:

Q_{med} : Gasto medio diario, (L/s).

86 400: Segundos/día, (s/d).

DMF: Dotación media futura, (L/hab/día).

$N_{t_{2034}}$: Población futura, (hab).

1.5.4.1.2. Gasto máximo diario (Q_{Md})

Este gasto también se utiliza para calcular el volumen de extracción diaria de la fuente de abastecimiento, el equipo de bombeo, la conducción y el tanque de regularización y almacenamiento. Este gasto se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q_{Md} = k_1 \times Q_{med}$$

(Ecuación 5-1.)

Donde:

Q_{Md} : Gasto máximo diario, (L/s).

k_1 : Coeficiente de variación diaria, adimensional; $k_1 = 1,30$ a $1,50$

Q_{med} : Consumo medio diario, (L/s).

1.5.4.1.3. Gasto máximo horario (QMh)

El gasto máximo horario, es el requerido para satisfacer las necesidades de la población a la hora de máximo consumo. Este gasto se utiliza, para calcular las redes de distribución, en algunos casos se utiliza también para líneas de conducción, y se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$QMh = k_2 \times QMd$$

(Ecuación 6-1.)

Donde:

QMh: Gasto máximo horario, (L/s).

QMd: Gasto máximo diario, (L/s).

k₂: Coeficiente de variación horaria, adimensional.

Tabla 3-1. Valores del coeficiente k₂.

Población (habitantes)	Coeficiente k ₂
Hasta 2 000	2,20 – 2,00
De 2 001 a 10 000	2,00 – 1,60

Fuente: CPE INEN 5. 1997. Parte 9.2. Primera revisión.

1.5.4.2. Cálculo los caudales de diseño

1.5.4.2.1. Caudal de captación

La estructura de la captación se la diseñará con una capacidad equivalente a 1,5 veces el caudal del gasto máximo diario (QMd).

$$Q_{\text{captación}} = 1,5 \times QMd$$

(Ecuación 7-1.)

Donde:

QMd: Gasto máximo diario, (L/s).

Q_{captación}: Caudal de captación, (L/s).

1.5.4.2.2. Caudal de conducción

El caudal de conducción se lo diseñará con una capacidad equivalente a 1,5 veces el caudal del gasto máximo diario (QMd).

$$Q_{\text{conducción}} = 1,5 \times QM_d$$

(Ecuación 8-1.)

Donde:

QMd: Gasto máximo diario, (L/s).

Q_{conducción}: Caudal de conducción, (L/s).

1.5.4.2.3. Caudal de tratamiento

La planta de tratamiento se diseñará para un caudal equivalente a 1,10 veces (factor de seguridad) el gasto máximo diario (QMd).

$$Q_{\text{tratamiento}} = 1,10 \times QM_d$$

(Ecuación 9-1.)

Donde:

QMd: Gasto máximo diario, (L/s).

Q_{tratamiento}: Caudal de tratamiento, (L/s).

1.5.5. Volúmenes de reserva

El tanque se dimensiona en base al consumo medio diario y la ley de las demandas de la parroquia, además se debe contemplar en el dimensionamiento un volumen extra de almacenamiento para cubrir cualquier demanda de emergencia.

1.5.5.1. Cálculos de los volúmenes de reserva

1.5.5.1.1. Volumen de regulación

En caso de haber datos sobre las variaciones horarias del consumo el proyectista deberá determinar el volumen necesario para la regulación a base del respectivo análisis. En caso contrario, se pueden usar los siguientes valores:

- a. Para poblaciones menores a 5 000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 30% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al final del período de diseño.
- b. Para poblaciones mayores de 5 000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 25% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al final del período de diseño.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$Vr = CVR \times Qmed$$

(Ecuación 10-1.)

Donde:

Vr: Volumen de regulación, (m³).

Qmed: Caudal del gasto medio diario, (L/s).

CVR: Constante del volumen de regulación.

1.5.5.1.2. Volumen de protección contra incendios

Las dotaciones que se deben considerar en la extinción de incendios se establecen en función de la acumulación de materiales combustibles que se produzcan en las diferentes

áreas de los asentamientos urbanos. Conociendo que para obtener el volumen de protección contra incendios se utilizarán los siguientes valores:

a. Para poblaciones de hasta 3 000 habitantes futuros en la costa y 5 000 en la sierra, no se considera almacenamiento para incendios.

b. Para poblaciones de hasta 20 000 habitantes futuros se aplicará la fórmula:

$$V_i = 50 \sqrt{p}, (\text{m}^3).$$

c. Para poblaciones de más de 20 000 habitantes futuros se aplicará la fórmula: $V_i = 100 \sqrt{p}, (\text{m}^3).$

Se recomienda que el caudal contra incendios necesario, sea obtenido con la siguiente expresión.

$$V_i = CT \times \sqrt{p}$$

(Ecuación 11-1.)

Donde:

p: Población en miles.

CT: constante para la determinación del volumen de protección contra incendio.

V_i = volumen para protección contra incendios, (m^3).

1.5.5.1.3. Volumen de emergencia

Para poblaciones mayores de 5 000 habitantes, se tomará el 25% del volumen de regulación como volumen para cubrir situaciones de emergencia. Para comunidades con menos de 5 000 habitantes no se calculará ningún volumen para emergencias.

$$V_e = CVE \times V_r$$

(Ecuación 12-1.)

Donde:

Ve: Volumen de emergencia, (m³).

Vr: volumen de regulación, (m³).

CVE: factor de volumen de emergencia.

1.5.5.1.4. *Volumen total*

El volumen total de almacenamiento se obtendrá al sumar los volúmenes de regulación, emergencia y el volumen para incendios.

$$\mathbf{V_t = V_r + V_i + V_e}$$

(Ecuación 13-1.)

Donde:

Vt: Volumen total, (m³).

Ve: Volumen de emergencia, (m³).

Vr: volumen de regulación, (m³).

Vi= volumen para protección contra incendios, (m³).

1.6. Diseño de una Planta convencional de Tratamiento de Agua Potable

Una planta de tratamiento es una secuencia de procesos convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas. Las principales operaciones y procesos unitarios aplicables en el tratamiento de las aguas son:

- a. Transferencia de gases (Aireación).
- b. Medición de caudales.
- c. Transferencia de sólidos (desarenación, sedimentación y filtración).
- d. Transferencia de iones, mezcla rápida y floculación.
- e. Desinfección.

Para el Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Potable es necesario contemplar estudios y selección de procesos para obtener una alta calidad del agua a un costo rentable y que sea apta para el consumo humano cumpliendo los parámetros de calidad establecidos en las normas NTE INEN 1108: 2006, Segunda Revisión sobre la calidad de Agua Potable.

1.6.1. Aireación

La aireación es el tratamiento mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el fin de modificar las concentraciones de las sustancias volátiles contenidas en ella. De esta forma, las funciones más importantes de la aireación son:

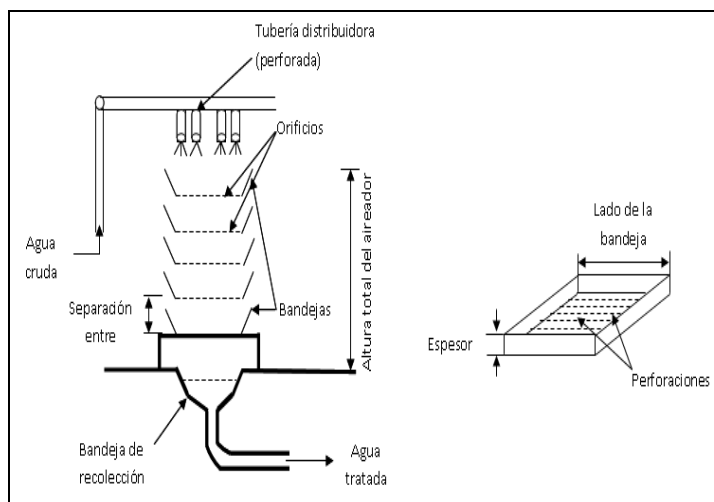
- a. Transferir oxígeno al agua y aumentar con ello el oxígeno disuelto.
- b. Disminuir la concentración de dióxido de carbono (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S).
- c. Oxidar hierro (Fe) y manganeso (Mn).
- d. Remover el metano (CH_4), compuestos orgánicos volátiles (COV), productores de olores y sabores provenientes normalmente de aguas o acuíferos subterráneos.⁵
(ROMERO, J. 1999. pp.117-120.)

El proceso de aireación cumple con su objetivo mediante el arrastre de las sustancias volátiles originado por la mezcla de turbulencia del agua con el aire y por la respectiva oxidación de los metales y los gases. El agua aireada es más agradable al paladar, los sistemas de aireación más utilizados por su fácil operación y mantenimiento son: son los de toberas, cascadas, canales inclinados y aireadores de bandeja.

1.6.1.1. Aireador de bandejas

Corresponden a una serie de bandejas con perforaciones en su parte inferior, colocadas en forma sucesiva, el ingreso del agua es por la parte superior y debe distribuirse a través de una tubería perforada, debiendo caer a la primera bandeja y así sucesivamente, se construye con materiales durables como acero inoxidable, aluminio, concreto o maderas resistentes.

Figura 2-1. Aireadores de Bandejas



Fuente: Ministerio de Servicios y Obras Públicas. 2005.

La ventilación es un factor importante en el diseño de estos aireadores y debe estudiarse cuidadosamente para la selección del sitio de la localización. La corrosión, la formación de camadas biológicas y crecimientos de algas son factores de importancia en el diseño de aireadores; por ello, se construyen con materiales durables como acero inoxidable, aluminio, concreto o maderas resistentes. ⁶ (ROMERO, J. 1999. pp. 119.)

Algunos parámetros de diseño para aireadores de bandeja en la siguiente tabla.

1.6.1.1.1. Cálculos de diseño para una torre de aireación

a. Área total del aireador

$$A_t = \frac{Q}{TA}$$

(Ecuación 14-1.)

Donde:

A_t : Área total del aireador, (m²).

$Q=Q_d$: Caudal de diseño, (L/s).

TA : Carga Hidráulica, (L/m²×s).

Tabla 4-1. Parámetros de diseño para aireadores de bandeja

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Carga hidráulica TA	550 – 1 800 (0,006 – 0,02)*	m/d ($\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{s}$)
Caudal / área total de bandejas	500 – 1 600**	m/d
Numero de bandejas	3 – 9	
Altura total del aireador	2 – 2,5	m
Lecho de contacto:		
Espesor	15 – 30	cm
Coke o piedra, diámetro	4 -15	cm
Orificios de distribución		
diámetro	5 – 12	mm
separación	2,5	cm
Profundidad de agua en la bandeja	15	cm
Separación entre bandejas	30 – 75	cm

* Valores recomendados por Feachem R et al. (1977).

** Valores recomendados por la AWWA Water Quality and Treatment (1977).

Fuente: ROMERO, J. 1999. Purificación del Agua.

b. Área de aireación (bandejas)

Asumiendo bandejas cuadradas y el área será el resultado de multiplicar lado por lado.

$$A_i = l \times l$$

(Ecuación 15-1.)

Donde:

A_i : Área de aireación, (m^2).

l : Lado de la bandeja, (m).

c. Número de unidades de aireación requerida

$$N_b = \frac{A_t}{A_i}$$

(Ecuación 16-1.)

Donde:

A_t : Área total de aireación, (m^2).

A_i : Área de cada unidad de aireación, (m^2).

N_b : Número de bandejas o unidades de aireación requerida, (unidad).

d. Número de torres

$$N_{\text{torre}} = \frac{Q_d}{Q_t}$$

(Ecuación 17-1.)

Donde:

N_{torre} : Número de torres, (unidad).

Q_d : Caudal de diseño, (L/s).

Q_t : Caudal que ingresa a la torre, (L/s).

e. Tiempo de exposición

$$t_{e_A} = \sqrt{\frac{2 \times H_{\text{torre}} \times N_b}{g}}$$

(Ecuación 18-1.)

Donde:

t_{e_A} : Tiempo de exposición, (s).

H_{torre} : Altura total de la torre, (m).

N_b : Número de bandejas, (unidad).

g : Gravedad, (m/s^2).

f. Cálculo del caudal sobre cada bandeja

$$Q_{\text{bandejas}} = 1 \times A_{\text{orificio}} \times \sqrt{2 \times g \times H_{\text{lámina}}}$$

(Ecuación 19-1.)

Donde:

Q_{bandejas} : Caudal sobre cada bandeja, (L/s).

l: Lado de la bandeja, (m).

A_{orificio}: Área de cada orificio, (m²).

H_{lámina}: Altura de agua sobre las bandejas, (m).

g. Determinación del número de perforaciones

$$N_p = \frac{Q}{Q_{\text{bandejas}}}$$

(Ecuación 20-1.)

Donde:

Q=Q_d: caudal de diseño, (L/s).

Q_{bandejas}: Caudal sobre cada bandeja, (L/s).

N_p: número de perforaciones, (unidad).

1.6.2. Medición de caudales

La medición de caudales en plantas cuya capacidad nominal sea menor a 1,0 m³/s podrá realizarse a través de dispositivos preferentemente hidráulicos, pudiendo utilizar medidores:

1.6.2.1. Vertederos Calibrados

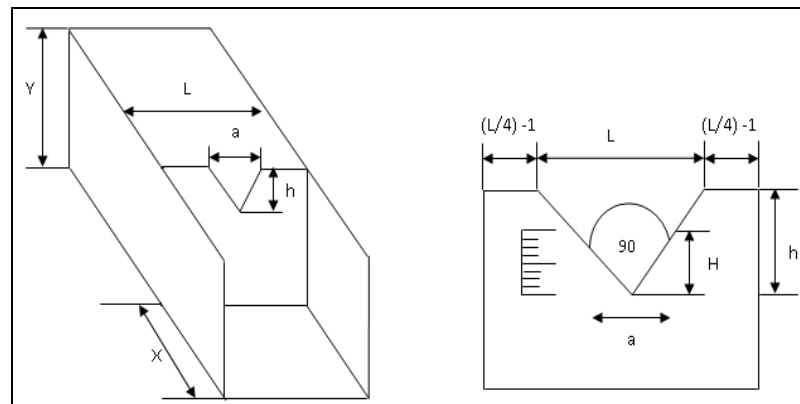
Consiste en la disposición de una barrera colocada en todo el ancho del curso de agua (canal). En la parte superior de la barrera existe una abertura en forma rectangular o triangular que permite el rebose del agua.

1.6.2.1.1. Vertedero triangular o de Thompson

El vertedero triangular es preferido cuando las descargas son pequeñas porque la sección transversal de la lámina vertiente muestra de manera notoria la variación en altura. Dentro de los vertederos triangulares el más utilizado es el que tiene 90 grados en su vértice

inferior, también llamado vertedero de Thompson. Especialmente para medir pequeños gastos, el vertedero triangular es más preciso que los otros tipos de vertederos.

Figura 3-1. Vertedero Triangular



Fuente: AGÜERO, Roger. 2004. Guía para el diseño y construcción de captación.

1.6.2.1.1.1. Cálculos de diseño para un vertedero triangular

a. Altura del agua sobre la cresta del vertedero triangular

Para el vertedero triangular de ángulo recto se utilizará la fórmula:

$$Q = 1,4 \times H^{2/5}$$

(Ecuación 21-1.)

Donde:

Q=Qd: Caudal de diseño, (m³/s).

H: Altura de agua en el vertedero, (m).

b. Ancho de la lámina vertiente y ancho del canal

$$L = 2 H$$

(Ecuación 22-1.)

Donde:

H: Altura de agua en el vertedero, (m).

L: Ancho de la lámina vertiente y ancho del canal, (m).

c. Caudal promedio unitario

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

(Ecuación 23-1.)

Donde:

Q=Qd: Caudal de diseño, (m³/s).

h: altura del canal, (m).

q: Caudal promedio unitario, (m³/s × m).

d. Altura crítica

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

(Ecuación 24-1.)

Donde:

q: Caudal promedio unitario, (m³/s × m).

g: gravedad, (m²/s).

H_c: altura crítica, (m).

e. Altura al inicio del resalto

$$h_1 = \frac{1,41 \times H_c}{\sqrt{2,56 + \frac{H_v}{H_c}}}$$

(Ecuación 25-1.)

Donde:

H_v: altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal agua abajo, (m).

H_c : Altura del borde o total del triángulo, (m).

h_1 : altura al inicio del resalto, (m).

f. Velocidad al inicio del resalto

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

(Ecuación 26-1.)

Donde:

q: Caudal promedio unitario, ($m^3/s \times m$).

h_1 : altura al inicio del resalto, (m).

v_1 : Velocidad al inicio del resalto, (m/s).

g. Número de Froude

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \times h_1}}$$

(Ecuación 27-1.)

Donde:

h_1 : altura al inicio del resalto, (m).

v_1 : Velocidad al inicio del resalto, (m/s).

g: gravedad, (m^2/s).

F_1 : Número de Froude, (m/s).

h. Altura del agua después del resalto velocidad al final del resalto

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \times [\sqrt{1 + 8F_1} - 1]$$

(Ecuación 28-1.)

Donde:

h_1 : altura al inicio del resalto, (m).

h_2 : Altura del agua después del resalto velocidad al final del resalto, (m).

F_1 : Número de Froude, adimensional.

i. Velocidad al final del resalto

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

(Ecuación 29-1.)

Donde:

q : Caudal promedio unitario, ($m^3/s \times m$).

h_2 : Altura del agua después del resalto velocidad al final del resalto, (m).

v_2 : Velocidad al final del resalto, (m/s).

j. Energía disipada en el resalto

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{h_1 \times h_2}$$

(Ecuación 30-1.)

Donde:

h_2 : Altura del agua después del resalto velocidad al final del resalto, (m).

h_1 : altura al inicio del resalto, (m).

h_p : Energía disipada en el resalto, (m).

k. Longitud del resalto

$$L_{vr} = 6(h_2 - h_1)$$

(Ecuación 31-1.)

Donde:

h_2 : Altura del agua después del resalto velocidad al final del resalto, (m).

h_1 : altura al inicio del resalto, (m).

L_{vr} : Longitud del resalto, (m).

l. Distancia del vertedero a la sección 1

$$L_1' = 4,3 H_v \left(\frac{H_c}{H_v} \right)^{0,9}$$

(Ecuación 32-1.)

Donde:

H_v : altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal agua abajo, (m).

H_c : altura crítica, (m).

L_1' : Distancia del vertedero a la sección 1, (m).

m. Velocidad promedio en el resalto

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

(Ecuación 33-1.)

Donde:

v_m : Velocidad promedio en el resalto, (m/s).

v_1 : Velocidad al inicio del resalto, (m/s).

v_2 : Velocidad al final del resalto, (m/s).

n. Tiempo de mezcla

$$t_m = \frac{L_{vr}}{v_m}$$

(Ecuación 34-1.)

Donde:

t_m : tiempo de mezcla, (s).

v_m : Velocidad promedio en el resalto, (m/s).

L_{vr} : Longitud del resalto, (m).

o. Gradiente de velocidad

$$G_v = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{h_p}{t_m}}$$

(Ecuación 35-1.)

Donde:

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

t_m : tiempo de mezcla, (s).

h_p : Energía disipada en el resalto, (m).

$\sqrt{\gamma/\mu}$: Relación peso específico y viscosidad absoluta (ver Tabla 5-1).

Tabla 5-1. Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta para el agua

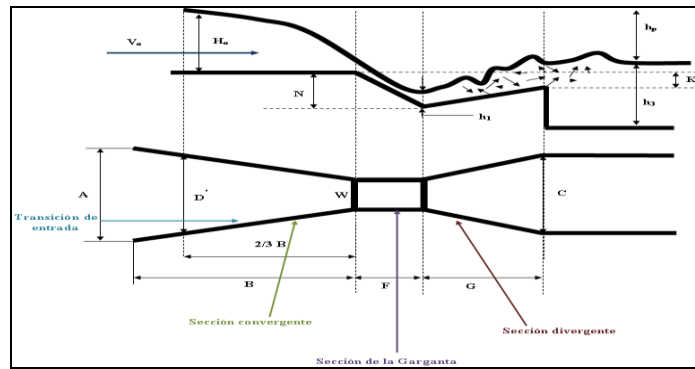
Temperatura °C	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$
0	2336.94
4	2501.56
10	2736.53
15	2920.01
20	3114.64
25	3266.96

Fuente: Romero, J. 2008. Purificación del agua.

1.6.2.2. Canaleta Parshall

La canaleta Parshall o también llamado medidor Parshall, es una estructura hidráulica que cumple un doble propósito en las plantas de tratamiento de agua que son: de servir de medidor de caudales y otro propósito en la turbulencia que se genera a la salida de la misma, servir de punto de aplicación de coagulantes.

Figura 4-1. Dimensiones de la canaleta Parshall



Fuente: ARBOLEDA, Jorge. 2000. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua.

1.6.2.2.1. Cálculos de diseño para una canaleta Parshall

Para el diseño de una canaleta Parshall como mezclador, se utiliza el siguiente procedimiento.

a. Determinación del ancho de garganta

Conociendo el caudal con el que se va trabajar (m^3/s) se decide el ancho de garganta mediante la Tabla 6-1, para cumplir la condición requerida.

Tabla 6-1. Determinación de W de la canaleta de Parshall en función del caudal

Ancho W	Límites de caudal (l/s)	
	Q Mínimo	Q Máximo
1''	0,28	5,67
2''	0,57	14,15
3''	0,85	28,31
6''	1,42	110,44
9''	2,58	252,00
12''	3,11	455,90
18''	4,24	696,50
24''	11,90	937,30
36''	17,27	1.427,20
48''	36,81	1.922,70
60''	45,31	2.424,00
72''	73,62	2.931,00

Fuente: Romero, J. 2008. Purificación del agua

b. Altura del agua en la sección de medición

$$H_o = K \times Q^n$$

(Ecuación 36-1.)

Donde:

H_o : Altura del diseño, (m).

$Q = Q_d$: Caudal de diseño, (m^3/s).

K = constantes, adimensionales.

n = constantes, adimensionales.

Tabla 7-1. Valores de K y n según el tamaño de W

Ancho de la garganta del Parshall (W)		K	n
Pulgadas - pies	Metros		
3"	0,075	3,704	0,646
6"	0,150	1,842	0,636
9"	0,229	1,486	0,633
1'	0,305	1,276	0,657
1 ½'	0,460	0,966	0,650
2'	0,610	0,795	0,645
3'	0,915	0,608	0,639
4'	1,22	0,505	0,634
5'	1,525	0,436	0,630
6'	1,83	0,389	0,627
8'	2,44	0,324	0,623

Fuente: CEPIS. 1992.

c. Carga Hidráulica disponible

$$E_o = \frac{v_o^2}{2g} + H_o + N$$

(Ecuación 37-1.)

Donde:

E_o : Carga hidráulica disponible, (m).

v_o : Velocidad en la sección de medición, (m/s).

g : Gravedad, (m/s^2).

H_o : Altura de agua en la sección de medición, (m).

N: Dimensiones de la canaleta, (m).

Tabla 8-1. Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall

W		A	B	C	D ¹	E	F	G	K ₁	N
Pulg.	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5	2,5	5,7
6"	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4
9"	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	11,4
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
1 ½'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
4'	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
5'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
10'	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,5	15,3	34,3

Fuente: CEPIS. 1992.

d. Velocidad en la sección de medición

$$v_o = \frac{Q}{H_o \times D'}$$

(Ecuación 38-1.)

Donde:

H_o : Altura de agua en la sección de medición, (m).

D' : Ancho de la sección de medición, (m).

$Q=Qd$: Caudal de diseño, (m³/s).

v_o : Velocidad en la sección de medición, (m/s).

e. Ancho de la sección de medición D'

$$D' = \frac{2}{3} \times (D^1 - W) + W$$

(Ecuación 39-1.)

Donde:

W: Ancho de la garganta, (m).

D' : Ancho de la sección de medición, (m).

D^1 : Dimensiones de la canaleta, (m).

f. Caudal específico en la garganta de la canaleta

$$Q_w = \frac{Q_d}{W}$$

(Ecuación 40-1.)

Donde:

W: Ancho de la garganta, (m).

Q_d : Caudal de diseño, (m^3/s).

Q_w : Caudal específico en la garganta de la canaleta, ($m^3/s \times m$).

g. Ángulo de inclinación

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[- \frac{Q_w \times g}{\left(\frac{2g \times E_o}{3} \right)^{1.5}} \times \frac{180}{\pi} \right]$$

(Ecuación 41-1.)

Donde:

Q_w : Caudal específico en la garganta de la canaleta, ($m^3/s \times m$).

θ_p : Ángulo de inclinación, ($^\circ$).

g: gravedad, (m/s^2).

E_o : Carga hidráulica disponible, (m).

h. Velocidad antes del resalto

$$v_1 = 2 \left(\frac{2E_o \times g}{3} \right)^{0.5} \times \cos \left(\theta_p \times \frac{\pi}{540} \right)$$

(Ecuación 42-1.)

Donde:

θ_p : Ángulo de inclinación, (°).

g: gravedad, (m/s²).

E_o: Carga hidráulica disponible, (m).

v₁: Velocidad antes del resalto, (m/s).

i. Altura de agua antes del resalto

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

(Ecuación 43-1.)

Donde:

h₁: Altura de agua antes del resalto, (m).

Q_w: Caudal de agua, (m³/s×m).

v₁: Velocidad antes del resalto, (m/s).

j. Número de Froude

$$F_1 = \frac{v_1}{(g \times h_1)^{0.5}} ; 3 \geq F_1 \geq 2$$

(Ecuación 44-1.)

Donde:

F₁: Número de Froude, (adimensional).

h₁: Altura de agua antes del resalto, (m).

g: gravedad, (m/s²).

v₁: Velocidad antes del resalto, (m/s).

k. Altura del resalto

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \times \left[(1 + 8F_1^2)^{0.5} - 1 \right]$$

(Ecuación 45-1.)

Donde:

F_1 : Número de Froude, (adimensional).

h_1 : Altura de agua antes del resalto, (m).

h_2 : Altura del resalto, (m).

l. Velocidad del resalto

$$v_2 = \frac{Q_d}{W \times h_2}$$

(Ecuación 46-1.)

Donde:

W : Ancho de la garganta, (m).

Q_d : Caudal de diseño, (m³/s).

v_2 : Velocidad del resalto, (m/s).

h_2 : Altura del resalto, (m).

m. Altura en la sección de salida de la canaleta

$$h_3 = h_2 - (N - K')$$

(Ecuación 47-1.)

Donde:

h_3 : Altura en la sección de salida de la canaleta, (m).

K' ; N : Dimensiones de la canaleta, (m).

h_2 : Altura del resalto, (m).

n. Velocidad en la sección de la salida

$$v_3 = \frac{Q_d}{C \times h_3}$$

(Ecuación 48-1.)

Donde:

h_3 : Altura en la sección de salida de la canaleta, (m).

C: Dimensiones de la canaleta, (m).

v_3 : Velocidad en la sección de salida, (m/s).

Q_d : Caudal de diseño, (m^3/s).

o. Pérdida de carga en el resalto

$$h_p = H_o + K' + h_3$$

(Ecuación 49-1.)

Donde:

h_3 : Altura en la sección de salida de la canaleta, (m).

K' : Dimensión de la canaleta, (m).

H_o : Altura del flujo del agua, (m).

h_p : pérdida de carga en el resalto, (m).

p. Tiempo de mezcla en el resalto

$$T = \frac{2G'}{v_2 + v_3}$$

(Ecuación 50-1.)

Donde:

T: Tiempo de mezcla en el resalto, (s).

G' : Dimensión de la canaleta, (m).

v_3 : Velocidad en la sección de salida, (m/s).

v_2 : Velocidad del resalto, (m/s).

q. Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \left(\frac{h_p}{T}\right)^{0.5}$$

(Ecuación 51-1.)

Donde:

T: Tiempo de mezcla en el resalto, (s).

G: Gradiente de velocidad, (s⁻¹).

hp: pérdida de carga en el resalto, (m).

$\sqrt{\gamma/\mu}$: Relación peso específico y viscosidad absoluta (ver Tabla 5-1).

1.6.3. Coagulación

El proceso de coagulación se utiliza para remover del agua: el color, la turbiedad, las bacterias, los virus, las algas, otras partículas que se remueven con el coagulante. Es la acción de agrupar la materia suspendida en el agua, mediante la adición de un coagulante, consiste también en la dispersión completa del coagulante, teniendo como requisito el pH óptimo de coagulación, el tiempo es otro de los requisitos para que se efectúe la reacción química mediante un mezclado rápido para dispersar el coagulante y favorecer su contacto con las partículas en suspensión. ⁷ (BRITO, Nancy. 2007. pp. 33.)

1.6.3.1. Reactivos

Los reactivos que se utilizan para el proceso de coagulación son los derivados de aluminio y de hierro, la cal y diversos polímeros. Los derivados de aluminio y de hierro, se hidrolizan rápidamente formando precipitados insolubles. Pero el sulfato de aluminio de aluminio incrementa los sulfatos en el agua y forma flóculos difíciles de sedimentar, en cambio que el hierro aumenta la concentración de cloruros en el agua y ocasiona problemas a tener un pH ácido. La cal, Ca (OH)₂ forma un flóculo muy denso y fácilmente sedimentable pero es difícil de manipular.

1.6.3.1.1. Derivados del aluminio

a. Sulfato de Aluminio.

Es el reactivo más utilizado, su forma comercial se lo conoce como alumbre. Cuando la cal o el carbonato de sodio reaccionan con el sulfato de aluminio, la alcalinidad del agua no se altera. Los iones sulfatos que se adicionan durante este proceso permanecen en el agua tratada y el pH se mantiene.

b. Aluminato de Sodio.

Es útil para la coagulación secundaria de aguas con elevado color o como coagulante en el proceso de ablandamiento con cal y carbonato de sodio para incrementar la sedimentabilidad del precipitado que se forma. Debido a su alto costo se usa más como ayuda de coagulación que como el coagulante principal.⁸ (BRITO, Nancy. 2007. pp. 34.)

c. Policloruros de Aluminio (PACs).

Son nuevos en el campo del tratamiento del agua. No deben confundirse con los polímeros ya que no pueden ser descritos con una sola fórmula química debido a que consisten de una serie de compuestos con propiedades diferentes que aseguran su buen rendimiento en diversas aplicaciones y condiciones de operación.

1.6.3.1.2. Derivados del hierro

a. Sulfato Ferroso.

Conocido como caparrosa, es un sólido cristalino blanco-verdoso, subproducto de diversos procesos químicos, principalmente del lavado del acero. El hierro ferroso que se adiciona al agua se precipita como ión férrico, por ello es preciso adicionar cal o cloro para hacer la coagulación efectiva.

b. Sulfato Férrico:

Es muy útil para remover color a pH extremos, se presenta comercialmente como gránulos de color café rojizo muy solubles en agua. Reacciona con la alcalinidad natural del agua o los compuestos alcalinos que se adicionen (como la cal o el carbonato de sodio).

c. Cloruro Férrico:

Se usa como coagulante en aguas industriales, se encuentra en el mercado como sólido o líquido. Es muy corrosivo por lo que la presentación líquida debe ser almacenada y manejada con sumo cuidado.

1.6.3.2. Cálculo de diseño para la correspondiente dosificación del coagulante

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

$$Q_d = \frac{C1_{PAC}}{C2_{PAC}} \times Q_{agua}$$

(Ecuación 52-1.)

Donde:

Q_d = Caudal de dosificación (m^3/h).

$C1_{PAC}$: Concentración de PAC de acuerdo al test de jarras, (ppm).

$C2_{PAC}$: Concentración de la solución, (ppm).

