



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

#### **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA DE SAN ANTONIO DE BAYUSHIG.”**

Trabajo de Titulación presentado para obtener el grado Académico de:

### **INGENIERIA QUÍMICA**

**AUTOR: MÓNICA MARCELA PARRA LAMIÑA**

**TUTOR: ING. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2015**

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE CIENCIAS

### ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA DE SAN ANTONIO DE BAYUSHIG, de responsabilidad de la señorita Mónica Marcela Parra Lamiña, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
- Dra. Nancy Veloz	.....	.....
<b>DECANA FAC. CIENCIAS</b>		
- Dr. Juan Marcelo Ramos	.....	.....
<b>DIRECTOR DE ESCUELA</b>		
- Ing. Marco Chuiza	.....	.....
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>		
- Ing. Mónica Andrade	.....	.....
<b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		
- Ing. José Usiña	.....	.....
<b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		
<b>DOCUMENTALISTA</b>		
<b>SISBIB ESPOCH</b>	.....	.....

Yo MÓNICA MARCELA PARRA LAMIÑA, autora y ejecutora del presente proyecto de titulación me responsabilizo de las opiniones, pensamientos y resultados expuestos en la presente investigación, siendo la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo dueña intelectual de la misma.

---

Mónica Marcela Parra Lamiña

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación va dedicado al Ser más Fiel, Justo y Amoroso Mi DIOS.

A las personas que más amo en el mundo mis padres: Carlos y Cecilia, mi hermano Henry.

A quien me mira desde el cielo mi abuelita querida Mami Tere.

“Yo te pido que seas fuerte y valiente, que no te desanimes ni tengas miedo, porque yo soy tu Dios y te ayudare por donde quiera que vayas” Josué 1:9

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer A quien me debo, por quien soy y para quien existo Mi Creador Dios.

A mis padres quienes me han brindado su apoyo incondicional frente a cada reto que se me ha presentado. A mi hermano por su cariño y entusiasmo.

A mis amigas incondicionales: Vivi, Mony, Paty, Paquita y Mary por siempre confiar en mí y por sus oraciones.

A mis eternos amigos Naty, Aby, Mario, por nunca dejarme sola y sus palabras de motivación. A mis gorditas hermosas por acompañarme en este largo trayecto de mis estudios. A Danny Chuquin, por su apoyo y su ánimo a pesar de la distancia. A mis amigos: Gaby C, Gaby B, Hugo y Santy principalmente por cada momento compartido y por enseñarme que la amistad no se trata del tiempo que te lleves con alguien, sino de los momentos que compartes con las personas a quienes llamamos Amigos.

A Jhony, Majos, Julio y Marle, por demostrarme que si la amistad es verdadera trasciende el tiempo y la distancia y que el Amor verdadero si existe. A ti que en medio de todo llegaste a mi vida y la llenaste de mucha felicidad, gracias por cada momento vivido y compartido nj.

A la Familia Ortiz Moreno por hacerme parte de su familia y demostrarme su amor incondicional.

A mi Director de Tesis Ing. Marco Chuiza y a mi colaboradora Ing. Mónica Andrade, quienes han aportado con sus valiosos conocimientos, tiempo y paciencia para la realización de este proyecto de titulación.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para que este proyecto de titulación culmine con éxito.

## CONTENIDO

	Paginas
<b>RESUMEN</b> .....	xviii
<b>ABSTRACT</b> .....	xix
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I</b> .....	5
<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	5
<b>1.1 Agua Residual</b> .....	5
<b>1.1.1 Definición y Generalidades</b> .....	5
<b>1.1.2 Tipos de Aguas Residuales</b> .....	5
<b>1.1.2.1 Aguas Residuales Domesticas</b> .....	6
<b>1.1.2.2 Aguas Residuales Industriales</b> .....	6
<b>1.1.3 Características de las Aguas Residuales</b> .....	6
<b>1.1.3.1 Características Físicas</b> .....	7
<b>1.1.3.2 Características Químicas</b> .....	8
<b>1.1.3.3 Características Biológicas</b> .....	9
<b>1.2 Tratamiento de Aguas Residuales</b> .....	10
<b>1.2.1 Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales</b> .....	10
<b>1.2.1.1 Tratamientos Físicos</b> .....	11
<b>1.2.1.2 Tratamientos Químicos</b> .....	11
<b>1.2.1.3 Tratamientos Biológicos</b> .....	12
<b>1.2.2 Etapas de Tratamiento de Aguas Residuales</b> .....	12
<b>1.3 Caudales</b> .....	12
<b>1.3.1 Muestreo</b> .....	13
<b>1.3.1.1 Tipos de Muestras</b> .....	13
<b>1.3.1.2 Conservación de las Muestras</b> .....	14
<b>1.3.2 Determinación de Caudales</b> .....	14
<b>1.3.3 Medición de Caudales</b> .....	14

1.3.3.1	<i>Métodos para la Medición de Caudales</i> .....	15
1.3.3.2	<i>Pruebas de Tratabilidad</i> .....	15
1.3.4	<b><i>Fórmulas para Medición de Caudales</i></b> .....	16
1.3.4.1	<i>Determinación de la población futura para diseño</i> .....	16
1.3.4.2	<i>Dotación Futura</i> .....	16
1.4	<b>Conducción del Agua</b> .....	17
1.4.1	<b><i>Limitaciones en el uso de Tubería de PVC</i></b> .....	19
1.5	<b>Sistema de Tratamiento</b> .....	20
1.5.1	<b><i>Pretratamiento</i></b> .....	21
1.5.1.1	<i>Rejillas o Cribado</i> .....	21
1.5.1.2	<i>Ecuaciones para el Diseño de Rejillas</i> .....	23
1.5.2	<b><i>Tratamiento Primario</i></b> .....	30
1.5.2.1	<i>Homogenización</i> .....	30
1.5.2.2	<i>Canaleta Parshall</i> .....	38
1.5.2.3	<i>Coagulación</i> .....	47
1.5.2.4	<i>Floculación</i> .....	49
1.5.2.5	<i>Sedimentación</i> .....	56
1.5.3	<b><i>Tratamiento Secundario</i></b> .....	64
1.5.3.1	<i>Filtración</i> .....	64
1.6	<b>Norma para el Tratamiento del Agua Residual</b> .....	75
CAPITULO II	.....	76
2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	76
2.1	<b>Localización de la Investigación</b> .....	76
2.1.1	<b><i>Localización Geográfica</i></b> .....	76
2.1.2	<b><i>Macrolocalización</i></b> .....	76
2.1.3	<b><i>Localización de la Parroquia San Antonio de Bayushig</i></b> .....	77
2.1.4	<b><i>Microlocalización</i></b> .....	77
2.2	<b>Metodología</b> .....	78
2.2.1	<b><i>Medición de Caudales</i></b> .....	78

2.2.2	<i>Metodología de Trabajo</i> .....	78
2.2.3	<i>Tratamiento de las Muestras</i> .....	79
2.3	<b>Muestreo</b> .....	80
2.3.1	<i>Recolección de la Información</i> .....	80
2.3.2	<i>Transporte y Manipulación de Muestras</i> .....	80
2.4	<b>Métodos y Técnicas</b> .....	80
2.4.1	<i>Métodos</i> .....	80
2.4.2	<i>Técnicas</i> .....	81
2.5	<b>Datos Experimentales</b> .....	82
2.5.1	<i>Caracterización Inicial de Aguas Residuales</i> .....	82
2.5.2	<i>Parámetros Fuera de Norma</i> .....	83
2.6	<b>Pruebas de Tratabilidad</b> .....	85
2.6.1	<i>Prueba de Jarras-Coagulación</i> .....	85
2.6.1.1	<i>Eficiencia de Remoción con el Filtro de Zeolita</i> .....	87
2.6.2	<i>Prueba de Filtración-Filtro de Zeolita</i> .....	87
2.6.2.1	<i>Eficiencia de Remoción con la prueba de Jarras</i> .....	89
<b>CAPITULO III</b>	.....	90
<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	90
3.1	<b>Cálculos de Diseño</b> .....	90
3.1.1	<i>Población Futuro</i> .....	90
3.1.2	<i>Dotación de Agua Consumida</i> .....	91
3.1.3	<i>Dotación Futura</i> .....	91
3.1.4	<i>Caudal Medio Diario</i> .....	92
3.1.5	<i>Caudal de Diseño</i> .....	92
3.1.6	<i>Caudal Máximo Diario</i> .....	93
3.1.7	<i>Caudal Mínimo Diario</i> .....	94
3.1.8	<i>Caudal de Punta</i> .....	95
3.2	<b>Cálculos de Ingeniería</b> .....	95
3.2.2	<i>Sistema de Tratamiento</i> .....	96
3.2.2.1	<i>Diseño de Rejillas o Cribas de Grueso</i> .....	96

3.2.2.2	<i>Diseño de Rejillas de Finos</i> .....	101
3.2.2.3	<i>Diseño del Tanque Homogenizador</i> .....	103
3.2.2.4	<i>Cálculo de Dosificación de PAC</i> .....	110
3.2.2.5	<i>Diseño para Canaleta Parshall</i> .....	111
3.2.2.6	<i>Diseño para Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal</i> .....	119
3.2.2.7	<i>Diseño del Tanque de Sedimentación</i> .....	125
3.2.2.8	<i>Diseño del Filtro</i> .....	132
3.3	<b>Resultados del Sistema de Tratamiento</b> .....	144
3.3.1	<i>Proyección Futura</i> .....	144
3.3.2	<i>Resultados de Caudales en la Planta de Tratamiento</i> .....	144
3.3.3	<i>Resultados del Dimensionamiento de Rejillas</i> .....	144
3.3.4	<i>Resultados del Dimensionamiento del Tanque Homogenizador</i> .....	145
3.3.5	<i>Resultados del Dimensionamiento de la Canaleta Parshall</i> .....	145
3.3.6	<i>Resultados del Dimensionamiento del Floculador Hidráulico</i> .....	146
3.3.7	<i>Resultados del Dimensionamiento del Sedimentador</i> .....	147
3.3.8	<i>Resultados del Dimensionamiento del Filtro de Zeolita</i> .....	147
3.3.9	<i>Resultados de la Caracterización Final Físicoquímica y Microbiológica comparada con el TULAS</i> .....	148
3.3.10	<i>Resultados de la Caracterización Final Físicoquímica y Microbiológica comparada con el TULSMA</i> .....	151
3.3.11	<i>Requerimiento Presupuestario</i> .....	151
3.3.12	<i>Propuesta</i> .....	155
3.3.13	<i>Análisis y Discusión de Resultados</i> .....	156
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	159
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	161
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE ABREVIATURAS

$A$	Área de la sección transversal de las paletas ( $m^2$ )
$A_{CF}$	Área de los canales del Floculador, ( $m^2$ )
$A_{CO}$	Área de cada orificio, ( $m^2$ )
$A_F$	Área de filtración, ( $m^2$ )
$A_H$	Área del Tanque Homogenizador, (m)
$A_{IF}$	Área de filtración, ( $m^2$ )
$A_P$	Ancho del conducto o espaciamento entre placas, (m)
$A_{PI}$	Ancho de las palas del impulsor, (m)
$\text{Área}_{eb}$	Área de Espacios entre barrotes
$A_S$	Área superficial de sedimentación acelerada, ( $m^2$ )
$A_T$	Área transversal de Canal
$A_{TO}$	Área total de orificios, ( $m^2$ )
$A_U$	Área de cada unidad, ( $m^2$ )
$b$	Ancho del canal
$b_{CF}$	Ancho de los canales del Floculador, (m)
$b_g$	suma de las separaciones entre las barras (m)
$b_{LF}$	Ancho útil de la lámina, (m)
$b_S$	Ancho del Sedimentador (m)
$b_{VF}$	Ancho de las vueltas de la Floculación, (m)
$C$	Dimensiones de la canaleta, (m)
$C_{CR}$	Capacidad total de la resina
$C_D$	Coefficiente de residencia al avance de las paletas
$C_O$	Turbidez de inicio
$C_{RG}$	Ciclo de regeneración
$C_S$	Carga superficial ( $m^3/m^2$ día)
$D'$	Ancho de agua en la sección de medición, (m)
$D^I$	Dimensiones de la canaleta, (m)
$D_c$	Dotación consumida (L/ hab. día)
$D_I$	Diámetro del Impulsor
$D_O$	Diámetro de los orificios, (m)
$D_{PAC}$	Cantidad de PAC kg/día
$D_T$	Diámetro de la Tubería, (m)
$D_{TS}$	Diámetro de la tubería de salida del agua del filtro, (m)

$e$	Espesor (m)
$e_1$	Espesor del Floculador, (m)
$E_O$	Carga hidráulica disponible, (m)
$e_P$	Espesor de las placas, (m)
$E_R$	Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%]
$E_{RS}$	Eficiencia de la resina
$F$	Numero de Froude, adimensional
$F_D$	Fuerza de resistencia del fluido sobre las paletas (N)
$g$	Aceleración de la gravedad (m/s <sup>2</sup> ).
$G$	Gradiente de velocidad, (s <sup>-1</sup> )
$G'$	Dimensión de la canaleta, (m)
$h_1$	Altura de agua antes del resalto, (m).
$h_2$	Altura de resalto
$h_3$	Altura en la sección de salida de la canaleta, (m)
$H_a$	profundidad del canal
$H_{CA}$	Altura de la capa de agua, (m)
$H_{CS}$	Altura de la capa de soporte, (m)
$H_D$	Altura de drenaje, (m)
$H_e$	Altura Efectiva
$hf$	Pérdida de carga (m).
$h_{F1}$	Perdida de carga total, (m)
$H_H$	Altura del Tanque Homogenizador
$H_I$	Altura del Impulsor con respecto al fondo del tanque,(m)
$H_{LF}$	Altura del Lecho Filtrante, (m)
$H_o$	Altura de agua en la sección de medición, (m)
$H_{UF}$	Altura de agua en la unidad, (m)
$H_{UF}$	Altura de agua en la unidad, (m)
$I$	Inercia
$k$	Coefficiente empírico
$K'$	Constantes adimensionales
$L'$	Longitud relativa en la región de transición, adimensional
$L$	Espesor de la torta
$L_b$	Longitud de las barras
$L_{CF}$	Longitud de canales, (m)
$L_{DC}$	Longitud de las palas montadas en el disco central
$L_F$	Longitud del Floculador, (m)

$L_{FU}$	Longitud de la pared común por unidad, (m)
$L_{PI}$	Longitud de las palas del impulsor, (m)
$L_r$	Longitud recorrida a través del elemento, (m)
$L_{RC}$	Longitud Relativa Corregida, adimensional
$L_{RS}$	longitud relativa del sedimentador, adimensional
$L_{TM}$	Longitud total mínima de la pared; (m)
$L_{TP}$	Longitud total del filtro, (m)
$L_{TS}$	Longitud del Tanque Sedimentador (m)
$M$	Factor de Harmon
$M_O$	Momento con respecto al punto O
$n$	Coefficiente de Manning
$N$	dimensiones de la canaleta, (m).
$N_{CF}$	Número de canales, (unidad)
$N_{LF}$	Numero de laterales por lado; (m)
$N_{MF}$	Número total de unidades rectangulares operando en paralelo
$Pa$	Población actual
$Pf$	Población futura
$P_M$	Perímetro Mojado (m)
$Q_{md}$	Caudal medio diario
$Q_{Diseño}$	Caudal de Diseño, (m <sup>3</sup> /s)
$Q_I$	Caudal de Ingreso, (m <sup>3</sup> /s)
$Q_{max}$	Caudal Máximo
$Q_{min}$	Caudal Mínimo
$Q_{promc}$	Medición promedio del caudal (m <sup>3</sup> /día)
$Q_W$	Caudal específico en la garganta de la canaleta, (m <sup>3</sup> / sm)
$r$	Índice de crecimiento anual
$Re$	Numero de Reynolds, adimensional
$Rh$	Radio hidráulico
$S$	Espesor de las barras (mm)
$S_0$	Carga contaminante de entrada (mg /L)
$S_C$	Constante para cada tipo de modulo, adimensional
$S_{DC}$	Diámetro del disco central, (m)
$S_{EL}$	Separación entre laterales, (m)
$S_O$	Separación entre orificios, adimensional
$S_P$	Separación entre placas, (m)
$S_Y$	Fluencia del acero inoxidable AISI 304

<b>TULAS</b>	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario
<b>T</b>	Periodo de Tiempo
<b>T</b>	Tiempo de mezcla en el resalto, (s)
<b><math>t_{RF}</math></b>	Tiempo de retención, (min)
<b><math>t_{RH}</math></b>	Tiempo de retención (min)
<b><math>t_{RP}</math></b>	Tiempo de Retención en las placas, (min)
<b><math>t_{RS}</math></b>	Tiempo de Retención en el tanque de sedimentación, (s)
<b>v</b>	Velocidad de entrada del flujo (m/s)
<b><math>v_1</math></b>	Velocidad antes del resalto, (m/s)
<b><math>v_3</math></b>	Velocidad en la sección de salida, (m/s)
<b><math>V_{CA}</math></b>	Velocidad Critica de asentamiento de sedimentación de alta tasa,(m/s)
<b><math>V_{CS}</math></b>	Carga superficial después de instalar las placas, (m/d)
<b><math>v_F</math></b>	Velocidad de fluido, (m/s)
<b><math>V_{FL}</math></b>	Velocidad de Filtración, (m/h)
<b><math>V_H</math></b>	Volumen del Tanque Homogenizador, (m <sup>3</sup> )
<b><math>V_{LF}</math></b>	Velocidad de lavado
<b><math>V_O</math></b>	Velocidad en la sección de medición, (m/s).
<b><math>V_{OF}</math></b>	Velocidad en el orificio, (m/s)
<b><math>V_{PP}</math></b>	Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas, (m/s)
<b><math>V_r</math></b>	Velocidad de flujo a través del espacio entre las barras de la reja (m/s).
<b><math>V_{RS}</math></b>	Volumen de la resina
<b><math>V_S</math></b>	Volumen del Tanque Sedimentador (m <sup>3</sup> )
<b>W</b>	Ancho de la garganta, (m)
<b><math>W_B</math></b>	Ancho de los deflectores,
<b><math>Z_F</math></b>	Altura del filtro, (m)
<b><math>\gamma</math></b>	Peso específico del agua, (N/ m <sup>3</sup> )
<b><math>\theta</math></b>	Angulo de Inclinación del elemento de sedimentación, (°)
<b><math>\rho</math></b>	Densidad del fluido (kg/m <sup>3</sup> )
<b><math>\rho_{RE}</math></b>	Densidad de la resina
<b><math>\nu</math></b>	Viscosidad cinemática, (m <sup>2</sup> /s)
<b><math>\Phi_H</math></b>	Diámetro del Tanque Homogenizador, (m)
<b><math>\omega</math></b>	RPM
<b><math>\sqrt{(\gamma/\mu)}</math></b>	Relación peso específico y viscosidad absoluta
<b><math>\mu</math></b>	Viscosidad dinámica (N*s/m <sup>2</sup> )