Q_{agua} = Q_d : Caudal de diseño, (L/s)

1.6.4. Flocculación

La flocculación se define como una lenta agitación en el agua para permitir el crecimiento de flóculos que pueden ser eliminados por sedimentación. La flocculación comienza inmediatamente después de la desestabilización, en la zona en que la energía de mezclado

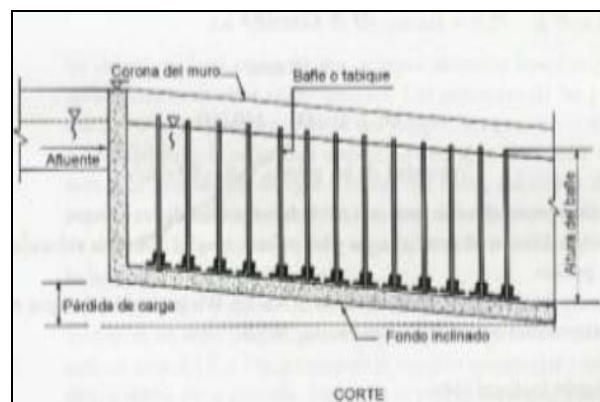
decae, previo a un mezclado, o como resultado de una turbulencia creada en el fluido y por la cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores. ⁹ (BRITO, Nancy. 2007. pp. 33.)

Los principales factores que influyen en la eficiencia de este proceso son: naturaleza del agua, variaciones de caudal, intensidad de agitación y tiempo de floculación.

1.6.4.1. Floculadores hidráulicos de flujo horizontal

En los floculadores hidráulicos de flujo horizontal el agua se desplaza en sentido horizontal entre dos tabiques consecutivos haciendo el giro al final de cada uno. Para utilizar un floculador de este tipo el tanque debe estar dividido por pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuesto de forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de las mismas. Debe dejarse suficiente espacio para la limpieza de los canales; si éstos son muy estrechos las pantallas deben ser removibles.

Figura 5-1. Floculador hidráulico de flujo horizontal



Fuente: ROMERO, J. 1999. Purificación del Agua.

1.6.4.2.1. Cálculos de diseño para un floculador hidráulico flujo horizontal

Para el diseño de un floculador se toma en cuenta los siguientes cálculos:

Tabla 9-1. Parámetros de diseño de floculadores

Parámetro	Valor
Caudal de diseño	<50L/s
Coefficiente de pérdida de carga en vueltas(K)	1,1– 3,0 Recomienda: 2
Según Insfopal:	
Tiempo de retención	15-60 min
Altura mínima	1,0 m
Separación mínima entre tabiques	0,45 m
Gradiente de velocidad	20-90 s ⁻¹
Velocidad	0,08 – 0,22 m/s
Altura de agua	0,80 -1,20 m
Espesor de las laminas	0,10-0,20 m

Fuente: ARBOLEDA J. 2000. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua.

a. Longitud de canales

$$L_{cf} = v_f \times tr_f \times 60$$

(Ecuación 53-1.)

Donde:

L_{cf} : Longitud de canales, (m).

tr_f : Tiempo de retención, (min).

v_f : Velocidad del fluido, (m/s).

b. Área de los canales del floculador

$$A_{cf} = \frac{Q}{v_f}$$

(Ecuación 54-1.)

Donde:

$Q=Q_d$: Caudal de diseño, (m^3/s).

v_f : Velocidad del fluido, (m/s).

A_{cf} : Área de los canales del floculador, (m^2).

c. Ancho de canales de floculación

$$b_{cf} = \frac{A_{cf}}{H u_f}$$

(Ecuación 55-1.)

Donde:

b_{cf} : Ancho de los canales del floculador, (m).

A_{cf} : Área de los canales del floculador, (m^2).

$H u_f$: Altura de agua en la unidad, (m).

d. Ancho de las vueltas de la floculación

El espaciamiento entre el extremo de la pantalla y la pared del tanque deberá hacer igual a 1.5 veces el espaciamiento entre pantallas.

$$b_{vf} = 1,5 \times b_{cf}$$

(Ecuación 56-1.)

Donde:

b_{vf} : Ancho de las vueltas de la floculación, (m).

b_{cf} : Ancho de los canales de floculación, (m).

e. Ancho del floculador

$$b_f = 3b_{lf} + b_{vf}$$

(Ecuación 57-1.)

Donde:

b_f : Ancho del floculador, (m).

b_{if} : Ancho útil de la lámina, (m).

b_{vf} : Ancho de vueltas de la floculación, (m).

f. Número de canales

$$Nc_f = \frac{Lc_f}{b_f}$$

(Ecuación 58-1.)

Donde:

b_f : Ancho del floculador, (m).

Lc_f : Longitud de canales, (m).

Nc_f : Número de canales, (unidad).

g. Longitud del floculador

$$L_f = (Nc_f \times b_{cf}) + (Nc_f - 1) \times e_l$$

(Ecuación 59-1.)

Donde:

Nc_f : Número de canales, (unidad).

b_{cf} : Ancho de los canales de floculación, (m).

e_l : Espesor de las láminas, (m).

L_f : Longitud del floculador, (m).

h. Pérdida de carga en las vueltas

$$h_{p1} = \frac{Kf \times v_f^2 \times (Nc_f - 1)}{2 \times g}$$

(Ecuación 60-1.)

Donde:

Kf: Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas, adimensional.

v_f: Velocidad del fluido, (m/s).

N_{cf}: Número de canales, (unidad).

g: Aceleración de la gravedad, (m/s²).

h_{p1}: Pérdida de carga en las vueltas, (m).

i. Perímetro mojado de las secciones

$$P_m = 2Hu_f + b_{cf}$$

(Ecuación 61-1.)

Donde:

P_m: Perímetro mojado de las secciones, (m).

H_{u_f}: Altura de agua en la unidad, (m).

b_{cf}: Ancho de los canales del floculador, (m).

j. Pérdida de la carga en los canales

$$h_{p_2} = SL = \left[\frac{v_f \times n}{R^{2/3}} \right]^2 \times L_{cf}$$

(Ecuación 62-1.)

Donde:

h_{p2}: pérdida de la carga en los canales, (m).

v_f: Velocidad del fluido, (m/s).

n: coeficiente de Manning, adimensional.

R: radio medio hidráulico, (m).

L_{cf}: Longitud de canales, (m).

Tabla 10-1. Valores Típicos del Coeficiente de Rugosidad (coeficiente de Mannig)

Material	Coeficiente de Manning	Coeficiente Rugosidad Absoluta (mm)
Asbestos cemento	0,011	0,0015
Latón	0,011	0,0015
Fierro fundido (nuevo)	0,012	0,6
Concreto (cimbra metálica)	0,011	0,26
Concreto (cimbra madera)	0,015	0,18
Concreto simple	0,013	0,6
Cobre	0,011	0,0015
Acero corrugado	0,022	45
Acero Galvanizado	0,016	0,15
Plomo	0,011	0,0015
Plástico (PVC)	0,09	0,0015
Madera (duelas)	0,012	0,18
Vidrio (laboratorio)	0,011	0,0015

Fuente: Aplicaciones de computación en Ingeniería Hidráulica. 1992.

k. Radio medio hidráulico

$$R = \frac{A_{cf}}{P_m}$$

(Ecuación 63-1.)

Donde:

A_{cf} : Área de los canales del floculador, (m²).

P_m : Perímetro mojado de las secciones, (m).

R : radio medio hidráulico, (m).

l. Pérdida de carga total

$$hf_1 = hp_1 + hp_2$$

(Ecuación 64-1.)

Donde:

hf_1 : Pérdida de carga total, (m).

hp_2 : pérdida de la carga en los canales, (m).

hp_1 : Pérdida de carga en las vueltas, (m).

m. Gradiente de velocidad

$$G_f = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{hf_1}{tr_f}}$$

(Ecuación 65-1.)

Donde:

$\sqrt{(\gamma/\mu)}$: Relación peso específico y viscosidad absoluta.

γ : Peso específico del agua, (N/m³).

μ : Viscosidad dinámica del agua, (N × s / m²).

hf_1 : Pérdida de carga total, (m).

tr_f : Tiempo de retención, (s).

G_f : Gradiente de velocidad, (s⁻¹).

Tabla 11-1. Propiedades Físicas del Agua

Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad dinámica (N·s/m ²)	Viscosidad cinemática (m ² /s)
0	9,805	999,8	1,781 · 10 ⁻³	1,785 · 10 ⁻⁶
5	9,807	1000,0	1,518 · 10 ⁻³	1,519 · 10 ⁻⁶
10	9,804	999,7	1,307 · 10 ⁻³	1,306 · 10 ⁻⁶
15	9,798	999,1	1,139 · 10 ⁻³	1,139 · 10 ⁻⁶
20	9,789	998,2	1,102 · 10 ⁻³	1,003 · 10 ⁻⁶
25	9,777	997,0	0,890 · 10 ⁻³	0,893 · 10 ⁻⁶
30	9,764	995,7	0,708 · 10 ⁻³	0,800 · 10 ⁻⁶
40	9,730	992,2	0,653 · 10 ⁻³	0,658 · 10 ⁻⁶
50	9,689	988,0	0,547 · 10 ⁻³	0,553 · 10 ⁻⁶
60	9,642	983,2	0,466 · 10 ⁻³	0,474 · 10 ⁻⁶
70	9,589	977,8	0,404 · 10 ⁻³	0,413 · 10 ⁻⁶
80	9,530	971,8	0,354 · 10 ⁻³	0,364 · 10 ⁻⁶
90	9,466	965,3	0,315 · 10 ⁻³	0,326 · 10 ⁻⁶
100	9,399	958,4	0,282 · 10 ⁻³	0,294 · 10 ⁻⁶

Fuente: DAUGHERTY, R; FRANZINI, J. 1978. Propiedades Físicas del agua.

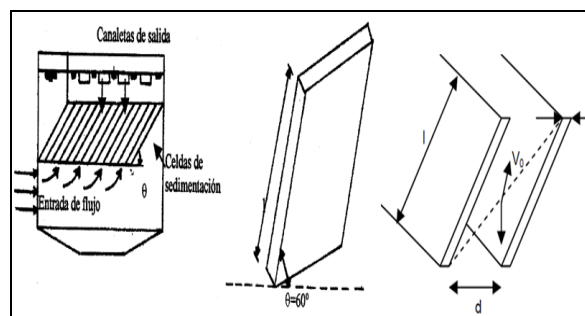
1.6.5. Sedimentación

Una vez floculada el agua con la que se está trabajando, el inconveniente radica en separar las partículas coaguladas del medio en el cual están suspendidas. Esto se puede conseguir mediante el proceso de sedimentación, que se entiende como el proceso de remoción de partículas en suspensión de un fluido por efecto de gravedad en un determinado intervalo de tiempo. Este proceso permite una gran eliminación de la turbiedad presente en las aguas, sobre todo cuando se trata de aguas provenientes de fuentes superficiales cargadas de lodos y otras impurezas precipitables. La sedimentación se realiza en decantadores de acuerdo con el tipo de partícula y el sentido de flujo que se remueva en cada unidad.

1.6.5.2. Sedimentador de alta tasa

En este tipo de sedimentador 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, son unidades de alta eficiencia y de poca profundidad con relación a los sedimentadores clásicos.

Figura 6-1. Sedimentador de alta tasa.



Fuente: ROMERO, J. 1999. Purificación del Agua.

1.6.5.2.1. Cálculos de diseño para un sedimentador de alta tasa (placas)

Para sedimentadores de alta tasa, se aplican los siguientes criterios de diseño según Streeter:

a. Carga superficial o tasa de sedimentación superficial después de instalar las placas

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

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

(Ecuación 66-1.)

Donde:

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

l_p : Longitud de las placas, (m).

t_{rp} : Tiempo de retención en las placas, (min).

Tabla 12-1. 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. 1999. Purificación del Agua.

Tabla 13-1. 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. 1999. Purificación del Agua.

b. Área de sedimentación

Esta área se la determina utilizando la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q}{v_{s0} \text{sen}\theta}$$

(Ecuación 67-1.)

Donde:

A_s : Área superficial de sedimentación acelerada, (m²).

$Q=Q_d$: Caudal de diseño, (m³/d).

θ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación, (°).

v_{s0} : Carga superficial después de instalar las placas, (m/d).

c. Longitud de sedimentación

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

(Ecuación 68-1.)

Donde:

A_s : Área de sedimentación, (m²).

b_s : Ancho del sedimentador, (m).

d. Longitud relativa del sedimentador de alta tasa

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

(Ecuación 69-1.)

Donde:

L_r : Longitud relativa del sedimentador, adimensional.

$l_r = l_p$: Longitud recorrida a través del elemento, (m). Véase Figura 6-1.

dp : Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, (m).

e. Longitud relativa en la región de transición

$$L' = 0.013 \times Re$$

(Ecuación 70-1.)

Donde:

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

Re: Número de Reynolds, adimensional.

f. Longitud relativa corregida

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

$$L_{cr} = 2(Lr - L') \quad \text{Si } L' > Lr/2$$

(Ecuación 71-1.)

Ó, L_c , puede calcularse por:

$$L_{cr} = Lr - L' \quad L' \leq Lr/2$$

(Ecuación 72-1.)

Donde:

L_{cr} : Longitud relativa corregida, adimensional.

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

Lr: Longitud relativa del sedimentador, adimensional.

g. Velocidad de sedimentación crítica

En sedimentadores de alta tasa, la velocidad de sedimentación crítica está dada por:

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

(Ecuación 73-1.)

Donde:

V_{sc} : Velocidad crítica de asentamiento de sedimentación de alta tasa, (m/s).

v_{so} : Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación, (m/d).

θ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa, (°).

L_{cr} : Longitud relativa corregida, adimensional.

S_c : Constante para cada tipo de módulo, adimensional.

Tabla 14-1. 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. P. Purificación Aguas. Sedimentadores

h. Número de Reynolds

El número de Reynolds debe ser menor a 500 para garantizar el flujo en transición.

$$Re = \frac{v_{so} \times dp}{\nu}$$

(Ecuación 74-1.)

Donde:

Re: Número de Reynolds, adimensional.

v_{so} : Velocidad promedio del fluido en el sedimentador, (m/d).

dp : Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, (m).

ν : Viscosidad cinemática, (m^2/s).

i. Viscosidad cinemática

$$v = \frac{497 \times 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}}$$

(Ecuación 75-1.)

Donde:

v: Viscosidad cinemática, (m²/s).

T: Temperatura del agua, (°C).

j. Tiempo de retención en las placas

El tiempo de retención es de 3 a 6 minutos en los sedimentadores de tubos y de 15 a 25 minutos en sedimentadores de placas.

$$tr_p = \frac{l_p}{v_{so}}$$

(Ecuación 76-1.)

Donde:

tr_p : Tiempo de retención, (min).

l_r = l_p : Longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa), (m).

v_{so}: Velocidad promedio del fluido en el sedimentador, (m/min).

k. Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas

$$v_p = \frac{Q}{A_s \times \text{Sen}\theta}$$

(Ecuación 77-1.)

Donde:

v_p: Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas, (m/s).

Q=Q_d: Caudal de diseño, (m³/s).

A_s: Área superficial, (m²).

θ : Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa, (°).

l. Número de placas por módulo

$$N_p = \frac{(L_s \times \text{Sen}\theta) + s_p}{s_p + e_p}$$

(Ecuación 78-1.)

Donde:

N_p : Número de placas por módulo, (unidad).

L_s : Longitud de sedimentación, (m).

θ : Ángulo de inclinación de las placas, (°)

s_p : Separación entre placas, (m).

e_p : Espesor de las placas, (m).

m. Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

$$tr_s = \frac{V}{Q} = \frac{A_s \times H_s}{Q}$$

(Ecuación 79-1.)

Donde:

$Q=Q_d$: Caudal de diseño, (m^3/s).

H_s : Altura total del sedimentador, (m). (valor asumido)

A_s : Área de sedimentación, (m^2).

tr_s : tiempo de retención en el tanque de sedimentación, (s).

n. Volumen del sedimentador

$$V_s = L_s \times b_s \times H_s$$

(Ecuación 80-1.)

Donde:

L_s : longitud del sedimentador, (m).

b_s : ancho del sedimentador, (m).

H_s : altura del sedimentador, (m). (Valor asumido).

V_s : volumen del sedimentador, (m^3).

1.6.6. Filtración

En general, la filtración es la operación final, que se realiza en una planta de tratamiento de agua y por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente de los patrones de potabilidad. Es un proceso que consiste en hacer pasar el agua a través de un lecho de arena u otro material poroso para así separar las partículas y microorganismos que no han podido ser removidos en los procesos de coagulación y sedimentación.

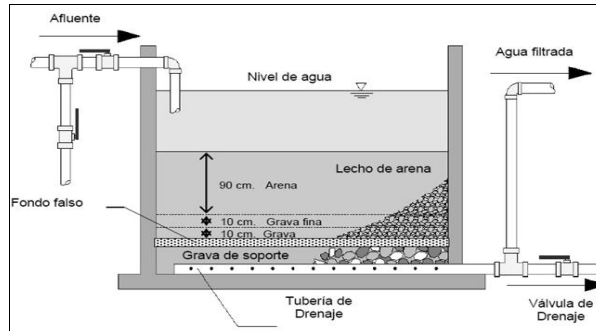
En base a las velocidades de filtración adoptadas en la práctica y en función de la granulometría de los lechos filtrantes, se pueden distinguir dos tipos generales de filtros: filtros rápidos y filtros lentos.

1.6.6.1. Filtración lenta en arena (FLA)

Son unidades de baja velocidad de filtración que no requieren sustancias químicas y permiten reducir virus, bacterias dañinas para la salud pública. Dichas unidades reducen materia fina orgánica e inorgánica, la calidad del agua tratada por una unidad FLA debe tener la mejor calidad, con bajos niveles de turbiedad, color, metales pesados, sustancias tóxicas.

Se utilizará un mínimo de dos unidades dimensionadas de modo que cada una pueda tratar el 50% del caudal.

Figura 7-1. Unidad de Filtración lenta en arena



Fuente: Biblioteca Virtual – FUNDESYRAM. Filtración lenta en arena.

1.6.6.1.1. Cálculos para el diseño de filtrador lento en arena

Para el diseño de un filtro lento en arena se toma en cuenta los siguientes parámetros:

a. Área de filtración

$$A_f = \frac{Q}{v_{fl}}$$

(Ecuación 81-1.)

Donde:

Q=Qd: caudal a tratar, (m³/h).

A_f: Área de filtración, (m²).

v_{fl}: velocidad de filtración, (m/h).

b. Número de módulos de filtración

$$n_f = 0,5 \times \sqrt[3]{A_f}$$

(Ecuación 82-1.)

Donde:

n_f: Número total de unidades rectangulares operando en paralelo.

A_f: Área de filtración, (m²).

c. Área para cada unidad

$$A_i = \frac{A_f}{n_f}$$

(Ecuación 83-1.)

Donde:

A_f : Área de filtración, (m²).

n_f : Número de filtros calculado, (unidades).

A_i : Área para cada área, (m²).

Tabla 15-1. Parámetros de diseño de filtros lentos de arena

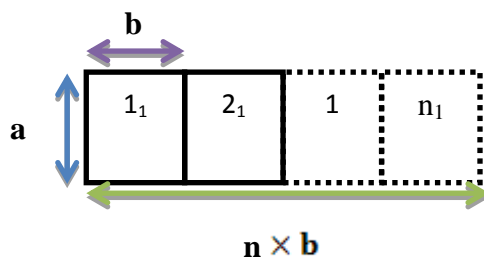
Parámetro	Valor
Tasa de filtración	1,2- 3,7m/s* 2 – 12 m/d.
Medio	Arena
Altura del agua sobre el lecho	1 - 1,5 m
Profundidad del medio	0,60 – 1 m
Profundidad de grava	0,30 m
Tamaño efectivo del medio	0,5 – 0,35 mm
Coefficiente de uniformidad	1,8 – 2,0
Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje	0,4 – 0,7 m
Tiempo de lavado	5 – 15 min

* TEBBUTT, T.H. 1990. Fundamentos de control de la calidad del agua.

Fuente: ROMERO, J. 1990. Purificación del Agua. Filtración

d. Dimensiones del filtro

Para la determinación de longitud y ancho de cada unidad, realizamos los siguientes cálculos:



1. Cálculo de la longitud de la pared común por unidad

$$a_{fu} = \left(\frac{2 \times n_f \times A_{if}}{2 + n_f} \right)^{0.5}$$

(Ecuación 84-1.)

Donde:

a_{fu} : longitud de la pared común por unidad, (m).

A_{if} : Área individual de cada unidad (m²).

n_f : Número de filtros calculado, (unidad).

2. Cálculo del ancho de la unidad

$$b_{fu} = \left(\frac{(n_f + 1)A_{if}}{2 \times n_f} \right)^{0.5}$$

(Ecuación 85-1.)

Donde:

b_{fu} : ancho de la unidad de filtración,(m).

A_{if} : Área individual de cada unidad (m²).

n_f : Número de filtros calculado, (unidad).

3. Longitud total de pared

$$L_{t_p} = (2 \times b_{fu} \times n_f) + a_{fu} \times (n_f + 1)$$

(Ecuación 86-1.)

Donde:

L_{t_p} : Longitud total de pared, (m).

n_f : Número total de unidades de filtración, (unidad).

b_{fu} : Ancho de la unidad, (m).

a_{fu} : Longitud de pared común por unidad, (m).

4. Longitud total mínima de pared

$$Lm_p = 2 \times a_{fu} \times (n_f + 1)$$

(Ecuación 87-1.)

Donde:

Lm_p : longitud total mínima de pared, (m).

n_f : Número total de unidades de filtración, (unidad).

a_{fu} : Longitud de pared común por unidad, (m).

5. Altura del filtro

La altura del filtro puede estimarse con la ecuación:

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

(Ecuación 88-1.)

Donde:

Z_f : Altura del filtro, (m).

C_a : Altura de la capa de agua, (m).

L_a : Altura del lecho filtrante, (m).

C_s : Altura de capa de soporte, (m).

F_c : Altura del drenaje, (m).

e. Sistema de drenaje

Los parámetros manejados para el diseño del sistema de drenajes se los demuestran en las tablas descritas a continuación:

Tabla 16-1. Parámetros de diseño para drenajes por tuberías

Parámetro	Valor
Velocidad máxima en el distribuidor	0,3 m/s
Velocidad máxima en los laterales	0,3 m/s
Área del lecho	$(1,5 \text{ a } 5) \times 10^{-2}$
Área principal	1,5 a 3
Área de orificios servida por el lateral	2 a 4

Fuente: SILVA, Miltón. 2002. Potabilización. Capítulo 6.

1. Área de orificios laterales

$$A_{of} = \frac{\pi \times D_o^2}{4}$$

(Ecuación 89-1.)

Donde:

A_{of} : Área de cada orificio, (m²).

D_o : Diámetro de los orificios, (m).

2. Caudal que ingresa a cada orificio

$$Q_o = A_{of} \times v_{of}$$

(Ecuación 90-1.)

Donde:

Q_o : Caudal que ingresa, (m³/s).

A_{of} : Área de cada orificio, (m²).

v_{of} : Velocidad en el orificio, (m/s).

3. Número de laterales

$$n_L = \# \text{ Laterales} = n_{Lf} \times \frac{L_{tp}}{s_{lf}}$$

(Ecuación 91-1.)

Donde:

L_{tp} : Longitud total del filtro, (m).

s_{lf} : Separación entre laterales, (m).

n_{Lf} : número de laterales por lado, (adimensional).

n_L : número de laterales, adimensional.

Tabla 17-1. Parámetros de diseños laterales

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 – 25cm
Altura entre tubo y fondo del filtro	3 - 5 cm
Velocidad en orificio	3 – 5 m/s

Fuente: ARBOLEDA, J. 2000. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua.

4. Separación entre orificios

$$s_o = \# \text{ orificios/Laterales} = 2 \times \frac{L_L}{e_o}$$

(Ecuación 92-1.)

Donde:

L_L : Longitud de cada lateral, (m).

e_o : Espacio entre orificios, (m).

s_o : separación entre orificios, adimensional.

Nota: se multiplica por 2 debido a que se realiza dos orificios en la misma vertical formando 60° entre sí.

5. Número total de orificios

$$n_o = \# \text{ total de orificios} = n_L \times s_o$$

(Ecuación 93-1.)

Donde:

n_L : número de laterales, adimensional.

s_o : separación entre orificios, adimensional.

n_o : número total de orificios, adimensional.

6. Área total de orificios

$$A_{t_o} = A_{of} \times n_o$$

(Ecuación 94-1.)

Donde:

A_{t_o} : Área total de orificios, (m²).

A_{of} : Área de cada orificio, (m²).

n_o : número total de orificios, adimensional.

7. Diámetro de tubería de entrada al filtro

$$D_t = \sqrt{\frac{4Q_i}{v \times \pi}}$$

(Ecuación 95-1.)

Donde:

Q_i : Caudal de diseño para cada filtro, (m³/s).

v : Velocidad en la tubería, (m/s).

D_t : Diámetro de la tubería, (m).

8. Diámetro de la 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:

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

(Ecuación 96-1.)

Donde:

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

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

Q_i : Caudal de diseño para cada filtro, (m^3/s).

Tabla 18-1. Velocidades de Diseño para tuberías del filtro

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

Fuente: ROMERO, J. 1999. Purificación del Agua.

1.6.7. Desinfección

Es un proceso selectivo para la destrucción de microorganismos patógenos presentes en el agua (bacterias, protozoarios, virus y parásitos). Este proceso es necesario porque no es posible asegurar la remoción total de los microorganismos por los procesos físico-químicos, usualmente utilizados en el tratamiento del agua. El agente de desinfección más empleado es el cloro, debido a su fácil disponibilidad en forma de gas, líquido o sólido, es capaz de destruir la mayoría de microorganismos patógenos.

Por otro lado, las aguas suministradas por una planta de tratamiento de agua para consumo humano pueden sufrir contaminación en los tanques de almacenamiento o en las redes de distribución antes de ser distribuidas a la población. La desinfección debe protegerlas también de estas situaciones de riesgo posteriores al tratamiento.

Tabla 19-1. Compuestos desinfectantes utilizados para el tratamiento de aguas

COMPUESTO	FÓRMULA	PRESENTACIÓN	CONCENTRACIÓN COMERCIAL
Cloro	Cl ₂	Gas líquido bajo presión	99,5%
Hipoclorito de Calcio	Ca (OCl) ₂ . 4 H ₂ O	Granular Polvo	65 % de cloro disponible en peso (mínimo).
Hipoclorito de Sodio	Na OCl	Solución	10 % de cloro disponible en peso (mínimo).

Fuente: BRITO, Nancy. 2007.

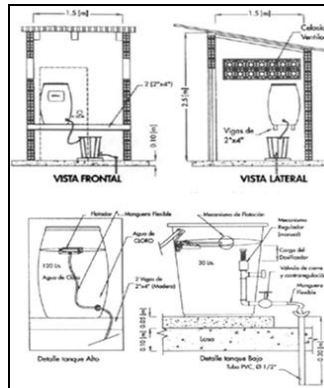
1.6.7.1. Desinfección del agua para consumo humano

Para realizar el adiconamiento de los desinfectantes al agua, se emplean el siguiente equipo dosificador:

a. Dosificador de flujo constante

Consiste en un recipiente plástico o de fibra de vidrio con un flotador dosificador. Véase la Figura 8-1. Esto dosificador requiere mantenimiento constante para mantener el recipiente con bastante solución y evitar obstrucciones en la manguera de cloración.

Figura 8-1. Esquema de instalación



Fuente: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/guiainstalsistdesinf.pdf>

1.6.7.2. Cálculo de dosificación para HTH

Mediante la siguiente ecuación, obtenemos la cantidad de HTH (Hipoclorito Cálcico) que debemos usar en un día.

$$\text{Dosificación lb/día} = 0,012 \times Q \times C_1$$

(Ecuación 97-1.)

Donde:

Q=Qd: caudal de diseño, (gpm).

C1: concentración de la dosificación de HTH, (mg/L; ppm).

a. Volumen de agua para diluir HTH

Para determinar la cantidad de agua necesaria para diluir el Hipoclorito de Calcio, utilizamos la relación de la densidad.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

(Ecuación 98-1.)

Donde:

ρ_{HTH} : Densidad de hipoclorito cálcico, (Kg/L).

m: cantidad de HTH, (Kg/día).

V₁: volumen de agua necesaria para diluir el HTH, (L).

b. Volumen de agua para diluir la solución madre

Se procede con la siguiente ecuación:

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

(Ecuación 99-1.)

Donde:

V₁: volumen para diluir el HTM, (L).

V_2 : volumen para diluir la solución madre, (L).

C_1 : concentración de la dosificación de HTH, (mg/L; ppm).

C_2 : concentración del HTH, (mg/L).

c. Volumen total de la solución

$$V_T = V_1 + V_2$$

(Ecuación 100-1.)

Donde:

V_T : volumen total de la solución, (L).

V_1 : volumen para diluir el HTM, (L).

V_2 : volumen para diluir la solución madre, (L).

d. Volumen del Hipoclorador

$$V_{HC} = \frac{P_{Cl}}{5 \times C}$$

(Ecuación 101-1.)

Donde:

V_{HC} : Volumen del Hipoclorador, (L).

C : Concentración de hipoclorito de calcio equivalente al cloro doméstico (5%).

P_{Cl} : Peso de cloro requerido, (Kg/día).

1.6.7.3. Cálculos para el diseño del tanque contacto para mezcla de cloro

a. Volumen del tanque

$$V_{\text{tanque}} = Q \times tr$$

(Ecuación 102-1.)

Donde:

V_{tanque} : Volumen del tanque, (L).

Q: Caudal, (L/ s)

t_r : tiempo de retención, (s)

b. Altura del tanque

$$H_{\text{tanque}} = \frac{V_{\text{tanque}}}{A}$$

(Ecuación 103-1.)

Donde:

H_{tanque} : Altura del tanque, (m).

V_{tanque} : Volumen del tanque, (m^3).

A: Área del tanque, (m^2)

CAPITULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Muestreo

2.1.1. Localización de la investigación

La presente investigación para la realización del Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Potable se desarrolló en la vertiente Illangama, ubicada en la Parroquia de Santa Fé de la ciudad de Guaranda, Provincia de Bolívar; la cual, está conformada por nueve comunidades que son: San Rafael del Tusso, Verdepamba, Pianda, Shunguna, Chagcha, Illapa, las Palmas, San Vicente de las Tres Cruces y Curhua.

La Parroquia por contar con un sistema de canal de riego su principal actividad económica es la agricultura, siendo su potencial el maíz, trigo, arveja, habas, fréjol papas. etc.

2.1.2. Método de recopilación de la información

El método de investigación que se tratará para el desarrollo del trabajo será de tipo comparativo utilizando datos estadísticos los mismos que al relacionarlos con los datos obtenidos durante la elaboración del proyecto nos permitirá dimensionar y diseñar una Planta de Tratamiento del Agua Potable apto para el consumo humano para la Parroquia de Santa Fé, el cual cumplirá con los parámetros indicados en la norma NTE INEN 1108:2006.Segunda Revisión. Requisitos del Agua Potable.

2.1.3. Procedimiento para la recolección de información

Para la recolección de información se tomó en consideración el método sistemático simple, las muestras fueron tomadas de la captación, del tanque de recepción y de un grifo domiciliario durante tres semanas. En la tabla 1-2 se describe la cantidad de muestra que se tomara durante este periodo, tomando en cuenta la NTC INEN 2 169:98 Agua, Calidad del Agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. Esta norma establece las precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar muestras de agua para un buen trabajo:

Tabla 1-2. Plan de muestreo

Lugar de muestreo	Días de muestreo	Muestras diarias	Muestras semanal	Muestras analizadas
Captación	1	1	1	3
Tanque recolector	2	1	2	6
Domiciliaria	2	1	2	6
Total de muestras				15

Fuente: Vergara Gisela

Además se contó con la colaboración del Gerente de EP- EMAPAG y la del Jefe del departamento de Control de Calidad de la Planta de Potabilización “Chaquishca” el que supervisó los análisis para el presente proyecto. Y posteriormente se revisó con el Director de la Tesis y el Asesor Docente los datos obtenidos con el propósito de realizar los cálculos pertinentes para el Diseño de una Planta de Agua Potable.

2.1.4. Recolección de muestras

La toma de muestras se las efectuó de acuerdo al cronograma establecido con anterioridad, tomando las consideraciones del Método de Toma de Muestras que se puede apreciar en la siguiente Tabla 2-2:

Tabla 2-2. Toma de muestras

Envases para la toma de muestras	Material	Los recipientes en que se recogen las muestras deberán ser de vidrio o material plástico.
	Requisitos	<ul style="list-style-type: none"> – No desprender materia orgánica u otros que puedan contaminar la muestra recogida. – Que la adsorción ejercida por sus paredes sea mínima sobre cualquiera de los componentes presentes en la muestra de agua. – Que el material constituyente del recipiente no reaccione con los componentes de la muestra. – Deberán poderse cerrar y sellar herméticamente.
	Precauciones	<ul style="list-style-type: none"> • Los envases de vidrio no deben utilizarse para tomar las muestras en que se deben determinar elementos alcalinos, fluoruros. • En el momento de la toma de muestra, los envases han de ser enjuagados varias veces con el agua a analizar y después llenados completamente sin dejar cámara de aire. • Antes de tomar una muestra se debe purgar no solamente para eliminar el agua estancada sino que también para dar un lavado adicional que remueva cualquier sedimento u otra impureza que presente.

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EMAPA-G, 2015.
Realizado por Gisela Vergara

Las muestras fueron inmediatamente trasladadas al laboratorio de la Planta de Potabilización “Chaquishca” de la ciudad de Guaranda donde se ejecutó el análisis respectivo de las muestras, evitando que se alteren las características físico- químicas, microbiológicas. Se tomaron muestras de tipo sistemático simple, las muestras fueron tomadas de la captación, del tanque recolector y de un grifo domiciliario durante tres semanas. En la tabla 2-1, se describe la cantidad de muestra que se tomara durante este periodo

2.1.5. Plan de tabulación y análisis

A los datos obtenidos luego de cada análisis físico – químico y microbiológico se procedió a la tabulación de los mismos para verificar cuales son los parámetros que están fuera de los límites permisibles de la norma NTE INEN 1108:2006. Segunda Revisión y así proceder a la búsqueda de soluciones para obtener un tipo de agua potable de calidad para la población de la Parroquia de Santa Fé.

2.2. Metodología

2.2.1. Metodología de trabajo

Para la realización de la presente investigación se trabajó con muestras diarias de agua cruda de la captación, del tanque recolector y de un grifo domiciliario de la Parroquia de Santa Fé, por tres semanas consecutivas, cuales fueron recolectadas con los respectivos cuidados y requerimientos. Las muestras que fueron trasladadas de inmediato al laboratorio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Chaquishca” para la realización de su caracterización físico-química y microbiológica de las mismas, asimismo se realizó la prueba de jarras para el agua recolectada dosificando policloruro de aluminio.

2.2.2. Tratamiento de muestras

Se tomaron muestras diarias por tres semanas consecutivas de los diferentes puntos de muestreo, en las que se realizó la caracterización físico-química y microbiológica que consta de 33 parámetros especificados en el cuadro siguiente:

Tabla 3-2. Parámetros de caracterización del agua potable

No	PARÁMETRO	UNIDAD
CARACTERISTICAS FISICAS		
1	Color	UCV
2	Turbiedad	NTU
3	Olor	---
4	Sabor	---
5	Ph	---
6	Sólidos Totales Disueltos	mg/L
SUSTANCIAS INORGANICAS		
7	Aluminio	mg/L
8/9	Amonio (Salicílico / Nessler)	mg/L
10	Bario	mg/L
11	Bromo	mg/L
12	Cianuro	mg/L
13	Cloruros	mg/L
14	Cobalto	mg/L
15	Cobre	mg/L
16	Cromo IV	mg/L
17	Cromo Total	mg/L
18	Dureza	mg/L
19	Fluoruros	mg/L
20	Fosfatos	mg/L
21	Hierro	mg/L
22	Manganeso	mg/L
23	Molibdeno	mg/L
24	Niquel	mg/L
25	Nitratos	mg/L
26	Nitritos	mg/L
28	Plomo	mg/L
29	Sulfatos	mg/L
30	Zinc	mg/L
31	Trihalometanos	mg/L
MICROBIOLÓGICOS		
32	Coliformes totales	NMP/100ml
33	Coliformes fecales	NMP/100ml

Fuente: INEN 1108. 2006. Agua Potable, Requisitos.

Además se realizó la respectiva prueba de tratabilidad o conocida también como prueba de jarras al agua recolectada utilizando Policloruro de Aluminio.

2.2.3. Equipos materiales y reactivos

Tabla 4-2. Equipos materiales y reactivos

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
-Balanza Analítica -Baño María -Colorímetro -Conductímetro -Equipo de Jarras -Espectrofotómetro HACH -Estufa -Fotómetro -Incubadora -pH-metro -Reverbero -Turbidímetro	-Buretas -Erlenmeyer -Film protector -Peras -Pinzas -Pipetas -Probetas -Tubos de ensayo -Vasos de precipitación -Matraz	-Reactivos HACH -Indicadores PAN (0,3% y 0,1%) -Solución EDTA -Solución Buffer -Solución de Tiocianato de mercurio -Solución Férrica -Indicador Cianuro alcalino -Spands -Agua Destilada -Soluciones amortiguadoras de pH4, pH7 -Colorante negro de Eriocromo T (indicador) -Ampollas m-ColiBlue24® Broth

Fuente: Vergara Gisela

2.2.4. Métodos y técnicas

2.2.4.1. Métodos

Los métodos de ensayo utilizados para esta investigación que se desarrollaron en el laboratorio son métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standar Methods for Examination of Water and Wastewater) especificados en su última edición y el Manual de Análisis de Agua, métodos HACH.

Tabla 5-2. Métodos de análisis

DETERMINACIÓN	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Color	Comparativo	Se toma una muestra (agua cruda) en un recipiente del comparador y en el otro se agua destilada, se procede a la lectura.
Turbiedad	Nefelométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor.
Ph	Potenciométrico	
Solidos Totales Disueltos	Electrométrico	
Conductividad	Electrométrico	
Aluminio	Espectrofotométrico	Tomar 25 ml de muestra (agua cruda) en tubo de inversión, colocar los reactivos que indica el manual y registrar los resultados.
Dureza	Volumétrico	Se toma 25 ml de la muestra (agua cruda), seguido de 1ml de solución tampón, más una pizca de negro de eriocromo T en polvo, y titular con EDTA 0.02 N
Nitratos, Nitritos, Fosfatos, Cloruros, Cloro Libre, Cloro Residual, Bromo, Cobre, Cromo, Sulfatos, Hierro Total, Níquel, Cobalto, Fluoruro, Manganeso, Nitrógeno Amoniacal,	Espectrofotométrico	Tomar 10 ml de muestra (agua cruda), colocar los reactivos indicados en la técnica y registrar los resultados obtenidos.
Plata Cianuro Zinc Plomo	Fotómetro	Colocar los reactivos indicados en la técnica y registrar los resultados
Escherichia Coli Coliformes Totales	Sembrado	Se esteriliza el equipo microbiológico para la filtración, se toma 50 ml de muestra (agua cruda) y se filtra, se vierte el reactivo y se siembra a la temperatura correspondiente.

Fuente: Vergara Gisela

2.2.4.2. Técnicas

Los cuales se los puede apreciar en el Anexo B, Técnicas para el análisis físico-químico del agua; y Anexo C, Técnicas utilizadas para el análisis microbiológico del agua.

2.3. Datos experimentales

2.3.1. Descripción del sistema existente en el sector

En la parroquia de Santa Fé del cantón Guaranda perteneciente a la provincia de Bolívar no cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Potable, donde se puede observar que el

agua que es consumida por la población proviene de una vertiente subterránea llamada Illangama, la cual es captada y dirigida a un tanque recolector, y es descargada directamente a los hogares de los habitantes de este sector mediante tuberías de PVC, sin tener ningún tratamiento de desinfección, por lo cual, esta es una de las razones más preocupantes por las que, los habitantes de este sector han sido afectado en su salud pero principalmente a los niños, quienes son los más vulnerables, obteniendo enfermedades de origen parasitarias , cansancio, anemia, diarrea, entre otras.

Figura 1-2. Tanque de Reserva.



Fuente: Vergara Gisela

2.3.2. Datos

2.3.2.1. Caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda

Para la caracterización del agua captada se tomó muestras de agua cruda durante tres semanas consecutiva. Demostrando con estos resultados problemas de: turbiedad, color, Hierro, Manganeseo, Coliformes Fecales y Totales debido a que presentan concentraciones mayores a los límites permisibles de la norma NTE INEN 1108:2006.Segunda Revisión. Para establecer la calidad de agua de la vertiente se realizó una caracterización físico-química y microbiológica, los cuales se realizaron en el laboratorio de control de calidad de

la Planta de Potabilización “Chaquishca”, obteniendo los resultados que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 6-2. Resultados Análisis físico-químico y bacteriológico. Entrada agua cruda al tanque recolector sector Santa Fe (agua cruda), Semana 1.

PARAMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA				
		07-Abr	08-Abr	09-Abr	10-Abr	11-Abr
Color	UTC	1,00	15,00	1,00	1,00	35,00
Turbiedad	NTU	0,49	38,65	0,74	0,78	98,47
Ph	.....	7,54	7,16	6,94	7,31	7,26
Conductividad	uS/cm	464,00	420,67	406,18	443,51	452,96
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	225,00	220,08	210,69	214,00	220,64
Temperatura	° C	18,80	18,54	18,41	18,50	18,74
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	3,20	2,68	3,05	4,89	2,96
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,005	0,007	0,009	0,006	0,008
Fosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,65	0,59	0,62	0,90	0,78
Nitrogeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	4,00	1,00	2,00	5,00	3,00
Fluoruros (F)	mg/L	0,46	0,43	0,53	1,05	0,64
Hierro Total (Fe)	mg/L	0,45	0,39	0,48	0,64	0,52
Manganeso (Mn²⁺)	mg/L	0,43	0,57	0,51	0,41	0,57
Cromo (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,010	0,009	0,007	0,007	0,009
Cobre (Cu)	mg/L	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	62,00	58,00	60,00	54,00	50,00
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	0,006	0,008	0,005	0,007	0,009
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	6,60	4,82	5,29	5,70	4,96
Níquel (Ni)	mg/L	0,009	0,006	0,008	0,006	0,009
Cobalto (Co)	mg/L	0,005	0,008	0,006	0,003	0,007
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Plata (Ag ⁺)	mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	0,23	0,27	0,39	0,37	0,29
Bromo (Br)	mg/L	0,03	0,06	0,04	0,01	0,06
Molibdeno (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,65	0,42	0,37	0,40	0,49
Cromo Total (Cr)	mg/L	0,009	0,006	0,007	0,008	0,006
Oxígeno Disuelto(O ₂)	mg/L	36,00	22,00	40,00	26,00	38,00
Coliformes Totales	NMP/100 mL	218	52	157	90	84
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	4	12	24	8	26

Fuente: Vergara Gisela

Tabla 7-2. Resultados Análisis físico-químico y bacteriológico. Entrada agua cruda al tanque recolector sector Santa Fe (agua cruda), Semana 2.

PARAMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA				
		14-Abr	15-Abr	16-Abr	17-Abr	18-Abr
Color	UTC	1,00	1,00	40,00	1,00	20,00
Turbiedad	NTU	0,43	0,65	158,64	0,56	87,65
Ph	.....	7,30	7,28	7,18	7,36	7,27
Conductividad	uS/cm	432,00	416,27	425,89	405,87	437,68
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	208,00	216,49	220,96	218,42	224,86
Temperatura	° C	17,50	18,06	17,54	17,90	17,83
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	4,62	3,81	4,27	3,45	4,86
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,006	0,008	0,007	0,007	0,005
Fosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,98	0,48	0,62	0,57	0,86
Nitrogeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	5,00	3,00	5,00	4,00	4,00
Fluoruros (F)	mg/L	0,98	0,74	0,85	0,78	0,80
Hierro Total (Fe)	mg/L	0,46	0,52	0,67	0,38	0,54
Manganeso (Mn²⁺)	mg/L	0,68	0,74	0,59	0,62	0,71
Cromo (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,009	0,007	0,007	0,008	0,008
Cobre (Cu)	mg/L	0,06	0,04	0,07	0,08	0,08
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	50,00	48,00	54,00	46,00	58,00
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	0,009	0,008	0,009	0,009	0,007
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	4,50	3,67	4,28	3,89	4,97
Niquel (Ni)	mg/L	0,004	0,006	0,008	0,004	0,006
Cobalto (Co)	mg/L	0,006	0,008	0,006	0,009	0,007
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Plata (Ag ⁺)	mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	0,31	0,28	0,37	0,34	0,29
Bromo (Br)	mg/L	0,02	0,04	0,02	0,02	0,05
Molibdeno (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,70	0,64	0,68	0,73	0,59
Cromo Total (Cr)	mg/L	0,007	0,007	0,009	0,008	0,009
Oxígeno Disuelto (O ₂)	mg/L	32,00	28,00	31,00	30,00	27,00
Coliformes Totales	NMP/100 mL	86	92	76	124	106
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	46	68	6	18	62

Fuente: Vergara Gisela

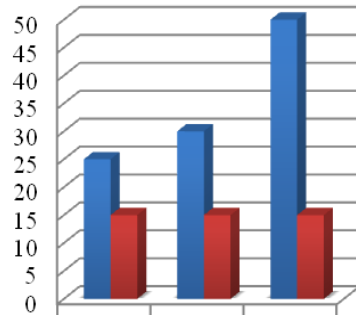
Tabla 8-2. Resultados Análisis físico-químico y bacteriológico. Entrada agua cruda al tanque recolector sector Santa Fe (agua cruda), Semana 3.

PARAMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA				
		21-Abr	22-Abr	23-Abr	24-Abr	25-Abr
Color	UTC	1,00	1,00	55,00	45,00	15,00
Turbiedad	NTU	0,51	0,67	189,68	165,83	0,37
Ph	.....	6,79	7,08	7,24	7,17	7,42
Conductividad	uS/cm	88,30	192,67	220,98	210,57	208,59
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	42,80	98,41	110,24	99,68	100,35
Temperatura	° C	17,40	18,24	17,97	18,16	18,09
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	1,00	1,18	0,98	1,12	0,87
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,004	0,006	0,008	0,005	0,005
Fosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,81	0,54	0,79	0,52	0,54
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00
Fluoruros (F)	mg/L	0,36	0,38	0,42	0,39	0,40
Hierro Total (Fe)	mg/L	0,54	0,40	0,38	0,51	0,67
Manganeso (Mn²⁺)	mg/L	0,47	0,37	0,40	0,39	0,44
Cromo (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,006	0,006	0,008	0,007	0,007
Cobre (Cu)	mg/L	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	50,00	42,00	48,00	52,00	38,00
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	0,009	0,007	0,009	0,009	0,006
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	0,36	0,42	0,58	0,54	0,48
Níquel (Ni)	mg/L	0,004	0,007	0,008	0,008	0,006
Cobalto (Co)	mg/L	0,006	0,008	0,007	0,007	0,008
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Plata (Ag ⁺)	mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	0,20	0,26	0,24	0,34	0,30
Bromo (Br)	mg/L	0,04	0,06	0,04	0,07	0,07
Molibdeno (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,65	0,52	0,60	0,54	0,56
Cromo Total (Cr)	mg/L	0,008	0,008	0,007	0,008	0,009
Oxígeno Disuelto (O ₂)	mg/L	30,00	36,00	28,00	32,00	35,00
Coliformes Totales	NMP/100 mL	125	84	110	94	72
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	24	10	26	6	14

Fuente: Vergara Gisela.

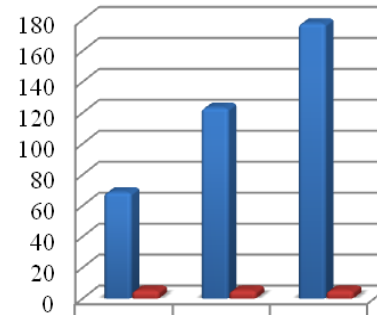
Gráfica 1-2. Resultados promedio semanal de los parámetros problema (agua cruda)

COLOR



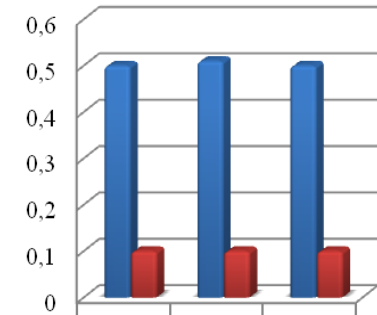
	1	2	3
■ agua cruda	25	30	50
■ limite permisible	15	15	15

TURBIEDAD



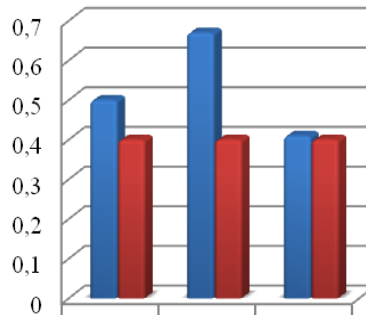
	1	2	3
■ agua cruda	68,56	123,15	177,76
■ limite permisible	5	5	5

HIERRO TOTAL



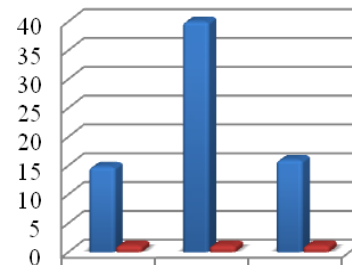
	1	2	3
■ agua cruda	0,5	0,51	0,5
■ limite permisible	0,1	0,1	0,1

MANGANESO



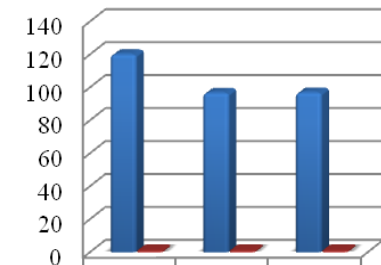
	1	2	3
■ agua cruda	0,5	0,67	0,41
■ limite permisible	0,4	0,4	0,4

COLIFORMES FECALES



	1	2	3
■ agua cruda	14,8	40	16
■ limite permisible	1,1	1,1	1,1

COLIFORMES TOTALES



	1	2	3
■ agua cruda	120,2	96,8	97
■ limite permisible	1	1	1

Fuente: Vergara Gisela

2.3.2.2. Prueba de jarras para la turbiedad

La prueba de jarras se lo realizó en el laboratorio de Control de Calidad de la Planta de Potabilización “Chaquishca” de EMAPA-G, tomando muestras del agua cruda del tanque recolector donde se utilizó el Policloruro de Aluminio y CHEMFLOC 932, un floculante aniónico con la finalidad de acelerar el proceso de floculación. Las turbiedades con las que se realizó la prueba de jarras fueron de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis donde se inició con valores de turbiedad de 38,65 NTU como valor mínimo y con un máximo de 189,68 NTU, se las puede apreciar en las Tablas 9-2; 10-2;11-2;12-2;13-2;14-2.; las cuales, se realizaron diferentes pruebas con distintos volúmenes de las soluciones de PAC para comprobar con que concentraciones se debe trabajar para tratar el agua que ingresara al tratamiento que se va a proceder a diseñar. Se puede observar que las pruebas de tratabilidad que poseen mayor porcentaje de remoción son aquellas con las que se trabajara, debido a que cumplen con la norma INEN 1108: 2006 para brindar un líquido vital de buena calidad.

Tabla 9-2. Prueba de Jarras efectuadas a las muestras que presentaron variación en la calidad del agua
Turbiedad 38.65 NTU

Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	1,00	0,50	1,74	4,42	2,32	94,00
0,80	0,01	2,00	1,00	1,47	3,01	0,54	98,60
0,80	0,01	3,00	1,50	3,80	7,91	3,09	92,00
0,80	0,01	4,00	2,00	3,98	8,31	3,21	91,70
0,80	0,02	1,00	0,50	4,15	8,73	3,32	91,40
0,80	0,02	2,00	1,00	4,33	9,15	3,44	91,10
0,80	0,02	4,00	2,00	4,70	10,01	3,67	90,50
0,80	0,03	1,00	0,50	4,89	10,46	3,79	90,20
0,80	0,03	2,00	1,00	5,07	10,91	3,90	89,90
0,80	0,03	3,00	1,50	5,27	11,37	4,02	89,60
0,80	0,03	4,00	2,00	5,46	11,85	4,14	89,30
0,80	0,04	1,00	0,50	5,65	12,33	4,25	89,00
0,80	0,04	2,00	1,00	5,85	12,82	4,37	88,70

Fuente: Vergara Gisela

Tabla 10-2. Prueba de Jarras efectuadas a las muestras que presentaron variación en la calidad del agua Turbiedad 87.65 NTU

Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	1,00	0,75	3,09	3,71	3,16	96,40
0,80	0,01	2,00	1,25	3,14	3,14	4,03	95,40
0,80	0,01	3,00	1,75	4,88	3,90	5,08	94,20
0,80	0,01	4,00	2,25	2,64	2,56	5,87	93,30
0,80	0,02	1,00	0,75	3,09	2,66	7,36	91,60
0,80	0,02	2,00	1,25	1,07	2,48	0,44	99,50
0,80	0,02	3,00	1,75	1,26	3,21	1,05	98,80
0,80	0,03	1,00	0,75	9,99	9,79	7,80	91,10
0,80	0,03	2,00	1,25	8,56	8,30	6,49	92,60
0,80	0,03	3,00	1,75	7,99	7,67	5,87	93,30
0,80	0,03	4,00	2,25	10,80	10,26	7,71	91,20
0,80	0,04	1,00	0,75	11,99	11,27	8,33	90,50
0,80	0,04	2,00	1,25	12,71	11,82	8,59	90,20
0,80	0,04	3,00	1,75	13,19	12,13	8,68	90,10
0,80	0,04	4,00	2,25	3,83	10,11	2,45	97,20

Fuente: Vergara Gisela

Tabla 11-2. Prueba de Jarras efectuadas a las muestras que presentaron variación en la calidad del agua Turbiedad 98.47 NTU

Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	1,00	0,75	9,09	7,82	6,40	93,50
0,80	0,01	2,00	1,25	13,28	11,15	9,55	90,30
0,80	0,01	3,00	1,75	11,52	9,44	8,47	91,40
0,80	0,01	4,00	2,25	5,89	4,71	4,43	95,50
0,80	0,02	1,00	0,75	5,63	4,39	4,33	95,60
0,80	0,02	2,00	1,25	5,38	4,09	4,23	95,70
0,80	0,02	3,00	1,75	5,13	3,79	4,14	95,80
0,80	0,02	4,00	2,25	1,67	3,17	0,39	99,60
0,80	0,03	1,00	0,75	9,34	7,00	8,57	91,30
0,80	0,03	2,00	1,25	8,70	6,35	8,37	91,50
0,80	0,03	3,00	1,75	8,09	5,74	8,17	91,70
0,80	0,03	4,00	2,25	7,50	5,17	7,98	91,90
0,80	0,04	1,00	0,75	6,92	4,64	7,78	92,10
0,80	0,04	2,00	1,25	6,37	5,60	7,58	92,30
0,80	0,04	3,00	1,75	5,83	5,02	7,39	92,50

Fuente: Vergara Gisela

Tabla 12-2. Prueba de Jarras efectuadas a las muestras que presentaron variación en la calidad del agua Turbiedad 158.64 NTU

Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	1,00	0,75	5,91	5,26	6,03	96,20
0,80	0,01	2,00	1,25	4,97	4,23	5,24	96,70
0,80	0,01	3,00	1,75	4,09	3,31	4,44	97,20
0,80	0,01	4,00	2,25	3,25	2,50	3,65	97,70
0,80	0,02	1,00	0,75	4,68	3,42	2,86	98,20
0,80	0,02	2,00	1,25	5,36	3,70	2,06	98,70
0,80	0,02	3,00	1,75	5,08	3,30	1,27	99,20
0,80	0,02	4,00	2,25	5,74	3,50	7,46	95,30
0,80	0,03	1,00	0,75	5,28	3,01	7,14	95,50
0,80	0,03	2,00	1,25	4,84	2,57	6,82	95,70
0,80	0,03	3,00	1,75	4,42	2,17	6,50	95,90
0,80	0,03	4,00	2,25	4,02	3,94	6,19	96,10
0,80	0,04	1,00	0,75	3,54	4,07	5,71	96,40
0,80	0,04	2,00	1,25	1,55	2,18	0,63	99,60
0,80	0,04	3,00	1,75	5,53	7,85	1,43	99,10
0,80	0,04	4,00	2,25	6,76	9,93	1,59	99,00

Fuente: Vergara Gisela

Tabla 13-2. Prueba de Jarras efectuadas a las muestras que presentaron variación en la calidad del agua Turbiedad 165.83 NTU

Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	1,00	0,75	8,32	7,99	145,93	12,00
0,80	0,01	2,00	1,25	5,82	5,47	107,79	35,00
0,80	0,01	3,00	1,75	4,40	4,05	86,23	48,00
0,80	0,01	4,00	2,25	3,50	3,15	72,97	56,00
0,80	0,02	1,00	0,75	10,94	9,63	160,86	3,00
0,80	0,02	2,00	1,25	10,40	8,94	157,54	5,00
0,80	0,02	3,00	1,75	9,87	8,29	154,22	7,00
0,80	0,02	4,00	2,25	9,25	7,59	149,247	10,00
0,80	0,03	2,00	1,25	10,98	8,57	114,42	31,00
0,80	0,03	3,00	1,75	9,04	6,87	96,18	42,00
0,80	0,03	4,00	2,25	7,48	5,53	81,26	51,00
0,80	0,04	1,00	0,75	5,71	4,11	87,89	47,00
0,80	0,04	2,00	1,25	7,61	5,33	102,81	38,00
0,80	0,04	3,00	1,75	1,59	3,26	0,50	99,70
0,80	0,04	4,00	2,25	3,13	11,43	1,33	99,20

Fuente: Vergara Gisela

Tabla 14-2. Prueba de Jarras efectuadas a las muestras que presentaron variación en la calidad del agua Turbiedad 189.68 NTU

Conc Auxiliar	Conc PAC	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,80	0,01	1,00	0,75	10,20	8,16	182,09	4,00
0,80	0,01	2,00	1,25	10,23	7,98	176,40	7,00
0,80	0,01	3,00	1,75	10,24	7,78	170,71	10,00
0,80	0,01	4,00	2,25	10,23	7,57	165,02	13,00
0,80	0,02	1,00	0,75	9,96	6,77	142,26	25,00
0,80	0,02	2,00	1,25	9,42	6,03	138,47	27,00
0,80	0,02	3,00	1,75	8,89	5,33	134,67	29,00
0,80	0,02	4,00	2,25	8,38	4,69	130,88	31,00
0,80	0,03	1,00	0,75	9,88	7,11	117,60	38,00
0,80	0,03	2,00	1,25	9,79	6,85	113,81	40,00
0,80	0,03	3,00	1,75	9,68	6,29	110,01	42,00
0,80	0,04	1,00	0,75	3,13	12,52	28,45	85,00
0,80	0,04	2,00	1,25	2,47	9,62	18,97	90,00
0,80	0,04	3,00	1,75	3,13	10,64	20,86	89,00
0,80	0,04	4,00	2,25	2,59	6,49	0,57	99,70

Fuente: Vergara Gisela

2.3.2.3. Caracterización físico-química y microbiológica del agua después de realizar las pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio.

Para los parámetros de turbiedad, color, Manganeseo, Hierro, Coliformes Fecales y Totales, los cuales se encontraban fuera de la norma INEN 1108:2006. Segunda Revisión, se realizó a nivel de laboratorio pruebas de floculación, sedimentación (mediante la ayuda del test de jarras), filtración y desinfección. En los cuales se hizo uso del Policloruro de Aluminio y CHEMFLOC 932 para la prueba de jarras, para filtración la elaboración de un filtro que contenga grava y arena; y finalmente para la desinfección se utilizó Hipoclorito de Calcio. Dando así resultados positivos, como se puede notar en las Tabla 11-3, al momento de realizar la caracterización del agua que se trató mediante los procesos anteriormente mencionados a nivel de laboratorio, todos los parámetros están dentro de los límites máximos permisibles mediante la norma INEN 1108:2006. Segunda Revisión.

CAPITULO III

3. CÁLCULOS DE DISEÑO

3.1. Cálculo población futura para el diseño

De acuerdo al Censo de Población, realizado el 28 de Noviembre del 2010, por el INEC, la Parroquia de Santa Fé cuenta con 3125 habitantes, con un índice de crecimiento intercensal de 1,95%.

El periodo de diseño es de 20 años, donde este valor es recomendado por el CEC INEN 5 Parte 9-1:1992. Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes.

Utilizamos la ecuación 1-1, calculamos la población futura:

$$N_t = N_o \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

Datos:

N_o : Población Actual (2014): 3125 habitantes.

r: Tasa crecimiento anual: 1,95% según el INEC.

t: número de años que se va proyectar la población: 20 años.

$$N_t = 3\ 125 \left(1 + \frac{1,95}{100}\right)^{20}$$

$$N_{t_{2034}} = 4\ 598 \text{ habitantes}$$

La población futura de cada año hasta llegar al año proyectados lo podemos apreciar en el Anexo D.

3.2. Cálculo de las dotaciones

Las dotaciones de agua para satisfacer las necesidades de la población se fijará en base a las condiciones particulares de cada población y esto se logró con la ayuda de la junta parroquial de la parroquia de Santa Fé.

3.2.1. Cálculo de dotación básica

De acuerdo a la información proporcionada por la Junta Parroquial de la Parroquia de Santa Fé, el volumen de agua consumida es de 3L/s y el total de usuarios servidos actualmente es de 425 usuarios. La cantidad diaria de agua consumida por cada habitante de esta población se la conoce mediante la ecuación 2-1:

$$DB = \frac{V_{TCM}}{T_{US}} \times 1\,000$$

Datos:

T_{US} : Total de usuarios servidos (2014): 425 usuarios.

V_{TCM} : Volumen de agua consumida (2014): 7 776 m³/mes.

*Apreciación EMAPA-G se debe tener en cuenta que cada usuario representa a 5 habitantes.

Convenir unidades de L/s a m³/mes:

$$V_{TCM} = 3 \frac{L}{s} \times \frac{60s}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \times \frac{30 \text{ dia}}{1 \text{ mes}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ L}} = 7\,776 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

Remplazando en la ecuación tenemos la dotación básica:

$$DB = \frac{7\,776 \text{ m}^3/\text{mes}}{425 \text{ us}} \times \frac{1\,000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{mes}}{30 \text{ dia}} \times \frac{1\text{us}}{5\text{hab}}$$

$$DB = 121,98 \frac{\text{L}}{\text{hab} \times \text{dia}}$$

3.2.2. Dotación media futura

De acuerdo a E.P.- EMAPA-G el factor de mayorización con el que trabajan es de 1,18. Para la obtención de la dotación media futura, trabajamos con la ecuación 3-1:

$$DMF = FM \times DB$$

Datos:

FM: 1,18 adimensional.

DB: Dotación Básica: 121,98 L/hab × día.

$$DMF = 1,18 \times 121,98 \frac{\text{L}}{\text{hab} \times \text{dia}}$$

$$DMF = 143,94 \frac{\text{L}}{\text{hab} \times \text{dia}}$$

3.3. Cálculos de los gastos

El caudal de agua que la población necesita para satisfacer sus necesidades de manera horaria y diariamente.

3.3.1. Gasto medio diario (Q_{med})

La población para los años proyectados para este proyecto es de 4 598 habitantes. Para calcular la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de la población en un día de consumo promedio, se lo obtiene con la ecuación 4-1:

$$Q_{med} = \frac{N_t \times DMF}{86\ 400}$$

Datos:

N_t 2034: Población futura, (Proyectada): 4 598 habitantes.

DMF: Dotación media futura: 143,94 L/ (hab × día)

$$Q_{med} = \frac{4\ 598\text{hab} \times 143,94 \frac{\text{L}}{\text{hab} \times \text{día}}}{86\ 400 \frac{\text{s}}{\text{día}}}$$

$$Q_{med} = 7,66 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.3.2. Gasto máximo diario (Q_{Md})

El coeficiente de variación diaria con el que trabaja la E.P.-EMAPA-G es de 1,3. Este gasto máximo diario se obtiene con la ecuación 5-1:

$$Q_{Md} = k_1 \times Q_{med}$$

Datos:

k_1 : coeficiente de variación diaria: 1,3 adimensional.