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Características Técnicas de la tubería de PVC para alcantarillado .....	20
<b>Tabla 2-1</b>	Información para las rejillas de limpieza manual y mecánica.....	21
<b>Tabla 3-1</b>	Clasificación de las Rejillas.....	22
<b>Tabla 4-1</b>	Parámetros de Diseño de Rejillas .....	24
<b>Tabla 5-1</b>	Coefficiente de rugosidad n de Manning.....	25
<b>Tabla 6-1</b>	Tipo de Rejas .....	26
<b>Tabla 7-1</b>	Volumen de materias retenidas en las rejillas .....	28
<b>Tabla 8-1</b>	Características de las materias retenidas en las rejillas .....	28
<b>Tabla 9-1</b>	Determinación de W de la canaleta de Parshall en función del caudal .....	39
<b>Tabla 10-1</b>	Valores de K y n según el tamaño de W .....	40
<b>Tabla 11-1</b>	Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall .....	41
<b>Tabla 12-1</b>	Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta para el agua .....	47
<b>Tabla 13-1</b>	Parámetros de diseño de Floculadores .....	50
<b>Tabla 14-1</b>	Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera .....	56
<b>Tabla 15-1</b>	Clasificación de los Tanques de Sedimentación .....	57
<b>Tabla 16-1</b>	Parámetros de Diseño de las placas planas de Asbesto-Cemento .....	58
<b>Tabla 17-1</b>	Criterios de diseño para tanques de sedimentación laminar.....	58
<b>Tabla 18-1</b>	Valores de Sc Típicos.....	61
<b>Tabla 19-1</b>	Parámetros de diseño de filtros.....	66
<b>Tabla 20-1</b>	Parámetros de diseño para drenaje por tuberías .....	69
<b>Tabla 21-1</b>	Parámetros de diseño de laterales.....	70
<b>Tabla 22-1</b>	Velocidad de Diseño para tuberías del filtro .....	72
<b>Tabla 1-2</b>	Ceniza Volcánica del Volcán Tungurahua Composición Química.....	83
<b>Tabla 2-2</b>	Métodos de Análisis de Aguas .....	81
<b>Tabla 3-2</b>	Técnicas Análisis de Agua .....	81
<b>Tabla 4-2</b>	Análisis Físico – Químico del Agua Residual de la Parroquia .....	82
<b>Tabla 5-2</b>	Análisis Microbiológico del Agua Residual de la Parroquia .....	83
<b>Tabla 6-2</b>	Parámetros físico-químicos fuera de Norma .....	83

<b>Tabla 7-2</b>	Parámetros Microbiológicos Fuera de Norma.....	84
<b>Tabla 8-2</b>	Prueba de Jarras # 1 .....	86
<b>Tabla 9-2</b>	Prueba de Jarras # 2 .....	86
<b>Tabla 10-2</b>	Porcentaje de Remoción con el PAC.....	87
<b>Tabla 11-2</b>	Prueba Filtros de Zeolita .....	88
<b>Tabla 12-2</b>	Porcentaje de Remoción con el Filtro de Zeolita Activada.....	89
<b>Tabla 1-3</b>	Nivel de Complejidad del Sistema.....	96
<b>Tabla 2-3</b>	Pérdidas Técnicas .....	92
<b>Tabla 3-3</b>	Valores de $k_p$ para Caudales Máximos .....	94
<b>Tabla 4-3</b>	Valores para Lavado de Resina .....	140
<b>Tabla 5-3</b>	Resultados obtenidos de la Población futura 2035.....	144
<b>Tabla 6-3</b>	Caudales para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales .....	144
<b>Tabla 7-3</b>	Dimensionamiento de Rejillas.....	144
<b>Tabla 8-3</b>	Dimensionamiento del Tanque Homogenizador .....	145
<b>Tabla 9-3</b>	Dimensionamiento de la Canaleta Parshall .....	145
<b>Tabla 10-3</b>	Dimensionamiento Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal.....	146
<b>Tabla 11-3</b>	Dimensionamiento del Sedimentador de Alta Tasa .....	147
<b>Tabla 12-3</b>	Dimensionamiento del Filtro de Zeolita.....	147
<b>Tabla 13-3</b>	Resultados comparados con el TULAS.....	148
<b>Tabla 14-3</b>	Resultados finales comparados con el TULSMA .....	151
<b>Tabla 15-3</b>	Inversión de la Planta de Tratamiento .....	151
<b>Tabla 16-3</b>	Inversión de los Reactivos y Sustancias.....	155
<b>Tabla 17-3</b>	Porcentaje de Final de Remoción del Agua Residual Tratada .....	157

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1-1</b>	Rejillas de limpieza manual .....	23
<b>Figura 2-1</b>	Paleta de agitador de paletas planas.....	35
<b>Figura 3-1</b>	CD vs Coeficiente de ancho entre la altura.....	36
<b>Figura 4-1</b>	Dimensiones de la Canaleta Parshall .....	39
<b>Figura 5-1</b>	Tipos de Floculadores .....	50
<b>Figura 1-2</b>	Localización del Cantón Penipe dentro de la Provincia de Chimborazo .....	76
<b>Figura 2-2</b>	Ubicación Parroquia San Antonio de Bayushig dentro del Cantón Penipe ...	77
<b>Figura 3-2</b>	Mapa San Antonio de Bayushig .....	77
<b>Figura 4-2</b>	Parámetros físico-químicos fuera de Norma.....	84
<b>Figura. 5-2</b>	Parámetros Microbiológicos Fuera de Norma .....	85
<b>Figura 1-3</b>	Gráfico del Resultado Final del Agua Residual Tratada Fisicoquímico.....	149
<b>Figura 2-3</b>	Gráfico de Resultado Final del Agua Residual Tratada Microbiológico.....	150

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A** TULAS LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 12
- ANEXO B** TULSMA ACUERDO MINISTERIAL No. 028
- ANEXO C** MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL COLECTOR 1 Y COLECTOR 2
- ANEXO D** RESULTADOS CARACTERIZACIÓN INICIAL
- ANEXO E** PRUEBAS DE TRATABILIDAD
- ANEXO F** RESULTADOS CARACTERIZACION FINAL
- ANEXO G** TANQUE HOMOGENIZADOR
- ANEXO H** CANALETA PARSHALL
- ANEXO I** FLOCULADOR HIDRAÚLICO
- ANEXO J** SEDIMENTADOR
- ANEXO K** FILTRO DE ZEOLITA
- ANEXO L** VISTA GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

## RESUMEN

Se diseñó una Planta de Tratamiento de aguas residuales para la parroquia San Antonio de Bayushig perteneciente al Cantón Penipe, Provincia de Chimborazo con la finalidad de dar una correcta disposición a estos desechos líquidos. Posteriormente se continuo con el muestro sistemático para la recolección de la muestra durante cuatro semanas consecutivas, con la finalidad de realizar las pruebas de caracterización y reconocer que 6 de los de 17 parámetros analizados están fuera de norma siendo estos: Nitrógeno Total 25,80 mg/L, Sulfuros 9,9 mg/L, DBO 560 mg/L, DQO 1013 mg/L, Solidos Sedimentables 9ml/L y Coliformes Fecales  $5,6 \times 10^5$  NPM/100, estos parámetros se comparó con el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS). A continuación realizamos las pruebas de tratabilidad, determinando la dosificación correcta de Policloruro de Aluminio, y la utilización de un filtro de zeolita para tratar el agua. Finalmente, dimensionamos cada uno de los equipos con los que contara la planta de tratamiento de agua residual en base a las pruebas de tratabilidad realizadas siendo estos: Sistema de Rejillas, Tanque Homogenizador, Canaleta Parshall, Floculador Hidráulico, Sedimentador y Filtro. Para un caudal de diseño de 40,02 L/s, y una población futura de 1198 habitantes. Validamos el dimensionamiento de la planta en base a los resultados obtenidos al final del tratamiento y al haber alcanzado los siguientes porcentajes de remoción: Tensoactivos 87,08%, Nitrógeno Total 75%, Sulfuros 99,04%, DBO 96,51%, DQO 93,56%, Solidos Sedimentables 100% y Coliformes Fecales 99,96%. Se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia San Antonio de Bayushig aplicar este tratamiento, para dar una disposición final adecuada a las aguas residuales de la parroquia y mejorar el medio ambiente.

**Palabras Claves:** <TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA [TULAS]> <AGUA RESIDUAL> <TANQUE HOMOGENIZADOR> <CANALETA PARSHALL> <FLOCULADOR> <SEDIMENTADOR> <FILTRO> <ZEOLITA>

## **ABSTRACT**

The design of sewage treatment plant for San Antonio de Bayushig parish located at Penipe Canton, Chimborazo-province proposes to offer a proper waste water treatment. The systematic samplings to collect the water sample was made during four consecutive weeks, with the purpose of applying characterization tests and recognize 6 from 17 parameters analyzed, which are outside of the norm. The parameters are: Nitrogen 25,80mg/L, Sulphur 9,9 mg/L, DBO 560 mg/L, DQO 1013 mg/L, Sedimentable solids 9ml/L and faecal coliforms  $5,6 \times 10^5$  NPM/100 that were compared with the UNIFIED TEXT OF ENVIRONMENTAL LAW(TULAS). Then the treatability studies were made by determining the correct dosage of Aluminium Polychloride and the use of a zeolite filter for water treatment. It dimensioned each one of the equipments that the sewage water treatment plant will contain according to treatability developed tests. The components of the equipment are: Grid system, Homogenizer tank, Parshall gutter; Hydraulic flocculator, Settling and Filter for a rated capacity of 40,02 L/s for a community of 1198 inhabitants. The dimensioning treatment, reaching the following percentages of removal: surfactants 87,08%, Nitrogen 75%, Sulphide 99,04%, DBO 96,51%, DQO 93,56%, Sedimentable Solids 100% and faecal coliforms 99,96%. It recommends to “Gobierno Decentralizado de la Parroquia San Antonio de Bayushig” to apply the treatment for an effective regulation of sewage water of the parish to improve the environment.

Key words: UNIFIED TEXT OF ENVIRONMENTAL LAW (TULAS), SEWAGE WATER, HOMOGENIZER TANK, PARSHALL GUTTER, FLOCCULATOR, SETTLING, FILTER, ZEOLITE.

## **INTRODUCCIÓN**

La Junta Parroquial de la Parroquia San Antonio de Bayushig preocupados por la disposición final de las aguas residuales provocadas por la parroquia, me permitió realizar la investigación de campo, y de esta manera desarrollar y proponer el Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

El Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la parroquia permitirá tratar el agua residual de la misma y consecuentemente obtener agua que cumpla con la norma TULAS Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: recurso agua Libro VI Anexo 1 Tabla 12, para disminuir la contaminación del medio ambiente mejorando de esta manera la calidad de vida de los pobladores.

El Agua es un líquido que se considera como fuente de riqueza y motor para el desarrollo, es decir este líquido constituye un pilar fundamental para el progreso del hombre en su entorno. La disponibilidad de un adecuado suministro de agua es esencial para la conservación de la vida, así como para la mayoría de procesos industriales y la agricultura.

Este es un líquido que día a día se vuelve más escaso, debido a que su demanda cada vez es mayor por el incremento industrial y poblacional en la última década, lo cual a su vez ha causado su deterioro debido a la deforestación.

En la presente investigación se expone información sobre el diseño de la planta de tratamiento de Aguas Residuales. Es por ello que basándonos la norma antes mencionada y tras realizar la caracterización físico – química y microbiológica del agua residual de la parroquia, se identificaron varios parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles establecidos en la Norma, enfocando nuestro estudio en la etapa de la coagulación con la dosificación de un agente coagulante (Policloruro de Aluminio) y en la filtración utilizando una resina (Zeolita).

Por esta razón se seleccionó el tratamiento más conveniente, con operaciones simples adaptadas a las necesidades de la parroquia, de fácil manejo y mantenimiento; mediante pruebas de tratabilidad realizadas en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, garantizando así su disposición final al Rio Chambo cumpliendo con los requisitos establecidos en norma.

Penipe es un cantón de la Provincia de Chimborazo; situado entre los 2.500 y los 5.424 msnm, en el nevado El Altar. Ubicado en el noreste de la provincia, tiene una extensión territorial de 240 km<sup>2</sup>. Este cantón cuenta con una parroquia urbana que es la cabecera cantonal Penipe y 6 parroquias rurales: Bayushig, Bilbao, La Candelaria, El Altar, Matus y Puela.

Bayushig es una Parroquia del Cantón Penipe que se sitúa entre los 2.800 metros de altura. Se encuentra ubicado a 24 km de distancia de la ciudad de Riobamba, con una temperatura de alrededor de 13°C a 16°C. Se extiende en ricos valles que comprenden una amplia zona agrícola. Limita al norte con la parroquia El Altar, al sur y oeste con la parroquia Matriz y al este por la parroquia Matus. Tiene un área aproximada de 500 hectáreas, un 90% están sembradas de manzana, tan apetecidas en el mercado nacional e internacional.

Según datos del censo de población y vivienda en el año 2010 proporcionados por el INEC: existen 316 familias, 520 son hombres y 581 son mujeres, en total de 1101 habitantes en total.

En la parroquia el agua que se consume es entubada y clorada en tanques de tratamiento. Del sistema de alcantarillado solo se beneficia un porcentaje reducido de la población y cabe recalcar que no cuentan con sistema de tratamiento de aguas residuales. La problemática que surge en la parroquia San Antonio de Bayushig, es debido a la inexistencia de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, es por ello que se han ocasionado serios inconvenientes en la vida de los pobladores. Actualmente, las aguas residuales emitidas por la parroquia son depositadas en dos tanques recolectores, los mismos que son evacuados cada cierto tiempo por un eductor proveniente de Riobamba contratado por la junta parroquial, cabe recalcar que no existe ningún registro de la disposición final de estas aguas residuales.

La situación es preocupante debido a la inexistencia de registros de la disposición de estas aguas residuales. Es por ello que con este estudio, se propone tratar las aguas residuales, darle una disposición adecuada a las mismas y de esta manera reformar la calidad de vida de los pobladores de la parroquia San Antonio de Bayushig.

El agua es un recurso natural que se regenera continuamente mediante el ciclo del agua, es esencial para los seres vivos, sin embargo puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas, que ya no es útil, sino más bien nociva. Generando así las aguas residuales que aparecen sucias y contaminadas llevando así: grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria, sustancias

muy tóxicas etc. Por ello con el tiempo se ha desarrollado mecanismos que nos ayuden a prevenir y tratar el agua.

La Parroquia San Antonio de Bayushig no cuenta con una Planta de tratamiento de Aguas Residuales, solo con 2 tanques recolectores, mismos que se encuentran ubicados en sectores estratégicos alrededor de la parroquia. Este problema ha causado en sus habitantes alteraciones en su diario vivir, y en las zonas aledañas en las que se encuentran estos tanques colectores. Esta situación expuesta ha motivado a que la Junta Parroquial de San Antonio de Bayushig se interese por un estudio de la zona y a la vez en Diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la misma, con el fin de mejorar el nivel de vida de cada uno de los pobladores y así de esta manera minimizar el daño ambiental que se ha provocado.

Este proyecto consiste en realizar un estudio exhaustivo acerca de la situación actual de cada uno de los tanques recolectores, determinar cuál es la principal problemática causada por el no tratamiento de estas aguas residuales y de esta manera Diseñar un Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, teniendo así una adecuada disposición final de estos desechos.

Por cada una de las razones antes mencionadas este proyecto de tesis lo que busca es fortalecer la capacidad de la gestión local de la Junta Parroquial de San Antonio de Bayushig, como ente ejecutor del manejo adecuado de las Aguas Residuales. En este sentido, dicha propuesta tiene como objetivo a largo plazo el mejoramiento social y ambiental de la Parroquia, sus alrededores y sus habitantes.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Parroquia de “San Antonio de Bayushig”.

### **ESPECÍFICOS**

- Realizar la caracterización físico-química y microbiológica de las Aguas Residuales provenientes de la Parroquia San Antonio de Bayushig.
- Determinar las variables que se encuentran fuera de norma para el diseño de la planta de Tratamiento.
- Realizar pruebas de Tratabilidad.
- Diseñar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Validar el Diseño con la caracterización final de las Aguas Residuales.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1 Agua Residual

##### *1.1.1 Definición y Generalidades*

Las Aguas Residuales también se les puede denominar aguas servidas, fecales o cloacales, estas aguas residuales se definen como aquellas aguas que resultan después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. Es decir es el Agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó, ni para el propósito para el que se produjo, debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. Las aguas residuales pueden llevar varios de los siguientes contaminantes: grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria, herbicidas y plaguicidas y en ciertas ocasiones sustancias muy tóxicas.