Q_{med} : Consumo medio diario: 7,66L/s

$$QMd = 1,3 \times 7,66 \frac{L}{s}$$

$$QMd = 9,96 \frac{L}{s}$$

3.3.3. Gasto máximo horario (QMh)

El Coeficiente de variación horaria con el que trabaja la E.P.-EMAPA-G es de 1,6. Se obtiene a partir de la ecuación 6-1:

$$QMh = k_2 \times QMd$$

Datos:

k_2 : Coeficiente de variación horaria: 1,6 adimensional.

QMd: Gasto máximo diario: 9,96 L/s.

$$QMh = 1,6 \times 9,96 \frac{L}{s}$$

$$QMh = 15,94 \frac{L}{s}$$

3.4. Cálculos para Caudal de Diseño

Cálculos de los respectivos caudales para el Diseño de una Planta de Potabilización para la Parroquia de Santa Fé con el objetivo de satisfacer las necesidades existentes en la población.

3.4.1. Caudal de captación

La estructura de la captación se la diseñará con una capacidad equivalente a 1,5 veces el caudal del gasto máximo diario que es de 9,96L/s. El caudal de conducción se lo diseñará en base a la siguiente ecuación 7-1:

$$Q_{\text{captación}} = 1,5 \times Q_{\text{Md}}$$

Datos:

QMd: Gasto máximo diario: 9,96 L/s.

$$Q_{\text{captación}} = 1,5 \times 9,96 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{captación}} = 14,94 \frac{\text{L}}{\text{s}} \approx 15 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.4.2. Caudal de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento se diseñará para un caudal que posea un factor de seguridad de 1,10. El caudal de tratamiento se obtiene a partir de la ecuación 9-1:

$$Q_{\text{tratamiento}} = 1,10 \times Q_{\text{Md}}$$

Datos:

QMd: Gasto máximo diario: 9,96 L/s.

$$Q_{\text{tratamiento}} = 1,10 \times 9,96 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{tratamiento}} = 10,96 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

3.5. Volúmenes de reserva

Se debe contemplar en el dimensionamiento un volumen extra de almacenamiento para cubrir cualquier demanda de emergencia.

3.5.1. Volumen de regulación

Recomendado por el CEC INEN 5 Parte 9-1:1992. Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes, para poblaciones menores a 5 000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 30% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al final del período de diseño.

El volumen necesario para la regulación se lo obtiene mediante la ecuación 10-1:

$$V_r = CVR \times Q_{med}$$

Datos:

Q_{med} : Caudal del gasto medio diario: 7,66 L/s.

CVR: Constante del volumen de regulación: el 30% del volumen consumido en el día.

$$V_r = 0.30 \times \left(6.95 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ L}} \times \frac{3\,600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \right)$$

$$V_r = 180.14 \text{ m}^3$$

$$V_r = 180.14 \times 10^3 \text{ L}$$

3.5.2. *Volumen total*

El volumen total de almacenamiento se obtendrá al sumar los volúmenes de regulación, emergencia y el volumen para incendios, como se muestra en la ecuación 13-1. Pero antes se debe tomar en cuenta lo que recomienda en el CEC INEN 5 Parte 9-1:1992. Norma para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes, que nos indica: para poblaciones de hasta 5 000 en la sierra, no se considera almacenamiento para incendios; al igual no se calculará ningún volumen para emergencias.

$$V_t = V_r + V_i + V_e$$

Datos:

$$V_r = 180.14 \text{ m}^3$$

$$V_i = 0 \text{ m}^3$$

$$V_e = 0 \text{ m}^3$$

$$V_t = (0 + 0 + 180,14) \text{ m}^3$$

$$V_t = 180.14 \times 10^3 \text{ L}$$

3.6. **Consideraciones del diseño del proceso de potabilización**

Basándose en los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua que se realizaron durante el tiempo establecido, donde se propone un proceso convencional para la potabilización de este líquido vital mediante el diseño de una planta de tratamiento para obtener agua apta para el consumo diario de los moradores de la Parroquia de Santa Fé.

3.6.1. Diseño de la torre de aireación (bandejas)

La torre de aireación será construida de acero inoxidable para un caudal de 15 L/s, donde el proceso de aireación permite la remoción tanto de Hierro como de Manganeso y esto se da mediante oxidación al momento de ponerse en contacto con el oxígeno del aire.

Se debe tomar en cuenta para el respectivo diseño de la torre de aireación de bandejas la Tabla 4-1.

3.6.1.1. Área total del aireador

Para el área total del aireador aplicamos la ecuación 14-1, para un caudal de diseño de 15L/s y una carga hidráulica de 2,94 L/s×m² dada por la EP-EMAPA-G:

$$A_t = \frac{Q}{TA}$$

Datos:

Q=Qd: Caudal de diseño: 15 L/s

TA: Carga Hidráulica: 2,98 L/s×m²

$$A_t = \frac{15 \text{ L/s}}{2,98 \text{ L/s} \times \text{m}^2}$$

$$A_t = 5,03 \text{ m}^2$$

3.6.1.2. Altura total de torre

La altura recomendada para la remoción de Hierro se halla entre 2-2,5m, teniendo una eficiencia del 90%; por lo que adoptamos una altura de 2,25 m.

$$H_{\text{torre}} = 2,25 \text{ m}$$

3.6.1.3. Dimensionamiento de cada bandeja

Las bandejas de la torre de aireación, tomando en cuenta la tabla 4-1 tendrán las siguientes características:

- **Área de aireación (bandejas)**

Asumiendo bandejas cuadradas, su longitud es de 1m, donde se ocupa la ecuación 15-1:

$$A_i = 1 \times 1$$

Datos:

l: Lado de la bandeja: 1m.

$$A_i = (1 \times 1)m^2$$

$$A_i = 1 m^2$$

- **Número de unidades de aireación requerida**

El número de bandejas recomendado es de 4 a 6 de unidades. Para el cálculo de cuantas unidades de aireación se necesita para la planta, se ocupa la ecuación 16-1:

$$N_b = \frac{A_t}{A_i}$$

Datos:

A_t : Área total del aireador: 5,03 m²

A_i : Área de aireación (bandejas): 1m².

$$N_b = \frac{5,03\text{m}^2}{1\text{m}^2}$$

$$N_b = 5 \text{ unidades}$$

- **Separación entre bandejas**

Tomando en cuenta los parámetros de diseño para aireadores de bandeja de la tabla 4-1, se decidió que la separación entre cada bandeja será:

$$s_b = 0.30\text{m}$$

- **Espesor de cada bandeja**

El espesor de las bandejas se eligió de:

$$e_b = 0,15 \text{ m.}$$

3.6.1.4. *Número de Torres*

Para saber cuántas torres de aireación se necesita para un caudal de 15 L/s, utilizamos la ecuación 17-1:

$$N_{\text{torre}} = \frac{Q_d}{Q_t}$$

Datos:

Q_d: Caudal de diseño: 15 L/s

Q_t: Caudal que ingresa a la torre: 14,94 L/s.

$$N_{\text{torre}} = \frac{15 \text{ L/s}}{14,94 \text{ L/s}}$$

$$N_{\text{torre}} = 1 \text{ unidad}$$

3.6.1.5. *Tiempo de exposición*

El tiempo de exposición que existirá entre el agua y con un medio de contacto se obtiene a partir de la ecuación 18-1, teniendo en cuenta que la altura de torre de aireación es de 2,25m:

$$te_A = \sqrt{\frac{2 \times H_{\text{torre}} \times N_t}{g}}$$

Datos:

H_{torre} : Altura total de la torre: 2,25 m.

N_t : Número de bandejas: 5.

g : Gravedad : 9,8m/s².

$$te_A = \sqrt{\frac{2 \times 2,25\text{m} \times 5}{9,8\text{m/s}^2}}$$

$$te_A = 1,51 \text{ s}$$

3.6.1.6. *Cálculo del caudal sobre cada bandeja*

El caudal sobre cada bandeja de la torre de aireación se obtiene a partir de la ecuación 19-1:

$$Q_{\text{bandejas}} = 1 \times A_{\text{orificio}} \times \sqrt{2 \times g \times H_{\text{lámina}}}$$

Área de cada orificio

D: diámetro del orificio: 0.006 m. (asumido de Tabla 4-1).

$$A_{\text{orificio}} = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A_{\text{orificio}} = \frac{\pi \times (0,006 \text{ m})^2}{4} = 2,83 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Datos:

l: Lado de la bandeja: 1 m.

g: Gravedad: $9,8 \text{ m/s}^2$.

$H_{\text{lámina}}$: Altura de agua sobre las bandejas: 0,15 m. (asumido de Tabla 4-1).

A_{orificio} : Área de cada orificio: $2,83 \times 10^{-5} \text{ m}^2$.

$$Q_{\text{bandejas}} = 1 \times 2,83 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times \sqrt{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,15 \text{ m}}$$

$$Q_{\text{bandejas}} = 4,85 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{bandejas}} = 0,05 \text{ L/s}$$

3.6.1.7. *Determinación del número de perforaciones*

Se obtiene a partir de la ecuación 20-1:

$$N_p = \frac{Q}{Q_{\text{bandejas}}}$$

Datos:

Q=Qd: caudal de diseño: 15 L/s.

Q_{bandejas} : Caudal sobre cada bandeja: 0,05 L/s.

$$N_p = \frac{15 \text{ L/s}}{0,05 \text{ L/s}}$$

$N_p = 300$ perforaciones

Si se reparten las perforaciones en 18 filas de 18 orificios cada una se tendrá 324 orificios.

3.6.2. Diseño de un vertero triangular

El caudal al que el vertedero triangular será diseñado es de 15L/s y la principal función del vertedero será medir el caudal que ingresa al proceso para dar el tratamiento más adecuado.

3.6.2.1. Altura del vertedero

Para poder determinar la altura del vertedero que utilizaremos que en este caso es de tipo triangular, utilizaremos la ecuación de Thompson, es decir la ecuación 21-1; para un caudal de 15 L/s:

$$Q = 1,4 H^{2/5} \quad ; \quad Q = 1,380H^{2/5}$$

Datos:

$Q = Q_d$: Caudal de diseño: $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$

$$H = \left(\frac{Q}{1,380} \right)^{2/5}$$

$$H = \left(\frac{0,015}{1,380} \right)^{2/5}$$

$$H = 0,16 \text{ m}$$

3.6.2.2. *Ancho de la lámina vertiente y ancho del canal*

Para conocer la altura del borde del vertedero, se trabaja con la ecuación 22-1:

$$L = 2 H$$

Datos:

H: Altura de agua en el vertedero: 0,16 m.

$$L = 2 \times 0,16\text{m}$$

$$L = 0,32 \text{ m}$$

3.6.2.3. *Caudal promedio unitario*

Se trabaja con la ecuación 23-1:

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

Datos:

Q=Qd: Caudal de diseño: 0,015m³/s.

h: altura del canal: 0,35 m.

$$q = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{0,35 \text{ m}}$$

$$q = 0,04 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{m}$$

3.6.2.4. *Altura critica*

Se trabaja con la ecuación 24-1:

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Datos:

q: Caudal promedio unitario: $0,04 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{m}$.

g: gravedad: $9,8 \text{ m/s}^2$.

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{(0,04 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{m})^2}{9,8 \text{ m/s}^2}}$$

$$\mathbf{H_c = 0,06 \text{ m}}$$

3.6.2.5. *Altura del agua al inicio del resalto*

Se trabaja con la ecuación 25-1:

$$h_1 = \frac{1,41 \times H_c}{\sqrt{2,56 + \frac{H_v}{H_c}}}$$

Datos:

H_v : altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal agua abajo: $1,00 \text{ m}$.

H_c : altura critica: $0,06\text{m}$.

$$h_1 = \frac{1,41 \times 0,06\text{m}}{\sqrt{2,56 + \frac{1\text{m}}{0,06\text{m}}}}$$

$$h_1 = 0,02 \text{ m}$$

3.6.2.6. *Velocidad al inicio del resalto*

Se trabaja con la ecuación 26-1:

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

Datos:

q: Caudal promedio unitario: $0,04 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{m}$.

h_1 : altura al inicio del resalto: $0,02\text{m}$.

$$v_1 = \frac{0,04\text{m}^3/\text{s} \times \text{m}}{0,02\text{m}}$$

$$v_1 = 2 \text{ m/s}$$

3.6.2.7. *Número de Froude*

Se trabaja con la ecuación 27-1:

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \times h_1}}$$

Datos:

h_1 : altura al inicio del resalto: $0,02\text{m}$.

v_1 : Velocidad al inicio del resalto: 2m/s.

g: gravedad: 9,8 m/s².

$$F_1 = \frac{2 \text{ m/s}}{\sqrt{9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.02\text{m}}}$$

$$\mathbf{F_1 = 4,52}$$

3.6.2.8. *Altura del agua después del resalto*

Se trabaja con la ecuación 28-1:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \times [\sqrt{1 + 8F_1} - 1]$$

Datos:

h_1 : altura al inicio del resalto: 0,02m.

F_1 : Número de Froude: 4,52

$$h_2 = \frac{0,02 \text{ m}}{2} \times [\sqrt{1 + 8(4,52)} - 1]$$

$$\mathbf{h_2 = 0,05 \text{ m}}$$

3.6.2.9. *Velocidad al final del resalto*

Se trabaja con la ecuación 29-1:

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

Datos:

q: Caudal promedio unitario: $0,04 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{m}$.

h_2 : Altura del agua después del resalto: $0,05 \text{ m}$.

$$v_2 = \frac{0,04 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{m}}{0,05 \text{ m}}$$

$$v_2 = 0,8 \text{ m/s}$$

3.6.2.10. *Energía disipada en el resalto*

Se trabaja con la ecuación 30-1:

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 (h_1 \times h_2)}$$

Datos:

h_2 : Altura del agua después del resalto: $0,05\text{m}$.

h_1 : altura al inicio del resalto: $0,02\text{m}$.

$$h_p = \frac{(0,05\text{m} - 0,02\text{m})^3}{4 (0,02\text{m} \times 0,05\text{m})}$$

$$h_p = 0,01 \text{ m}$$

3.6.2.11. *Longitud del resalto*

Se trabaja con la ecuación 31-1:

$$L_{vr} = 6(h_2 - h_1)$$

Datos:

h_2 : Altura del agua después del resalto velocidad al final del resalto: 0,05m.

h_1 : altura al inicio del resalto: 0,02m.

$$L_{vr} = 6 \times (0,05 - 0,02)\text{m}$$

$$\mathbf{L_{vr} = 0,18\text{m}}$$

3.6.2.12. *Distancia del vertedero a la sección 1*

Se trabaja con la ecuación 32-1:

$$L_1' = 4,3 H_v \left(\frac{H_c}{H_v} \right)^{0,9}$$

Datos:

H_v : altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal agua abajo: 1 m.

H_c : altura crítica: 0,06 m.

$$L_1' = 4,3 (1 \text{ m}) \left(\frac{0,06 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right)^{0,9}$$

$$\mathbf{L_1' = 0.34 \text{ m}}$$

3.6.2.13. *Velocidad promedio en el resalto*

Se trabaja con la ecuación 33-1:

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

Datos:

v_1 : Velocidad al inicio del resalto: 2 m/s.

v_2 : Velocidad al final del resalto: 0,8 m/s.

$$v_m = \frac{(2 + 0,8)}{2} \text{ m/s}$$

$$v_m = 1,4 \text{ m/s}$$

3.6.2.14. *Tiempo de mezcla*

Se trabaja con la ecuación 34-1:

$$t_m = \frac{L_{vr}}{v_m}$$

Datos:

v_m : Velocidad promedio en el resalto: 1,4 m/s.

L_{vr} : Longitud del resalto: 0,18 m.

$$t_m = \frac{0,18 \text{ m}}{1,4 \text{ m/s}}$$

$$t_m = 0,13 \text{ s}$$

3.6.2.15. *Gradiente de velocidad*

Se trabaja con la ecuación 35-1:

$$G_v = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{h_p}{t_m}}$$

Datos:

t_m : tiempo de mezcla: 0,13 s.

h_p : Energía disipada en el resalto: 0,01m.

$\sqrt{\gamma/\mu}$: Relación peso específico y viscosidad absoluta: 2 920,01 (ver Tabla 5-1).

$$G_v = 2,920\ 01 \times \sqrt{\frac{0,01}{0,13}}$$

$$G_v = 0,81\ s^{-1}$$

3.6.3. Coagulación

En este proceso de potabilización donde se tratará un caudal de 15 L/s, se utilizará como agente coagulante al Policloruro de Aluminio, el cual será regularizado mediante un dosificador por vía húmeda. Donde este sistema de dosificación por gravedad consta de un tanque de solución de fibra de vidrio, debidamente protegido con pintura antiácida y este tanque poseerá un dispositivo manual de agitación para homogenizar la solución; un tanque dosificador por gravedad y un elemento hidráulico de medida.

3.6.3.1. Cálculo de dosificación de PAC

Consideremos lo siguiente:

0.015 g/L se encuentran contenidos en 25 Kg de PAC.

25 Kg se diluyen en 200 litros de agua.

Para obtener la dosificación requerida se debe trabajar con la ecuación 52-1:

$$Q_d = \frac{C1_{PAC}}{C2_{PAC}} \times Q_{agua}$$

Datos:

Turbiedad: 38,65 NTU

Q agua: Caudal: 15 L/s

Teniendo una turbiedad de 38,65 NTU presente el agua y mediante un test de jarras la concentración de PAC es de 1 mg/L, con esa consideración comenzamos a efectuar los respectivos cálculos:

3.6.3.1.1. Cálculo para conocer $P2_{PAC}$

$$P2_{PAC} = C1_{PAC} \times \frac{P1_{PAC}}{C2_{PAC}}$$

$$P2_{PAC} = 0,001 \text{ g/L} \times \frac{25 \text{ Kg PAC}}{0,015 \text{ g/L}}$$

$$\mathbf{P2_{PAC} = 1,67 \text{ Kg PAC}}$$

3.6.3.1.2. Cálculo del volumen para la $P2_{PAC}$

$$V_2 = P2_{PAC} \times \frac{V_1}{P1_{PAC}}$$

$$V_2 = 1,67 \text{ Kg PAC} \times \frac{200 \text{ mL agua}}{25 \text{ Kg PAC}}$$

$$\mathbf{V_2 = 13,36 \text{ mL agua}}$$

Indistintamente que sea el PAC, solido o líquido se deben diluir 1,67 kg PAC en 13,36 mL de agua.

3.6.3.1.3. Cálculo la concentración de la solución

Luego calculamos la concentración de la solución de la siguiente manera:

$$C2_{PAC} = \frac{P2_{PAC}}{V_2} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}}$$

$$C2_{PAC} = \frac{1,67 \text{ Kg}}{13,36\text{L}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}}$$

$$\mathbf{C2_{PAC} = 125 \text{ g/L}}$$

Transformamos el caudal de ingreso de L/s a m³/h

$$Q_{\text{agua}} = 15 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 54 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

A partir de estas consideraciones calculamos el caudal de dosificación utilizando la ecuación 36-1:

$$Q_d = \frac{C1_{PAC}}{C2_{PAC}} \times Q_{\text{agua}}$$

$$Q_d = \frac{0,001 \text{ g/L}}{125 \text{ g/L}} \times 54 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mathbf{Q_d = 4,32 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}}$$

→ Se necesita $4,32 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$ de PAC para tratar el agua que ingrese a la planta.

Finalmente para ver el goteo de la solución de PAC transformamos m³/h a mL/min:

$$4,32 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 7,20 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$$

→ La dosificación de PAC por goteo es de 7,20mL/min, para tratar un caudal de 15L/s.

3.6.3.2. *Diseño de canaleta Parshall*

Se diseña una canaleta de Parshall para un caudal de 15L/s, teniendo como función principal ser el punto de aplicación de coagulantes por la turbulencia que se produce a la salida de la misma. Para el dimensionamiento de la canaleta se hará el uso de la tabla 8-1.

3.6.3.2.1. *Ancho de garganta*

Conociendo el caudal con el que se va trabajar que es de 15 L/s (0,015 m³/s) se decide el ancho de garganta de la canaleta mediante la tabla 6-1, para cumplir la condición requerida.

$$\mathbf{W = 0,229 \text{ m}}$$

3.6.3.2.2. *Altura del agua en la sección de medición*

La altura del agua en la sección de medición se obtiene mediante la ecuación 36-1, se debe tomar en cuenta los datos de la tabla 7-1:

$$H_o = K \times Q^n$$

Datos:

Q = Qd: Caudal de diseño: 0,015 m³/s.

K = constante: 1,486.

n = constantes: 0,633.

$$H_o = 1,486 \times (0,015)^{0,633}$$

$$H_o = 0,10 \text{ m}$$

3.6.3.2.3. Ancho de la sección de medición D'

El ancho de la sección de medición D' se obtiene mediante la ecuación 39-1, todos los datos necesarios para su resolución se tomaran de la tabla 8-1.

$$D' = \frac{2}{3} \times (D^1 - W) + W$$

Datos:

W: Ancho de la garganta: 0,229 m.

D¹: Dimensiones de la canaleta: 0,575 m.

$$D' = \frac{2}{3} \times (0,575 - 0,229)\text{m} + 0,229 \text{ m}$$

$$D' = 0,46 \text{ m}$$

3.6.3.2.4. Velocidad en la sección de medición

Para conocer la velocidad de la sección de medición se aplica la ecuación 38-1.

$$v_o = \frac{Q}{H_o \times D'}$$

Datos:

H_o: Altura de agua en la sección de medición: 0,10 m.

D' : Ancho de la sección de medición: 0,46 m.

$Q=Qd$: Caudal de diseño: 0,015 m³/s.

$$v_o = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{0,10 \text{ m} \times 0,46 \text{ m}}$$

$$v_o = 0,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.6.3.2.5. Carga Hidráulica disponible

Mediante la ecuación 37-1, se podrá conocer la carga hidráulica disponible en la canaleta.

$$E_o = \frac{v_o^2}{2g} + H_o + N$$

Datos:

v_o : Velocidad en la sección de medición: 0,33 m/s.

g : Gravedad: 9,8 m/s².

H_o : Altura de agua en la sección de medición: 0,10 m.

N : Dimensiones de la canaleta: 0,114 m.

$$E_o = \frac{(0,33 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} + 0,10 \text{ m} + 0,114 \text{ m}$$

$$E_o = 0,22 \text{ m}$$

3.6.3.2.6. Caudal específico en la garganta de la canaleta

El caudal específico en la garganta de la canaleta se obtiene mediante la ecuación 40-1.

$$Q_w = \frac{Q_d}{W}$$

Datos:

W: Ancho de la garganta: 0,229 m.

Qd: Caudal de diseño: 0,015 m³/s.

$$Q_w = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{0,229 \text{ m}}$$

$$Q_w = 0,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s} \times \text{m}}$$

3.6.3.2.7. *Ángulo de inclinación*

El ángulo de inclinación que tendrá la canaleta se aplica la ecuación 41-1.

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[- \frac{Q_w \times g}{\left(\frac{2g \times E_o}{3} \right)^{1,5}} \times \frac{180}{\pi} \right]$$

Datos:

Q_w: Caudal específico en la garganta de la canaleta: 0,07 m³/s×m.

g: gravedad: 9,8 m/s².

E_o: Carga hidráulica disponible: 0,22 m.

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[- \frac{0,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s} \times \text{m}} \times 9,8 \text{ m/s}^2}{\left[\frac{(2 \times 9,8 \text{ m/s}^2) \times 0,22 \text{ m}}{3} \right]^{1,5}} \times \frac{180}{\pi} \right]$$

$$\theta_p = 113,46^\circ$$

3.6.3.2.8. Velocidad antes del resalto

Para calcular la velocidad antes del resalto se utiliza la ecuación 42-1.

$$v_1 = 2 \left(\frac{2E_o \times g}{3} \right)^{0,5} \times \cos \left(\theta_p \times \frac{\pi}{540} \right)$$

Datos:

θ_p : Ángulo de inclinación: 113,46 °.

g: gravedad: 9,8 m/s².

E_o: Carga hidráulica disponible: 0,22 m.

$$v_1 = 2 \left[\frac{(2 \times 0,22 \text{ m}) \times 9,8 \text{ m/s}^2}{3} \right]^{0,5} \times \cos \left(113,46 \times \frac{\pi}{540} \right)$$

$$v_1 = 1,58 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.6.3.2.9. Altura de agua antes del resalto

La altura del agua antes del resalto se calcula mediante la ecuación 43-1.

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

Datos:

Q_w: Caudal de agua: 0,07 m³/s×m.

v₁: Velocidad antes del resalto: 1,58 m/s.

$$h_1 = \frac{0,07 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{m}}{1,58 \text{ m/s}}$$

$$h_1 = 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.6.3.2.10. Número de Froude

El número de Froude se calcula con la ecuación 44-1.

$$F_1 = \frac{v_1}{(g \times h_1)^{0,5}}$$

Datos:

h_1 : Altura de agua antes del resalto: 0,05 m.

g : gravedad: 9,8 m/s².

v_1 : Velocidad antes del resalto: 1,58 m/s.

$$F_1 = \frac{1,58 \text{ m/s}}{(9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,05 \text{ m})^{0,5}}$$

$$F_1 = 2,23$$

El numero de Froude si cumple con lo establecido ya que $3 \geq F_1 \geq 2$.

3.6.3.2.11. Altura del resalto

Mediante la ecuación 45-1, calculamos la altura de resalto.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \times \left[(1 + 8F_1^2)^{0,5} - 1 \right]$$

Datos:

F_1 : Número de Froude: 2,23

h_1 : Altura de agua antes del resalto: 0,05 m.

$$h_2 = \frac{0,05 \text{ m}}{2} \times \{ [1 + (8 \times 2,23^2)]^{0,5} - 1 \}$$

$$h_2 = 0,15 \text{ m}$$

3.6.3.2.12. Velocidad del resalto

La velocidad de resalto se conoce mediante la ecuación 46-1.

$$v_2 = \frac{Q_d}{W \times h_2}$$

Datos:

W : Ancho de la garganta: 0,229 m.

Q_d : Caudal de diseño: 0,015m³/s.

h_2 : Altura del resalto: 0,15m.

$$v_2 = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{0,229 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}}$$

$$v_2 = 0,44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.6.3.2.13. Altura en la sección de salida de la canaleta

La altura en la sección de salida en la canaleta, se calcula mediante la ecuación 47-1, y las dimensiones requeridas para el cálculo se aplican la tabla 8-1.

$$h_3 = h_2 - (N - K')$$

Datos:

K': Dimensiones de la canaleta: 0,076m.

N: Dimensiones de la canaleta: 0,114 m

h₂: Altura del resalto: 0,15 m.

$$h_3 = 0,15 \text{ m} - (0,114 - 0,076)\text{m}$$

$$h_3 = 0,11 \text{ m}$$

3.6.3.2.14. Velocidad en la sección de la salida

La velocidad en la sección de salida de la canaleta se obtienen mediante la ecuación 48-1 y el dimensionamiento para la canaleta se encuentra en la tabla 8-1.

$$v_3 = \frac{Q_d}{C \times h_3}$$

Datos:

h₃: Altura en la sección de salida de la canaleta: 0,11 m.

C: Dimensiones de la canaleta: 0,38 m.

Q_d: Caudal de diseño: 0,015 m³/s.

$$v_3 = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{0,38 \text{ m} \times 0,11 \text{ m}}$$

$$v_3 = 0,36 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.6.3.2.15. Pérdida de carga en el resalto

La pérdida de carga que existe en el resalto se conoce mediante la ecuación 49-1.

$$h_p = H_o + K' + h_3$$

Datos:

h_3 : Altura en la sección de salida de la canaleta: 0,11 m.

K' : Dimensión de la canaleta: 0,076 m.

H_o : Altura del flujo del agua: 0,10 m.

$$h_p = 0,10 \text{ m} + 0,076 \text{ m} + 0,11 \text{ m}$$

$$h_p = 0,29 \text{ m}$$

3.6.3.2.16. Tiempo de mezcla en el resalto

En la canaleta en tiempo de mezcla se calcula mediante la ecuación 50-1.

$$T = \frac{2G'}{v_2 + v_3}$$

Datos:

G' : Dimensión de la canaleta: 0,457 m.

v_3 : Velocidad en la sección de salida: 0,36 m/s.

v_2 : Velocidad del resalto: 0,44 m/s.

$$T = \frac{2 \times 0,457 \text{ m}}{(0,44 + 0,36) \text{ m/s}}$$

$$T = 1,14 \text{ s}$$

3.6.3.2.17. Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad se calcula mediante la ecuación 51-1, especificando que la temperatura del agua con la que se trabaja tiene 15 °C para conocer la relación peso específico y viscosidad absoluta que se obtiene de la tabla 5-1.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \left(\frac{h_p}{T}\right)^{0,5}$$

Datos:

T: Tiempo de mezcla en el resalto: 1,14 s.

hp: pérdida de carga en el resalto, 0,29 m.

$\sqrt{(\gamma\mu)}$: Relación peso específico y viscosidad absoluta: 2 920,01.

γ : Peso específico: 9 798 N/m³.

μ : Viscosidad absoluta: 1,139 × 10⁻³ N×s /m².

$$G = \sqrt{\frac{9\,798\text{ N/m}^3}{1,139 \times 10^{-3}\text{ N} \times \text{s/m}^2}} \times \sqrt{\frac{0,29\text{ m}}{1,14\text{ s}}}$$

$$\mathbf{G = 1\,472,76\text{ s}^{-1}}$$

3.6.4. Diseño de floculador hidráulico de flujo horizontal

El floculador hidráulico de flujo horizontal es el más eficiente y económico de todos los floculadores, en la actualidad son los más utilizados. Se utilizara el floculador de flujo horizontal por ser ideal para caudales menores de 50 L/s, donde se procede a diseñar una unidad para la planta de potabilización, utilizando la tabla 9-1.

3.6.4.1. Longitud de canales

Se obtiene a partir de la ecuación 53-1:

$$L_{c_f} = v_f \times tr_f \times 60$$

Datos:

tr_f : Tiempo de retención: 15 min. (Asumido de Tabla 9-1.).

v_f : Velocidad del fluido: 0,12 m/s. (asumido de Tabla 9-1.).

$$L_{c_f} = 0,12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 15 \text{ min} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}$$

$$\mathbf{L_{c_f} = 108 \text{ m}}$$

3.6.4.2. Área de los canales del floculador

Se obtiene mediante la ecuación 54-1:

$$A_{c_f} = \frac{Q}{v_f}$$

Datos:

$Q=Q_d$: Caudal de agua: 0,015 m³/s.

v_f : Velocidad del fluido: 0,12 m/s. (asumido de Tabla 9-1.).

$$A_{c_f} = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{0,12 \text{ m/s}}$$

$$\mathbf{A_{c_f} = 0,13 \text{ m}^2}$$

3.6.4.3. Ancho de canales de floculación

Se obtiene mediante la ecuación 55-1:

$$b_{cf} = \frac{A_{cf}}{Hu_f}$$

Datos:

A_{cf} : Área de los canales del floculador: $0,13 \text{ m}^2$.

Hu_f : Altura de agua en la unidad: 1,00 m. (Valor asumido Tabla 9-1.).

$$b_{cf} = \frac{0,13 \text{ m}^2}{1,00 \text{ m}}$$

$$b_{cf} = 0,13 \text{ m}$$

3.6.4.4. Ancho de vueltas de floculación

Se obtiene mediante la ecuación 56-1:

$$b_{vf} = 1,5 \times b_{cf}$$

Datos:

b_{cf} : Ancho de los canales de floculación: 0,13 m.

$$b_{vf} = 1,5 \times 0,13 \text{ m}$$

$$b_{vf} = 0,20 \text{ m}$$

3.6.4.5. *Ancho del floculador*

Se obtiene mediante la ecuación 57-1:

$$b_f = 3b_{lf} + b_{vf}$$

Datos:

b_{lf} : Ancho útil de la lámina: 0,825 m.

b_{vf} : Ancho de vueltas de floculación: 0,20 m.

$$b_f = (3 \times 0,825)m + 0,20 m$$

$$\mathbf{b_f = 2,68 m}$$

3.6.4.6. *Número de canales*

Para conocer el número de canales, se trabaja con la ecuación 58-1:

$$N_{c_f} = \frac{L_{c_f}}{b_f}$$

Datos:

b_f : Ancho del floculador: 2,68 m.

L_{c_f} : Longitud de canales: 108,00 m.

$$N_{c_f} = \frac{108,00 m}{2,68 m}$$

$$\mathbf{N_{c_f} = 40.30 \approx 41 unidades}$$

3.6.4.7. Longitud del floculador

La longitud del floculador lo obtenemos mediante la ecuación 59-1:

$$L_f = (N_{cf} \times b_{cf}) + (N_{cf} - 1) \times e_1$$

Datos:

N_{cf} : Número de canales: 41 unidades.

b_{cf} : Ancho de los canales de floculación: 0,13 m.

e_1 : Espesor de las láminas: 0,12 m.(valor asumido Tabla 9-1.)

$$L_f = (41 \times 0,13 \text{ m}) + (41 - 1) \times 0,12 \text{ m}$$

$$L_f = 10,13 \text{ m}$$

3.6.4.8. Pérdida de carga en las vueltas

La pérdida de carga se obtiene mediante la ecuación 60-1:

$$h_{p_1} = \frac{K_f \times v_f^2 \times (N_{cf} - 1)}{2 \times g}$$

Datos:

K_f : Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas: 2 unidades. (Valor asumido Tabla 9-1.).

v_f : Velocidad del fluido: 0,12 m/s. (Valor asumido Tabla 9-1.).

N_{cf} : Número de canales: 41 unidades.

g : Aceleración de la gravedad: 9,8 m/s².

$$h_{p_1} = \frac{2 \times (0,12 \text{ m/s})^2 \times (41 - 1)}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$\mathbf{h_{p_1} = 0.06 \text{ m}}$$

3.6.4.9. *Perímetro mojado de las secciones*

Se conoce el perímetro mojado mediante la ecuación 61-1:

$$P_m = 2H_{u_f} + b_{cf}$$

Datos:

H_{u_f} : Altura de agua en la unidad: 1,00 m. (Valor asumido).

b_{cf} : Ancho de los canales de floculación: 0,13 m.

$$P_m = (2 \times 1,00 \text{ m}) + 0,13 \text{ m}$$

$$\mathbf{P_m = 2,13 \text{ m}}$$

3.6.4.10. *Pérdida de la carga en los canales*

La pérdida de la carga en los canales se obtiene mediante la ecuación 62-1:

$$h_{p_2} = SL = \left[\frac{v_f \times n}{R^{2/3}} \right]^2 \times L_{cf}$$

Datos:

v_f : Velocidad del fluido: 0,12 m/s. (Valor asumido Tabla 9-1.).

n : coeficiente de Manning: 0,013 (Dato asumido Tabla 10-1.).

R : radio medio hidráulico: 0,06m.

L_{cf} : Longitud de canales: 180,00 m.

$$h_{p_2} = \left[\frac{0,12 \times 0,013}{(0,06)^{2/3}} \right]^2 \times 180$$

$$h_{p_2} = 0,02 \text{ m}$$

3.6.4.11. *Radio medio hidráulico*

Primero se debe obtener el radio medio hidráulico mediante la ecuación 63-1:

$$R = \frac{A_{cf}}{P_m}$$

Datos:

A_{cf} : Área de los canales del floculador: $0,13 \text{ m}^2$.

P_m : Perímetro mojado de las secciones: $2,13 \text{ m}$.

$$R = \frac{0,13 \text{ m}^2}{2,13 \text{ m}}$$

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

3.6.4.12. *Pérdida de carga total*

Obtenemos la pérdida de carga total mediante la ecuación 64-1:

$$h_{f_1} = h_{p_1} + h_{p_2}$$

Datos:

h_{p_2} : pérdida de la carga en los canales: $0,02 \text{ m}$.

h_{p_1} : Pérdida de carga en las vueltas: $0,06 \text{ m}$.

$$hf_1 = (0,06 + 0,02)m$$

$$hf_1 = 0,08 m$$

3.6.4.13. Gradiente de velocidad

Para la obtención del gradiente de velocidad se ocupa la ecuación 65-1:

$$G_f = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{hf_1}{T}}$$

Datos:

Se trabaja con una temperatura del agua de 15°C.

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$: Relación peso específico y viscosidad absoluta: 2 920,01 (Dato asumido de la Tabla 5-1.)

γ : Peso específico: 9 798 N/m³.

μ : Viscosidad absoluta: 1,139 × 10⁻³ N×s /m².

hf_1 : Pérdida de carga total: 0,06 m.

t_r : Tiempo de retención: 15 min. (Valor asumido Tabla 9-1.).

$$G_f = \sqrt{\frac{9\,798\text{ N/m}^3}{1,139 \times 10^{-3}\text{ N} \times \text{s/m}^2}} \times \sqrt{\frac{0,06\text{ m}}{15\text{min} \times 60\text{ s/min}}}$$

$$G_f = 23,95\text{ s}^{-1}$$

3.6.5. Diseño del sedimentador de alta tasa (placas)

El diseño del sedimentador de alta tasa (placas) de flujo ascendente posee tiempos de retención cortos de 15 min, además son unidades de alta eficiencia y de poca profundidad,

diseñar un sedimentador de placas paralelas, para un caudal de $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$. La temperatura del agua es de $15 \text{ }^\circ\text{C}$, para una operación y mantenimiento adecuado, se adoptan una sola unidad.

3.6.5.1. *Carga superficial o tasa de sedimentación superficial después de instalar las placas*

Para determinar la velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación o carga superficial en el área de sedimentación utilizaremos la ecuación 66-1:

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

Datos:

l_p : Longitud de las placas: 1,20 m. (Asumido de la Tabla 12-1)

t_{rp} : Tiempo de retención en las placas: 20 min. (Asumido de la Tabla 13-1)

$$v_{so} = \frac{1,20 \text{ m}}{20 \text{ min}}$$

$$v_{so} = 0,06 \frac{\text{m}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}}$$

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

3.6.5.2. *Área de sedimentación*

Para obtener el área de sedimentación, tomamos la ecuación 67-1:

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

Datos:

Q=Qd: Caudal de diseño: 1 296 m³/d.

θ: Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación: 60°.

v_{so}: Carga superficial después de instalar las placas: 86,40 m/d.

$$A_s = \frac{1\,296\text{ m}^3/\text{d}}{86,40\text{ m/d} \times \text{sen}60}$$

$$A_s = 17,32\text{ m}^2$$

3.6.5.3. *Longitud de sedimentación*

Se lo obtiene mediante la utilización de la ecuación 68-1:

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

Datos:

A_s: Área de sedimentación: 17,32 m².

b_s: Ancho del sedimentador: 2,40 m. (valor asumido Tabla 12-1).

$$L_s = \frac{17,32\text{ m}^2}{2,40\text{ m}}$$

$$L_s = 7,22\text{ m}$$

3.6.5.4. *Longitud relativa del sedimentador de alta tasa*

Se obtendrá mediante la ecuación 69-1:

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

Datos:

l_p : Longitud recorrida a través del elemento (placa): 1,20 m. (Asumido de la Tabla 12-1).

dp : Ancho del conducto o espaciamiento entre placas: 0,05 m. (Asumido de la Tabla 13-1)

$$Lr = \frac{1,20 \text{ m}}{0,05\text{m}}$$

$$\mathbf{Lr = 24}$$

3.6.5.5. *Número de Reynolds*

El número de Reynolds se calcula media te ecuación 74-1:

$$Re = \frac{v_{os} \times dp}{\nu}$$

Datos:

Se trabaja con una temperatura del agua de 15°C

v_{so} : Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación: 0,06 m/min: 0,001m/s

dp : Ancho del conducto o espaciamiento entre placas: 0,05 m. (Asumido de la Tabla 13-1).

ν : Viscosidad cinemática: $1,139 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. (Dato asumido Tabla 11-1.)

$$Re = \frac{0,001 \text{ m/s} \times 0,05 \text{ m}}{1,139 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$\mathbf{Re = 43,90}$$

3.6.5.6. *Longitud de transición*

La longitud de transición se obtiene mediante la ecuación 70-1:

$$L' = 0,013 \times Re$$

Datos:

Re: Número de Reynolds: 43,90

$$L' = 0,013 \times 43,90$$

$$L' = 0,57$$

3.6.5.7. *Longitud relativa corregida*

La longitud relativa de sedimentación en flujo laminar, corregida en la longitud de transición se calcula mediante la ecuación 72-1:

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

Datos:

L_r: Longitud relativa del sedimentador de alta tasa: 24

L': Longitud de transición: 0,57

$$L_{cr} = 24 - 0,57$$

$$L_{cr} = 23,43$$

3.6.5.8. *Velocidad de sedimentación crítica*

La velocidad de sedimentación crítica está dada por la ecuación 73-1:

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

Datos:

S_c Parámetro característico sedimentadores de placas paralelas: 1 (Valor asumido Tabla 14-1).

v_{so} : Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación: 86,40 m/d.

θ Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación: 60 respecto a la horizontal.

L_{cr} : Longitud relativa corregida: 23,43

$$V_{sc} = \frac{1 \times 86,40 \text{ m/d}}{\text{Sen}60^\circ + (23,43 \times \text{Cos}60^\circ)}$$

$$V_{sc} = 6,87 \text{ m/d}$$

$$V_{sc} = 6,87 \frac{\text{m}}{\text{d}} \times \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$V_{sc} = 7,95 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

3.6.5.9. *Tiempo de retención en las placas*

El tiempo de retención en sedimentadores de placas, se calcula mediante la ecuación 76-1:

$$tr_p = \frac{l_p}{v_{so}}$$

Datos:

l_p : Longitud recorrida a través del elemento (placa): 1,20 m. (Asumido de la Tabla 12-1).

v_{so} : Velocidad promedio del fluido en el sedimentador: 0,001 m/s.

$$tr_p = \frac{1,20 \text{ m}}{1,00 \times 10^{-3} \text{ m/s}}$$

$$tr_p = 1\,200 \text{ s}$$

3.6.5.10. *Tiempo de retención en el tanque de sedimentación*

El tiempo de retención en el tanque de sedimentación se obtiene mediante la ecuación 79-1:

$$tr_s = \frac{V}{Q} = \frac{A_s \times H_s}{Q}$$

Datos:

Q=Qd: Caudal de diseño: 0,015 m³/s.

H_s: Altura total: 4,24 m (Valor asumido Tabla 13-1.).

A_s: Área de sedimentación: 17,32 m².

$$tr_s = \frac{17,32 \text{ m}^2 \times 4,24 \text{ m}}{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$tr_s = 4\,895,79 \text{ s}$$

3.6.5.11. *Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas*

Obtenemos la velocidad promedio de flujo entre placas mediante la ecuación 77-1:

$$v_p = \frac{Q}{A_s \times \text{Sen}\theta}$$

Datos:

Q=Qd: Caudal de diseño: 0,015 m³/s.

A_s : Área de sedimentación: 17,32 m².

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

$$v_p = \frac{0,015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}}}{17,32 \text{ m}^2 \times \text{Sen}60^\circ}$$

$$v_p = 86,40 \frac{\text{m}}{\text{d}} \times \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$v_p = 1.00 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

3.6.5.12. Número de placas por módulo

Se ocupa la ecuación 78-1:

$$N_p = \frac{(L_s \times \text{Sen}\theta) + s_p}{s_p + e_p}$$

Datos:

L_s : Longitud de sedimentación: 7,22 m.

θ : Ángulo de inclinación de las placas: 60

s_p : Separación entre placas: 0,05 m. (Valor asumido Tabla 13-1.).

e_p : Espesor de las placas: 0,01 m. (Valor asumido Tabla 12-1.).

$$N_p = \frac{[(7,22 \times \text{Sen}60) + 0,05] \text{ m}}{(0,05 + 0,01) \text{ m}}$$

$$N_p = 105 \text{ placas}$$

3.6.5.13. Volumen del sedimentador

Se ocupa la ecuación 80-1:

$$V_s = L_s \times b_s \times H_s$$

Datos:

L_s : longitud del sedimentador: 7,22 m.

b_s : ancho del sedimentador: 1,50 m. (Valor asumido Tabla 12-1.).

H_s : altura del sedimentador: 4,24 m. (Valor asumido Tabla 13-1.).

$$V_s = 7,22 \text{ m} \times 1,50 \text{ m} \times 4,24 \text{ m}$$

$$V_s = 45,92 \text{ m}^3$$

3.6.6. Diseño de filtros lentos en arena

A continuación se presenta el dimensionamiento del proceso de filtración:

3.6.6.1. Área de filtración

Para conocer el área de filtración necesitamos de la ecuación 81-1:

$$A_f = \frac{Q}{v_{fl}}$$

Datos:

$Q=Q_d$: caudal de diseño o a tratar: 54,0 m³/h.

v_{fl} : velocidad de filtración: 2,0 m/h . (Valor asumido).

$$A_f = \frac{54,0 \text{ m}^3/\text{h}}{2,0 \text{ m/h}}$$

$$A_f = 27,0 \text{ m}^2$$

3.6.6.2. *Determinación del número de módulos de filtración*

Se ocupa la ecuación 82-1:

$$n_f = 0,5 \times \sqrt[3]{A_f}$$

Datos:

A_f : Área filtrante: 27,0 m².

$$n_f = 0.5 \times \sqrt[3]{27,0 \text{ m}^2}$$

$$n_f = 1,50 \approx 2 \text{ unidades}$$

3.6.6.3. *Determinación del área de cada unidad*

Se lo determina mediante la ecuación 83-1:

$$A_{if} = \frac{A_f}{n_f}$$

Datos:

A_f : Área de filtración: 27,0 m².

n_f : Número de filtros calculado: 2 unidades.

$$A_{if} = \frac{27,0 \text{ m}^2}{2}$$

$$A_{if} = 13,50 \text{ m}^2$$

3.6.6.4. *Determinación de las dimensiones del filtro*

3.6.6.4.1. *Determinación de la longitud de la unidad*

Se ocupa la ecuación 84-1:

$$a_{fu} = \left(\frac{2 \times n_f \times A_{if}}{2 + n_f} \right)^{0,5}$$

Datos:

A_{if} : Área de la unidad: 13,50 m².

n_f : Número total de unidades de filtración: 2.

$$a_{fu} = \left(\frac{2 \times 2 \times 13,50 \text{ m}^2}{2 + 2} \right)^{0,5}$$

$$a_{fu} = 3,67 \text{ m}$$

3.6.6.4.2. *Cálculo para el ancho de la unidad*

Se ocupa la ecuación 85-1:

$$b_{fu} = \left[\frac{(n_f + 1) \times A_{if}}{2 \times n_f} \right]^{0,5}$$

Datos:

A_{if} : área de unidad filtrante: 13,50 m².

n_f : Número total de unidades de filtración: 2 unidad.

$$b_{fu} = \left[\frac{(2 + 1) \times 13,50 \text{ m}^2}{2 \times 2} \right]^{0,5}$$

$$\mathbf{b_{fu} = 3,18 \text{ m}}$$

3.6.6.4.3. Cálculo de la longitud total de pared

Se trabaja con la ecuación 86-1:

$$L_{t_p} = (2 \times b_{fu} \times n_f) + a_{fu} \times (n_f + 1)$$

Datos:

n_f : Número total de unidades de filtración: 2unidad.

b_{fu} : Ancho de la unidad: 3,18 m.

a_{fu} : Longitud de pared común por unidad: 3,67 m.

$$L_{t_p} = (2 \times 3,18 \text{ m} \times 2) + 3,67\text{m} \times (2 + 1)$$

$$\mathbf{L_{t_p} = 23,73 \text{ m}}$$

3.6.6.4.4. Cálculo de longitud total mínima de pared

Se ocupa la ecuación 87-1:

$$L_{m_p} = 2 \times a_{fu} \times (n_f + 1)$$

Datos:

n_f : Número total de unidades de filtración:2 unidad.

a_{fu} : Longitud de pared común por unidad: 3,67m.

$$Lm_p = 2 \times 3,67m \times (2 + 1)$$

$$Lm_p = 22,02 m$$

3.6.6.5. *Diámetro de tubería de entrada al filtro*

Se ocupa la ecuación 95-1:

$$D_t = \sqrt{\frac{4 Q_i}{u * \pi}}$$

Datos:

Q_i: Caudal de diseño para cada filtro: 0,0075 m³/s.

u: Velocidad en la tubería: 2 m/s. (valor asumido)

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \times (0,0075 \text{ m}^3/\text{s})}{(2 \text{ m/s}) \times \pi}}$$

$$D_t = 0,07 m$$

3.6.6.6. *Sistema de drenaje*

Para la correspondiente estructura de salida de los filtros diseñados para esta planta se utilizará una tubería de 70 mm perforada, mediante esta se almacena el agua correspondiente filtrada.

3.6.6.6.1. Diámetro de los orificios laterales

Se tomó el valor más acertado con relación al caudal con el que se está diseñando este proceso, decidiendo así de la tabla 17-1:

$$D_o = 0,0065 \text{ m}$$

3.6.6.6.2. Área de cada orificio

Se ocupa la ecuación 89-1:

$$A_{of} = \frac{\pi \times D_o^2}{4}$$

Datos:

D_o : Diámetro de los orificios: 0.0065 m. (Valor asumido de Tabla 17-1).

$$A_{of} = \frac{\pi \times (0,007 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{of} = 3,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

3.6.6.6.3. Caudal que ingresa a cada orificio

Se ocupa la ecuación 90-1:

$$Q_o = A_{of} \times v_{of}$$

Datos:

v_{of} : Velocidad en el orificio: 3 m/s. (Valor asumido de la Tabla 17-1).

A_{of} : Área de cada orificio: $3,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$.

$$Q_o = (3,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2) \times 3 \text{ m/s}$$

$$Q_o = 11,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

3.6.6.6.4. Número de laterales

Se ocupa la ecuación 91-1:

$$n_L = \# \text{ Laterales} = n_{Lf} \times \frac{L_{tp}}{s_{lf}}$$

Datos:

L_{tp} : Longitud total del filtro: 23,73 m.

s_{lf} : Separación entre laterales: 1m. (Valor asumido de la Tabla 17-1.).

n_{Lf} : número de laterales por lado: 2 (valor asumido).

$$n_L = \# \text{ Laterales} = 2 \times \frac{23,73 \text{ m}}{1 \text{ m}}$$

$$n_L = 47,46 \text{ unidad}$$

3.6.6.6.5. Separación entre orificios

Se ocupa la ecuación 92-1:

$$s_o = \# \text{ orificios/ Laterales} = 2 \times \frac{L_L}{e_o}$$

Datos:

L_L : Longitud de cada lateral: 3m. (Valor asumido).

e_o : Espacio entre orificios: 0.08m. (Valor asumido Tabla 17-1).

$$s_o = \#orificios / Laterales = 2 \times \frac{3 \text{ m}}{0,08 \text{ m}}$$

$$\#orificios / Lateral = 75$$

3.6.6.6. Número total de orificios

Se ocupa la ecuación 93-1:

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

Datos:

$$n_L = 48$$

$$\#orificios / Lateral = 75$$

$$n_o = \#total \text{ de orificios} = 48 \times 75$$

$$n_o = 3\ 600 \text{ unidades}$$

3.6.6.6.7. Área total de orificios

Se ocupa la ecuación 94-1:

$$A_{t_o} = A_o \times n_o$$

Datos:

$$A_o: \text{Área de cada orificio: } 3,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2.$$

$$n_o = 3\ 600 \text{ unidades.}$$

$$At_o = (3,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2) \times 3\,600$$

$$At_o = 0,14 \text{ m}^2$$

3.6.6.6.8. *Comprobación de cumplimiento con los parámetros (0,0015 – 0,005)*

$$\frac{At_o}{A_f}$$

Datos:

At_o : Área total de orificios: 0,14 m².

A_f : Área de filtración: 27 m².

$$\frac{At_o}{A_f} = \frac{0,14 \text{ m}^2}{27 \text{ m}^2}$$

$$\frac{At_o}{A_f} = 0,005 \text{ cumple}$$

3.6.6.6.9. *Diámetro de la tubería de salida del filtro*

La tubería de salida del filtro se diseña mediante la ecuación 96-1:

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

Datos:

v_s : Velocidad de agua a través de la tubería de salida: 0,8 m/s. (Asumido Tabla 18-1)

Q_i : Caudal de diseño para cada filtro; 0,007 5m³/s.

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4(0,0075 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi \times 0,8 \text{ m/s}}}$$

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

3.6.7. Diseño para el proceso de desinfección

El proceso de desinfección para un caudal de 15 L/s, se lo realizará en un tanque de cloración, mediante la aplicación de Hipoclorito cálcico con una concentración de 1mg/L, esto será posible con la ayuda de un dosificador de flujo constante (por goteo). Donde este dosificador se instala directamente en la línea de salida del tanque que contiene la solución, de modo que el flujo de solución descargue directamente, a través del dosificador al tanque de agua que se va a desinfectar.

3.6.7.1. Cálculo de dosificación del cloro

Obtenemos la cantidad de Hipoclorito Cálcico que debemos usar en un día mediante la siguiente ecuación 97-1:

$$\text{Dosificación lb/día} = 0,012 \times Q \times C_1$$

Datos:

C_1 : concentración de la dosificación de HTH: 1 ppm.

Q_d : caudal de diseño: 237,78 gpm.

$$15 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ gln}}{3.785 \text{ L}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 237,78 \frac{\text{gln}}{\text{min}}$$

$$\text{Dosificación lb/día} = 0,012 \times 237,78 \times 1$$

$$\text{Dosificación lb/día} = 2,85 \text{ HTH}$$

3.6.7.1.1. Volumen de agua para diluir HTH

Para determinar la cantidad de agua necesaria para diluir el Hipoclorito de Calcio (V_1), utilizamos la ecuación 98-1:

$$\rho_{\text{HTH}} = \frac{m_{\text{HTH}}}{V_{\text{agua}}}$$

Datos:

Cloro condiciones (% peso) = 8,5 %

Cloro disponible (% peso) = 65 %

ρ_{HTH} : Densidad de hipoclorito cálcico: 0,8 Kg/L.

m_{HTH} : Cantidad de HTH: 1,29 Kg/día.

$$m = 2,85 \frac{\text{lb}}{\text{día}} \times \frac{1\text{kg}}{2,205 \text{ lb}} = 1,29 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{HTH}}}{\rho_{\text{HTH}}}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{1,29 \text{ Kg/día}}{0,8 \text{ Kg/L}}$$

$$V_{\text{agua}} = 1,61 \text{ L/día agua}$$

Necesitamos conocer el volumen de agua el HTH de % en peso de 65 con la siguiente ecuación:

$$V_{\text{o agua}} = P_{\text{HTH disponible}} \times \frac{V_{\text{agua}}}{P_{\text{HTH condición}}}$$

$$V_{\text{o agua}} = 65\% \text{ de cloro} \times \frac{1,61 \text{ L/día agua}}{8,5\% \text{ de cloro}}$$

$$V_{\text{o agua}} = 12,31 \text{ L /día de agua}$$

Para obtener el volumen de agua requerida realizamos la siguiente suma:

$$V_1 = V_{\text{agua}} + V_{\text{o agua}}$$

$$V_1 = (1,61 + 12,31) \text{ L /día de agua}$$

$$V_1 = 13,92 \text{ L /día de agua}$$

Requerimos de 13,92 L/ día de agua para diluir 2,85 lb/ día de HTH.

De la solución que se prepara se deja reposar 24 horas, una vez en reposo se extrae la solución madre (líquido verde) y se vuelve a diluir.

3.6.7.1.2. Volumen de agua para diluir la solución madre

Para conocer la cantidad de agua a la que se debe diluir la solución anterior, se procede con la siguiente ecuación 99-1:

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

Datos:

V_1 : volumen para diluir el HTH: 13,92 L/ día.

C_1 : concentración de la dosificación de HTH: 1 ppm

C_2 : concentración del HTH: 0,65 ppm

$$(13,92 \times 1) = V_2 \times 0,65$$

$$V_2 = 21,42 \text{ L/día de agua}$$

La solución madre se debe diluir en 21,42 L/día de Agua.

3.6.7.1.3. Volumen total de la solución

Para el respectivo cálculo, se debe trabajar con la ecuación 100-1:

$$V_T = V_1 + V_2$$

Datos:

V₁: volumen para diluir el HTM: 13,92 L/día.

V₂: volumen para diluir la solución madre: 21,42 L/día.

$$V_T = 13,92 + 21,42$$

$$V_T = 35,34 \text{ L/día de cloro a 1ppm}$$

Para determinar el volumen de la solución por minuto que se debe agregar al agua para tratarla, es decir por método de goteo se procede a la conversión:

$$35,34 \frac{\text{L}}{\text{día}} \times \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} \times \frac{\text{día}}{24\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} = 24,54 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$$

El volumen necesario de Hipoclorito cálcico para tratar 15 L/s de agua es de 35,34 L/día a una concentración de 1ppm y para el método de goteo es necesario 24,54 mL/min.

3.6.7.2. Dimensionamiento tanque de cloración

El tanque de cloración será diseñando para un caudal de 15 L/s, el cual será de hormigón y a su vez lo utilizaremos como tanque de almacenamiento.

3.6.7.2.1. Cálculo del volumen del tanque de cloración

El proceso de desinfección se lo realizara para un caudal de 15 L/s, el tiempo de retención que tendrá el agua para estar en contacto con el cloro y así eliminar totalmente cualquier microorganismo presente, será de 30 min. Mediante la ecuación 102-1 obtendremos en volumen del tanque.

$$V_{\text{tanque}} = Q * T$$

Datos:

Q: Caudal de diseño: 0.015 m³/s.

tr: tiempo de retención : 600 s

$$V_{\text{tanque}} = 0,015 \text{ m}^3/\text{s} \times 600 \text{ s}$$

$$V_{\text{tanque}} = 9 \text{ m}^3$$

3.6.7.2.2. Cálculo de la altura del tanque de cloración

Para conocer la altura que tendrá el tanque de cloración, utilizaremos la ecuación 103-1, donde asumiremos que será de base cuadrada con ancho 1,75 m y de longitud 2,0 m.

$$H_{\text{tanque}} = \frac{V_{\text{tanque}}}{A}$$

Datos:

Área: (1,75 x 2,0) m² = 3,50 m²

$$V_{\text{tanque}}: 9\text{m}^3$$

$$H_{\text{tanque}} = \frac{9\text{m}^3}{3,50 \text{ m}^2}$$

$$H_{\text{tanque}} = 2,57 \approx 3 \text{ m}$$

3.6.7.3. Dimensionamiento del Hipoclorador

3.6.7.3.1. Dosificación en el Hipoclorador

Es necesario conocer el peso cloro necesario con el que se trabajara en el Hipoclorador, teniendo en consideración que es para un caudal de 15 L/s, donde la dosis de cloro es de 1 mg/L a 65% para un tiempo de almacenamiento de la solución de 8 horas.

$$P = \frac{Q \times D \times T}{1000 \times I}$$

Datos:

Q: Caudal de diseño: 54m³/h

D: Dosis cloro necesaria: 1 mg/L

T: Periodo de almacenamiento de la solución: 8h

I: Porcentaje del cloro: 65% = 0,65

$$P = \frac{54 \frac{\text{L}}{\text{h}} * \frac{1\text{mg}}{\text{L}} * 8\text{h}}{1000 (0,65)}$$

$$P = 0,67 \text{ Kg}$$

3.6.7.3.2. Volumen del Hipoclorador

Para conocer cuál es el volumen del Hipoclorador con el que se trabajara para este proceso de potabilización lo calcularemos mediante la ecuación 101-1

$$V_{HC} = \frac{P_{Cl}}{5 \times C}$$

Datos:

P_{Cl} : Peso de cloro requerido: 0,67 Kg.

C: Concentración de hipoclorito de calcio equivalente al cloro doméstico: 5%.

$$V = \frac{0,67}{5 \times 5}$$

$$V = 0,027 \text{ m}^3$$

Se elige un tanque para el Hipoclorito de 27 L con una dosificación de cloro de 1mg/L para una duración de 8 horas para la respectiva dosificación en la noche de 10 pm a 6 am, y en el día se ejecutará una dosificación de cloro igual que la anterior.

3.7. Resultados del dimensionamiento de los procesos de Potabilización

3.7.1. Proyección futura

Tabla 1-3. Resultados proyección futura (2034)

PARÁMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Población Futura	Nt	4 598	habitantes
Dotación Futura	DMF	144	L/hab×día
Gasto máximo diario	QMd	9,96	L/s
Gasto máximo horario	QMh	15,94	L/s
Caudal De Captación	$Q_{\text{captación}}$	15	L/s

Fuente: Vergara Gisela

3.7.2. Torre de Aireación

Tabla 2-3. Resultados de la Torre de bandejas

PARÁMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Número de torres	N_{torre}	1	-
Área total del aireador	A_t	5	m^2
Altura Total	H_{torre}	2,25	m
Área de bandejas	A_i	1	m^2
Lado de la bandeja	L	1	m
Número de bandejas	N_b	5	-
Separación entre bandejas	s_b	0,30	m
Espesor de cada bandeja	e_b	0,15	m
Número de perforaciones en cada bandeja	N_p	300	-
Tiempo de exposición	te_A	1,51	s

Fuente: Vergara Gisela

3.7.3. Vertedero Triangular

Tabla 3-3. Resultados del Vertedero Triangular

PARÁMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Altura del vertedero	H	0,16	m
Ancho del canal	L	0,32	m
Altura del agua al inicio del resalto	h_1	0,02	m
Velocidad al inicio del resalto	v_1	2	m/s
Numero de Froude	F_1	4,52	-
Altura del agua después del resalto	h_2	0,05	m
Velocidad al final del resalto	v_2	0,8	m/s
Longitud de resalto	L_{vr}	0,18	m
Tiempo de mezcla	t_m	0,13	s
Gradiente de velocidad	G_v	0,81	s^{-1}

Fuente: Vergara Gisela

3.7.4. Dosificación de Coagulante PAC

Resultados de la dosificación de PAC a las concentraciones con las que se trabajó para este proyecto con el fin de encontrar los mejores resultados que se nos sean posibles.