Es importante que las aguas residuales lleven un adecuado tratamiento antes de ser devueltas a la naturaleza, es por ello que se trasladan a plantas de tratamiento o también denominadas estaciones depuradoras, para realizar un adecuado tratamiento, para tratar de devolver estas aguas residuales con una mejor condición a la naturaleza.

Cabe recalcar que aun en nuestro país existen ciertos pueblos y ciudades que no dan una disposición adecuada a las aguas residuales, sino que las desechan directamente a los ríos sin antes depurarlas. Dicha conducta ha producido como consecuencia principal que la mayoría de seres vivos que vivían en estos ríos hayan muerto y consecuentemente desaparecido.

##### *1.1.2 Tipos de Aguas Residuales*

De acuerdo a su origen las Aguas Residuales pueden clasificarse en:

### *1.2.2.1 Aguas residuales Domésticas*

Son las que proceden de servicios y de vivienda, generadas particularmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Dichos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas.

### *1.2.2.2 Aguas residuales Industriales*

Son todas aquellas aguas residuales emitidas por locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, estas aguas se generan durante el proceso de producción, transformación y manipulación en el que se utilice agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración.

**Líquidos Residuales:** Se puede denominar aquellos líquidos emitidos en la fabricación de diversos productos como las melazas de la producción de azúcar o las lejías que se desprenden de las disoluciones de productos químicos.

**Aguas Residuales de Proceso:** Son aquellas aguas que se contaminan con los productos de fabricación además se originan cuando se utiliza el agua como medio de lavado, transporte, e incluso refrigeración directa.

**Aguas de Refrigeración Indirecta:** Son aquellas aguas que no han entrado en contacto con los productos y por tanto la única contaminación que arrastran es su temperatura.

**Aguas urbanas:** Proviene de los centros urbanos, en especial de viviendas, y se mezclan con aguas residuales industriales y aguas de escorrentía pluvial.

### *1.1.3 Características de las Aguas Residuales*

Los constituyentes de las aguas residuales pueden ser de tipo: físicos, químicos y biológicos; por tanto es de suma importancia la caracterización de las mismas y de esta manera se puede establecer las cargas orgánicas y de sólidos que transportan, y así determinar los efectos del vertimiento a cuerpos de agua.

### 1.1.3.1 Características Físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son:

- **Sólidos**

**Sólidos Totales:** Se define como la materia que se obtiene como residuo tras haber sometido al agua a un proceso de evaporación a una temperatura comprendida entre 103 y 105 °C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto.

**Sólidos Disueltos:** Se determinan por la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos.

**Sólidos Suspendidos:** Es determinado por el proceso de filtración, para dicho proceso de separación se emplea un filtro de fibra de vidrio, con un tamaño nominal de poro de 1.2 µm aproximadamente, también suele emplearse filtro de membrana de policarbonato.

**Sólidos Sedimentables:** Se denominan aquellos sólidos que sedimentan de manera continua en un recipiente de forma cónica comúnmente denominado cono de Imhoff, en un tiempo aproximado de 60 minutos por acción de la gravedad.

- **Turbidez**

La turbidez es considerada como una propiedad óptica de una suspensión la misma que provoca que la luz pueda ser re-emitada y por tanto no puede ser transportada por medio de una suspensión.

- **Color**

El color en aguas residuales es causado por la presencia de hierro y manganeso principalmente, además podemos mencionar sustancias en solución, materiales coloidales y sólidos suspendidos. Color aparente se denomina al color que es causado por los sólidos suspendidos y el color verdadero es el provocado por sustancias coloidales y disueltas, es el color de la muestra una vez que se ha removido la turbidez.

- **Olor**

Los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual posee un olor característico el cual se produce cuando los sulfatos se reducen a sulfitos con la ayuda de microorganismos anaeróbicos produciendo así sulfuro de hidrogeno.

- ***Temperatura***

En general la temperatura que posee el agua residual es mayor que la temperatura del agua de abastecimiento debido a la incorporación de agua caliente que proviene de uso industrial y doméstico.

- ***Conductividad***

La conductividad del agua se determina como un término numérico de la habilidad que posee la misma para trasladar una corriente eléctrica, esta tiene que encontrarse en dependencia de la concentración total de sustancias disueltas, las mismas que van a ser ionizadas en el agua; y mediante la temperatura ya que con ella se alcanza una correcta determinación.

- ***Densidad***

La densidad en el agua residual es definida como la masa por unidad de volumen, se expresa en unidades de  $\text{kg/m}^3$ . Esta es una característica física importante, ya que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad de fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento.

### *1.1.3.2 Características Químicas*

En las aguas residuales los constituyentes químicos que posee se clasifican en: inorgánicos y orgánicos.

**Materia Orgánica:** En las aguas residuales el 90% de la materia orgánica lo constituyen los carbohidratos y las proteínas. La fuente principal de estos contaminantes proceden de orina humana y excrementos, además de residuos alimenticios, suciedad polvo, así como detergentes y demás.

**Materia Inorgánica:** En las aguas residuales la materia inorgánica solo representa el 10 % de la materia disuelta, pero la presencia de esta materia es la que generalmente presenta la mayor problemática de contaminación, debido a la dificultad para eliminarla y a la variedad de estos.

- **pH**

El pH es considerado como uno de los parámetros de calidad de mayor importancia tanto para aguas naturales como residuales. Existe un intervalo de concentración importante para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico.

- **Nitrógeno**

El nitrógeno es esencial para el crecimiento de protistas y plantas, por lo cual recibe el nombre de nutrientes o bioestimuladores.

- **Fósforo**

Este mineral es fundamental para lograr el crecimiento de algas y de varios organismos biológicos, por lo que cuando se encuentra en aguas superficiales se puede presentar nocivas proliferaciones incontroladas.

- **Sulfuro de hidrógeno**

En el proceso de desintegración de la materia orgánica se forma el sulfuro de hidrogeno, esta posee azufre, mientras que la formación se impide cuando la materia posee grandes cantidades de oxígeno.

### *1.1.3.3 Características Biológicas*

Las Aguas Residuales contienen un extenso número de microorganismos vivos, la principal función es fermentar, transformar y descomponer la materia orgánica utilizando o no el oxígeno disuelto por medio de procesos aerobios o anaerobios. El índice para medir este fenómeno puede efectuarse mediante el análisis de parámetros como: Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno y Oxígeno Disuelto.

- ***Oxígeno disuelto***

Este es un parámetro principal en el control de las aguas residuales. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura, y pureza del agua.

- ***Demanda Química de Oxígeno (DQO)***

La Demanda Química de Oxígeno se define como aquella medida de la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica que posee el agua residual, se puede utilizar como oxidante dicromato cuando tenemos un ambiente ácido o a su vez sales inorgánicas de permanganato. Por medio de esta prueba se consigue obtener un medio indirecto de la concentración de materia orgánica la misma que está presente en el agua residual.

- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO5)***

Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos principalmente las bacterias (aerobias o anaerobias) consumen durante la degradación de la materia, se mide a los 5 días y a 20°C. Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

- **Coliformes Totales**

Si se posee una temperatura de 35 o 37°C, estas bacterias gram negativas de forma alargada pueden fermentar lactosa y producir gas.

- **Coliformes Fecales**

Son aquellas bacterias que tienen las mismas propiedades que las Coliformes totales pero que pueden fermentar lactosa a una temperatura de 44 o 44.5°C. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

## **1.2 Tratamientos de Aguas Residuales**

La razón principal para dar tratamiento a las aguas residuales es poder emitir un efluente que no sea dañino para el ambiente y un residuo sólido denominado lodo o fango. En la actualidad es común denominar depuración de aguas residuales para de esta manera distinguirlo del tratamiento de agua potable

El método que se utilice para el tratamiento de las aguas residuales debe garantizar que se cumpla con la legislación para la emisión del efluente, la puesta en marcha de cualquier sea el tipo de método que se va a utilizar depende fundamentalmente de la concentración del contaminante y del caudal del efluente. Dependiendo de lo que se desee eliminar será el tipo de tratamiento que se dé a las aguas residuales.

Procesos unitarios se denominan aquellos procesos en los que se utiliza procesos biológicos o químicos para la eliminación de contaminantes, mientras que las operaciones unitarias son aquellos tratamientos en los que existen mayormente fenómenos físicos.

En la actualidad, al referirse a operaciones y procesos unitarios es porque se agrupan entre sí para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario.

Las aguas residuales pueden ser tratadas de dos maneras: se las puede recolectar y transportar mediante un sistema de tuberías o también se las trata en el lugar en el que son emitidas como tanques sépticos.

## ***1.2.1 Tipos de Tratamientos de Aguas Residuales***

### *1.2.1.1 Tratamientos Físicos*

Los efluentes industriales que contienen elementos insolubles en suspensión son sometidos a tratamientos físicos para separarlos, y mediante estos tratamientos impedir contaminaciones posteriores; existen ciertas sustancias que se encuentran en estos efluentes como aceites y grasas, arenas, fibras etc.

Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación suelen ser las primeras en efectuarse ya que la presencia de partículas en suspensión obstaculiza otros procesos de tratamiento

Los tratamientos físicos más comunes son:

- Desbaste
- Sedimentación/Decantación
- Filtración
- Flotación

### *1.2.1.2 Tratamientos Químicos*

Estos métodos de tratamiento permiten la remoción de la materia disuelta del agua a tratar mediante la adición de productos químicos que provocan el desarrollo de varias reacciones químicas. Los sólidos disueltos generalmente pueden tener características y concentraciones diversas: desde grandes cantidades de sales inorgánicas disueltas (salmueras), orgánicas (materia orgánica biodegradable en industrias de alimentación), hasta extremadamente pequeñas cantidades inorgánicas (metales pesados) y orgánicos (pesticidas); siendo estos últimos de necesaria eliminación debido a su carácter peligroso.

Cuando los contaminantes están disueltos, se recurre a tratamientos químicos para precipitarlos, neutralizarlos, oxidarlos o reducirlos, según corresponda. A continuación se enumeran los principales tratamientos químicos:

- Procesos Electroquímicos
- Intercambio Iónico.
- Precipitación química
- Coagulación / Floculación

- Absorción
- Desinfección

### *1.2.1.3 Tratamientos Biológicos*

Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (especialmente las bacterias), para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua aprovechando la actividad metabólica de los mismos. Es uno de los métodos más usados en el tratamiento de aguas residuales urbanas y aguas residuales industriales.

Este tipo de tratamiento se basa en el uso de microbios que descomponen y asimilan las sustancias presentes en el efluente.

En función del elemento aceptor de electrones se distinguen tres casos de sistemas biológicos: Sistema Aerobio, Sistema Anaerobio, Sistema Anóxico y Lodos Activados.

### *1.2.2 Etapas del Tratamiento de aguas Residuales*

El tratamiento que daremos al agua residual nos permitirá obtener un alto grado de purificación en el agua residual mediante la disminución de los contaminantes que esta posee; el tratamiento dependerá de la norma que se vaya a utilizar para el vertido del efluente. Las etapas de tratamiento son:

**Pre-tratamiento:** Este es un paso se prepara al agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y salvaguardar la instalación de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejillas o cribas, tamices, desarenadores y desengrasadores.

**Tratamiento Primario físico-químico:** En este tipo de tratamiento el principal objetivo es reducir la materia que se encuentra suspendida y el DBO, con la ayuda de la sedimentación se reduce los sólidos sedimentables, aquellas sustancias que pueden flotar como las grasas y aceites.

**Tratamiento Secundario o tratamiento biológico:** estos procesos se emplean para convertir la materia orgánica fina coloidal y disuelta en un floc biológico sedimentable y sólidos inorgánicos. Estos procesos se realizan junto con procesos físicos y químicos.

**Tratamiento Terciario, de carácter físico-químico o biológico:** En este tratamiento no se aplica técnicas diferentes a las mencionadas en los tratamientos anteriores, sino que utiliza ambos con el fin de mejorar el vertido final.

Es posible utilizar más de un tratamiento terciario, para así aumentar la calidad del efluente antes de que este sea descargado a cualquier ambiente receptor tales como: mar, río, lago, campo, etc.

## **1.3 Caudales**

### ***1.3.1 Muestreo***

Debido a la procedencia del agua residual esta puede tener diversos tipos de contaminantes, es por ello que para realizar una mejor caracterización del tipo de contaminante es necesario realizar varios muestreos y determinaciones analíticas.

#### ***1.3.1.1 Tipos de Muestras***

##### **Muestras Simples**

Son muestras que se toman cuando se conoce que su composición es constante en el tiempo y espacio. Estas muestras son preferidas para análisis de: alcalinidad, acidez, grasas y aceites, oxígeno disuelto, cloro residual, temperatura, pH, y Coliformes.

##### **Muestra compuesta**

Estas muestras son una mezcla de varias muestras instantáneas tomadas en el mismo lugar solo que en diferentes tiempo. En este tipo de muestra no se toma en cuenta el caudal.

Los parámetros a determinar con la toma de una muestra compuesta son: sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DBO, DQO, Nitrógeno total Kjeldahl.

##### **Muestra Integrada**

Este tipo de muestras consiste en la toma de muestras instantáneas, las mismas que son recogidas en diferentes puntos o tan cerca como sea posible el uno del otro. Este tipo de muestras pueden utilizarse en los siguientes casos: Caracterizar el caudal de un río, el cual varía su composición a lo largo de su trayecto y su ancho o Tratamientos combinados para diferentes corrientes de aguas residuales separadas.

### **Volumen de la Muestra**

El volumen de la muestra debe de ser lo suficiente como para poder llevar a cabo los análisis de laboratorio requeridos; es decir, depende del número de parámetros que se desea determinar. Es preferible que el volumen de la muestra no sea menor a 100 mL.

Generalmente el volumen para muestras simples es de 2 L, y para muestras compuestas de 3 a 4 L con volúmenes individuales aproximadamente de 120 mL. (OPS, 2005,p.34-42)

#### *1.3.3.2 Conservación de las Muestras*

Una vez que se ha realizado el muestreo, es necesario que la muestra tomada se lleve de inmediato al laboratorio, dado que esta puede cambiar sus características fisicoquímicas y biológicas.

Es muy importante que la muestra se conserve a una temperatura de 4° C, tanto en el transporte de la muestra como hasta momento de su análisis.

Es posible añadir ciertos compuestos químicos para que se pueda conservar la muestra tratada sin embargo es recomendable que la muestra se analice dentro de un periodo de 24 horas siguientes a la toma.

#### *1.3.2 Determinación de Caudales*

Es importante analizar con mucha cautela las variaciones que presentan los caudales de agua residual así como las características, debido a que estos parámetros pueden afectar en el diseño de la planta de tratamiento de agua residual.

#### *1.3.3 Medición de Caudales*

La medición de caudales en cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales es de gran importancia, por consiguiente deben poseer dispositivos de medición de caudal. Tanto en la entrada como en la salida. Estas son unidades de bajo costo, en relación con el costo total de la obra y suministran datos importantes para la operación de los sistemas de tratamiento. (OPS, 2005, p.20-21).

Los principales tipos de medidores utilizados son los vertederos proporcionales, el medidor Parshall, el medidor Venturi, los vertederos rectangulares y triangulares.

El caudal es la cantidad de un líquido que fluye de modo natural o no natural en un determinado lugar y por una unidad de tiempo. Generalmente se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo del caudal, Ecuación (1):

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

Dónde:

V= Volumen del líquido o gas (m<sup>3</sup>)

t= Tiempo de flujo (s)

#### *1.3.3.1 Métodos para la Medición de Caudales*

**Método de Aforo:** Se denomina este método como una serie de operaciones, las mismas que nos ayudan a determinar el caudal de un flujo de agua en una sección indicada.

Este método se realiza para un nivel de agua observado denominado tirante y para un cierto nivel o porcentaje de exactitud. Para la realización del aforo de caudales existen varios métodos que registran mediciones de una manera continua o permanente o de una manera puntual o instantánea. La mayoría de los métodos de aforo se basan en la ecuación de Continuidad, Ecuación (2):

$$Q = V \times A$$

Dónde:

A= Área (m<sup>2</sup>)

El método a escoger depende básicamente de la calidad y cantidad de los registros de caudales necesarios en un estudio hidrológico.

**Método Volumétrico:** La manera más sencilla de calcular caudales pequeños es por medio de la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. Para ello, el fluido es desviado hacia un canal que descarga en un recipiente adecuado, y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro.

### *1.3.3.2 Pruebas de Tratabilidad*

Para poder seleccionar cuales son los tratamientos más adecuados para utilizarse en el diseño de la planta de tratamiento es necesario, realizar pruebas de ensayo en el laboratorio, una de las pruebas que se realiza con obligatoriedad es la prueba de jarras sea cual sea el nivel de complejidad que posea la planta de tratamiento, estos ensayos se deben realizar a todas las muestras de agua cruda para analizar todos los posibles problemas que presenten la misma.

### **Pruebas de Jarras**

Esta es una de las pruebas más importantes que en general se realiza a nivel de laboratorio, para poder determinar cuáles son las condiciones óptimas para el tratamiento del agua residual. Esta prueba tiene grandes ventajas como por ejemplo, me permite realizar ajuste de pH, variar la dosis de coagulante, alterar la velocidad de mezcla, o realizar la prueba del coagulante con diferentes polímeros, a una escala pequeña lo cual me va a dar referencia de cómo lo puedo aplicar a mayor escala. La prueba de jarras es como un simulador del proceso de coagulación y floculación debido a que me permite la eliminación de coloides en suspensión y materia orgánica, lo que produce problemas de sabor, olor y turbidez.