Tabla 4-3. Resultados de dosificación de PAC a distintas concentraciones

PAC C_1 (g/L)	dosificación PAC (m ³ /h)	dosificación por goteo (mL/min)
0,001	$4,32 \times 10^{-4}$	7,20
0,002	$8,64 \times 10^{-4}$	14,40
0,003	$1,30 \times 10^{-3}$	21,66
0,004	$1,73 \times 10^{-3}$	28,83

Fuente: Vergara Gisela

3.7.5. Canaleta Parshall

Tabla 5-3. Resultados para canaleta Parshall

PARÁMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Altura del agua en la sección de medición	H_o	0,10	m
Ancho de garganta	W	0,23	m
Dimensiones de la canaleta			
Longitud paredes sección convergente	A	0,88	m
Longitud sección convergente	B	0,86	m
Ancho de la salida	C	0,38	m
Ancho entrada sección convergente	D	0,58	m
Profundidad total	E	0,76	m
Longitud de la garganta	F	0,31	m
Longitud de la sección divergente	G'	0,46	m
Longitud Paredes sección divergente	K'	0,08	m
Dimensiones de la canaleta	N	0,11	m
Ancho entrada sección convergente	D'	0,46	M
Velocidad de la sección de convergencia	v_o	0,33	m/s
Ángulo de inclinación	θ_p	113,46	°
Velocidad antes del resalto	v_1	1,58	m/s
Altura de agua antes del resalto	h_1	0,05	M
Número de Froude	F_1	2,23	-
Altura del resalto	h_2	0,15	M
Velocidad del resalto	v_2	0,44	m/s
Altura en la sección de salida de la canaleta	h_3	0,11	M
Velocidad en la sección de la salida	v_3	0,36	m/s
Tiempo de mezcla en el resalto	T	1,14	S
Gradiente de velocidad	G	1 472,76	s ⁻¹

Fuente: Vergara Gisela

3.7.6. Floculador hidráulico de flujo horizontal

Tabla 6-3. Resultados Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal

	PARÁMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
FLOCULADOR	Ancho del floculador	b_f	2,68	m
	Longitud de floculador	L_f	10,13	m
	Tiempo de retención	tr_f	15	min
C A N A L E S	Número de canales	N_{c_f}	41	-
	Longitud de canales	L_{c_f}	108	m
	Ancho de canales de floculación	b_{c_f}	0,13	m
	Altura de agua en la unidad	H_{u_f}	1	m
	Ancho de vueltas de floculación	b_{v_f}	0,20	m
	Espesor de las laminas	e_l	0,12	m

Fuente: Vergara Gisela

3.7.7. Sedimentador de Alta Tasa (placas)

Tabla 7-3. Resultados Sedimentador de Alta Tasa (placas)

PARÁMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Altura del sedimentador	H_s	4,24	m
Ancho del sedimentador	B_s	1,50	m
Longitud de sedimentación	L_s	7,22	m
Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	tr_s	4 895,79	s
Número de placas	N_p	105	-
Ángulo de inclinación de las placas	Θ	60	°
Separación entre placas	D_s	0,05	m
Espesor de las placas	E_s	0,01	m
Altura de placas	H_p	1,20	m
Altura del agua sobre las placas	H_{s_p}	1,49	m
Altura por debajo de las placas	H_{d_p}	1,60	m
Número de Reynolds	Re	43,90	-
Tiempo de retención en las placas	tr_p	1 200	s

Fuente: Vergara Gisela

3.7.8. Filtros Lentos en Arena

Tabla 8-3. Resultados de Filtros Lentos en arena

CALCULOS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Profundidad del medio filtrante (arena)	P_{arena}	0,3 mm= 1,00 1,4 mm= 0,30	m
Profundidad del sistema de drenaje (grava)	P_{grava}	5,6 mm= 0,30 26 mm= 0,35	m
Altura de agua sobrenadante	h_{agua}	1,00	m
Área de cada unidad	A_i	13,50	m ²
Número de filtros	n_f	2	-
Longitud de la unidad	a_{fu}	3,17	m
Ancho de la unidad	b_{fu}	3,18	m
Altura del filtro	Z_f	4,51	m
Caudal para cada filtro	Q_i	0,007	m ³ /s
Diámetro de los orificios	D_o	0,007	m
Espacio entre orificios	e_o	0,08	m
Número total de orificios	n_o	3 600	-
Número de laterales	n_L	48	-
Longitud de cada lateral	L_L	3	m
Separación entre laterales	S_{lf}	2	m
Altura del drenaje	F_c	0,60	m
Diámetro de la tubería de entrada	D_t	0,07	m
Diámetro de la tubería a la salida	D_{Ts}	0,11	m

Fuente: Vergara Gisela

3.7.9. Dosificación

Tabla 9-3. Resultados de dosificación de Hipoclorito de Calcio

CALCULOS	VALOR	UNIDADES
Cantidad de HTH al día	2,85	lb/día
Volumen total de sln	35,34	L
Volumen total por goteo	24,54	mL/min
Volumen del Hipoclorador	0,027	m ³

Fuente: Vergara Gisela

Tabla 10-3. Resultados de Tanque de cloración

CALCULOS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Volumen del tanque	V_{tanque}	9,00	m^3
Altura de tanque	H_{tanque}	3,00	m
Ancho de tanque	B_{tanque}	1,75	m
Longitud del tanque	L_{tanque}	2,00	m

Fuente: Vergara Gisela

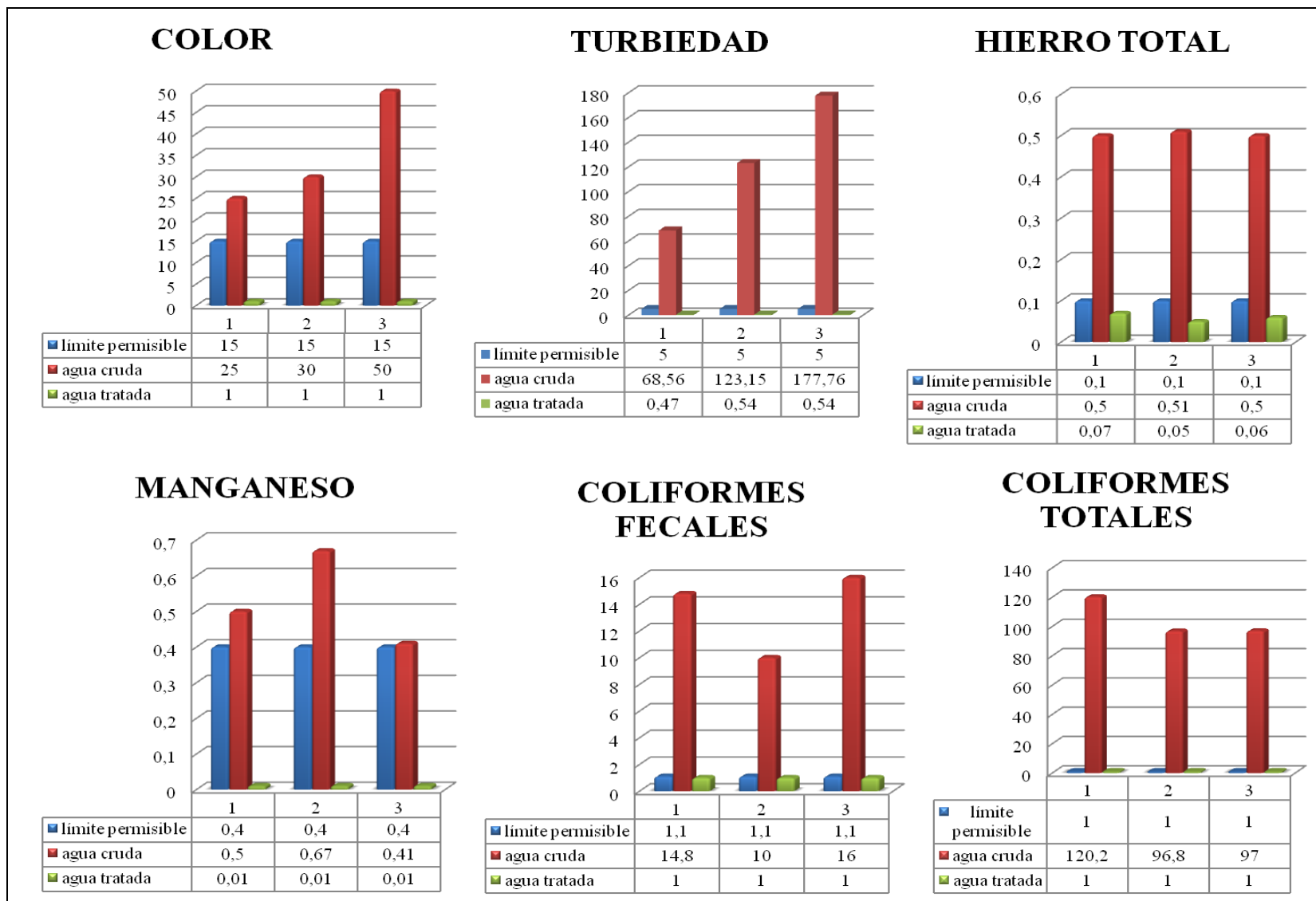
3.7.10. Resultados de Caracterización Físico-Químico y Microbiológicos del agua tratada

Tabla 11-3. Resultados de Caracterización Físico-Químico y Microbiológicos del agua tratada

PARAMETROS	UNIDAD	LÍMITE PERMISIBLE	08-Abr		11-Abr		16-Abr		18-Abr		23-Abr		24-Abr	
Color	UTC	15	15.00	1.00	35.00	1.00	20.00	1,00	45.00	1.00	55,00	1.00	40.00	1.00
Turbiedad	NTU	5	38.65	0.54	98.47	0.39	87.65	0,44	165.83	0.50	189,68	0.57	158.64	0.63
pH	.....	6.5 – 8.5	7.16	7.05	7.26	7.13	7.27	7.24	7.17	7.14	6.87	7.20	7.18	7.08
Conductividad	uS/cm	.....	420.67	98.65	452.96	110.67	437.68	220.98	210.57	97.63	101.52	120.67	425.89	87.64
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1000	220.08	38.64	220.64	41.63	224.86	110.24	99.68	39.57	37.64	42.13	220.96	38.57
Temperatura	° C	.....	18.54	19.05	18.74	18.95	17.83	17.97	18.16	19.02	18.07	17.96	17.54	17.98
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	10	2.68	1.15	2.96	2.87	4.86	0.98	1.12	1.08	0.94	4.20	4.27	3.65
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0.2	0.007	0.007	0.008	0.006	0.005	0.008	0.005	0.006	0.009	0.003	0.007	0.007
Fosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	.....	0.59	0.42	0.78	0.61	0.86	0.79	0.52	0.47	0.54	0.42	0.62	0.54
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	.....	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	200	1.00	1.00	3.00	1.00	4.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	5.00	2.00
Fluoruros (F)	mg/L	1.5	0.43	0.36	0.64	0.59	0.80	0.42	0.39	0.22	0.26	0.34	0.85	0.37
Hierro Total (Fe)	mg/L	0.1	0.39	0.08	0.52	0.06	0.54	0,06	0.51	0.06	0.51	0.06	0.67	0.04
Manganeso (Mn²⁺)	mg/L	0.4	0.57	0.009	0.57	0.007	0.71	0,006	0.39	0.008	0.39	0.006	0.59	0.008
Cromo (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.05	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.007	0.005	0.006	0.008	0.007	0.005
Cobre (Cu)	mg/L	2	0.05	0.05	0.04	0.06	0.08	0.02	0.01	0.01	0.01	0.06	0.07	0.04
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	300	58.00	42.00	50.00	34.00	58.00	48.00	52.00	45.00	20.00	32.00	54.00	24.00
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	0.25	0.008	0.009	0.009	0.007	0.007	0.009	0.009	0.007	0.009	0.007	0.009	0.007
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250	4.82	3.84	4.96	3.87	4.97	0.58	0.54	0.47	0.37	3.25	4.28	3.86
Níquel (Ni)	mg/L	0.07	0.006	0.007	0.009	0.006	0.006	0.008	0.008	0.008	0.009	0.008	0.008	0.006
Cobalto (Co)	mg/L	0.2	0.008	0.008	0.007	0.009	0.007	0.007	0.007	0.009	0.006	0.009	0.006	0.007
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	0.01	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
Plata (Ag ⁺)	mg/L	0.05	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	0.07	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	0.7	0.27	0.25	0.29	0.18	0.29	0.24	0.34	0.23	0.20	0.14	0.37	0.39
Bromo (Br)	mg/L	.....	0.06	0.08	0.06	0.04	0.05	0.04	0.07	0.05	0.05	0.06	0.02	0.04
Molibdeno (Mo ⁶⁺)	mg/L	.....	0.42	0.45	0.49	0.33	0.59	0.60	0.54	0.48	0.67	0.47	0.68	0.72
Cromo Total (Cr)	mg/L	0.05	0.006	0.007	0.006	0.008	0.009	0.007	0.008	0.007	0.009	0.008	0.009	0.008
Oxígeno Disuelto (O ₂)	mg/L	.....	22.00	1400	38.00	21.00	27.00	28.00	32.00	15.00	18.00	14.00	31.00	12.00
Coliformes Totales	NMP/100 mL	< 1**	52	< 1**	84	< 1**	106	< 1**	94	< 1**	110	< 1**	76	< 1**
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	< 1.1 *	12	< 1*	26	< 1*	62	< 1*	6	< 1*	26	< 1*	6	< 1*

Fuente: Vergara Gisela

Gráfica 1-3. Resultados promedio semanal de los parámetros problema (agua tratada)



Fuente: Vergara Gisela.

3.8. Requerimiento presupuestario

3.8.1. Presupuesto General de la Planta de Potabilización

En la siguiente tabla se presenta el presupuesto general de la construcción de la Planta de Agua Potable de la Parroquia de Santa Fé del Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, la cual tendrá aproximadamente un total de 37.788,14 dólares.

Tabla 12-3. Presupuesto General de la Planta de Potabilización

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TORRE DE AIREACIÓN				
Limpieza manual del terreno	m ²	4,00	1,21	4,84
Replanteo y nivelación	m ²	4,00	3,74	14,96
Excavación manual	m ³	4,00	26,64	106,56
Relleno compactado manual (PIZON)	m ³	2,00	10,31	20,62
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ³	0,23	118,60	27,28
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm ²	m ³	1,12	159,06	178,15
Enlucido vertical con impermeabilizante	m ²	2,25	13,34	30,02
Encofrado y desencofrado con madera de monte	m ²	2,25	10,50	23,63
Lamina acero inoxidable	m ²	6,00	28,96	173,76
Malla electrosoldada 8-20	m ²	2,25	4,33	9,74
Tubería PVC 75mm perforada (MAT/TRANS/INST)	M	2,00	6,22	12,44
Codo PVC 75mm desagüe	U	2,00	3,23	6,46
Tubería PVC 75mm	M	2,50	12,40	31,00
Válvula compuerta 03''	U	1,00	147,79	147,79
				787,25
VERTEDERO TRIANGULAR				
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm ²	m ³	0,14	159,06	22,27
Enlucido vertical con impermeabilizante	m ²	1,44	13,34	19,21
Encofrado y desencofrado con madera de monte	m ²	2,88	10,50	30,24
Malla electrosoldada 10-20	m ²	1,44	6,54	9,42
				81,14
CANAleta DE PARSHALL				
Limpieza y desbroce	m ²	2,52	0,46	1,16
Replanteo y nivelación	m ²	2,51	3,74	9,39
Excavación manual	m ³	2,52	26,64	67,13
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ³	0,50	118,60	59,30
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm ²	m ³	0,27	159,06	42,95
Enlucido vertical con impermeabilizante	m ²	2,65	13,34	35,35

Encofrado y desencofrado con madera de monte	m ²	5,30	10,50	55,65
Malla electrosoldada 8-20	m ²	2,65	4,33	11,47
				282,40
FLOCULADOR HIDRAULICO DE FLUJO HORIZONTAL				
Limpieza y desbroce	m ²	27,15	0,46	12,49
Replanteo y nivelación	m ²	27,15	3,74	101,54
Excavación manual	m ³	27,15	26,64	723,28
Relleno compactado manual (pizon)	m ³	12,10	10,31	124,75
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ³	2,72	118,60	322,59
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm ²	m ³	8,11	159,06	1.289,98
Enlucido vertical con impermeabilizante	m ²	81,10	13,34	1.081,87
Encofrado y desencofrado con madera de monte	m ²	67,65	10,50	710,33
Malla electrosoldada 8-20	m ²	35,30	4,33	152,85
Polietileno 2 mm	m ²	111,85	0,76	85,01
				4.604,69
SEDIMENTADOR DE ALTA TASA				
Limpieza y desbroce	m ²	10,83	0,46	4,98
Replanteo y nivelación	m ²	10,83	3,74	40,50
Excavación manual	m ³	70,50	26,64	1.878,12
Relleno compactado manual (pizon)	m ³	19,18	10,31	197,75
				12.540,2
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm ²	m ³	78,84	159,06	9
Encofrado y desencofrado con madera de monte	m ²	122,08	10,50	1.281,84
Malla electrosoldada 10-20	m ²	122,08	6,54	798,40
Enlucido vertical con impermeabilizante	m ²	122,08	13,34	1.628,55
Tubería PVC 160mm desagüe	M	10,00	12,02	120,20
Tapón PVC 160mm desagüe	U	1,00	6,02	6,02
Tee PVC 160mm desagüe	U	1,00	19,69	19,69
Tablero fibrocemento 1 mm	m ²	189,00	4,93	931,77
				19.448,11
FILTRO LENTO DE ARENA				
Desbroce y limpieza	m ²	38,76	1,09	42,25
Replanteo y nivelación de estructuras	m ²	38,76	1,63	63,18
Excavación manual	m ³	23,26	26,64	619,65
Empedrado	m ³	5,81	46,84	272,14
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm ²	m ³	28,92	159,06	4.600,02
Malla electrosoldada 10-20	m ²	135,33	6,54	885,06
Encofrado y desencofrado con madera de monte	m ²	135,33	10,50	1.420,97
Enlucido vertical paletado	m ²	135,33	11,16	1.510,28
Arena	m ³	11,67	23,62	275,65
Grava para filtros	m ³	22,13	32,08	709,93
Tubería PVC-D 75 mm	M	21,00	5,03	105,63
Tubo de PVC de 110 mm (NORMA INEN 1869 0 2227	M	6,00	4,72	28,32
Codo PVC 110mm desagüe	U	1,00	4,24	4,24
Cruz PVC P 90, D=75 mm	M	1,00	5,58	5,58

Codo PVC 75mm desagüe	U	6,00	3,23	19,38
Valvula compuerta 03''	U	5,00	147,79	738,95
Valvula compuerta 04''	U	1,00	208,31	208,31
Tee PVC, D=3''	U	2,00	12,19	24,38
				11.533,92
TANQUE DE DESINFECCIÓN				
Hormigón simple F' C = 210 Kg/cm ²	m ³	9,00	159,06	1,431,54
Encofrado y desencofrado con madera de monte	m ²	5,25	10,50	55,13
Excavación manual	m ³	2,21	26,64	58,87
Enlucido vertical con impermeabilizante	m ²	6,90	13,34	92,05
Tubería PVC-D 75 mm	M	21,00	5,03	105,63
Válvula compuerta 03''	U	5,00	147,79	738,95
				1.050,63
TOTAL				37.788,14

Fuente: Vergara Gisela.

3.8.2. Costo de PAC al día

Tabla 13-3. Aforo de solución de PAC y costo diario

TEST DE JARRAS (ppm)	AFORO DE LA SOLUCIÓN DE PAC (ml/min)	CANTIDAD DE PAC A UTILIZAR (L/día)	PRECIO DE QUÍMICO POR DÍA (USD)
1	7,20	10,37	9,54
2	14,40	20,74	19,08
3	28,80	41,47	38,15
4	43,20	62,21	57,23
5	57,60	82,94	76,30

Fuente: Vergara Gisela.

3.8.3. Inversión de la empresa

Tabla 14-3. Inversión para el Tratamiento

Cantidad anual (Kg)	Descripción	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
374,10	Hipoclorito de calcio (HTH) al 65%	4,05	1.515,12
500	Policloruro de Aluminio (PAC) al 68%	0,92	460
100	Chemfloc	8,00	800
400	Sobres DPD	0,25	100
		TOTAL	2.875,12

Fuente: Vergara Gisela.

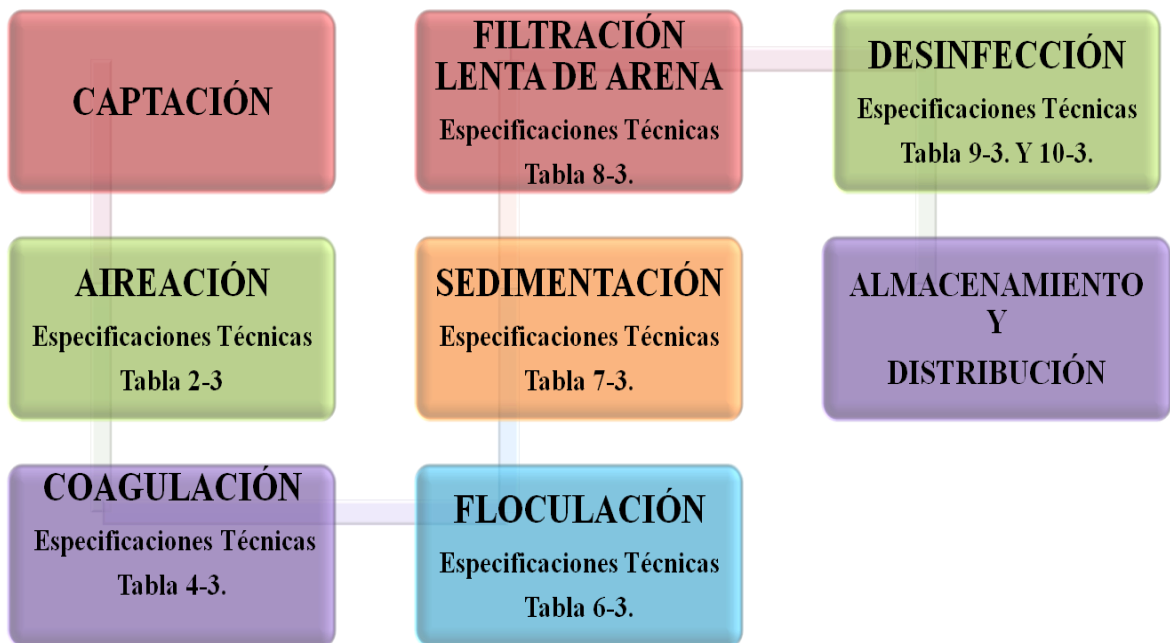
Tabla 15-3. Inversión de implementos

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
1	Kit para determinar cloro total y residual	200	200
3	Recipientes de 250 L	150	450
8	Tambores de 45 Kg	211,69	1.692,52
1	Material de plomería	200	200
		TOTAL	2.543,52

Fuente: Vergara Gisela.

3.9. Propuesta

La propuesta que se realiza para el diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Potable para la Parroquia Santa Fé se fundamenta en los resultados de los análisis efectuados tanto al agua cruda como tratada, obteniéndola con las siguientes características:



3.10. Análisis y Discusión de resultados

A continuación se realizara el respectivo análisis y discusión acerca de los inconvenientes presentados en el líquido vital consumido por la población de la Parroquia de Santa Fé, porque en este sector no cuenta con un tratamiento de potabilización y el tanque reserva existente no cuenta con todos los cuidados para ser apta para el consumo.

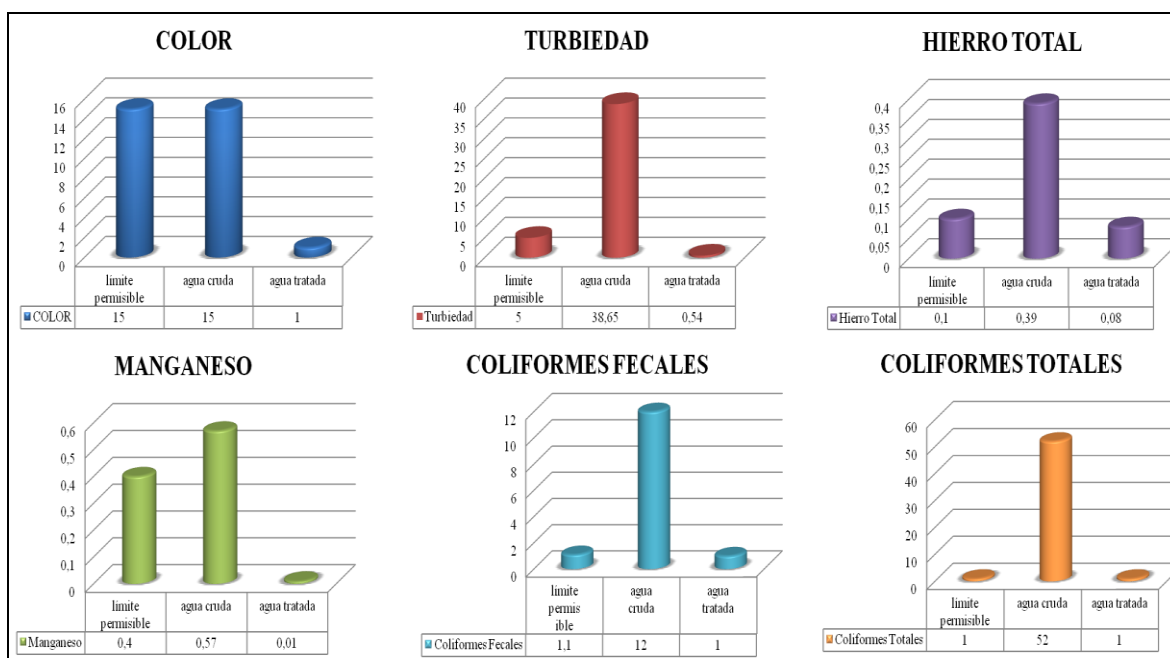
En la caracterización Físico-Química y Microbiológica del agua cruda que fue recolectada por tres semanas consecutivas (gráfica 1-2), se encontró parámetros fuera de los límites máximos permisibles según la norma NET INEN 1108:2006. Segunda Revisión. Agua Potable y requisitos, como son: 35 UTC color; 123,27 NTU turbiedad; 0,50 mg/L Hierro Total; 0,53 mg/L Manganeseo; 23,6 NPM/100 mL Coliformes Fecales y 104,67 NPM/100 mL Coliformes Totales. Y debido a la presencia constante de concentraciones elevadas de los parámetros anteriormente mencionados en el líquido vital, se procedió a realizar ensayos de tratabilidad en el laboratorio de la Planta de Potabilización “Chaquishca”, mediante el test de jarras se trabajó con el Policloruro de Aluminio (PAC) y Chemfloc 932 (para lo que es la eliminación de exceso de los parámetros problema: color, turbiedad, Hierro Total y Manganeseo). Al igual se aplicó Hipoclorito de Calcio para la eliminación de Coliformes Fecales y Totales

Se trabajó en base a las turbiedades para la realización del test de jarras donde se inició con valores de turbiedad de 38,65 NTU como valor mínimo y con un máximo de 189,68 NTU de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis de caracterización del agua cruda. En donde se hicieron diferentes pruebas con distintas concentraciones de PAC, con lo que pudimos observar los diferentes cambios que se daban y se encontró las dosificaciones correctas para el proceso de tratabilidad como se puede ver en las tablas 9-2; 10-2; 11-2; 12-2; 13-2; 14-2 logrando en la caracterización Físico-Químico y Microbiológicos obtener resultados óptimos, es decir que están dentro de los límites máximos permisibles de la norma, sin alterar a los demás parámetros como se puede apreciar en las tablas 11-3.

A continuación se puede apreciar los resultados que se obtuvo en la prueba de jarras para las distintas turbiedades que se nos presentó en el periodo que realizamos la caracterización Físico-Química y Microbiológica del agua, donde se pueden observar los valores que mejor porcentaje de remoción que se obtuvieron en los ensayos realizados en el laboratorio, cumpliéndose los parámetros dentro de los límites máximos de permisibles sin producir ninguna alteración a la calidad del agua (gráfica 1-3).

En la gráfica 2-3. se puede apreciar los resultados que mejor porcentaje de remoción se obtuvo en el primer ensayo que se realizó, donde se tenía una turbiedad de 38,65 NTU, entonces se dosificó con 2ml de Policloruro de Aluminio de concentración de 1 ppm y 1ml de Chemfloc, obteniendo así el descenso de la turbiedad a 0,54 NTU, igualmente los demás parámetros que presentaban inconvenientes como es en el color a un valor de 1 UTC; así mismo con Hierro Total 0,08 mg/L; Manganeso 0,009 mg/L; Coliformes Fecales < 1UFC/100mL; Coliformes Totales < 1UFC/100mL, dando así resultados que se encuentran dentro de los parámetros de la norma.

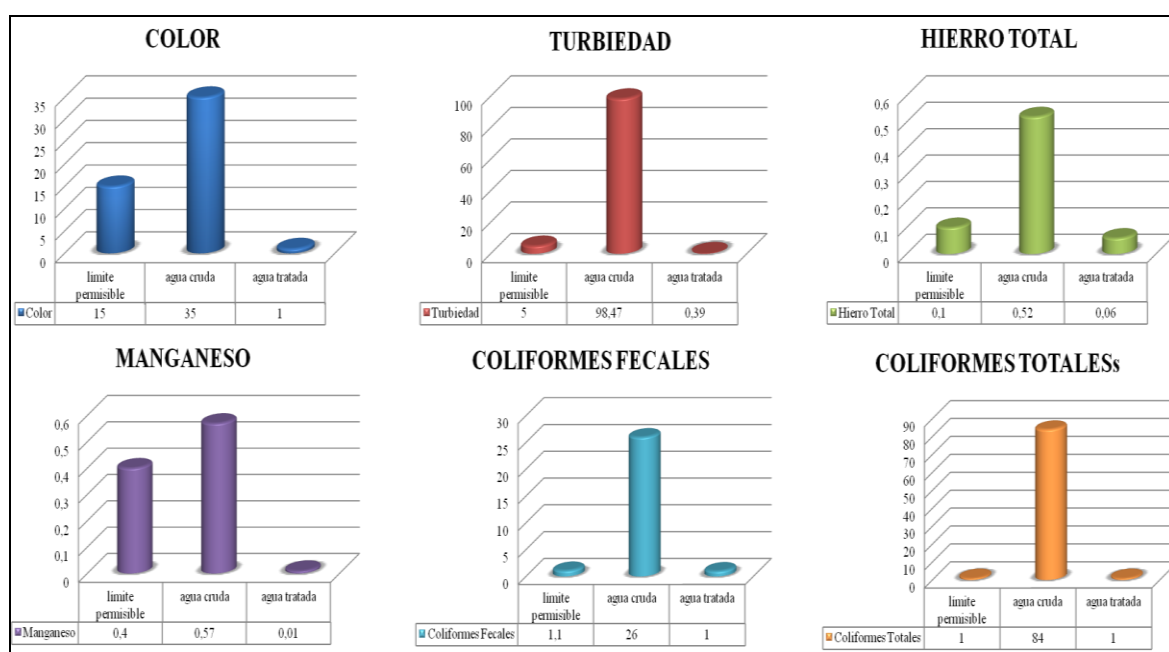
Gráfica 2-3. Resultados de test de jarras con turbiedad 38,65 NTU



Fuente: Vergara Gisela.

En la gráfica 3-3. se puede apreciar los resultados que mejor porcentaje de remoción se obtuvo en el segundo ensayo que se realizó en el laboratorio donde tenía una turbiedad de 87.65 NTU, y dosificándola con 2ml de Policloruro de Aluminio de concentración de 2 ppm y 1,25 ml de Chemfloc la turbiedad descendió a 0,44 NTU con un color de 1UTC, Hierro Total de 0,06 mg/L, Manganeso de 0,006 mg/L, Coliformes Fecales < 1UFC/100MI y Coliformes Totales < 1UFC/100mL. Estos resultados se encuentran dentro de los parámetros de la norma.

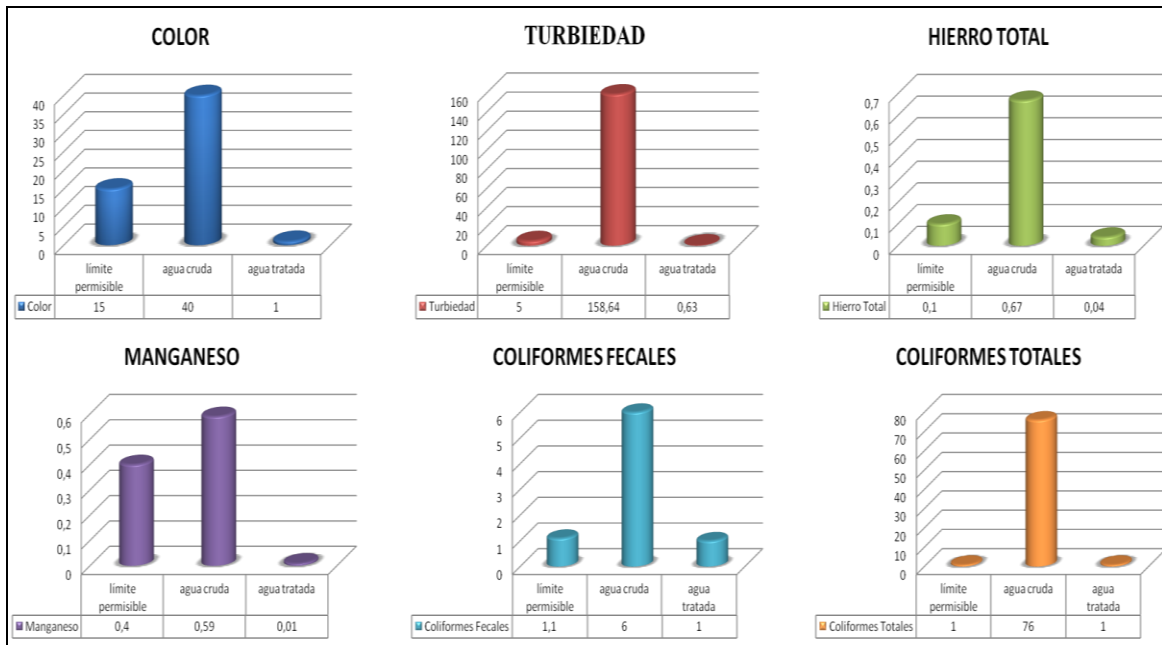
Gráfica 3-3. Resultados de test de jarras con turbiedad 87,65 NTU



Fuente: Vergara Gisela.

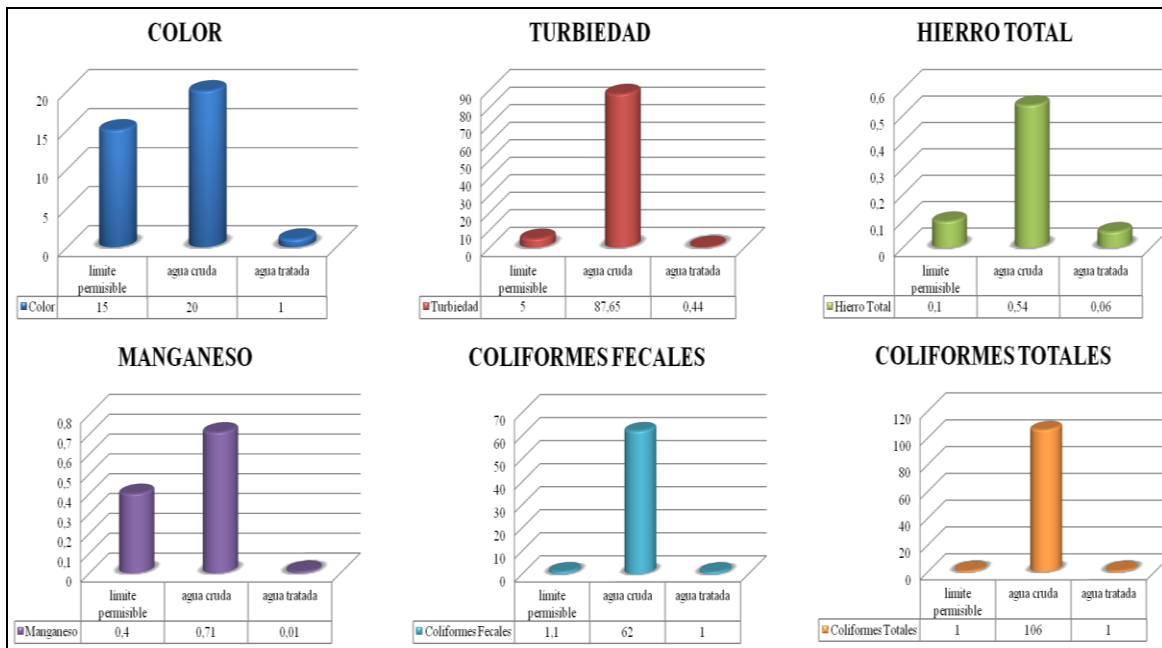
En la gráfica 4-3. se puede apreciar los resultados que mejor porcentaje de remoción se obtuvo en el tercer ensayo realizado, donde tenía una turbiedad de 98,47 NTU y dosificándolo con 4ml de Policloruro de Aluminio de concentración de 2 ppm y 2,25 ml de Chemfloc, la turbiedad descendió a 0,39 NTU con un color de 1 UTC, hierro total de 0,06 mg/L y manganeso de 0,007 mg/L, Coliformes Fecales < 1UFC/100mL y Coliformes Totales < 1UFC/100mL. Estos resultados se encuentran dentro de los parámetros de la norma.

Gráfica 4-3. Resultados de test de jarras con turbiedad 98,47 NTU



Fuente: Vergara Gisela.

Gráfica 5-3. Resultados de test de jarras con turbiedad 158,64 NTU

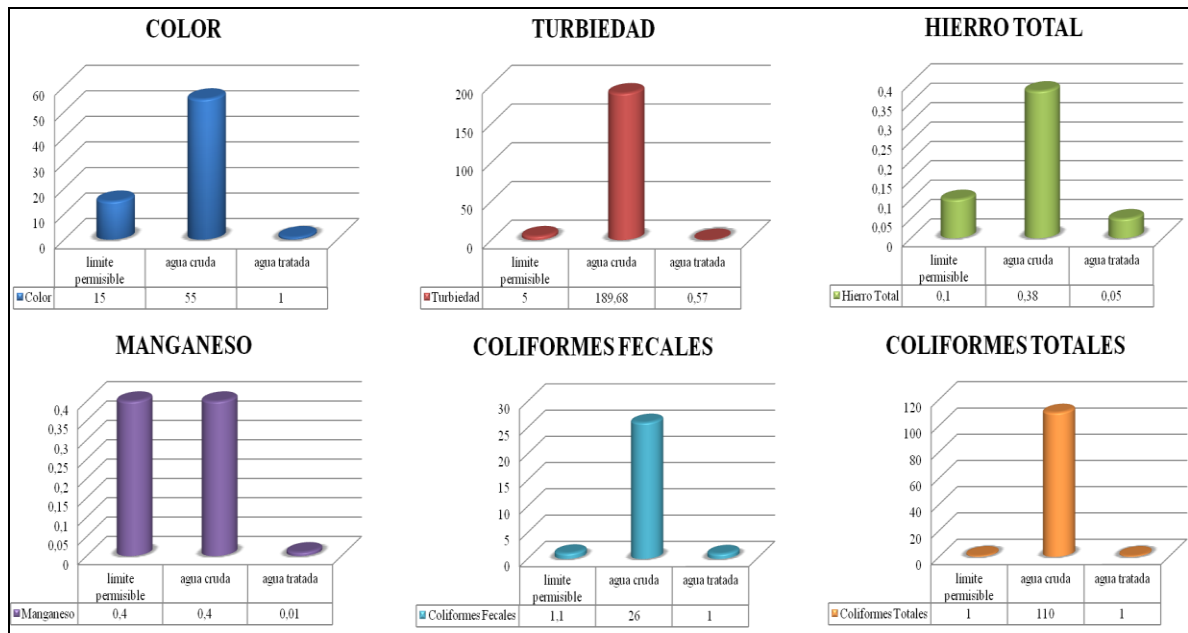


Fuente: Vergara Gisela.

En la gráfica 5-3. se puede apreciar los resultados que mejor porcentaje de remoción se obtuvo en el cuarto ensayo que tenía una turbiedad de 158,64 NTU se dosificó con 2ml de Policloruro de Aluminio de concentración de 4 ppm y 1,25ml de Chemfloc, obteniendo el

descenso de la turbiedad a 0,63 NTU con un color de 1 UTC, Hierro total de 0,04 mg/L, Manganeso de 0,008 mg/L, Coliformes Fecales < 1UFC/100mL y Coliformes Totales < 1UFC/100mL. Estos resultados se encuentran dentro de los parámetros de la norma.

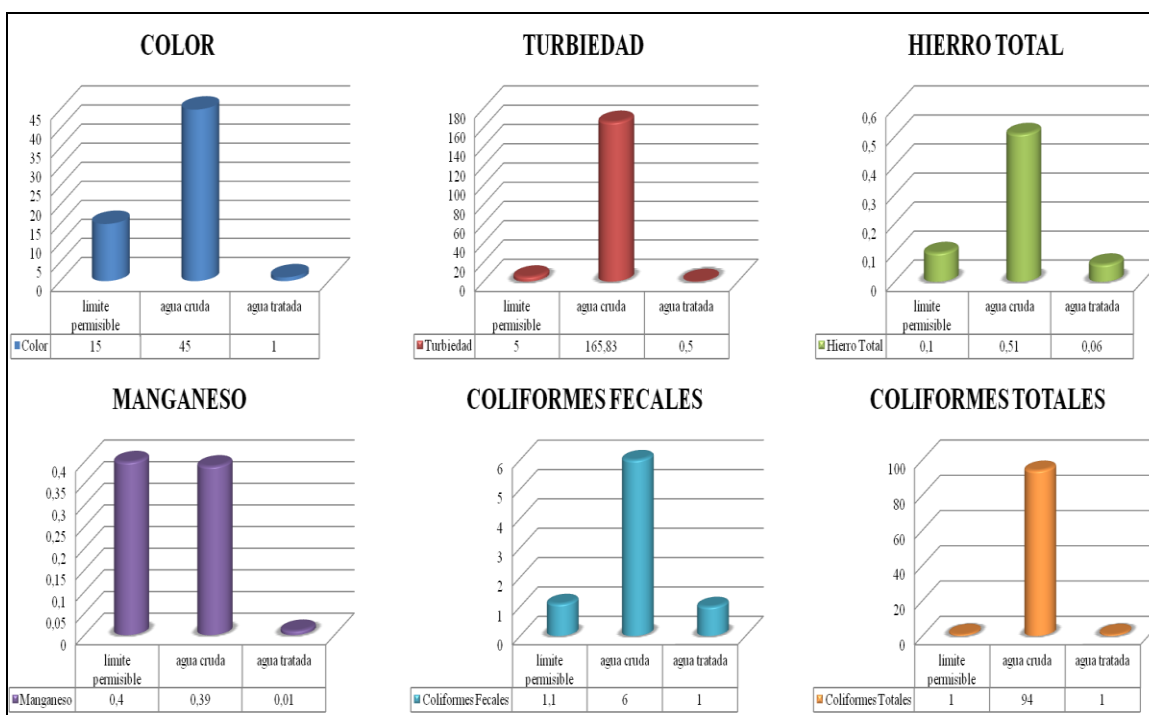
Gráfica 6-3. Resultados de test de jarras con turbiedad 165,83 NTU



Fuente: Vergara Gisela.

En la gráfica 6-3. se puede apreciar los resultados que mejor porcentaje de remoción se obtuvo en el quinto ensayo realizado que poseía una turbiedad de 165,83 NTU se dosificó con 3ml de Policloruro de Aluminio de concentración de 4 ppm y 1,75 ml de Chemfloc, se obtuvo el descenso de la turbiedad a 0,50 NTU con un color de 1 UTC, hierro total de 0,06 mg/L y manganeso de 0,008 mg/L, Coliformes Fecales < 1UFC/100mL y Coliformes Totales < 1UFC/100mL. Estos resultados se encuentran dentro de los parámetros de la norma.

Gráfica 7-3. Resultados de prueba de jarras con turbiedad 189,68 NTU



Fuente: Vergara Gisela.

En la gráfica 7-3. se puede apreciar los resultados que mejor porcentaje de remoción se obtuvo en el sexto ensayo que se realizó, donde tenía una turbiedad de 189,68 NTU se dosificó con 4ml de Policloruro de Aluminio de concentración de 4 ppm y 2,25 ml de Chemfloc, obteniendo como resultado el descenso de la turbiedad a 0,50 NTU con un color de 1 UTC, hierro total de 0,05 mg/L, manganeso de 0,008 mg/L, Coliformes Fecales < 1UFC/100mL y Coliformes Totales < 1UFC/100mL. Estos resultados se encuentran dentro de los parámetros de la norma.

Al prestar atención a las distintas gráficas de test de jarras realizadas para conseguir óptimos resultados, se puede decir que el procedimiento empleado es el correcto, debido a que los parámetros que presentaron problemas logramos que consigan cumplir con la norma acordada, teniendo así los siguientes porcentajes de remoción:

Tabla 16-3. Porcentajes de Remoción del agua tratada

Parámetros	% Remoción
Color	97,14
Turbiedad	99,59
Hierro Total	92,16
Manganeso	96,65
Coliformes Fecales	100
Coliformes Totales	100

Fuente: Vergara Gisela

Considerando los métodos más adecuados para el Tratamiento de agua Potable para la Parroquia de Santa Fé, Cantón Guaranda deberá estar conformado por los siguientes procesos: Aireación (Aireador de Bandejas) para la reducción de concentración de Hierro y Manganeso dando así un agua más agradable para el paladar. Necesitamos un medidor de caudal (vertedero triangular) para conocer cuál es el caudal con que trabajaremos para el tratamiento de potabilización. Coagulación se aplica para la remoción de turbiedad y color, para que se dé homogéneamente se necesita de una zona fuerte de turbulencia por esta razón se utilizara una Canaleta de Parshall, el cual será el punto de aplicación de un agente coagulante (Policloruro de Calcio). Floculación (Floculador hidráulico de flujo horizontal) es el proceso seguido de la coagulación, donde se da la aglomeración de pequeñas partículas con el fin de formar partículas sedimentables y continuar con el proceso de Sedimentación (Sedimentador de alta tasa), donde se asientan los sólidos suspendidos en un fluido, bajo la acción de la gravedad, el cual permite una gran eliminación de la turbiedad presente en el agua. Filtración (Filtro lento de arena) es el proceso que consiste hacer pasar el agua a través de un lecho de arena para así separar las partículas y microorganismos que no han podido ser removidos en los procesos de coagulación y sedimentación. Y finalmente es necesario realizar un proceso adicional, el cual es el proceso de desinfección, para eliminar toda clase de contaminaciones y esto lo realizamos mediante la utilización del Hipoclorito de Calcio.

Este método elegido para la potabilización de agua para esta población es el más óptimo debido a que se logró cumplir con las norma NET INEN 1108:2006. Segunda Revisión. Agua Potable y requisitos, así brindando un líquido vital de calidad.

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización Físico-Químico y Microbiológico del agua que abastece a la parroquia de Santa Fé, presentados en las Tablas 6-2; 7-2 y 8-2. Al compararlos con la norma INEN 1108:2006. Segunda revisión, Agua Potable Requisitos nos indica que es agua de mala calidad debido a que algunos parámetros se encuentran fuera de los límites máximos permisibles de la norma anteriormente mencionada, como son: 35 UTC color; 123,27 NTU turbiedad; 0,50 mg/L Hierro Total; 0,53 mg/L Manganeseo; 23,6 NPM/100 mL Coliformes Fecales y 104,67 NPM/100 mL Coliformes Totales.
- Se realizó pruebas de tratabilidad en el laboratorio de la Planta de Potabilización “CHAQISHCA” de la EP-EMAPAG, donde se consiguió reducir todos los valores que estuvieron fuera de los límites permisibles de la norma NET INEN 1108:2006. Segunda Revisión, mediante la realización del test de jarras ayudado del coagulante PAC y el floculante Chemfloc, presentados en las tablas 9-2; 10-2; 11-2; 12-2; 13-2; 14-2.
- Se identificó que las variables del proceso que se requieren para el diseño de la planta de tratamiento son: el caudal de diseño (15 L/s) y la proyección de población futura (4598hab).
- Se diseñó un sistema óptimo y adecuado para el tratamiento del agua de la vertiente implementando una torre de aireación (tabla 2-3) para disminuir los valores de hierro y manganeso, un vertedero de Thompson que nos permitirá registrar el caudal real a la entrada de la planta de tratamiento(Tabla 3-3); como así se implementó una canaleta Parshall donde lo utilizaremos como mezclador para las dosificaciones que se requiere para el proceso de coagulación y floculación(Tabla 4-3), para ello se añadió un floculador hidráulico de flujo horizontal que nos ayuda a controlar la turbidez del agua a la que ingresara al proceso(Tabla 5-3), sedimentador con placas que nos ayudara a eliminar en su mayor parte las partículas sólidas(Tabla 6-3) y además filtros lentos de

arena para la eliminación total de partículas sólidas(Tabla 7-3) y finalmente un tanque de cloración (Tabla 8-3) donde lo utilizaremos para el proceso de desinfección mediante la dosificación de Hipoclorito de Calcio, donde se puede constatar que luego de haber realizado las pruebas de tratabilidad manifestadas anteriormente se puede decir que la Planta de tratamiento que se propone para la Parroquia de Santa Fé es el adecuado y que esta apta para implementarla.

- Se validó el tratamiento propuesto con los resultados de la caracterización Físico-Químicos y Microbiológica del agua tratada (Tabla 11-3), observándose que todos los parámetros cumplen con los requisitos especificados en la Norma INEN 1108.:2006. Segunda Revisión y obteniendo un porcentaje de remoción de: 97,14 % color; 99,59% turbiedad; 92,16 % Hierro; 96,65 % Manganeso; 100% Coliformes Fecales y Totales, concluyendo que el diseño propuesto para el tratamiento de potabilización de agua para la Parroquia de Santa Fé es el ideal, debido a que proporciona agua de calidad, se elaboraron los planos de las infraestructuras que conformaran la planta de tratamiento de agua potable en base a los cálculos obtenidos (Anexos M-T).

RECOMENDACIONES

- Usar el PAC cuando la turbiedad sobrepase los 4 NTU, ya que esto reducirá costos y no afectará la calidad estética y la parte de salubridad del agua.
- Aplicar las dosis de Cloro de acuerdo a las cartas de dosificación que se presentan en Anexo G.
- Se recomienda realizar los análisis físicos químicos y microbiológicos periódicamente de las fuentes de captación con la finalidad de obtener una base de datos que nos permita identificar con facilidad la calidad de las aguas.
- Para lograr los resultados adecuados en el laboratorio será necesario contar con equipo debidamente calibrado y deberá contarse con la supervisión de un profesional en la rama, para verificar que los resultados sean lo más exactos posible, ya que la mala operación del equipo podría dar resultados no satisfactorios.
- Deberán realizarse trabajos de mantenimiento de la planta, para que la evacuación de los lodos sea lo más rápido posible y para que los filtros trabajen eficientemente, al igual un mantenimiento permanente a las placas que se implementen, con una limpieza mensual.
- La supervisión de la dosificación de PAC, Chemfloc deberá hacerse de manera constante, realizando pruebas de jarras, para verificar que cumpla con la relación que existe entre los coagulantes.
- Deberá contarse con un equipo de dosificación que se encuentre en buenas condiciones de operación, para no tener problemas de desperdicio de coagulante, ya que esto representaría un aumento en los gastos de operación.

BIBLIOGRAFIA

ARBOLEDA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 3.ed, Bogotá-Colombia. Editorial nomos. Tomo I. 2000, pp. 145-267; 364-582.

AZEVEDO, J; ACOSTA, G. Manual de Hidráulica. 6a.ed, México D.F – México. Editorial Limusa. 2000, pp.578.

BRITO, Nancy. Alternativa de Potabilización para el agua que abastecerá a la ampliación del Aeropuerto Internacional de la ciudad de México. (Tesis). Ingeniero Civil. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Facultad de Ingenierías, Escuela de Ingeniería Civil. México D.F.-México. 2007. pp. 5-39.

<http://www.elaguapotable.com/ALTERNATPOTAB.pdf>

2014-04-21.

CALIDAD DEL AGUA

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/612/calidad.pdf>

2014-04-15

DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN

http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/17651/operacion_potabilizacion/index.html#.

2014-03-10

ECUADOR, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN). Norma Técnica Ecuatoriana 1 108:2006 - Requisitos para el agua de Potable (segunda revisión). Quito-Ecuador. 2006, pp. 3-6.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10608/8/Norma%20Inen%20Agua1108-2.pdf>

2014-04-15

GLYNN, H., HEINKE, G. Ingeniería Ambiental. 2a. ed, México D.F- México. Editorial Prentice Hall Hispanoamérica S.A. 2000, pp. 393-398.

MERRIT, Frederich. Manual del ingeniero civil. 4a.ed, México D.F – México. McGraw Hill. Volumen IV. 1999, pp. 170.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Guías para la calidad del agua potable. 3.ed. Volumen I. 2006, pp. 147-422.

www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

2014-04-19.

PERRY, Roberto. Manual del Ingeniero Químico. 6a.ed, México D.F- México. Editorial Mc Graw-Hill. 2002, pp. 505 – 515.

RIGOLA, Miguel. Tratamiento de Aguas Industriales. 2a.ed, España- Barcelona. Editorial Marcomba S.A. 1990, pp.19-20, 21-23.

ROMERO, Jairo. Purificación del Agua. 3.ed, México D.F.-México. Alfaomega grupo editor, S.A. 2009, pp. 117-259.

TEBBUTT, T.H. Fundamentos de control de la calidad del agua. 2a.ed, México D.F – México. Editorial Limusa. 1999, pp. 220-239.

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA COLOMBIA, Diseño De Plantas Potabilizadoras (Módulo), 2012, Bogotá-Colombia.

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Diseño_de_Plantas_Potabilizadoras/

2014-05-18

ANEXOS:

ANEXO A.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1 108:2006.Segunda revisión



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito – Ecuador

NORMA TECNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 108:2006

Segunda Revisión

AGUA POTABLE. REQUISITOS

Primera Edición

WATER DRINKING. SPECIFICATIONS.

First Edition

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

AL 01.06-401

CDU: 644.61

CIU: 4200

ICS: 13.060.20

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2006 SEGUNDA REVISIÓN

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

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

3.3 Límite máximo permitido. Límite máximo permisible. Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano.

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

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

3.6 mg/l. (miligramos por litro). Unidades de concentración de parámetros físico químicos.

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

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

3.9 *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.

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

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

3.12 *Radio nucleido.* Nucleidos radiactivos; nucleidos: conjunto de átomos que tienen núcleos con igual número atómico Z y másico A .

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

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

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

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

4. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

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

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos específicos

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

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	mg/l	1 000
Sólidos disueltos	mg/l	500
Conductividad	μS/cm	< 1250
Inorgánicos		
Alcalinidad	mg/l	250 –300
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	< 0,5
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300
Boro, B	mg/l	0,3
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Calcio, Ca	mg/l	70
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 – 1,5
Cloruros, Cl	mg/l	250
Cobalto, Co	mg/l	0,2
Cobre, Cu	mg/l	1,0
Cromo, Cr (cromo hexavalente)	mg/l	0,05
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	200
Estaño, Sn	mg/l	0,1

Flúor, F	mg/l	> 1,5
Fósforo, (P-PO4)	mg/l	< 0,3
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Magnesio, Mg	mg/l	30 - 50
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitratos, N-NO3	mg/l	< 40
Nitritos, N-NO2	mg/l	0,01
Plata, Ag	mg/l	0,05
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Selenio, Se	µg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfatos, SO4	mg/l	200
Vanadio, V	µg/l	0,1
Zinc, Zn	mg/l	3
Radiactivos	mg/l	
Radiación total α**	Bg/l	0,1
Radiación total β ***	Bg/l	1,0

1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.

* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 210Po, 224Ra, 226Ra, 232Th, 234U, 238U, 239Pu.

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

Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Alcanos clorinados	µg/l	2
tetracloruro de carbono		20
Diclorometano		30
1,2 dicloetano		2 000
1,1,1 – tricloetano		
Etanos clorinados	µg/l	5
Cloruro de vinilo		30
1,1 dicloroeteno		50
1,2 dicloroeteno		70
tricloroeteno		40
Tetracloroeteno		

Hidrocarburos Aromáticos	µg/l	10
Benceno		170
Tolueno		500
Xileno		200
Etilbenceno		20
Estireno		
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	µg/l	0.3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	µg/l	0,01
benzo (a)pireno		0,03
benzo (a)fluoranteno		0,03
benzo (k)Fluoranteno		0,03
benzo (ghi)pirileno		
indeno (1,2,3-cd)pireno		
Bencenos clorinados	µg/l	300
monoclorobenceno		1 000
1,2-diclorobenceno		300
1,3-diclorobenceno		20
1,4-diclorobenceno		
triclorobenceno (total)		
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-dicloropropano	µg/l	20
Heptacloro y heptacloro epoxi de etilendibromide	µg/l	0,03
Hexaclorobenceno	µg/l	1

Isoproturon	µg/l	9
Lindano	µg/l	2
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	µg/l	2
Metoxycloro	µg/l	10
Molinato	µg/l	6
Pendimetalin	µg/l	20
Pentaclorofenol	µg/l	9
Permetrin	µg/l	20
Propanil	µg/l	20
Piridato	µg/l	100
Simazina	µg/l	2
Trifluralin	µg/l	20
Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPa 2,4-DB	µg/l	90
Dicloroprop	µg/l	100
Fenoprop	µg/l	9
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB	µg/l	2
Mecoprop	µg/l	10
2,4,5-T	µg/l	9

Residuos de desinfectantes

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

Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Bromato	µg/l	25
Clorito	µg/l	200
Clorofenoles		
2,4,6-triclorofenol	µg/l	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		
Tricloroacetaldeido	µg/l	10

Acetonitrilos Halogenados		
Dicloroacetonitrilo		90
Dibromoacetonitrilo	μg/l	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.	

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo

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

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

7. MÉTODOS DE ENSAYO

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

ANEXOS B.

MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS DEL AGUA

POTENCIAL HIDRÓGENO	EQUIPO	Potenciómetro
	MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vasos de vidrio ▪ Limpiadores
	REACTIVO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solución Buffer pH 4 (caducidad fijada por el fabricante) ▪ Solución Buffer pH 7 (caducidad fijada por el fabricante) ▪ Agua destilada. ▪ Muestra de agua
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Después que el equipo haya sido calibrado, ponga 100 ml de muestra en un vaso de 250ml. Introduzca el electrodo en el vaso, agitar y presione READ. 2. Deje un tiempo estable hasta que la lectura sea estable. Lea la medida de pH directamente de la pantalla. 3. Registre el valor. 4. Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Ponga el electrodo en el porta electrodo hasta volver a utilizar.
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conductímetro
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vasos de precipitación ✓ Agua destilada ✓ Muestra de agua ✓ Limpiadores
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es aconsejable operar con el material de vidrio rigurosamente limpio y lavado antes de su uso con agua destilada. 2. En un vaso de precipitación colocamos 100 ml de muestra de agua. 3. Lavar varias veces el electrodo (celda conductométrica) con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar. 4. Determinamos el parámetro de medida (Cond) en el equipo y presionamos READ. Deje un tiempo hasta que la lectura sea estable. 5. Lea la medida de conductividad directamente de la pantalla. Además se medirá la temperatura. 6. Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Guarde el electrodo hasta volver a utilizar.
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conductímetro – Electrodo
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vasos de precipitación ✓ Agua destilada ✓ Muestra de agua ✓ Limpiadores
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Lavar varias veces el electrodo (celda conductométrica) con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar.

	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> Seleccionamos el parámetro de medida en la pantalla (STD) y presionamos READ. Deje un tiempo hasta que la lectura sea estable. Lea la medida de sólidos totales disueltos directamente de la pantalla. Además se medirá la temperatura. Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Guarde el electrodo hasta volver a utilizar.
CLORO, Total	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> Sobres de reactivo de cloro total DPD en polvo, 10ml Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. Si la prueba sale de los límites, diluir la muestra con un volumen conocido de agua sin demanda de cloro y de buena calidad y repetir la prueba. Debido a la dilución puede producirse una pérdida de cloro. Multiplicar el resultado por el factor de dilución. En presencia de cloro aparecerá un color rosa, después de la adición del reactivo DPD.
	PROCEDIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 80 cloro L&T PP. Lavar las cubetas y la pipeta con la muestra antes de usarlas. Colocar con la pipeta 10 ml de muestra en la cubeta, añadir el contenido de un sobre de reactivo Chlorine Total-DPD. Agitar con rotación durante 20 segundos. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar OK, comienza un tiempo de reacción de 3 minutos. Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de muestra. Limpia bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Cl₂. Dentro de los 3 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta con la marca de llenado hacia la derecha. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Cl₂.
ALUMINIO	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> Sobres de reactivo de ácido ascórbico en polvo, 10ml Sobres de reactivo de AluVer 3 en polvo Sobres de reactivo Bleaching 3 en polvo Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	- Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
		<ol style="list-style-type: none"> Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 10 Aluminio. Llenar un tubo mezclador graduado de 50mL. Añadir el contenido de un sobre de ácido ascórbico en polvo. Tapar el tubo e invertir despacio varias veces para disolver el polvo. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de aluminio AluVer 3 en polvo. Tapar el tubo. En presencia de aluminio se formara un color rojo-naranja. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Invertir el tubo repetidamente durante un minuto para disolver el polvo. Si hay polvo sin disolver se obtendrán

	PROCEDIMIENTO	<p>resultados erróneos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Preparación del blanco: llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml con mezcla del tubo mezclador. 7. Añadir el contenido de un sobre de reactivo Bleaching 3 en polvo a la cubeta. 8. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. 9. Agitar, con rotación energéticamente durante 30 segundos. Esta solución debería adquirir un color anaranjado de claro a medio. 10. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 15 minutos. 11. La muestra preparada: llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de mezcla del tubo mezclador. 12. Dentro de los 5 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 13. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Al³⁺. 14. Inmediatamente limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta con la marca de llenado hacia la derecha. 15. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Al³⁺.
COBALTO	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sobres de reactivo de EDTA en polvo ▪ Sobres de reactivo de phthalate-fosfato en polvo ▪ Solución del indicador PAN 0,3% ▪ Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	<p>– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. La formación del color, variara de verde a rojo oscuro, dependiendo de la composición química de la muestra.</p>
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 110 Cobalto. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada. 4. Añadir el contenido de u sobre de reactivo phthalate-fosfato en polvo a cada cubeta. 5. Con el cuentagotas de plástico añadido agregar 0,5mL de solución del indicador PAN 0,3% a cada cubeta. 6. Tapar las cubetas e invertir varias veces para mezclar. 7. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 3 minutos. El blanco, deberá presentar un color amarillo. 8. Añadir el contenido de un sobre de reactivo EDTA en polvo a cada cubeta. Tapar las cubetas con cuidado y agitar para disolver el polvo. 9. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 10. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Co. 11. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha 12. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Co.

COBRE	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sobres de reactivo CuVer 1 en polvo ▪ Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	<ul style="list-style-type: none"> – Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En este caso se utilizara CuVer 2 y una cubeta de 25 mL para las muestras que contienen niveles altos de aluminio, hierro y dureza
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 135 Cobre Bicin. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de cobre CuVer 1 en polvo. Agitar la cubeta varias veces, con rotación, para mezclar. 4. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos. 5. Después de que suene el temporizador, llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml. 6. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 7. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Cu. 8. Dentro de los 30 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 9. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Cu.
CLORURO	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solución férrica ▪ Solución tiocianato mercuríco ▪ Muestra de agu
	ANTES DE COMENZAR	<ul style="list-style-type: none"> – Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 70 Cloruro. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada. 4. Pipetear 0,8 ml de solución tiocianato mercuríco en cada cubeta. 5. Agitar, con rotación, para mezclar. 6. Pipetear 0,4 ml de solución férrica en cada cubeta. 7. Agitar, con rotación, para mezclar. En presencia de cloruro aparecerá un color anaranjado. 8. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos. 9. Dentro de los 5 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.

		<ol style="list-style-type: none"> 10. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Cl⁻. 11. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha 12. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Cl⁻.
CROMO, HEXAVALENTE	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sobres de reactivo cromo ChromaVer 3 en polvo ▪ Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	<p>– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En presencia de cromo hexavalente, aparecerá un color violeta.</p>
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 90 Cromo hex. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de cromo ChromaVer 3 en polvo. Agitar, con rotación, para mezclar. Si hay la presencia de este elemento la coloración será violeta. 4. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos. 5. Preparación de blanco: llenar otra cubeta de una pulgada de 10 ml hasta la marca 6. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 7. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Cr⁶⁺. 8. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 9. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Cr⁶⁺.
FUORIDE (FLUOR)	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solución SPADNS Reagent, 2 ml ▪ Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	<p>– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.</p>
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 190 Fluoride. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada. 4. Pipetear 2 ml de solución SPADNS Reagent en cada cubeta. 5. Agitar, con rotación, para mezclar. 6. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 1

	PROCEDIMIENTO	<p>minutos.</p> <ol style="list-style-type: none"> Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L F⁻. Limpia bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L F⁻.
MANGANESO	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> Solución de reactivo de cianuro alcalino Solución indicadora PAN 0,1% Sobres de ácido ascórbico en polvo Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	<p>Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En ciertas muestras al colocar la solución de reactivo de cianuro alcalino puede formarse una solución turbia, pero esta turbidez se disipará con la solución indicadora Pan 0,1%.</p>
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 290 Manganese. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada. Añadir a cada cubeta el contenido de un sobre de ácido ascórbico en polvo. Tapar las cubetas e invertir con cuidado para disolver el polvo. Añadir 12 gotas de solución de reactivo de cianuro alcalino a cada cubeta. Agitar, con cuidado para mezclar. Se forma una turbidez. Añadir 12 gotas de solución indicadora Pan 0,1%, a cada cubeta. Agitar con cuidado para mezclar. Si hay manganeso, la muestra preparada producirá un color anaranjado. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Mn. Limpia bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Mn.
NIQUEL	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> Solución indicadora PAN 0,3% Sobres de reactivo de EDTA en polvo Sobres de reactivo de phthalate-fosfato en polvo Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	<p>Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. Si la muestra contiene hierro (Fe³⁺) todo el polvo debe estar disuelto antes de colocar la solución indicador PAN 0,3%</p>
		<ol style="list-style-type: none"> Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 340 Niquel PAN.