### *1.3.4 Formulas para Medición de Caudales*

#### *1.3.4.1 Determinación de la población futura para diseño*

Para realizar el diseño de una planta de tratamiento de agua residual, primero proyectaremos hacia una población futura, de acuerdo al último censo poblacional en el año 2010 de la Parroquia San Antonio de Bayushig. Este cálculo se lo realiza con la siguiente ecuación, Ecuación (3):

$$P_f = P_a \times \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

Dónde:

**Pf** = Población final

**Pa** = Población actual

**r** = Índice de crecimiento anual

**t** = Período de tiempo (año futuro – año actual)

1.3.4.2 Cálculo del agua consumida por cada habitante en el día, se utiliza la expresión, Ecuación (4):

$$Dc = \frac{Q_{promc} \times 1000 \text{ L/m}^3}{Pf}$$

Dónde:

**Dc** = Dotación consumida (L/ hab. día)

**Qpromc** = Medición promedio del caudal (m<sup>3</sup>/día)

**Pf** = Población futura

#### 1.3.4.3 Dotación Futura

Utilizamos la Ecuación (5):

$$Dotación\ futura = \frac{Dc}{1 - pérdidas\ técnicas}$$

Dónde:

**Dc** = Dotación consumida (L/ hab. día)

**Pérdidas Técnicas:** Según del nivel del complejidad del sistema (Tabla 8-2)

#### Caudal promedio diario (Q<sub>md</sub>)

Es el valor medio de caudal diario (m<sup>3</sup>/día) durante un período de 24 horas. El caudal promedio es utilizado para evaluar la capacidad de las plantas de tratamiento y para desarrollar los caudales usados en diseño. Además es usado para estimar parámetros tales como costos de bombeo y de químicos, lodos y tasa de descarga de orgánicos, Ecuación (6).

$$Q_{md} = \frac{P_f \times \text{Dotación futura}}{1000 \frac{L}{m^3}}$$

### **Caudal de diseño ( $Q_{\text{Diseño}}$ )**

El caudal de diseño se calcula mediante la siguiente Ecuación (7):

$$Q_{\text{Diseño}} = Q_{md} \times M$$

Dónde:

$Q_{md}$  = Caudal promedio diario

$M$  = Factor de Harmon

### **Cálculo del Factor de Harmon**

Utilizamos la Ecuación (8):

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P_f}}$$

### **Caudal máximo diario ( $Q_{\text{máx}}$ )**

Es el valor máximo de caudal que ocurre durante un período de 24 horas. Se suele utilizar para el dimensionamiento de aquellas unidades que tienen tiempos de retención hidráulica altos.

Puede estimarse a partir de la siguiente Ecuación (9):

$$Q_{\text{max}} = K_p \times Q_{md}$$

Dónde:

$Q_{\text{max}}$  = Caudal Máximo

$K_p$  = Valor tomado de la Tabla 3-3

### **Caudal mínimo diario ( $Q_{\min}$ )**

Es el caudal mínimo que ocurre durante un período de 24 horas, está ligado a periodos de sequía. Es importante para el funcionamiento de las estaciones de bombeo y de la planta de tratamiento de aguas residuales durante los primeros años, dado que se suele trabajar con caudales inferiores a los proyectados.

Si no se disponen de suficientes datos de caudales se pueden emplear los siguientes criterios:

Es por ello que el Caudal Mínimo Diario se obtiene en función del caudal promedio diario y del tamaño de la población, donde  $k$  es un valor entre 0,3 y 0,5. Ecuación (10):

$$Q_{\min} = k \times Q_{md}$$

Dónde:

$Q_{\min}$  = Caudal Mínimo

$K$  = Valor tomado de la Tabla 3-4

### **Caudal punta ( $Q_p$ )**

Es considerado como el caudal hidráulico máximo que puede admitir la planta de tratamiento de agua residual. En épocas de sequía este caudal se puede considerar como tres veces el  $Q_{med}$ ; y como cinco veces en el caso de tiempo de lluvias, así tenemos, Ecuación (11):

$$Q_p = K_1 \times Q_{md}$$

## **1.4 Conducción del agua**

La conducción del agua en todo el sistema de tratamiento se lo llevara a cabo con tubería PVC. A continuación se argumentan las razones:

**Flexibilidad:** Excelente comportamiento ante cargas vivas y muertas, comparado con los materiales tradicionales, que le permite ser alojada a las profundidades calculadas del proyecto sin problema alguno.

**Unión hermética:** El diseño de la unión espiga – campana no permite infiltración ni exfiltración, lo que impide la contaminación del agua.

**Ligereza:** Significativamente menor su peso por metro de tubería, el costo de manejo e instalación se reduce considerablemente, logrando altos rendimientos en mano de obra.

**Economía:** Por su superficie interna lisa, las pendientes se reducen considerablemente, obteniendo menores volúmenes de excavación.

**Baja rugosidad:** Posee un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,009, lo que significa una mayor eficiencia hidráulica.

**Resistencia mecánica:** Ésta tubería presenta una alta resistencia a golpes y al trato normal en obra, desde luego se debe de proteger del manejo inadecuado y rudo.

**Mayor vida útil:** No se ve afectada por la agresividad de los suelos, no permite la entrada de raíces y las sustancias propias de un alcantarillado sanitario no la deterioran.

#### **1.4.1 Limitaciones en el uso de tubería de PVC**

La tubería de PVC reduce su capacidad de resistencia al impacto, a temperaturas menores a 0 °C,

La tubería no debe quedar expuesta por períodos prolongados de tiempo a los rayos solares, ya que esto provoca una alteración de sus propiedades mecánicas.

La tubería de PVC presenta susceptibilidad de daños debidos al contacto con elementos cortos punzantes.

En la siguiente tabla se detallan algunas propiedades de la tubería de PVC. (RUIZ, 2013,p.34-36):

**Tabla 1-1:** Características Técnicas de la tubería de PVC para alcantarillado

<b>PROPIEDAD</b>	<b>VALOR</b>
Esfuerzo de Diseño	140kg/cm <sup>2</sup>
Coeficiente de Rugosidad	Manning 0,009 Hazen Williams 150
Módulo de elasticidad	28,100 kg/cm <sup>2</sup>
Hermeticidad	Total

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

## 1.5 Sistema de Tratamiento

### 1.5.1 Pretratamiento

#### 1.5.1.1 Rejillas o Cribado

El cribado, es utilizado para excluir los sólidos suspendidos de gran tamaño presentes en el agua residual, es decir elimina materias flotantes > 5mm. Además contribuyen a dar una mejor apariencia a la planta y reducen el volumen de espuma. Y de esta manera aumentar la eficiencia de los tratamientos posteriores.

Las rejillas o cribas de gruesos se utilizan como sistema de protección para evitar que se dañen los equipos posteriores como bombas y equipos mecánicos reteniendo los sólidos de tamaño grande

Las rejillas de finos en la mayoría de los casos se fabrican en mallas metálicas de acero, o chapas de acero perforado que muchas veces se utilizan en tanques de sedimentación. Con este proceso se puede eliminar entre un 5% a 20 % de sólidos en suspensión, de un 40% a un 60% se eliminan por sedimentación. (GUZMAN, 2013, p.46-49)

**Tabla 2-1:** Información para las rejillas de limpieza manual y mecánica

CARACTERISTICAS	LIMPIEZA MANUAL	LIMPIEZA MECÁNICA
Tamaño de la Barra		
Anchura, mm	5-15	5-15
Profundidad, mm	25-37,5	25-37,5
Pendiente en relación a la vertical, grados	25-50	15-75
Velocidad de aproximación, m/s	25-50	50-82,5
Velocidad de aproximación, m/s	150	150
Perdida de carga admisible, m/m	150	150

Fuente: (METCALF & EDDY, 1995)

## Clasificación de las rejillas

La distancia entre las barras de las rejillas depende del tamaño de partículas que se desea retener. El canal en donde se encuentran las rejillas debe diseñarse de tal manera que la velocidad del agua no se reduzca a menos de 0.60 m/s, esto con el fin de evitar la sedimentación de materiales pétreos retenidos en el mismo. En base a este dato se puede encontrar la siguiente clasificación:

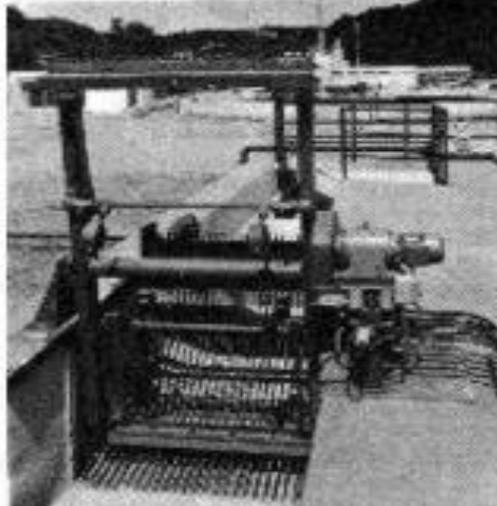
**Tabla 3-1:** Clasificación de las Rejillas

1. De acuerdo al método de limpieza	Limpieza Manual
	Limpieza Mecánica (Automática)
2. Según el tamaño de las aberturas	Rejillas Gruesas: Aberturas iguales o mayores de 0,64 cm (1/4 pulgada).
	Rejillas finas: Aberturas menores de 0,64 cm.
3. De acuerdo a su colocación	Rejillas Fijas
	Rejillas Móviles
4. Según la sección transversal de sus barras	Cuadradas, Rectangulares, circulares o aerodinámicas.
5. Dependiendo del tamaño de materia que se desea remover	Finas (0,1-1,5 cm).
	Medianas (1,5-2,5 cm).
	Gruesas (2,5- 5,0 cm).

Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, 2008

## Rejas de Limpieza Manual

Las rejas van inclinadas sobre la horizontal con ángulos entre 60-80°. Estas rejas están formadas por barrotes rectos los mismos que están soldados a unas barras de separación, la longitud entre estas debe permitir ser limpiadas con la mano.



**Figura 1-1** Rejillas de limpieza manual

Fuente: (CRITES, 2000)

Con el objeto de proporcionar suficiente reja para la acumulación de basuras entre limpieza y limpieza, es necesario que la velocidad de aproximación del agua a la reja sea de unos 0,45 m/s a caudal medio. (METCALF Y EDDY, 1995,p. 67).

### **Ubicación de las rejillas**

El emparrillado de las rejillas debe estar inclinado con respecto al piso del canal donde se instalan. El canal debe preferiblemente ser horizontal, recto y perpendicular a la rejilla, para promover una distribución uniforme de los sólidos retenidos por ella.

Para diseñar las rejillas, debemos relacionar la velocidad media del agua residual con la abertura de las rejillas sugeridas.

#### *1.5.1.2 Ecuaciones para el diseño de rejillas*

En la mayoría de países en vías de desarrollo las rejillas más utilizadas son las de limpieza manual.

**Tabla 4-1:** Parámetros de Diseño de Rejillas

Parámetro de diseño	Unidad	Rango	Rejilla gruesa	Rejilla fina
Espaciamiento entre barras	mm	15-50	40	20
Diámetro de las barras	pulgadas	3/8- 1 <sup>1/2</sup>	1/2	1/2
Velocidad de aproximación	m/s	0,3-0,6	0,45	0,5
Velocidad a través de las barras	m/s	0,3-0,6	0,6	0,6
Angulo de inclinación	°	60 – 45	45	45

Fuente: RAS,2000

A continuación se detalla el dimensionamiento de rejillas de limpieza manual.

- **Ecuación de Manning**

Utilizamos la Ecuación (12):

$$v = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S_p^{1/2}$$

Dónde:

S<sub>p</sub> = Pendiente

Rh = Radio hidráulico

n = Coeficiente de Manning

**Tabla 5-1:** Coeficiente de rugosidad n de Manning

Material	Coeficiente de Manning	Coeficiente de Rugosidad Absoluta k (mm)
Asbesto cemento	0.011	0.002
Latón	0.011	0.002
Fierro fundido (nuevo)	0.012	0.600
Concreto (cimbra metálica)	0.011	0.260
Concreto (cimbra madera)	0.015	0.180
Concreto simple	0.013	0.600
Cobre	0.011	0.002
Acero corrugado	0.022	45.000
Acero galvanizado	0.016	0.150
Plomo	0.011	0.002
Platico (PVC)	0.090	0.002
Madera (duelas)	0.012	0.180
Vidrio (laboratorio)	0.011	0.002

Fuente: (CRITES, 2000)

- **Área transversal del Canal**

El área transversal del canal total, donde se ubicara la reja se utiliza, Ecuación (13):

$$A_T = \frac{Q_{Diseño}}{v}$$

Dónde:

$A_T$ = Área transversal de Canal, (m<sup>2</sup>)

$Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Diseño, (m<sup>3</sup>/s)

$v$  = Velocidad de entrada del flujo (m/s)

- **Altura Efectiva**

La altura efectiva será obtenida a través de la siguiente fórmula, Ecuación (14):

$$H_e = \frac{A_T}{b}$$

Dónde:

$H_e$  = Altura Efectiva

$A_T$  = Área transversal de Canal

$b$  = ancho del canal (Dato propuesto)

**Tabla 6-1:** Tipo de Rejas

TIPO DE REJA	ESPARCIMIENTO ENTRE BARRAS(mm)
Gruesa	40 hasta 100
Media	20 hasta 40
Fina	10 hasta 20
Muy Fina	0,25 hasta 2,5

Fuente: (CRITES, 2000)

- **Profundidad del canal**

La profundidad total del canal se calcula de la siguiente manera, Ecuación (15):

$$h_a = H_e + h_0$$

Dónde:

$h_a$ = profundidad del canal

$H_e$ = Altura Efectiva

$H_0$ = borde libre (0,20 y 0,25)

- **Longitud de las Barras**

Se recomienda un borde libre  $h_0$  entre 0,20 y 0,25 m. La longitud de las barras depende del grado de inclinación que tienen con la horizontal, y el tirante de agua máximo del canal de reja de barras, y se calcula mediante la siguiente expresión, Ecuación (16):

$$L_b = \frac{H_e}{\text{sen}b}$$

Dónde:

$L_b$ = longitud de las barras

$H_e$ = Altura Efectiva

$b$  = ancho del canal (Dato propuesto)

- **Separaciones entre las barras**

El cálculo de la suma de las separaciones entre barras (m), tanto para rejillas gruesas como rejillas finas se conoce mediante la siguiente forma, Ecuación (17):

$$b_g = \left( \frac{b - e}{S + e} + 1 \right) e$$

Dónde:

$b_g$  = suma de las separaciones entre las barras(m)

$b$  = Ancho del canal de entrada (Dato propuesto mm)

$e$  = Espaciamiento entre barras (mm)

$S$  = Espesor de las barras (mm)

**Tabla 7-1:** Volumen de materias retenidas en las rejillas

Separación libre entre barras (mm)	Volumen retenido (L/hab.año)
3	15-25
20	5-10
40-50	2-3

Fuente: URALITA,2010

**Tabla 8-1:** Características de las materias retenidas en las rejillas

Características	%
Contenido de Humedad	> 30
Contenido de materia Orgánica	75-80
Contenido de materia inerte	20-35

Fuente: URALITA,2010

- **Área de Espacios entre Barrotes**

Para calcular el área de espacios entre barrotes, necesitamos las siguientes expresiones, Ecuación (18):

$$\text{Área}_{eb} = b_g \times L_b$$

Dónde:

Area<sub>eb</sub> = Área de Espacios entre barrotes

b<sub>g</sub> = suma de las separaciones entre las barras (m)

L<sub>b</sub> = longitud de las barras

- **Velocidad a través de la Rejilla**

Cálculo de la velocidad a través de la rejilla, con la siguiente Ecuación (19):

$$V_r = \frac{Q_{\text{Diseño}}}{\text{Area}_{eb}}$$

Dónde:

$V_r$  = Velocidad a través de la rejilla (m/s)

$Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Diseño

Area<sub>eb</sub> = Área de Espacios entre barrotes

La velocidad de paso a través de las rejillas debe ser suficiente para que las materias en suspensión se apliquen sobre ella sin que se provoque una gran pérdida de carga ni atascamiento en los barrotes, para esto se establece una velocidad mínima y máxima que generalmente oscila entre 0,6 m/s y 1,0 m/s; pudiendo llegar hasta 1,4 m/s como máximo.

- **Número de Barrotes**

Mediante la siguiente ecuación, calcularemos el número de barrotes de la rejilla, Ecuación (20):

$$n = \frac{b_g}{e} - 1$$

- **Pérdidas de Carga**

No hay que descartar pérdidas de carga, las mismas que aumentan cuando las rejillas se saturan con los residuos o basuras retenidos, en general en sistemas manuales las pérdidas de carga están comprendidas entre 0,10 y 0,40 en aguas residuales, lo cual se calcula mediante la expresión, Ecuación (21):

$$hf = k \left( \frac{V_r^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

Dónde:

hf = Pérdida de carga (m).

k = 1/0,7; Coeficiente empírico, incluye pérdidas por turbulencia y formación de remolinos.

$V_r$  = Velocidad de flujo a través del espacio entre las barras de la reja (m/s).

$v$  = Velocidad de aproximación del fluido hacia la reja (m/s).

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

### ***1.5.2 Tratamiento Primario***

El sistema más sencillo en el tratamiento de aguas residuales es el sistema primario debido a que el objetivo principal es acondicionar el agua a tratar, limpiándola de todas aquellas partículas que por su tamaño pueden afectar los procesos posteriores. En el tratamiento primario generalmente se remueve alrededor del 30 a 40% de DBO y aproximadamente un 60% de sólidos suspendidos.

#### ***1.5.2.1 Homogenización***

La homogenización o también denominado igualamiento consiste en funcionar como un amortiguador de las variaciones del caudal para lograr un caudal aproximadamente constante.

Entre las ventajas de la homogenización podemos mencionar lo siguiente: diluye sustancias inhibitoras, mejora la tratabilidad del agua residual, mejora la eficiencia por lo tanto la calidad del efluente, estabiliza el pH, con tratamiento químico hace más fácil dosificación de los reactivos y mejora la confiabilidad y rendimiento del proceso.

### **Tanques de Homogenización**

Para prevenir el asentamiento de los sólidos sedimentables y asegurar el igualamiento adecuado los tanques de homogenización necesitan habitualmente mezcla. Es por ello que es necesario que las aguas residuales se encuentren en mezcla constante y continua.