	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada. 4. Añadir el contenido de un sobre de reactivo phthalate-fosfato en polvo en cada cubeta. 5. Tapar las cubetas y agitar para disolver el polvo. 6. Con el cuentagotas de plástico, agregar o, 5 ml de solución del indicador PAN 0,3% a cada cubeta. 7. Tapar las cubetas e invertir varias veces para disolver el polvo. 8. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 15 minutos. Durante la formación del color, el color de la solución puede variar de naranja amarillento a rojo oscuro, dependiendo de la composición química de la muestra. El blanco debería presentar un color amarillo. 9. Después de que suene el temporizador, añadir el contenido de un sobre de reactivo EDTA en polvo a cada cubeta. 10. Tapar las cubetas y agitar para disolver el polvo. 11. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 12. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Ni. 13. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 14. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Ni.
NITRATO	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sobres de reactivo nitrato NitaVer 5 en polvo ▪ Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	<p>– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En presencia de nitrato, aparecerá un color ambar.</p>
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 355 N Nitrato. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 5 en polvo a la cubeta. Tapar la cubeta. 4. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 1 minutos. 5. Agitar vigorosamente la cubeta hasta que suene el temporizador. 6. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de 5 minutos. 7. Después de que suene el temporizador llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra. 8. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 9. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L NO₃^{-N}. 10. En el transcurso de 1 minuto desde que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. Medición. El resultado aparecerá en mg/ L NO₃^{-N}.
	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta

NITRITO		✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sobres de reactivo nitrito NitriVer 3 en polvo ▪ Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En presencia de nitrito aparecerá un color rosa.
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 371 N Nitrito. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Anadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrito NitriVer 3 en polvo a la cubeta. Agitar la cubeta, con rotación, para mezclar. 4. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 20 minutos. 5. Después de que suene el temporizador llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra. 6. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 7. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L NO₂^{-N}. 8. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 9. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L NO₂⁻
NITROGENO, AMONIACAL. Método Nessler	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solución de reactivo Nessler, 1 ml ▪ Set de reactivos para nitrógeno amoniacal (estabilizante mineral, agente dispersante alcohol polivinilico) ▪ Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 380 N. amoniacal Ness. 2. Llenar un tubo mezclador graduado de 25 ml hasta la marca de 25 ml con muestra. 3. Para preparar el blanco: llenar otro tubo graduado de 25 ml hasta la marca de 25 ml con agua desionizada. 4. Añadir tres gotas de estabilizante mineral a cada tubo. Tapara los tubos y agitar varias veces para mezclar. 5. Añadir tres gotas de agente dispersante alcohol polivinilico a cada tubo. Tapara los tubos y agitar varias veces para mezclar. 6. Pipetear 1 ml de reactivo Nessler en cada tubo. Tapar los tubos y agitar varias veces para mezclar. 7. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 1 minutos. 8. Llenar dos cubetas cuadradas de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con solución de los tubos. 9. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 10. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L NH₃ - N. 11. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 12. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L NH₃
	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectrofotómetro DR 2800

HIERRO; total	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sobres de reactivo de hierro FerroVer en polvo ▪ Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. Si hay la presencia de hierro total, se formara un color anaranjado.
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 265 Hierro FerroVer. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Añadir el contenido de un sobre de reactivo FerroVer en polvo. Agitar, con rotación, para mezclar. 4. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 3 minutos. 5. Preparación del blanco: llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra. 6. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 7. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Fe. 8. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 9. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Fe.
SULFATE (SULFATOS)	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espectrofotómetro DR 2800
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml ✓ Pipeta ✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solución del reactivo de SulfaVer ▪ Muestra de agua
	ANTES DE COMENZAR	Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 680 Sulfate. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Añadir el contenido del reactivo de SulfaVer en la muestra. Agitar con cuidado para mezclar. La presencia de sulfato se notara con una turbidez 4. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos. 5. Preparación del blanco: llene una cubeta de una pulgada de 10 ml con la muestra. 6. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 7. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L SO₄²⁻. 8. Después de 5 minutos, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 9. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L SO₄²⁻.

Fuente: MÉTODO HACH DR 2800, Laboratorio de Control de la Planta de Potabilización “Chaquischa”.

ANEXO C.

MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA

PROCESAMIENTO DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS DE COLIFORMES	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cámara incubadora ▪ Unidad para filtración por membrana ▪ Bomba de vacío ▪ Dispensador de pads
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limpiadores ✓ Pads absorbentes ✓ Set de 20 cajas Petri portacajas ✓ Mechero de bunsen ✓ Marcador permanente ✓ Pinza estéril ✓ Lente de aumento
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muestra de agua ▪ Pads absorbentes ▪ Alcohol antiséptico ▪ Ampollas m-ColiBlue24® Broth
	ANTES DE COMENZAR	<ul style="list-style-type: none"> – Para incubar coliformes fecales, se utilizara la ampolla endo como un medio y se seleccionar la temperatura de 44°C. Para análisis de coliformes totales se seleccionar la temperatura de 37°C en el cual se utilizara la ampolla m - coli blue. – El número de bacterias coliformes fecales en muestras de agua tratada, idealmente debe ser cero. El volumen preferido de muestra es de 100 mL es un indicativo de que el sistema de agua es microbiológicamente seguro. Si los resultados exceden de 1 coliforme fecal por 100 mL o 10 coliforme fecal por 100 mL, indica que el sistema esta contaminado y se deben tomar acciones urgentemente. – El número de bacterias coliformes fecales en muestras de agua deben ser contadas después de pasar 14 horas dentro de una incubadora. Si se utilizara 25 mL de muestra deberán ser observadas bajo un lente de aumento y una vez terminadas de contar, se multiplicaran X 4 para ser registradas.
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Registrar el lugar de procedencia de la muestra del agua. 2. Desinfectar el lugar en donde se va a realizar el análisis. 3. Esterilizar particularmente las siguientes superficies: 4. Interior del tubo de filtración 5. Interior de las cajas Petri

	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> 6. Colocar un pad absorbente en la caja petri 7. Armar el equipo de la bomba de vacío. 8. Aflojar el embudo de filtración y removerlo de la base. 9. Esterilizar la pinza usando una llama. Con la utilización de la pinza, colocar una membrana estéril en el soporte, con la cuadrícula hacia arriba. Si la membrana esta rasgada o contaminada, descartarla y usar una nueva. 10. Ajustar la membrana aplastando el embudo firmemente hacia abajo. 11. Poner la muestra de agua en el embudo hasta la marca de 100 mL. 12. Filtrar el agua a través de la membrana. 13. Cuando toda el agua ha sido filtrada, liberar la bomba de vacío y usando la pinza estéril tomar la membrana de la unidad de filtración. 14. Poner la membrana sobre el pad que se encuentra saturado de la ampolla m-Coli blue y posteriormente retirado el exceso de dicho medio. 15. Tapar la caja Petri y codificarlo con el número de muestra, lugar, fecha, hora etc. 16. Repetir el proceso para todas las muestras. Dejar un periodo de resucitación de 1 a 4 horas, lo cual permitirá que los coliformes fisiológicamente estresados se recuperen antes del cultivo. Luego colocar las cajas Petri en el soporte de la incubadora. 17. Para incubar coliformes fecales, seleccionar la temperatura de 44°C. Para análisis de coliformes totales seleccionar la temperatura de 37°C. 18. El mínimo periodo de incubación es de 14 horas siguientes a las 4 horas de resucitación. 19. Una vez terminado este tiempo, remover las cajas Petri de la incubadora y registrar la temperatura fijada. 20. Colocar las cajas Petri en una superficie plana. Remover las tapas y contar las colonias sin considerar el tamaño. Utilizar el lente de aumento si es necesario. Contar inmediatamente las colonias ya que los colores que se presenten pueden cambiar al enfriarse o en reposo. 21. Terminado de contar las colonias en cada muestra. Este valor es igual al número de colonias por 100 mL. Muestras que fueron incubadas a 37°C (coliformes totales) mientras que aquellas incubadas a 44°C (coliformes fecales- termotolerantes o termoresistentes) 22. Registrar los resultados.
--	----------------------	---

Fuente: Manual de Métodos Analíticos para el Control del Tratamiento de Aguas, Laboratorio de Control de la Planta de Potabilización “Chaquishca”

ANEXO D.

PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA PARA EL DISEÑO

Nº	AÑOS PROYECTADOS	POBLACIÓN FUTURA
0	2014	3125
1	2015	3186
2	2016	3248
3	2017	3311
4	2018	3376
5	2019	3442
6	2020	3509
7	2021	3577
8	2022	3647
9	2023	3718
10	2024	3791
11	2025	3865
12	2026	3940
13	2027	4017
14	2028	4095
15	2029	4175
16	2030	4256
17	2031	4339
18	2032	4424
19	2033	4510
20	2034	4598

Fuente: Vergara Gisela

ANEXO E.

BOLETÍN TÉCNICO PAC -08

BENEFICIOS:

- Producto utilizado para clarificar agua, para uso potable.
- Reemplaza satisfactoriamente el uso de Sulfato de aluminio y otros coagulantes inorgánicos
- Solubilidad Total en agua.
- No forma incrustaciones, No causa taponamientos de filtros.
- No afecta el pH del agua tratada.
- Efectivo en agua con bajos y altos valores de turbidez.
- Dependiendo la calidad del agua, este producto puede ser utilizado en sistemas con oxidación previa, cualquiera que sea el método utilizado.
- Rango de pH en el que la eficiencia del producto es óptima entre: 6.0 – 8.5
- No requiere de la ayuda de un Floculante para aglomeración de flocs.

USOS PRINCIPALES:

- Es una formulación de polímeros orgánicos e inorgánicos diseñado para clarificar agua que será destinada para uso potable.
- Funciona extrayendo los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua, por procesos de coagulación y Floculación.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Apariencia:	Líquido amarillo - marrón
Grav. Esp. A 25°C:	1.25 ± 0.1
PH puro:	2.7 ± 0.5
% Al₂O₃:	12.0 – 18.0
%Cloruros:	25 ± 0.5
%Basicidad relativa:	40 ± 1.5
Viscosidad a 25°C:	30 ± 0.5 mPas

DOSIS:

La dosis del PAC - 08 en general está en función de la turbidez del agua a tratarse, pudiendo variar entre 20 a 250 ppm para afluentes destinados a potabilización, para lo cual por pruebas de tratabilidad en nuestro laboratorio, se determinará la dosis óptima y un técnico especializado lo instalará en su sistema.

APLICACIÓN:

- Debe aplicarse a la línea de agua en su forma original o en dilución cuando las dosificaciones y el caudal a tratar son muy bajos.
- Para su máxima eficiencia se inyecta a una distancia prudencial del clarificador para máxima homogenización. No necesita el uso de floculantes adicionales.

MANEJO:

- Se recomienda el uso de guantes de caucho y de anteojos de seguridad.
- Puede causar irritación a la piel y a los ojos por lo que hay que evitar el contacto prolongado o repetido con la piel.
- Se recomienda revisar las hojas de seguridad del producto.

ALMACENAMIENTO:

- No es explosivo.
- Manténgase alejado del personal no autorizado.

SUMINISTRO:

- Se suministra en tambores plásticos de 250 Kg. peso neto.
- Se suministra en canecas de 30 Kg o 40 Kg Peso neto.

Fuente: Laboratorio Control de Calidad de E.P-EMAPA-G

ANEXO F.

FICHA TÉCNICA HIPOCLORITO DE CALCIO



- **Fabricante:** Arch Chemicals, Inc
- **Nombre Químico:** Hipoclorito de calcio al 65%
- **Fórmula Química :** $\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- **Número CAS:** 7778-54-3
- **Propiedades Físicas y Químicas**

Parámetro	Especificaciones
Apariencia	Blanco, polvo o en tabletas
Olor	Parecido al Cloro
Solubilidad en agua	18% a 25°C
Humedad	<16%
pH	10,4 – 10,8 (solución al 1% en agua destilada neutral a 25 °C)
Densidad	0,8 g/cm ³ (Granular) 1,9g/cm ³ (Tabletas)

▪ Composición

Nombre	Especificaciones	Peso Típico
Cloro libre	65 – 80 %	68 %
Cloruro de Sodio, NaCl	10 – 20 %	17 %
Clorato de Calcio, $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$	0 – 5 %	1,4 %
Cloruro de Calcio, CaCl_2	0 – 5 %	0,5%
Carbonato de Calcio, CaCO_3	0 – 5 %	2,3 %
Hidróxido de Calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$	0 – 4 %	1,64 %
Agua	5,5 – 8,5	
Insolubles	< 5% w/w	

Parámetro	Arch Product
Arsénico (As)	<1 mg/Kg
Cadmio (Cd)	<1 mg/Kg
Cromo (Cr)	<8 mg/Kg
Hierro (Fe)	<300 mg/Kg
Manganeso (Mn)	<10 mg/Kg
Mercurio (Hg)	<1 mg/Kg
Níquel (Ni)	<8 mg/Kg
Plomo (Pb)	<1 mg/Kg
Antimonio (Sb)	<2 mg/Kg
Selenio (Se)	<2 mg/Kg
Ion Bromato (BrO_3^-)	< 121 mg/Kg
Ion Clorato (ClO_3^-)	< 21,1 g/Kg

▪ **Precauciones Para El Manejo, Transporte Y Almacenaje Seguro Del Producto**

1. Manténgase herméticamente cerrado en los contenedores originales.
2. Almacénese en un área fresca, seca y bien ventilada.
3. Almacénese lejos de productos inflamables o combustibles.
4. Mantenga el empaque del producto limpio y libre de toda contaminación, incluyendo, por ejemplo, otros productos para el tratamiento de albercas, ácidos, materiales orgánicos, compuestos que contengan nitrógeno, extintores de fuego de arenilla carbónica (que contengan fosfato monomaniaco), oxidantes, todo líquido corrosivo, materiales inflamables o combustibles, etc.
5. No se almacene a temperaturas superiores a: 52 Grados C. (125 Grados F) Almacenarlo arriba de estas temperaturas pudiera resultar en una descomposición rápida, evolución de gas de cloro y suficiente calor para encender productos combustibles.

▪ **Primeros Auxilios**

- En caso de inhalación: Traslade a la persona a un lugar donde haya aire fresco. Si la persona no respira, llame a una ambulancia, luego dele respiración artificial, preferiblemente, boca a boca, si es posible. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar más consejos sobre el tratamiento.
- En caso de contacto con la piel o la ropa: Quítese la ropa contaminada. Enjuague la piel inmediatamente con mucha agua de 15 a 20 minutos. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar consejos sobre el tratamiento.
- En caso de contacto con los ojos: Mantenga el ojo abierto y enjuágueselo lenta y suavemente con agua de 15 a 20 minutos. Si tiene lentes de contacto, quíteselos después de los primeros 5 minutos y luego continúe enjuagando. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar consejos sobre el tratamiento.
- Ingestión: en caso de ingestión: Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico inmediatamente para solicitar consejos sobre el tratamiento. Pida a la persona que beba a sorbos un vaso de agua si puede tragar. No induzca el vómito, a menos que

un centro de control de intoxicaciones o un médico se lo indique. No dé nada por la boca a una persona que haya perdido el conocimiento.

- Notas para el médico: El probable daño a las mucosas puede ser una contraindicación para el uso de lavado gástrico.

▪ **Preparación de Soluciones de Cloro**

Las soluciones de HTH[®] Cloro Seco deben prepararse en contenedores de polietileno limpios. Primero ponga el volumen requerido de agua. Después agregue la cantidad requerida de HTH[®] Cloro Seco al agua.

Agite con un agitador de madera o metal limpio, asegurándose de mantenerlo lejos de la ropa, piel o ojos. La solución resultante se puede colocar en otro contenedor o puede alimentarse de ese mismo contenedor, siempre y cuando la entrada de la línea a la bomba de alimentación química, este por arriba del nivel de los insolubles asentados.

Cloro disponible	Volumen de Agua a Litros										
	100	180	300	400	500	1000	2000	3000	4000	5000	1000
PPM	Gramos de HTH Cloro Seco Requeridos										
0,5	0,08	0,14	0,23	0,31	0,38	0,77	1,54	2,31	3,08	3,85	0,77
1	0,15	0,28	0,46	0,62	0,77	1,54	3,08	4,62	6,15	7,69	1,54
5	0,77	1,38	2,31	3,08	3,85	7,69	15,38	23,08	30,77	38,46	7,69
10	1,54	2,77	4,62	6,15	7,69	15,38	30,77	46,15	61,54	76,92	15,4
15	2,31	4,15	6,92	9,23	11,54	23,08	46,15	69,23	92,31	115,4	23,1
20	3,08	5,54	9,23	12,31	15,38	30,77	61,54	92,31	123,1	153,8	30,8
25	3,85	6,92	11,54	15,38	19,23	38,46	76,92	115,4	153,8	192,3	38,5
30	4,62	8,31	13,85	18,46	23,08	46,15	92,31	138,5	184,6	230,8	46,2
40	6,15	11,08	18,46	24,62	30,77	61,54	123,1	184,6	246,2	307,7	61,5
50	7,69	13,85	23,08	30,77	38,46	76,92	153,8	230,8	307,7	384,6	76,9
60	9,23	16,62	27,69	36,92	46,15	92,31	184,6	276,9	369,2	461,5	92,3
70	10,77	19,38	32,31	43,08	53,85	107,7	215,4	323,1	430,8	538,5	108
80	12,31	22,15	36,92	49,23	61,54	123,1	246,2	369,2	492,3	615,4	123
90	13,85	24,92	41,54	55,38	69,23	138,5	276,9	415,4	553,8	692,3	138
100	15,38	27,69	46,15	61,45	76,92	153,88	307,7	461,5	615,4	769,2	154

ANEXO G.

DOSIFICACIONES DE HTH Y PAC

DOSIFICACIÓN DE HTH A DIFERENTES CAUDALES DE CAPTACIÓN

Q (L/s)	Q (gpm)	Cantidad de cloro (lb/día)	V (sln % de cloro del HTH)	V0 (L)	V1 (L)	V2 (L)	Volumen total (L)	Goteo (mL/min)
1	15,85	0,19	0,11	0,82	0,93	1,43	2,37	1,64
2	31,70	0,38	0,22	1,65	1,86	2,87	4,73	3,29
3	47,56	0,57	0,32	2,47	2,80	4,30	7,10	4,93
4	63,41	0,76	0,43	3,30	3,73	5,74	9,47	6,58
5	79,26	0,95	0,54	4,12	4,66	7,17	11,84	8,22
6	95,11	1,14	0,65	4,95	5,59	8,61	14,20	9,86
7	110,96	1,33	0,75	5,77	6,53	10,04	16,57	11,51
8	126,82	1,52	0,86	6,60	7,46	11,48	18,94	13,15
9	142,67	1,71	0,97	7,42	8,39	12,91	21,30	14,79
10	158,52	1,90	1,08	8,25	9,32	14,35	23,67	16,44
11	174,37	2,09	1,19	9,07	10,26	15,78	26,04	18,08
12	190,22	2,28	1,29	9,90	11,19	17,21	28,40	19,73
13	206,08	2,47	1,40	10,72	12,12	18,65	30,77	21,37
14	221,93	2,66	1,51	11,54	13,05	20,08	33,14	23,01
15	237,78	2,85	1,61	12,31	13,92	21,42	35,34	24,54

Fuente: Vergara Gisela

DOSIFICACIÓN DE PAC A DISTINTAS CONCENTRACIONES

PAC C ₁ (g/L)	PESO P _{2PAC} (Kg)	V ₂ para la P _{2PAC} (mL)	concentración de la solución (C ₂ PAC; g/L)	dosificación PAC (m ³ /h)	dosificación por goteo (mL/min)
0,001	1,67	13,36	125,00	$4,32 \times 10^{-4}$	7,20
0,002	3,33	26,64	125,00	$8,64 \times 10^{-4}$	14,40
0,003	5,00	40,00	125,00	$1,30 \times 10^{-3}$	21,66
0,004	6,67	53,36	125,00	$1,73 \times 10^{-3}$	28,83

Fuente: Vergara Gisela

ANEXO H.

RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLOGICO DE ENTRADA DEL AGUA AL TANQUE RECOLECTOR SECTOR SANTA FE (AGUA CRUDA)

PARAMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA				
		07-abr	08-abr	09-abr	10-abr	11-abr
		COLOR	1.00	15.00	1.00	1.00	35.00
TURBIDIDAD	0.49	38.65	0.74	0.78	98.47	
pH	.....	7.54	7.16	6.94	7.31	7.26
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	464.00	420.67	406.18	443.51	452.96
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	225.00	220.08	210.69	214.00	220.64
TEMPERATURA	°C	18.80	18.54	18.41	18.50	18.74
NITRATOS (N-NO ₃)	mg/L	3.20	2.68	3.05	4.89	2.96
NITRITOS (N-NO ₂)	mg/L	0.005	0.007	0.009	0.006	0.008
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.65	0.59	0.62	0.90	0.78
NITROGENO AMONIAICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	4.00	1.00	2.00	5.00	3.00
FLUORUROS (F)	mg/L	0.46	0.43	0.53	1.05	0.64
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.45	0.39	0.48	0.64	0.52
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0.43	0.57	0.51	0.41	0.57
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.010	0.009	0.007	0.007	0.009
COBRE (Cu)	mg/L	0.03	0.05	0.03	0.04	0.04
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	62.00	58.00	60.00	54.00	50.00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0.006	0.008	0.005	0.007	0.009
CLORUROS (Cl)	mg/L	6.60	4.82	5.29	5.70	4.96
NIOQUEL (Ni)	mg/L	0.009	0.006	0.008	0.006	0.009
COBALTO (Co)	mg/L	0.005	0.008	0.006	0.003	0.007
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0.23	0.27	0.39	0.37	0.29
BROMO (Br)	mg/L	0.03	0.06	0.04	0.01	0.06
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0.65	0.42	0.37	0.40	0.49
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0.009	0.006	0.007	0.008	0.006
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	3.00	2.00	4.00	26.00	38.00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	218	52	157	90	84
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	4	12	24	8	26

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD T.P. - EMAPA-G

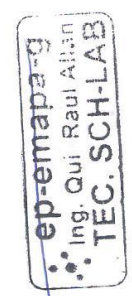
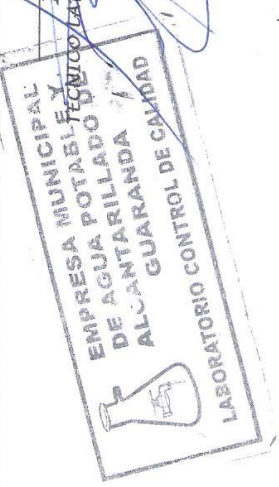
Ing. Qui. Raúl Allan
ep-emapa-g
 Ing. Qui. Raúl Allan
TEC. SCH-LAB

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE DE ALLANTARANDA
 LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD

PARAMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA					
		14-abr	15-abr	16-abr	17-abr	18-abr	
COLOR	UTC	1.00	1.00	40.00	1.00	20.00	
TURBIEDAD	NTU	0.43	0.65	158.64	0.56	87.65	
pH	.....	7.30	7.28	7.18	7.36	7.27
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	432.00	416.27	425.89	405.87	437.68	
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	208.00	216.49	220.96	218.42	224.86	
TEMPERATURA	°C	17.50	18.06	17.54	17.90	17.83	
NITRATOS (N-NO ₃)	mg/L	4.62	3.81	4.27	3.45	4.86	
NITRITOS (N-NO ₂)	mg/L	0.006	0.008	0.007	0.007	0.005	
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.98	0.48	0.62	0.57	0.86	
NITROGENO AMONIACAL (NH ₃ -N)	mg/L	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	5.00	3.00	5.00	4.00	4.00	
FLUORUROS (F)	mg/L	0.98	0.74	0.85	0.78	0.80	
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.46	0.52	0.67	0.38	0.54	
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0.68	0.74	0.59	0.62	0.71	
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.009	0.007	0.007	0.008	0.008	
COBRE (Cu)	mg/L	0.06	0.04	0.07	0.08	0.08	
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	50.00	48.00	54.00	46.00	58.00	
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0.009	0.008	0.009	0.009	0.007	
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	4.50	3.67	4.28	3.89	4.97	
NIQUEL (Ni)	mg/L	0.004	0.006	0.008	0.004	0.006	
COBALTO (Co)	mg/L	0.006	0.008	0.006	0.009	0.007	
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0.31	0.28	0.37	0.34	0.29	
BROMO (Br)	mg/L	0.02	0.04	0.02	0.02	0.05	
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0.70	0.64	0.68	0.73	0.59	
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0.007	0.007	0.009	0.008	0.009	
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	32.00	28.00	31.00	30.00	27.00	
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	86	92	76	124	106	
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	46	68	6	18	62	

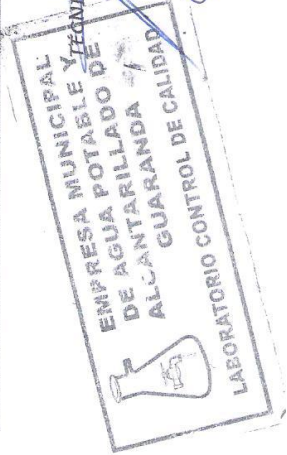
Ing. Qui Rauli Allan

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD E.P. - EMAPA-G



PARAMETROS		SEMANA MONITOREADA				
UNIDAD		21-abr	22-abr	23-abr	24-abr	25-abr
COLOR	UTC	1.00	1.00	55.00	45.00	15.00
TURBIEDAD	NTU	0.51	0.67	189.68	165.83	0.37
pH	.....	6.79	7.08	7.24	7.17	7.42
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	88.30	192.67	220.98	210.57	208.59
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	42.80	98.41	110.24	99.68	100.35
TEMPERATURA	°C	17.40	18.24	17.97	18.16	18.09
NITRATOS (N-NO ₃)	mg/L	1.00	1.18	0.98	1.12	0.87
NITRITOS (N-NO ₂)	mg/L	0.004	0.006	0.008	0.005	0.005
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.81	0.54	0.79	0.52	0.54
NITROGENO AMONIAICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00
FLUORUROS (F)	mg/L	0.36	0.38	0.42	0.39	0.40
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.54	0.40	0.38	0.51	0.67
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0.47	0.37	0.40	0.39	0.44
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.006	0.006	0.008	0.007	0.007
COBRE (Cu)	mg/L	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	50.00	42.00	48.00	52.00	38.00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0.009	0.007	0.009	0.009	0.006
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	0.36	0.42	0.58	0.54	0.48
NIQUEL (Ni)	mg/L	0.004	0.007	0.008	0.008	0.006
COBALTO (Co)	mg/L	0.006	0.008	0.007	0.007	0.008
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0.20	0.26	0.24	0.34	0.30
BROMO (Br)	mg/L	0.04	0.06	0.04	0.07	0.07
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0.65	0.52	0.60	0.54	0.56
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0.008	0.008	0.007	0.008	0.009
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	30.00	36.00	28.00	32.00	35.00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	125	84	110	94	72
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	24	10	26	6	14

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G



Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

Ing. Qui. Raúl Allán
 TECNICO LABORATORIO PLANTA E.P. EMAPA-G

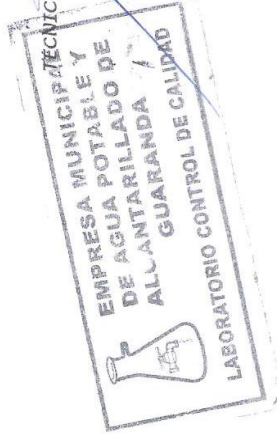
ANEXO I.

RESULTADOS (AGUA SALIDA PLANTA VS ENSAYOS)

RESULTADOS (AGUA SALIDA PLANTA VS ENSAYOS)										
PARAMETROS	UNIDAD	LÍMITE PERMISIBLE	08-abr	11-abr	16-abr	18-abr	23-abr	24-abr	24-abr	24-abr
COLOR	UTC	15	15.00	35.00	40.00	20.00	55.00	45.00	1.00	1.00
TURBIDIDAD	NTU	5	38.65	98.47	158.64	87.65	189.68	165.83	0.57	0.50
pH	.....	.....	7.16	7.05	7.18	7.27	7.24	7.17	7.14	7.14
CONDUCTIVIDAD	us/cm	.....	420.67	452.96	425.89	437.68	220.98	210.52	101.52	97.63
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	220.08	220.64	220.96	224.86	110.24	99.68	37.64	39.57
TEMPERATURA	° C	.....	18.54	19.05	17.54	17.83	17.97	18.16	19.02	19.02
NITRATOS (NO ₃ ⁻)	mg/L	50	2.68	2.96	4.27	4.86	4.20	4.86	1.12	1.08
NITRITOS (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.2	0.007	0.008	0.007	0.005	0.008	0.009	0.006	0.006
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	.....	0.59	0.42	0.62	0.86	0.42	0.79	0.54	0.47
NITROGENO AMONIAICAL (NH ₃ -N)	mg/L	.....	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	.....	1.00	3.00	5.00	4.00	2.00	1.00	1.00	1.00
FLUORUROS (F)	mg/L	1.5	0.43	0.64	0.85	0.80	0.34	0.42	0.26	0.22
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	.....	0.39	0.52	0.67	0.54	0.38	0.51	0.06	0.06
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0.4	0.57	0.007	0.59	0.71	0.006	0.40	0.008	0.008
CROMO (Cr ⁶⁺)	mg/L	0.05	0.009	0.009	0.007	0.005	0.008	0.006	0.007	0.005
COBRE (Cu)	mg/L	2	0.05	0.04	0.07	0.08	0.02	0.01	0.01	0.01
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	.....	58.00	50.00	54.00	58.00	48.00	20.00	52.00	45.00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	.....	0.008	0.009	0.009	0.007	0.007	0.009	0.009	0.007
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	.....	4.82	3.84	4.28	4.97	3.25	0.58	0.37	0.54
NIOQUEL (Ni)	mg/L	0.07	0.006	0.009	0.006	0.006	0.008	0.009	0.008	0.008
COBALTO (Co)	mg/L	.....	0.008	0.007	0.006	0.007	0.007	0.006	0.007	0.009
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	.....	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	.....	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	0.07	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0.7	0.27	0.29	0.37	0.29	0.14	0.24	0.20	0.23
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.06	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	.....	0.42	0.49	0.68	0.72	0.59	0.60	0.67	0.48
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0.05	0.006	0.006	0.009	0.008	0.009	0.007	0.009	0.008
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	.....	22.00	14.00	31.00	27.00	14.00	28.00	18.00	32.00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	< 1**	52	84	76	106	110	94	< 1**	< 1**
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	.....	1.2	26	6	62	26	6	< 1**	< 1**

FUENTE: Laboratorio de control de calidad E.P - EMAPA-G

Ing. Qui. Raul Allan
LABORATORIO - PLANTA E.P EMAPA-G



ep-emapa-g
Ing. Qui. Raul Allan
TEC. SCH-LAB

ANEXO J.

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS



Fuente: Vergara Gisela

NOTAS	CATEGORÍA DE DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA REALIZADO POR: Gisela Vergara			
			Lámina	Escala	Fecha
			10		2015/04/17