#### **1.5.2.1.1 Cálculos de Diseño de un Tanque Homogenizador**

##### **a) Área del Homogenizador**

Utilizamos la Ecuación (22):

$$A_H = \frac{Q_{\text{Diseño}}}{C_S}$$

Dónde:

$A_H$  = Área del Tanque Homogenizador,

$Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Diseño ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$C_S$  = Carga superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$ )

### b) Diámetro del Tanque Homogenizador

Utilizamos la Ecuación (23):

$$\Phi_H = \sqrt{4 \times \frac{A_H}{\pi}}$$

Dónde:

$\Phi_H$  = Diámetro del Tanque Homogenizador, (m)

$A_H$  = Área del Tanque Homogenizador

### c) Volumen del Tanque Homogenizador

Utilizamos la Ecuación (24):

$$V_H = A_H \times H_H$$

Dónde:

$V_H$  = Volumen del Tanque Homogenizador, ( $\text{m}^3$ )

$A_H$  = Área del Tanque Homogenizador, (m)

$H_H$  = Altura del Tanque Homogenizador

### d) Número de Deflectores

Según bibliografía se recomienda 4 deflectores, dispuestos verticalmente en las paredes del tanque, desde el fondo y sobresaliendo por encima del nivel del líquido.

### e) Ancho de los Deflectores

Utilizamos la Ecuación (25):

$$W_B = \frac{1}{10} del \phi_H$$

Dónde:

$W_B$ = Ancho de los deflectores,

$\phi_H$ = Diámetro del Tanque Homogenizador, (m)

### Mezcla

La mezcla es una operación unitaria de gran importancia en el diseño y operación de plantas de tratamiento de agua residual. La mezcla de tratamiento se realiza con la finalidad de: la mezcla completa de aditivos químicos, mezcla de fluidos en reactores y tanques de almacenamiento y floculación.

La mezcla se realiza con la finalidad de homogenizar las sustancias químicas que se encuentren en el agua, esta operación es de gran importancia debido a que permite que el coagulante se disperse de una manera correcta en el agua mediante turbulencia, así tenemos:

- Tuberías de succión de bombas
- Canaletas Parshall
- Mezcladores mecánicos en línea
- Vertederos rectangulares

### Agitadores de Paletas

Está constituido por una o más series de brazos instalados sobre un eje vertical, cada serie puede llevar dos, tres o más paletas, de manera que entran en contacto con el agua, se utilizan por la sencillez con que se puede cambiar su longitud y número de paletas.

**f) Diámetro del Impulsor**

Utilizamos la Ecuación (26):

$$D_I = \frac{1}{3} \text{ del } \phi_H$$

Dónde:

$D_I$ = Diámetro del Impulsor

$\phi_H$ = Diámetro del Tanque Homogenizador, (m)

**g) Altura del Impulsor con respecto al fondo**

Utilizamos la Ecuación (27):

$$H_I = D_I$$

Dónde:

$H_I$ = Altura del Impulsor con respecto al fondo del tanque,(m)

$D_I$ = Diámetro del Impulsor, (m)

**h) Ancho de las palas del impulsor**

Utilizamos la Ecuación (28):

$$A_{PI} = \frac{1}{5} \text{ del } D_I$$

Dónde:

$A_{PI}$  = Ancho de las palas del impulsor, (m)

$D_I$ = Diámetro del Impulsor, (m)

**i) Longitud de las palas del impulsor**

Utilizamos la Ecuación (29):

$$L_{PI} = \frac{1}{4} \text{ del } D_I$$

Dónde:

$L_{PI}$ = Longitud de las palas del impulsor, (m)

$D_I$ = Diámetro del Impulsor, (m)

**j) Longitud de las palas del impulsor montadas en el disco central**

Utilizamos la Ecuación (30):

$$L_{DC} = \frac{L_{PI}}{2}$$

Dónde:

$L_{DC}$ = Longitud de las palas montadas en el disco central

**k) Diámetro del disco central**

Utilizamos la Ecuación (31):

$$S_{DC} = \frac{1}{4} \text{ del } \Phi_H$$

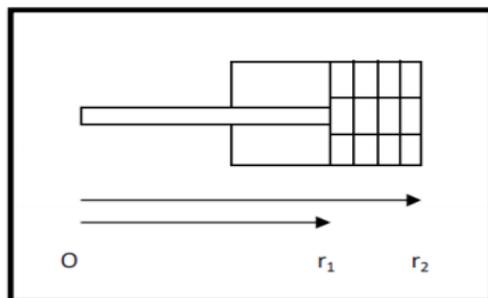
Dónde:

$S_{DC}$ = Diámetro del disco central, (m)

$\Phi_H$ = Diámetro del Tanque Homogenizador, (m)

**l) Espesor de las Palas**

Para calcular el espesor de las palas, podemos guiarnos en la siguiente figura:



**Figura 2-1** Paleta de agitador de paletas planas

**Fuente:** (ERAZO, 2011)

Para determinar el espesor de la paleta se considera la fuerza que ejerce el fluido sobre la parte trazada de la paleta. (Figura 2), esa fuerza se determina mediante la siguiente Ecuación (32):

$$F_D = \frac{C_D A \rho v_p^2}{2}$$

Dónde:

$F_D$ = Fuerza de resistencia del fluido sobre las paletas (N)

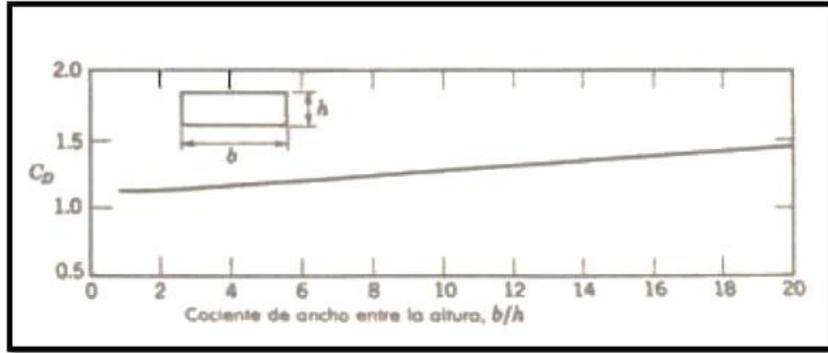
$C_D$ = Coeficiente de resistencia al avance de las paletas, está en función de las dimensiones de la paleta.

$A$  = Sección transversal de las paletas ( $m^2$ ) (área raspada de la paleta)

$\rho$  = Densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

$v_p$  = Velocidad relativa de las paletas con respecto al fluido. (m/s)

Para determinar  $C_D$ , se debe calcular la relación entre el ancho y la altura de la paleta. Usando la Figura. 3



**Figura 3-1**  $C_D$  vs Coeficiente de ancho entre la altura.

Fuente: (ERAZO, 2011)

En vista que el impulsor gira con velocidad angular constante ( $\omega$ ), la velocidad lineal varía con respecto al radio, por lo que se utiliza la siguiente Ecuación (33):

$$F_D = \frac{C_D \rho (\omega^2 r^2)(l \times r)}{2}$$

Dónde:

$l$  = Largo de las paletas (m)

$\omega$  = RPM

$r$  = Radio del impulsor (m)

A la Ecuación (32) se multiplica a ambos lados por  $dr$  e integrando los límites  $r_1$  y  $r_2$  de la figura 3 en donde se obtiene el valor del momento con respecto al punto por lo que se tiene la Ecuación (34):

$$\int_{r_1}^{r_2} F_D dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2 r^2)(l \times r) dr$$

Utilizamos la Ecuación (35):

$$M_O = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2 r^2) (l \times r) dr$$

Se reemplaza este momento en la fórmula de la flexión, hay que tomar en cuenta su resistencia a la fluencia del acero inoxidable AISI 304 es y se considera un factor de seguridad  $n=2$  por lo tanto, Ecuación (36):

$$S_y = \frac{n M_O \frac{e}{2}}{l}$$

Dónde:

I= Inercia

$M_O$  = Momento con respecto al punto O

e =Espesor (m)

n= Factor de seguridad

$S_y$ = Fluencia del acero inoxidable AISI 304

$$S_y = \frac{n M_O \frac{e}{2}}{\frac{l x e^3}{12}}$$

$$e = \sqrt{\frac{6 n M_O}{S_y l}}$$

Donde:

l = largo de la paleta

### **Potencia disipada en la mezcla**

Si aplicamos mayor energía al fluido habrá una mayor turbulencia, es decir la mezcla que obtendremos será mejor. La potencia disipada por unidad de volumen del líquido en la mezcla puede servir como parámetro para medir la eficiencia en la operación, así tenemos, Ecuación (37):

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Dónde:

P = Potencia necesaria (W)

G= Gradiente medio de velocidad (1/s ) Tabla 14-1.

$\mu$ = Viscosidad dinámica (N\*s/m<sup>2</sup>)

V = Volumen del tanque (m<sup>3</sup>)

### **m) Área de las Paletas**

Utilizamos la Ecuación (38):

$$A = \frac{2 \times P}{C_D \rho V^3}$$

#### **Datos:**

A= área de la sección transversal de las paletas (m<sup>2</sup>)

P= Potencia necesaria: 503,64 kgf/s

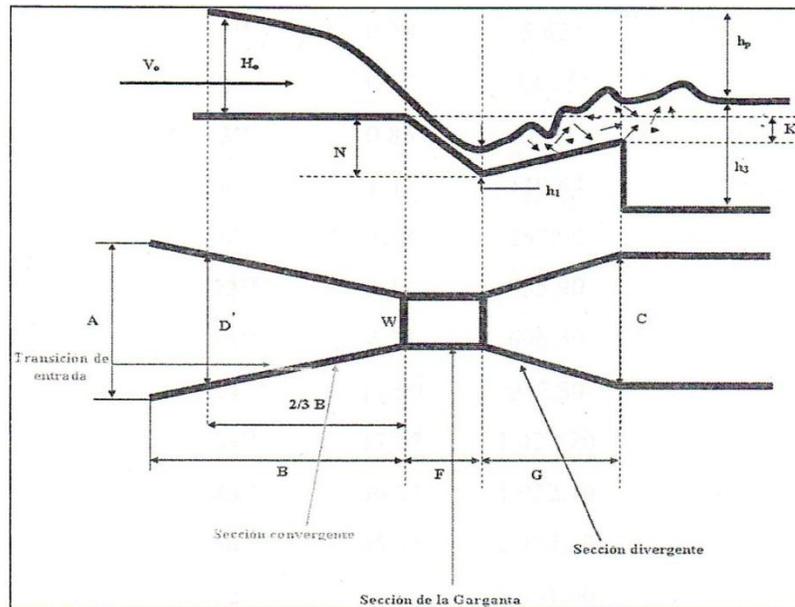
C<sub>D</sub>= Coeficiente de resistencia al avance de las paletas: 1,2

$\rho$  = Densidad del fluido: 1000kg/m<sup>3</sup>

V= velocidad relativa de las paletas con respecto al fluido (m/s), en general se asumen valores comprendidos entre 0,6 y 0,75 veces la velocidad tangencial de las paletas.

#### *1.5.2.2 Canaleta Parshall*

El también denominado Medidor Parshall, es una estructura hidráulica que desempeña un propósito de doble faz en las plantas de tratamiento, la primera es que nos sirve como medidor de caudales y el segundo propósito en la turbulencia que es generada a la salida de la canaleta, además nos sirve como punto de aplicación de coagulante.



**Figura 4-1** Dimensiones de la Canaleta Parshall

Fuente: (ARBOLEDA, 2000)

### 1.5.2.2.1 Cálculos de Diseño de la Canaleta Parshall

Para poder diseñar la canaleta Parshall como mezclador utilizo las siguientes ecuaciones:

#### a) Ancho de la Garganta

Sabiendo el caudal con el que vamos a diseñar la planta de tratamiento se decide el ancho de la garganta mediante la siguiente tabla:

**Tabla 9-1:** Determinación de W de la canaleta de Parshall en función del caudal

ANCHO W	LIMITES 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	1427.20
48"	36.81	1922.70
60"	45.31	2424.00
72"	73.62	2931.00

Fuente: (ROMERO, 2008)

## b) Altura del agua en la sección de medición

Utilizamos la Ecuación (39):

$$H_0 = K \times Q_{\text{Diseño}}$$

Dónde:

$H_0$ = Altura de Diseño (m)

$Q_{\text{Diseño}}$ = Caudal de Diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

K= constantes adimensionales

n= constantes adimensionales

**Tabla 10-1:** Valores de K y n según el tamaño de W

Ancho de la Garganta Parshall(w)		K	n
Pulgadas- Pies	Metros		
3"	0.075	3.704	0.646
6"	0.15	1.842	0.636
9"	0.2290	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,2012

**c) Ancho de la sección de medición D'**

Utilizamos la Ecuación (40):

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

Dónde:

D' = Ancho de agua en la sección de medición, (m)

D<sup>1</sup> = Dimensiones de la canaleta, (m) Tabla 11

W = Ancho de la garganta, (m)

**Tabla 11-1:** Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall

W		A	B	C	D <sup>1</sup>	E	F	G	K <sub>1</sub>	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	39.0	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'	152.3	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	213.0	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	174.5	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
10'	305	274.5	427.0	366.0	475.9	475	91.5	183.5	15.3	34.3

Fuente:CEPIS,2012

**d) Velocidad en la sección de Medición**

Utilizamos la Ecuación (41):

$$V_0 = \frac{Q_{Diseño}}{H_0 x D'}$$

Dónde:

$V_o$  = Velocidad en la sección de medición, (m/s).

$H_o$  = Altura de agua en la sección de medición, (m)

$D'$  = Ancho de agua en la sección de medición, (m)

$Q_{Diseño}$  = Caudal de Diseño ( $m^3/s$ )

### e) Carga Hidráulica Disponible

Utilizamos la Ecuación (42):

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

Dónde:

$E_o$  = 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 11-1

### f) Caudal específico en la garganta de la canaleta

Utilizamos la Ecuación (43):

$$Q_w = \frac{Q_{Diseño}}{W}$$

Dónde:

$Q_w$  = Caudal específico en la garganta de la canaleta, ( $m^3/sm$ )

$W$  = Ancho de la garganta, (m)

$Q_{Diseño}$  = Caudal de Diseño ( $m^3/s$ )

### g) Ángulo de Inclinación

Utilizamos la Ecuación (44):

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

Dónde:

$\Theta_p$ = Angulo de inclinación, (°)

$Q_w$ = Caudal específico en la garganta de la canaleta, (m<sup>3</sup>/ sm)

$g$  = gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$E_o$ = Carga hidráulica disponible, (m)

### h) Velocidad antes del resalto

Utilizamos la Ecuación (45):

$$v_1 = 2 \left( \frac{2 E_o x g}{3} \right)^{1.5} x \cos \left( \theta_p x \frac{\pi}{540} \right)$$

Dónde:

$v_1$ = Velocidad antes del resalto, (m/s)

$\Theta_p$ = Angulo de inclinación, (°)

$g$  = gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$E_o$ = Carga hidráulica disponible, (m)

### i) Altura de agua antes del resalto

Utilizamos la Ecuación (46):

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

Dónde:

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

$Q_w$  = Caudal de agua, ( $m^3/s$ )

$v_1$  = Velocidad antes del resalto, (m/s)

### **j) Número de Froude**

Utilizamos la Ecuación (47):

$$F = \frac{v_1}{(gh_1)^{0,5}}; 3 \geq F \geq 2$$

Dónde:

F = Numero de Froude, adimensional

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

g = gravedad ( $m/s^2$ )

$v_1$  = Velocidad antes del resalto, (m/s)

### **k) Altura del agua después Resalto**

Utilizamos la Ecuación (48):

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

Dónde:

$h_2$  = Altura de resalto

F = Numero de Froude, adimensional

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

### **l) Velocidad de Resalto**

Utilizamos la Ecuación (49):

$$v_2 = \frac{Q_{Diseño}}{h_2 \times W}$$

Dónde:

$v_2$ = velocidad del resalto, (m/s)

W = Ancho de la garganta, (m)

$Q_{Diseño}$ = Caudal de Diseño ( $m^3/s$ )

$h_2$ = Altura después del resalto

### **m) Altura en la sección de salida de la canaleta**

Utilizamos la Ecuación (50):

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

Dónde:

$h_3$ = Altura en la sección de salida de la canaleta, (m)

$h_2$ = Altura después del resalto, (m)

$K'$ = constantes adimensionales

N= constantes adimensionales

### **n) Velocidad en la sección de la salida**

Utilizamos la Ecuación (51):

$$v_3 = \frac{Q_{Diseño}}{C \times h_3}$$

Dónde:

$v_3$ = Velocidad en la sección de salida,(m/s)

$h_3$ = Altura en la sección de salida de la canaleta, (m)

$Q_{Diseño}$ = Caudal de Diseño ( $m^3/s$ )

C= Dimensiones de la canaleta, (m)

**o) Pérdida de carga en el resalto**

Utilizamos la Ecuación (52):

$$h_R = H_0 + K' + h_3$$

Dónde:

$h_R$  = Pérdida de carga en el resalto (m)

$h_3$  = Altura en la sección de salida de la canaleta, (m)

$K'$  = constantes adimensionales

$H_0$  = Altura del flujo de agua, (m)

**p) Tiempo de mezcla en el resalto**

Utilizamos la Ecuación (53):

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

Dónde:

$T$  = tiempo de mezcla en el resalto, (s)

$G'$  = Dimensión de la canaleta, (m)

$v_2$  = velocidad del resalto, (m/s)

$v_3$  = Velocidad en la sección de salida, (m/s)

**q) Gradiente de Velocidad**

Utilizamos la Ecuación (54):

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \left(\frac{h_R}{T}\right)^{0,5}$$

Dónde:

$G$  = Gradiente de velocidad, ( $s^{-1}$ )

T= tiempo de mezcla en el resalto, (s)

$h_R$  = Perdida de carga en el resalto (m)

$\sqrt{(\gamma/\mu)}$  = Relación peso específico y viscosidad absoluta Tabla 12-1

**Tabla 12-1:** Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta para el agua

TEMPERATURA °C	$\sqrt{(\gamma/\mu)}$
0	2336.94
4	2501.56
10	2736.53
15	2920.01
20	3114.64
25	3266.96

Fuente: (ROMERO, 2008)

### 1.5.2.3 Coagulación

Este proceso consiste en la desestabilización de las partículas coloidales, empleando coagulantes los mismos que neutralizan su carga eléctrica, y por lo tanto elimina coloides se debe tener en cuenta que un requisito primordial en la coagulación en el pH óptimo. Las aguas potables o residuales, en distintas cantidades, contienen material suspendido, sólidos que pueden sedimentar en reposo, o sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad.

#### Tipos de Coagulantes – Flocculantes

- **Sales de aluminio:** sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, Aluminato de Sodio. Policloruro de aluminio (polímero inorgánico de aluminio).
- **Sales de hierro:** cloruro de hierro (III), sulfato de hierro (III). Sulfato Ferroso.

- **Polímeros:** a base de sales de aluminio, a base de sales de hierro, sintéticos catiónicos, sintéticos aniónicos.
- **Poli electrólitos:** Como ayudantes de floculación.
- Cal.

**Poli-cloruros de aluminio (PAC):** Es un producto formado por una combinación de polímeros inorgánicos de hidróxido de cloruro de aluminio. No es explosivo, pero se debe evitar el contacto prolongado con la piel. No causa taponamiento de filtros y excluye los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua, por procesos de coagulación- floculación. No necesita de floculantes para la aglomeración de flocs.

### **Aplicación**

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

#### **1.5.2.3.1 Calculo de diseño para la correspondiente dosificación de Coagulante Dosificación del PAC**

Aforo de la solución del PAC que se utiliza en el día, se calcula a través de la Ecuación (55):

$$P_{PAC} = Q_{Diseño} \times Dosis\ PAC$$

Dónde:

$P_{PAC}$ = Cantidad de PAC kg/día

$Q_{Diseño}$ = Caudal de Diseño, (L/ día)

Dosis PAC= Utilizada en la prueba de jarras (g/L)

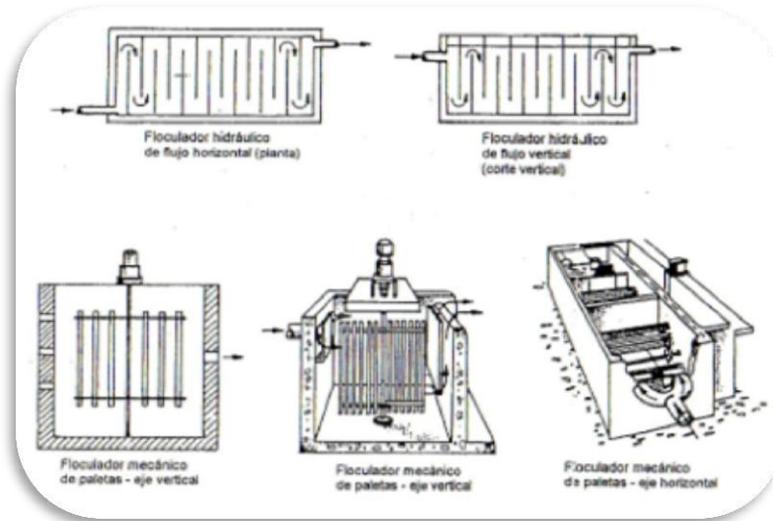
#### 1.5.2.4 Floculación

La Floculación se conoce como la aglutinación de partículas coloidales formando flóculos, los mismos que luego con la ayuda de la gravedad son sedimentados. Para que estos flóculos se formen se puede utilizar ciertos productos químicos denominados floculantes, lo que provoca que la densidad del floc aumente y caiga hacia el fondo.

La Floculación se puede dar mediante dos mecanismos: floculación ortocinética y pericinetica, según sea el tamaño de las partículas desestabilizadas. Las partículas pequeñas ( $< 1\mu\text{m}$ ) están sometidas a floculación pericinetica, es decir motivada por el movimiento browniano, mientras que las que presentan un tamaño mayor, están afectadas principalmente por el gradiente de velocidad del líquido, predominando en ella la floculación ortocinética. (RUIZ, 2010,p. 56-59).

#### **Tipos de Floculadores**

- ✓ **Floculadores Hidráulicos:** son de flujo horizontal y flujo vertical, los primeros son tanques de concreto divididos por tabiques o planchas de concreto con la finalidad que el agua realice un recorrido de ida y vuelta a los alrededores de los extremos libres de los tabiques; mientras que un floculador vertical el flujo de agua es de arriba hacia abajo con un recorrido por encima y por debajo.
  
- ✓ **Los Floculadores hidráulicos de flujo horizontal** generalmente son usados en plantas pequeñas de caudal menor a 50 L/s; los Floculadores verticales para plantas grandes se construyen a 2-3 m de profundidad. Las ventajas de usar Floculadores hidráulicos sobre los mecánicos se basa en el poco mantenimiento debido a la falta de equipos mecánicos, mientras que la desventaja de este tipo de Floculadores es la alta pérdida de carga entre 30-150 cm.
  
- ✓ **Floculadores mecánicos** en este tipo de Floculadores se asegura una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos siendo el más utilizado el agitador de paletas ya sea de eje horizontal o vertical dando un movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna, además existen impulsores de turbina y flujo axial; la velocidad es variable dentro del equipo debido a la calidad de agua a tratar.



**Figura 5-1** Tipos de Floculadores

Fuente: (ROMERO, 2008)

#### 1.5.2.4.1 Cálculos de Diseño de un Floculador Hidráulico de flujo Horizontal

Para el dimensionamiento de un Floculador Hidráulico Horizontal, se toma en cuenta la siguiente tabla:

**Tabla 13-1:** Parámetros de diseño de Floculadores

PARAMETRO	VALOR
Caudal de Diseño	< 50 L/s
Coeficiente 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 <sup>-1</sup>
Velocidad	0,08 – 0,22 m/s

Altura de agua	0,80 – 1,20 m
Espesor de la laminas	0,10 – 0,20 m

Fuente: (ROMERO, 2009)

a) **Longitud de canales**

Utilizamos la Ecuación (56):

$$L_{CF} = v_F \times t_{RF} \times 60$$

Dónde:

$L_{CF}$  = Longitud de canales, (m)

$t_{RF}$  = Tiempo de retención, (min)

$v_F$  = Velocidad del fluido, (m/s)

b) **Área de los canales del Floculador**

Utilizamos la Ecuación (57):

$$A_{CF} = \frac{Q_{Diseño}}{v_F}$$

Dónde:

$Q_{Diseño}$  = Caudal de Diseño, (m<sup>3</sup>/s)

$v_F$  = Velocidad de fluido, (m/s)

$A_{CF}$  = Área de los canales del Floculador, (m<sup>2</sup>)

c) **Ancho de canales de Floculación**

Utilizamos la Ecuación (58):

$$b_{CF} = \frac{A_{CF}}{H_{UF}}$$

Dónde:

$b_{CF}$  = Ancho de los canales del Floculador, (m)

$A_{CF}$  = Área de los canales del Floculador, (m<sup>2</sup>)

$H_{UF}$  = Altura de agua en la unidad, (m)

#### **d) Ancho de las vueltas de la Floculación**

El espacio que existe entre el extremo de la pantalla y la pared del tanque deberá ser igual a 1.5 veces el espacio entre pantallas. Ecuación (59).

$$b_{VF} = 1,5 \times b_{CF}$$

Dónde:

$b_{VF}$  = ancho de las vueltas de la Floculación, (m)

$b_{CF}$  = Ancho de los canales del Floculador, (m)

#### **e) Ancho del Floculador**

Utilizamos la Ecuación (60):

$$b_F = 3b_{LF} + b_{VF}$$

Donde:

$b_F$  = Ancho del floculador, (m)

$b_{LF}$  = Ancho util de la lamina, (m)

$b_{VF}$  = ancho de las vueltas de la floculación, (m)

#### **f) Número de Canales**

Utilizamos la Ecuación (61):

$$N_{CF} = \frac{L_{CF}}{b_F}$$

Donde:

$N_{CF}$ = Número de Canales, (unidad)

$L_{CF}$ = Longitud de canales, (m)

$b_F$ = Ancho del floculador, (m)

### g) Longitud del Floculador

Utilizamos la Ecuación (62):

$$L_F = (N_{CF} \times b_{CF}) + (N_{CF} - 1) \times e_1$$

Donde:

$L_F$ = Longitud del Floculador, (m)

$N_{CF}$ = Numero de canales, (unidad)

$b_{CF}$ = Ancho de los canales del Floculador, (m)

$e_1$ = Espesor del Floculador, (m)

### h) Pérdida de carga en las vueltas

Utilizamos la Ecuación (63):

$$h_{p1} = \frac{k_f \times v_F^2 \times (N_{CF} - 1)}{2 \times g}$$

Donde:

$h_{p1}$ = Pérdida de carga en las vueltas, (m)

$k_f$  = Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas, adimensional

$v_F$  = Velocidad de fluido, (m/s)

$N_{CF}$ = Número de canales, (unidad)

$g$  = Aceleración de la gravedad, (m/s<sup>2</sup>)

i) **Perímetro mojado de las secciones**

Utilizamos la Ecuación (64):

$$P_M = 2 H_{UF} + b_{CF}$$

Dónde:

$P_M$  = Perímetro Mojado, (m)

$H_{UF}$  = Altura de agua en la unidad, (m)

$b_{CF}$  = Ancho de los canales del Floculador, (m)

j) **Pérdida de carga en los canales**

Utilizamos la Ecuación (65):

$$hp_2 = SL = \left[ \frac{v_F \times n}{R^{2/3}} \right]^2 \times L_{CF}$$

Dónde:

$hp_2$  = Perdida de la carga en los canales, (m)

$v_F$  = Velocidad de fluido, (m/s)

$n$  = coeficiente de Manning, adimensional Tabla 5

$R$  = Radio Hidráulico

$L_{CF}$  = Longitud de canales, (m)

k) **Radio Hidráulico**

Utilizamos la Ecuación (66):

$$R = \frac{A_{CF}}{P_M}$$

Dónde:

$R$  = Radio Hidráulico

$A_{CF}$  = Área de los canales del Floculador, (m<sup>2</sup>)

$P_M$  = Perímetro Mojado (m)

### l) **Pérdida de Carga Total**

Utilizamos la Ecuación (67):

$$h_{F1} = hp_1 + hp_2$$

Dónde:

$h_{F1}$  = Pérdida de carga total, (m)

$hp_1$  = Pérdida de carga en las vueltas, (m)

$hp_2$  = Pérdida de la carga en los canales, (m)

### m) **Gradiente de Velocidad**

Utilizamos la Ecuación (68):

$$G_F = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{h_{F1}}{t_{RF}}}$$

Dónde:

$G_F$  = Gradiente de velocidad, ( $s^{-1}$ )

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

$\gamma$  = Peso específico del agua, ( $N/ m^3$ )

$\mu$  = Viscosidad dinámica del agua, ( $N s / m^2$ )

$t_{RF}$  = tiempo de mezcla en el resalto, (s)

**Tabla 14-1:** Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera

Temperatura °C	Densidad $\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	Peso específico $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Viscosidad dinámica $\mu 10^{-3}$ N s/ m <sup>2</sup>
15	999,1	9,798	1,139
17	998,8	9,795	1,081
18	998,5	9,793	1,053
19	998,4	9,791	1,027
20	998,2	9,789	1,002
25	997,0	9,777	0,890
30	995,7	9,764	0,708
40	992,2	9,730	0,653
50	988,0	9,689	0,547

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices,(2010)

#### 1.5.2.5 Sedimentación

La sedimentación es la remoción de los sólidos en suspensión en un fluido por la fuerza de la gravedad. Los sólidos pueden estar presentes en el agua, en su forma natural o de manera modificada, como resultados de procesos de floculación y coagulación. (RAS-2000, p.34-38)

#### ➤ Tipos de Clarificación del Agua por Sedimentación

Se pueden distinguir tres tipos de sedimentación en dependencia de las partículas que se deseen separar del agua: sedimentación de partículas discretas o sedimentación simple, sedimentación de partículas aglomeradas o sedimentación inducida, y sedimentación por zonas. En el primer caso se presenta en los desarenadores en el cual no implica ningún tipo de adición de coagulante es decir no existe cambio de densidad; el segundo proceso se da en los decantadores en el cual el agua ingresa coagulada y floculada previamente, es este caso se llamara sedimentación floculenta, en el tercer proceso las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total, presentando una interfase distinta con la masa líquida. (RAS-2000,p. 39-43)

## ➤ Clasificación de los Tanques de Sedimentación

Básicamente, existen tres tipos de tanques de sedimentación clasificados según el sentido del flujo, el tipo de clarificación que se genera, y el uso al que son destinados en las unidades de decantación:

**Tabla 15-1:** Clasificación de los Tanques de Sedimentación

Sentido del Flujo	Tipo de sedimentación	Carga Superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)	Ejemplo
Flujo Horizontal	1 y 2	200 – 420 15 – 30	Desarenadores
Flujo Vertical	2 y 3	45 – 60	Manto de Lobos
Flujo Ascensional	1 y 2	120 - 180	Decantadores con módulos o placas

Fuente: (ARBOLEDA, 2000)

### Sedimentador de Alta Tasa

El Sedimentador de alta tasa posee placas inclinadas lo cual favorece el proceso de sedimentación en diversas formas tales como: deslizamiento de lodos que se encuentran en las placas hacia la zona de lodos del sedimentados, facilita el lavado de las placas en el momento que este sea necesario, y las placas en esa posición son más fáciles de remover, en caso de que se necesite hacer mantenimiento.

#### 1.5.2.5.1 Cálculos de Diseño de un Tanque Sedimentador de Alta Tasa

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

Para el diseño se deberá calcular la carga superficial en el área de sedimentación. Se obtiene mediante la siguiente Ecuación (69):

$$V_{CS} = \frac{L_P}{t_{RP}}$$

Dónde:

$V_{CS}$  = 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 16-1:** Parámetros de Diseño de las placas planas de Asbesto-Cemento

PARAMETRO	VALOR
Longitud	1,20 m
Ancho	2,40 m
Espesor	0,01 m

Fuente: (ROMERO, 2008)

**Tabla 17-1:** Criterios de diseño para tanques de sedimentación laminar

PARAMETRO	VALOR
Tiempo de retención en las placas	15-25 min
Numero de Reynolds	< 500 (Fisherstrom) < 250 (Arboleda) < 200 (Montgomery) < 280 (Schulz y Okun)
Inclinación de la placa	60°
Distancia entre placas	5 cm
Profundidad	3 – 5 m
Pendiente del Fondo	> 2 %

Fuente: (ROMERO, 2008)

## b. Área de Sedimentación

Esta área de sedimentación la calculamos utilizando la siguiente Ecuación (70):

$$A_s = \frac{Q_{Diseño}}{V_{cs} \operatorname{sen} \theta}$$

Dónde:

$A_s$  = Área superficial de sedimentación acelerada, (m<sup>2</sup>)

$Q_{Diseño}$  = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h)

$V_{CS}$  = Carga superficial después de instalar las placas, (m/d)

$\Theta$  = Ángulo de Inclinación del elemento de sedimentación, (°)

### c. Longitud de Sedimentación:

Utilizamos la Ecuación (71):

$$L_{TS} = \frac{A_s}{b_s}$$

Donde:

$L_{TS}$  = Longitud de Sedimentación (m)

$A_s$  = Área superficial de sedimentación acelerada, (m<sup>2</sup>)

$b_s$  = Ancho del Sedimentador (m)

### d. Longitud Relativa del sedimentador de alta tasa

Utilizamos la Ecuación (72):

$$L_{RS} = \frac{L_p}{A_p}$$

Donde:

$L_{RS}$  = longitud relativa del sedimentador, adimensional

$L_p$  = Longitud de las Placas, (m)

$A_p$  = Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, (m)

### e. Longitud Relativa en la región de Transición

Utilizamos la Ecuación (73):

$$L' = 0,013 \times Re$$

Dónde:

$L'$  = Longitud relativa en la región de transición, adimensional

$Re$  = Numero de Reynolds, adimensional

### f. Longitud Relativa Corregida

La longitud relativa corregida en la longitud de transición del sedimentador se calcula con la siguiente Ecuación (74):

$$L_{RC} = 2 \times (L_{RS} - L') \quad \text{Si } L' > L_{RS}/2$$

Ó Ecuación (75):

$$L_{RC} = (L_{RS} - L') \quad \text{Si } L' \leq L_{RS}/2$$

Dónde:

$L_{RC}$  = Longitud Relativa Corregida, adimensional

$L'$  = Longitud relativa en la región de transición, adimensional

$L_{RS}$  = Longitud relativa del sedimentador, adimensional

### g. Velocidad de sedimentación Crítica

Utilizamos la Ecuación (76):

$$V_{CA} = \frac{S_C \times V_{CS}}{\text{sen } \theta + (L_{RC} \times \text{cos } \theta)}$$

Dónde:

$V_{CA}$  = Velocidad Crítica de asentamiento de sedimentación de alta tasa, (m/s)

$V_{CS}$  = Carga superficial después de instalar las placas, (m/d)

$\Theta$  = Ángulo de Inclinación del elemento de sedimentación, (°)

$L_{RC}$  = Longitud Relativa Corregida, adimensional

$S_C$  = Constante para cada tipo de modulo, adimensional

**Tabla 18-1:** Valores de  $S_C$  Típicos

TIPO DE MODULO	SC
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas onduladas	1,30
Otras formas tubulares	1,30 – 1,42

Fuente: (ROMERO, 2008)

#### h. Número de Reynolds

Utilizamos la Ecuación (77):

$$Re = \frac{V_{CS} \times A_P}{\nu}$$

Dónde:

Re = Número de Reynolds, adimensional

$V_{CS}$  = Carga superficial después de instalar las placas, (m/d)

$A_P$  = Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, (m)

$\nu$  = Viscosidad cinemática, (m<sup>2</sup>/s)

#### i. Viscosidad Cinemática

Utilizamos la Ecuación (78):

$$v = \frac{497 \times 10^{-6}}{(T + 42,5)^{1,5}}$$

Dónde:

$v$  = viscosidad cinemática, (m<sup>2</sup>/s)

$T$  = Temperatura de Agua, (°C)

#### **j. Tiempo de Retención en las placas**

Utilizamos la Ecuación (79):

$$t_{RH} = \frac{L_p}{V_{CS}}$$

Dónde:

$t_{RH}$  = Tiempo de retención (min)

$V_{CS}$  = Carga superficial después de instalar las placas, (m/d)

$L_r = L_p$  = Longitud recorrida a través del elemento, (m)

#### **k. Velocidad promedio de flujo entre las placas**

Utilizamos la Ecuación (80):

$$V_{PP} = \frac{Q_{Diseño}}{A_S \times \text{sen } \theta}$$

Dónde:

$V_{PP}$  = Velocidad promedio de flujo entre placas inclinadas, (m/s)

$Q_{Diseño}$  = Caudal de Diseño (m<sup>3</sup>/s)

$A_S$  = Área superficial de sedimentación acelerada, (m<sup>2</sup>)

$\theta$  = Angulo de Inclinación del elemento de sedimentación, (°)

## l. Número de placas por modulo

Utilizamos la Ecuación (81):

$$N_P = \frac{(L_{TS} \times \text{sen } \theta) + S_P}{S_P + e_P}$$

Dónde:

$N_P$ = Número de placas por modulo, (unidad)

$L_{TS}$ = Longitud de Sedimentacion (m)

$\theta$  = Angulo de Inclinación del elemento de sedimentación, (°)

$S_P$ = Separación entre placas, (m)

$e_P$ = Espesor de las placas, (m)

## m. Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

Utilizamos la Ecuación (82):

$$tr_s = \frac{V}{Q_{Diseño}} = \frac{A_S \times H_S}{Q_{Diseño}}$$

Dónde:

$tr_s$  = Tiempo de retencion en ele tanque de sedimentacion, (s)

$Q_{Diseño}$ = Caudal de Diseño ( $m^3/s$ )

$H_S$ = Altura total del sedimentador, (m) Valor Asumido

$A_S$ = Área superficial de sedimentación, ( $m^2$ )

## n. Volumen del Tanque Sedimentador

Utilizamos la Ecuación (83):

$$V_S = L_{TS} \times b_s \times H_S$$

Dónde:

$V_S$  = Volumen del Tanque Sedimentador ( $m^3$ )

$b_S$  = Ancho del Tanque Sedimentador (m)

$L_{TS}$  = Longitud del Tanque Sedimentador (m)

$H_S$  = Altura del Tanque Sedimentador (Valor Propuesto m)

### **1.5.3 Tratamiento Secundario**

#### **1.5.3.1 Filtración**

Un Filtro es conocido como un equipo de operaciones unitarias por medio del cual se realiza la filtración. Se denomina a la filtración como el proceso por el cual se retira la materia suspendida, o a su vez la separación de una mezcla que contiene sólidos y fluidos, el mismo incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso también llamado medio filtrante, este retiene la mayor parte de partículas sólidas que se encontraban en la mezcla. Este medio puede ser una tela, una pantalla, papel o un lecho sólido. El líquido que pasa a través del medio filtrante se conoce como filtrado.

#### **Tipos de filtración**

El tratamiento que se lleva a cabo utilizando medios granulares haciendo pasar el agua a través de ella y de esta manera retirar los contaminantes que posee el agua, como virus y bacterias etc.

Se puede distinguir varias clases de filtración:

- Filtración convencional
- Filtración directa
- Filtración con tierra diatomácea
- Filtración lenta con arena
- Filtración con bolsa o cartucho
- Filtración de cerámica
- Filtración biológica con arena

## Filtración con Zeolita

Las zeolitas naturales son minerales aluminosilicatos microporosos que se destacan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse reversiblemente, son un medio filtrante nuevo y muy bueno disponible para la filtración del agua. Las zeolitas son aluminosilicatos con cavidades de dimensiones moleculares de 3 a 10 angstrom. Estas ofrecen una actividad superior a los filtros de carbón y arena, posee alta tasa de rendimiento sin necesidad de mucho mantenimiento. Tiene muchas ventajas sobre la arena y puede ser directamente reemplazado por la arena en un filtro normal de arena.

Los usos de la zeolita en la industria son:

- **Catálisis:** Zeolitas son extremadamente útiles como catalizadores para muchas reacciones importantes con moléculas orgánicas. Las más importantes son craqueo, isomerización y síntesis de hidrocarburos.
- **Absorción:** Las zeolitas se usan para la absorción de una gran variedad de materiales. Esto incluye aplicaciones en secado, purificación y separación. Pueden remover agua a presiones parciales muy bajas y son unos desinfectantes muy efectivos.
- **Intercambio de iones:** Cationes hidratados dentro de los poros de la zeolita están unidos débilmente y preparados para intercambiarse con otros cationes cuando se encuentran en un medio acuoso. (LENNTECH,2014,p.2-3)

### 1.5.3.1.1 Calculo para el dimensionamiento de un sistema de Filtración

Podemos identificar a la filtración como proceso por el cual se identifica la velocidad con la que atraviesa el manto poroso o filtrante, medida como carga superficial

#### a) Área del Filtro

Utilizamos la Ecuación (84):

$$A_F = \frac{Q}{V_{FL}}$$

Dónde:

$A_F$  = Área de filtración, (m<sup>2</sup>)

$Q$  = Caudal de Diseño (m<sup>3</sup>/h)

$V_{FL}$  = Velocidad de Filtración, (m/h)

### b) Número de módulos de filtración

Utilizamos la Ecuación (85):

$$N_{MF} = 0,5 \times \sqrt[3]{A_F}$$

Dónde:

$N_{MF}$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$A_F$  = Área de filtración, (m<sup>2</sup>)

### c) Área para cada unidad

Utilizamos la Ecuación (86):

$$A_U = \frac{A_F}{N_{MF}}$$

Dónde:

$A_U$  = Área de cada unidad, (m<sup>2</sup>)

$N_{MF}$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$A_F$  = Área de filtración, (m<sup>2</sup>)

**Tabla 19-1:** Parámetros de diseño de filtros

PARAMETRO	VALOR
Tasa de filtración	1,2 – 3,7 m/s 2- 150 m/d (Valor típico 120 m/d)
Medio	Zeolita

Altura del agua sobre el lecho	1 – 1,5 m
Profundidad del medio	0,60 – 1 m
Profundidad de Grava	0,30- 0,45 m
Tamaño efectivo del medio	0,35 – 0,70 mm (Valor típico 0,5 mm)
Coefficiente de uniformidad	1,8 – 2,0
Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje	0,4 – 0,7 m
Tiempo de lavado	5 -15 min

Fuente: (ROMERO, 2008)

#### d) Dimensiones del filtro

Para determinar el ancho y la longitud de cada unidad, se realiza los siguientes cálculos:

1. Cálculo de la longitud de la pared común por unidad, Ecuación (87):

$$L_{FU} = \left( \frac{2 \times N_{MF} \times A_{IF}}{2 \times N_{MF}} \right)^{0,5}$$

Dónde:

$L_{FU}$  = Longitud de la pared común por unidad, (m)

$N_{MF}$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$A_{IF}$  = Área de filtración, (m<sup>2</sup>)

2. Cálculo del ancho de la unidad, Ecuación (88):

$$b_{FU} = \left[ \frac{(N_{MF} + 1) \times A_{IF}}{2 \times N_{MF}} \right]$$

Dónde:

$b_{FU}$  = Ancho de la unidad de Filtración, (m)

$N_{MF}$ = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$A_{IF}$  = Área de filtración, (m<sup>2</sup>)

3. Longitud de la Pared, Ecuación (89):

$$L_{TP} = (2 \times b_{FU} \times N_{MF}) + L_{FU} \times (N_{MF} + 1)$$

Dónde:

$L_{TP}$ = Longitud total de la pared; (m)

$b_{FU}$ = ancho de la unidad de Filtración, (m)

$N_{MF}$ = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$L_{FU}$ = Longitud de la pared común por unidad, (m)

4. Longitud total mínima de pared, Ecuación (90):

$$L_{TM} = 2 \times L_{FU} \times (N_{MF} + 1)$$

Dónde:

$L_{TM}$ = Longitud total mínima de la pared; (m)

$N_{MF}$ = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$L_{FU}$ = Longitud de la pared común por unidad, (m)

5. Altura del Filtro, Ecuación (91):

$$Z_F = H_{CA} + H_{LF} + H_{CS} + H_D$$

Dónde:

$Z_F$ = Altura del filtro, (m)

$H_{CA}$ = Altura de la capa de agua, (m)

$H_{LF}$ = Altura del Lecho Filtrante, (m)

$H_{CS}$ = Altura de la capa de soporte, (m)

$H_D$ = Altura de drenaje, (m)

e) Sistema de Drenaje

Los parámetros con los que se diseña el sistema de drenaje se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 20-1:** Parámetros de diseño para drenaje por tuberías

PARAMETRO	VALOR
Velocidad máxima en el distribuidor	0,3 m/s
Velocidad máxima en los laterales	0,3 m/s
Área del lecho	(1,5 a 5) x 10 <sup>-3</sup>
Área principal	1,5 a 3
Área de orificios servida por el lateral	2 a 4

Fuente: SILVA, M. 2002

1. Área de orificios laterales, Ecuación (92):

$$A_{CO} = \frac{\pi \times D_O^2}{4}$$

Dónde:

A<sub>CO</sub>= Área de cada orificio, (m<sup>2</sup>)

D<sub>O</sub>= Diámetro de los orificios, (m)

2. Caudal que ingresa a cada orificio, Ecuación (93):

$$Q_I = A_{CO} \times V_{OF}$$

Dónde:

$Q_I = Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Ingreso, (m<sup>3</sup>/s)

$A_{CO}$  = Área de cada orificio, (m<sup>2</sup>)

$V_{OF}$  = Velocidad en el orificio, (m/s)

3. Numero de laterales, Ecuación (94):

$$N_L = N_{LF} \times \frac{L_{TP}}{S_{EL}}$$

Dónde:

$N_L$  = Número de laterales, adimensional

$N_{LF}$  = Número de laterales por lado; (m)

$L_{TP}$  = Longitud total del filtro, (m)

$S_{EL}$  = Separación entre laterales, (m)

**Tabla 21-1:** Parámetros de diseño de laterales

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

Fuente: (ARBOLEDA, 2000)

4. Separación entre orificios, Ecuación (95):

$$S_o = \frac{\# \text{ orificios}}{\text{laterales}} = 2 \times \frac{L_{CL}}{e_o}$$

Dónde:

$L_{CL}$  = Longitud de cada lateral, (m)

$e_o$  = Espacio entre orificios, (m)

$S_o$  = Separación entre orificios, adimensional

Nota: La separación entre orificios se multiplica por 2 debido a que se realiza 2 orificios en la misma vertical formando  $60^\circ$  entre sí.

5. Número total de orificios, Ecuación (96):

$$N_o = \# \text{ total de orificios} = N_L \times S_o$$

Dónde:

$N_o$  = Número total de orificios, adimensional

$N_L$  = Número de laterales, adimensional

$S_o$  = Separación entre orificios, adimensional

6. Área total de orificios, Ecuación (97):

$$A_{TO} = A_{CO} \times N_o$$

Dónde:

$A_{TO}$  = Área total de orificios, ( $m^2$ )

$A_{CO}$  = Área de cada orificio, ( $m^2$ )

$N_o$  = Número total de orificios, adimensional

7. Diámetro de tubería de entrada al filtro, Ecuación (98):

$$D_T = \sqrt{\frac{4 Q_I}{v \times \pi}}$$

Dónde:

$D_T$  = Diámetro de la Tubería, (m)

$Q_I = Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Ingreso, ( $m^3/s$ )

$v$  = Velocidad de la Tubería, (m/s)

#### 8. Diámetro de la tubería de salida del filtro

La tubería de salida del filtro se lo diseña en base a los criterios de velocidad mediante la siguiente Ecuación (99):

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{4 \times Q_I}{v_S \times \pi}}$$

Dónde:

$D_{TS}$  = Diámetro de la tubería de salida del agua del filtro, (m)

$Q_I = Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Ingreso, ( $m^3/s$ )

$v_S$  = Velocidad del agua a través de la Tubería de salida, (m/s)

**Tabla 22-1:** Velocidad de Diseño para tuberías del filtro

PARAMETRO	VELOCIDAD m/s
Afluente	0,15 – 3
Efluente	0,4 – 0,9

Fuente: (ROMERO, 2009)

#### 1.5.3.1.2 Cálculo del tiempo y volumen de la solución de lavado para el filtro

1. Cálculo de la velocidad de lavado, Ecuación (100):

$$V_{LF} = C_U \times T_E$$

Dónde:

$C_U$  = Coeficiente de uniformidad de la zeolita (adimensional)

$T_E$  = Tamaño efectivo de la zeolita.

2. Cálculo del tiempo de lavado, Ecuación (101):

$$2,303 \frac{L}{kq} = \frac{\theta}{\log_{c_0} - \log_c}$$

Dónde:

$k$  = constante característica; (0,3 – 0,5)

$L$  = espesor de la torta

$C_0$  = turbidez de inicio

$C$  = turbidez final

3. Cálculo del volumen de lavado, Ecuación (102)

$$V_{LV} = V_{LF} \times A_F \times \theta$$

Dónde:

$V_{LF}$  = Velocidad de lavado

$A_F$  = Área del filtro

$\theta$  = tiempo de lavado

### 1.5.3.1.3 Análisis de la resina

1. Cálculo de granos de la resina, Ecuación (103):

$$\frac{G_{RS}}{d} = Q \times D$$

Dónde:

$Q$  = Caudal de diseño

2. Volumen de la Resina, Ecuación (104):

$$V_{RS} = \frac{G_{RS}}{30000}$$

3. Cantidad de la Resina, Ecuación (105):

$$C_{RS} = V_{RS} \times \rho_{RS}$$

Dónde:

$V_{RS}$  = Volumen de la resina

$\rho_{RE}$  = Densidad de la resina

4. Volumen del Tanque de Salmuera, Ecuación (106):

$$V_{TS} = \pi \times r^2 \times h$$

Dónde:

r= Radio del tanque de salmuera

h= Altura del tanque (Valor asumido 2,50 m)

5. Ciclo de Regeneración, Ecuación (107):

$$C_{RG} = \frac{\frac{G_{RS}}{d}}{V_{RS} \times 1000}$$

Dónde:

$V_{RS}$  = Volumen de la resina

Para poder calcular el tiempo de regeneración de la resina utilizamos la Ecuación (108):

$$T_{RG} = \frac{C_{CR} \times E_{RS}}{C_{RG}}$$

Dónde:

$C_{CR}$  = Capacidad total de la resina

$E_{RS}$  = Eficiencia de la resina

$C_{RG}$  = Ciclo de regeneración

## **1.6 Norma para el Tratamiento del Agua Residual**

Para la caracterización del agua residual y calidad del efluente que se descarga al Río Chambo, se regirá la presente investigación a la normativa emitida por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria “TULAS”. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua Libro VI, Anexo 1, Tabla 12. La razón de la aplicación de ésta norma se justifica en que en la parroquia San Antonio de Bayushig, no existe una normativa, ordenanza o ley que regule la descarga de agua residual. ANEXO A.

Dado que el 15 de Febrero de 2015 se actualizo la norma, también la utilizamos como referencia ya que ciertos valores de los parámetros comparados cambiaron. ANEXO B.

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

La metodología que se describe a continuación en este capítulo se basa principalmente en las etapa de investigación para el desarrollo del proyecto, se inicia con la caracterización del agua residual, para posteriormente ejecutar las diversas pruebas de tratabilidad, y de esta manera finalmente proyectar el diseño y realizar el dimensionamiento del mismo.

#### 2.1. Localización de la Investigación

##### 2.1.1 Localización geográfica

**Región:** Sierra

**Provincia:** Chimborazo

**Cantón:** Penipe

**Parroquia:** San Antonio de Bayushig

##### 2.1.2 Macrolocalización



**Figura 1-2** Localización del Cantón Penipe dentro de la Provincia de Chimborazo

**Fuente:** Foros Ecuador

### 2.1.3 Localización de la Parroquia San Antonio de Bayushig

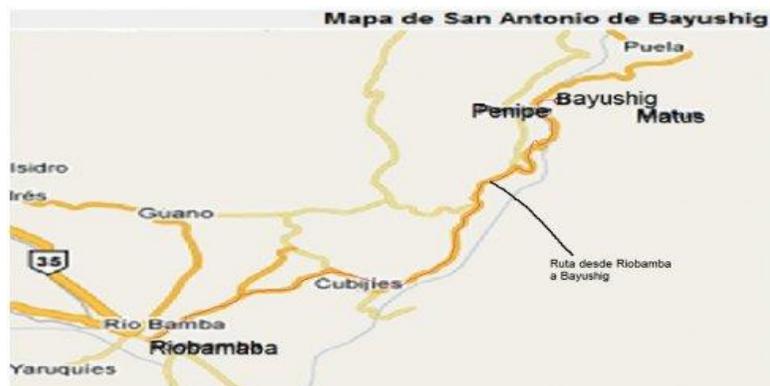
La parroquia San Antonio de la Bayushig se encuentra ubicada en el Cantón Penipe perteneciente a la Provincia de Chimborazo, tiene una superficie de 3,90 km<sup>2</sup> y una densidad poblacional 282.30, se sitúa entre los 2.800 metros de altura.



**Figura 2-2** Ubicación de la Parroquia San Antonio de Bayushig dentro del Cantón Penipe

Fuente: Municipio de Penipe

### 2.1.3 Microlocalización



**Figura 3-2** Mapa San Antonio de Bayushig

Fuente: Junta Parroquial San Antonio de Bayushig

## **2.2 Metodología**

Durante la investigación, se trató de manejar diferentes medidas de corrección. Para ello, se dio mayor importancia al lugar de captación donde todas las aguas servidas se acumulaban frecuentemente, es decir los tanques recolectores.

### ***2.2.1 Medición de Caudales***

Consideramos el Método Volumétrico como método más óptimo para la medición del caudal de las descargas domésticas de la Parroquia San Antonio de Bayushig. Este método se usa cuando la descarga presenta una caída de agua en la cual se pueda interponer un recipiente de volumen conocido (de 10 a 20 L) y con graduaciones de 1L, tomándose el tiempo de llenado del recipiente y obteniéndose el caudal por medio de cálculos aplicando la ecuación.

La parroquia San Antonio de Bayushig cuenta con dos puntos de descarga de las aguas residuales siendo estos los dos tanques recolectores ubicados en Colaitus.

Cabe recalcar que a pesar de haber realizado la medición de nuestro caudal, nos fue proporcionado un valor por la Junta Parroquial de San Antonio de Bayushig como más óptimo para realizar los cálculos de diseño.

### ***2.2.2 Metodología de Trabajo***

Los análisis Físicos – Químicos y Microbiológicos se realizaron en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Se recogió 16 muestras compuestas durante 4 semanas, estas muestras fueron recolectadas, conservadas en un cooler para que de esta manera no varíen sus características y luego fueron trasladadas al laboratorio el siguiente día en un periodo de 12 horas y de esta manera obtener resultados reales de la caracterización e identificar los parámetros fuera de norma en el TULAS, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI, Anexo 1, Tabla 12.

### 2.2.3 Tratamiento de las Muestras

Una vez recolectadas las muestras para los análisis correspondientes tanto físico-químicos como microbiológicos, se procede a realizar cada uno de ellos, en el caso de los análisis físico-químicos mencionaremos los análisis que consideramos de mayor importancia siendo estos: pH, conductividad, turbiedad, sólidos disueltos, sólidos sedimentales, sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub>, DQO, sulfuros, sulfatos, nitritos, nitratos, además se analizó en un laboratorio exterior CESTTA los siguientes parámetros: Aceites y Grasas, Tensoactivos, Sulfuros y Nitrógeno Total. También se realizó la caracterización microbiológica en el laboratorio SAQMIC: Coliformes totales y Coliformes fecales.

Además de todos los análisis antes mencionados tomamos en cuenta otros parámetros debido a la localización de la parroquia, dado que la misma se ha visto afectada por la ceniza del volcán Tungurahua hemos considerado prudente analizar si en el agua residual de la Parroquia San Antonio de Bayushig se encuentre algún residuo de la composición de la ceniza del volcán, en la siguiente tabla se muestra la composición de la ceniza del volcán.

**Tabla 1-2:** Ceniza Volcánica del Volcán Tungurahua Composición Química

COMPUESTO	VALOR REFERENCIAL	MUESTRA 2-NOV-1999	MUESTRA 7-NOV-1999	MUESTRA 13-NOV-1999
<i>SiO<sub>2</sub></i>	64.09	58.5	58.3	58.4
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	16.85	17.3	17.1	17.1
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	2.07	6.81	7	6.91
<i>MgO</i>	2.58	3.68	4.04	3.92
<i>CaO</i>	5.17	6.58	6.6	6.52
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	4.46	4.04	3.87	3.93
<i>K<sub>2</sub>O</i>	1.5	1.71	1.68	1.7
<i>TiO<sub>2</sub></i>	0.5	0.89	0.87	0.88
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0.19	0.35	0.33	0.34
<i>MnO</i>	0.10	0.10	0.11	0.11
<i>LOI</i>	0.38	0.49	0.49	0.04

**Fuente:** Instituto Geofísico EPN; USGS, Vancouver, WA, 2010

Como podemos observar en la tabla anterior cada uno de los compuestos de la ceniza volcánica se encuentra en forma de óxidos, y si nos referimos al TULAS, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI, Anexo 1, Tabla 12; podemos notar que no tenemos parámetros para hacer la debida comparación y observar si se encuentran fuera de los límites

permisibles, es por ello que hemos decidido analizar: Hierro, y Manganeseo que son los parámetros que se asemejan un poco a la composición de la ceniza volcánica y tenemos norma para compararlos.

## **2.3 Muestreo**

### ***2.3.1 Recolección de la Información***

Para recolectar las muestras de agua residual se escogió un muestreo del tipo compuesto en función del caudal. Se recolectó una muestra compuesta con un volumen final de 5 litros conformados por cuatro muestras puntuales tomadas en un período de dos horas, estas muestras fueron tomadas según la variación de días, en la mañana-noche, y en la tarde-noche, para de esta manera tratar de abarcar todas las horas del día.

Las muestras se recolectaron en botellas plásticas limpias de 6 L y en frascos estériles de 150 mL para los análisis microbiológicos.

El muestreo de las aguas de descarga se lo realizó mediante el método :  
APAHA/AWWA/WEF Standard Methods NO 1060 DIN 38402 (serie A11 – A22).

Podemos observar las fotos del muestreo realizado en el ANEXO C.

### ***2.3.2 Transporte y manipulación de muestras***

Para realizar un adecuado transporte de las muestras se utiliza un cooler que es un sistema de refrigeración lo que nos ayuda a mantener la muestra de una manera adecuada, y se deja libre un 10 al 15 % del volumen total del recipiente para evitar pérdidas o derrames del mismo.

## **2.4 Métodos y Técnicas**

### ***2.4.1 Métodos***

**Tabla 2-2: Métodos de Análisis de Aguas**

Parámetro	Método	Descripción
pH	Electrométrico	Utilización del pHmetro.
Conductividad	Electrométrico	Utilización del conductímetro.
Turbiedad	Nefelométrico	Utilización del turbidímetro.
Sulfatos	Espectrofotométrico	Utilización de equipo HACH
Nitritos	Espectrofotométrico	Utilización de equipo HACH
Nitratos	Espectrofotométrico	Utilización de equipo HACH
Hierro	Espectrofotométrico	Utilización de equipo HACH
Fosfatos	Espectrofotométrico	Utilización de equipo HACH
Sólidos Totales Disueltos	Electrométrico	Utilización del electrodo de cristal adecuado para la lectura de sólidos totales disueltos.
Microbiológicos (Coliformes totales y Coliformes fecales)	Sembrado	Esterilizar el equipo microbiológico de filtración por membranas, sembrar y tomar la lectura a las 24 horas y realizar el conteo de las colonias si las hubiere.

Fuente: Técnicas del Laboratorio de Análisis Técnicos

#### 2.4.2 Técnicas

Las técnicas utilizados, se basan en el manual “Standar Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales); y el manual de Métodos HACH.

Podemos observar las técnicas utilizadas en la siguiente tabla:

**Tabla 3-2: Técnicas Análisis de Agua**

PRUEBA	TECNICA
Potencial de Hidrogeno pH	STANDARD METHODS *4500 HB
Conductividad	STANDARD METHODS *2510
Turbidez	STANDARD METHODS *2130 B
Demanda Química de Oxígeno DQO	HACH* MÉTODO 8000
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO	STANDARD METHODS *5220-B
Nitratos	HACH* MÉTODO 8039
Hierro	HACH* MÉTODO 8008
Sulfatos	HACH* MÉTODO 8051
Contaminación Microbiológica:	STANDARD METHODS *36013-B

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17 & \*HACH MODEL DR/4000V

## 2.5 Datos Experimentales

### 2.5.1 Caracterización Inicial de las aguas residuales.

**Tabla 4-2:** Análisis Físico – Químico del Agua Residual de la Parroquia

DETERMINACION	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	PROMEDIO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
TENSOACTIVOS	mg/L	2,40	2,38	4,42	2,41	2,40	0,5
ACEITES Y GRASAS	mg/L	<2	<2	<2	<2	<2	0,3
NITROGENO TOTAL	mg/L	25,80	25,49	25,56	25,95	25,80	15
SULFUROS	mg/L	>9,9	>9,9	> 9,9	>9,9	9,9	0,5
DBO	mg/L	551	502	629	596	560,67	100
DQO	mg/L	1087	883	1069	986	1013	250
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	320	330	448	380	366	*
SOLIDOS SEDIMENTALES	mL/L	9	9	10	8	9	1,0
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	42	46	44	48	44	100
SULFATOS	mg/L	59	58	55	56	57,333	1000
TEMPERATURA	°C	20	20	20	20	20	<35
POTENCIAL DE HIDROGENO	pH	5,82	5,53	5,66	5,60	5,67	5-9
TURBIDEZ	UNT	167	109	120	140	132	*
CONDUCTIVIDAD	µs	755	843	960	852	852,66	*
NITRITOS	mg/L	0,28	0,22	0,45	0,38	0,34	*
NITRATOS	mg/L	0,48	0,4	0,5	0,42	0,45	*
NITRITOS + NITRATOS	mg/L	0,68	0,62	0,95	0,8	1,57	10,0
HIERRO	mg/L	1,22	1,16	1,4	1,30	1,28	10,0
MANGANESO	mg/L	0,109	0,072	0,112	0,086	0,092	2,0

Fuente: LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS, 2015

**Tabla 5-2:** Análisis Microbiológico del Agua Residual de la Parroquia

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	PROMEDIO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
<b>COLIFORMES TOTALES</b>	UCF/100ml	7,3X10 <sup>5</sup>	6,9 X10 <sup>5</sup>	7,2X10 <sup>5</sup>	7,0X10 <sup>5</sup>	7,3X10 <sup>5</sup>	*
<b>COLIFORMES FECALES</b>	UFC/100ml	5,6X10 <sup>5</sup>	5,5X10 <sup>5</sup>	5,8X10 <sup>5</sup>	5,4X10 <sup>5</sup>	5,6X10 <sup>5</sup>	2000

Fuente: SAQMIC, Servicios Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos, 2015

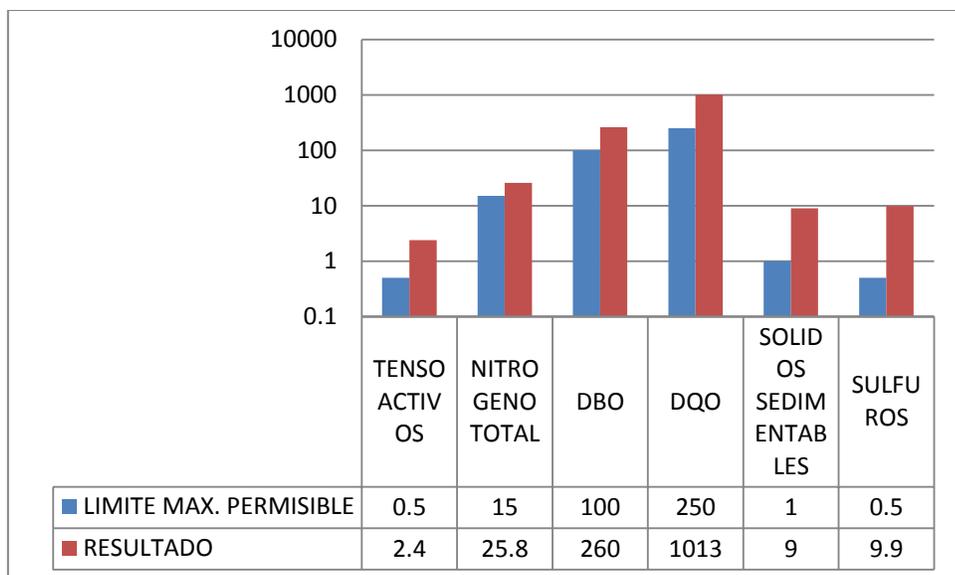
### 2.5.2 Parámetros Fuera De Norma

Una vez que se ha realizado la caracterización del agua residual de la Parroquia San Antonio de Bayushig se compara los valores obtenidos en los análisis, con los límites máximos permisibles, que se encuentran en el TULAS, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI, Anexo 1, Tabla 12, de esta manera pudimos determinar que 6 de los 17 parámetros físico-químicos analizados se encuentran fuera de norma y estos son: Tensoactivos, Nitrógeno Total, Sulfuros, DBO, DQO, Sólidos Sedimentables. Además podemos observar los resultados de los análisis en el Anexo D.

**Tabla 6-2:** Parámetros físico-químicos fuera de Norma

Parámetro	Unidad	Límite Max. Permisible	Resultado
Tensoactivos	mg/L	0,5	2,40
Nitrógeno Total	mg/L	15	25,80
DBO	mg/L	100	560,67
DQO	mg/L	250	1013
Sólidos Sedimentables	mL/L	1,0	9
Sulfuros	mg/L	0,5	9,9

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña



**Figura 4-2** Parámetros físico-químicos fuera de Norma

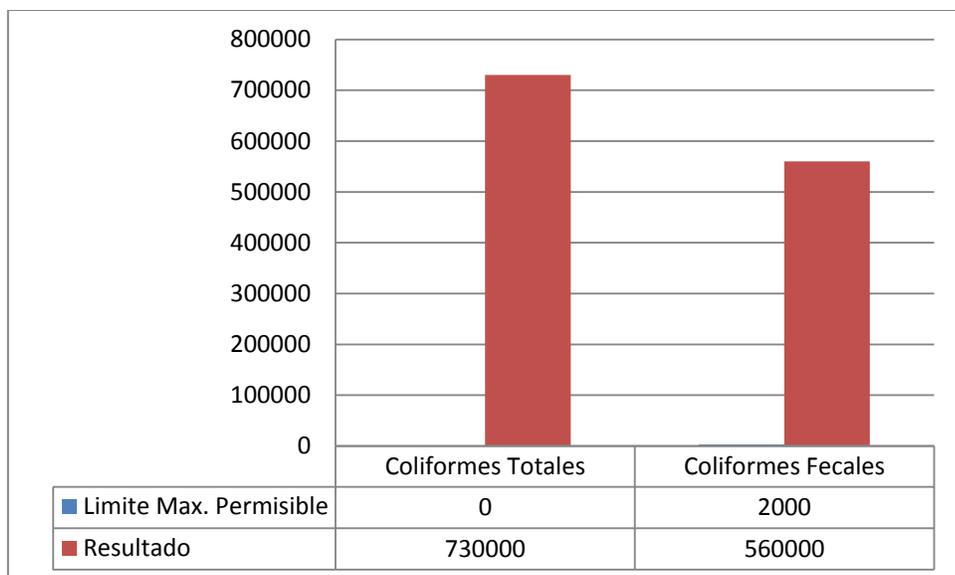
**Realizado por:** Mónica Marcela Parra Lamiña

En cuanto al análisis microbiológico de los 2 parámetros analizados, los dos están fuera de norma y estos son: Coliformes totales y Coliformes fecales

**Tabla 7-2:** Parámetros Microbiológicos Fuera de Norma

Parámetro	Unidad	Limite Max. Permissible	Resultado
Coliformes totales	UCF/100ml	-	$7,3 \times 10^5$
Coliformes fecales	UCF/100ml	2000	$5,6 \times 10^5$

**Realizado por:** Mónica Marcela Parra Lamiña



**Figura. 5-2** Parámetros Microbiológicos Fuera de Norma

Realizado por : Mónica Marcela Parra Lamiña

## 2.6 Pruebas de Tratabilidad

### 2.6.1 Prueba de Jarras- Coagulación

Después de haber realizado todas las pruebas de caracterización tanto físico-químicos como microbiológicos, determinar la calidad de agua y de esta manera observar cuales son los parámetros se encuentran fuera de norma, se procede a dar tratamiento al agua residual, mediante diferentes pruebas de tratabilidad, iniciando con la prueba de Jarras ya que con dicha prueba se controlan varios de los parámetros que se encuentran fuera de norma.

La Prueba de Jarras se realizó en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad Ciencias, se utilizó Policloruro de Aluminio al 10% para disminuir la cantidad de DBO, DQO y además clarificar el agua.

Se dio una dosificación del Policloruro de Aluminio de 10 g diluido en 100 ml de agua destilada.

Para que el PAC actué de la manera adecuada sobre la muestra a tratar es recomendable que la muestra se encuentre en un pH comprendido entre 8-9, es por ello que primero ajustamos el pH de la muestra de 5,67 a 8,17 con 1mL de NaOH 1N por cada 1 litro de muestra.

Procedemos a realizar la prueba de jarras haciendo pruebas con esta dilución con volúmenes de 1 ml, 2 ml, 3 ml y 4 ml, siendo la muestra que se adicionó el 1 ml de dilución de Policloruro de aluminio que diera buenos resultados como observamos en la siguiente tabla:

**Tabla 8-2:** Prueba de Jarras # 1

Volumen de PAC	1mL	2mL	3mL	4mL
pH inicial	8,10	8,10	8,10	8,10
Turbidez inicial	155	155	155	155
pH Final	7,05	6,92	6,40	5,92
Turbidez Final	1,77	2,60	3,62	3,78

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña

Como podemos observar en la Tabla 8-2, con 1mL de PAC obtuvimos un mejor resultado en cuanto a la turbidez, es por ello que decidimos elaborar un rango más específico para saber la dosificación exacta que necesitaremos de PAC.

**Tabla 9-2:** Prueba de Jarras # 2

Volumen de PAC	0,5mL	1mL	1,5mL
pH inicial	8,10	8,10	8,10
Turbidez inicial	155	155	155
pH Final	7,12	7,02	6,91
Turbidez Final	8,20	2,53	1,51

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña

De esta manera podemos darnos cuenta que la dosificación más adecuada es 1,5mL de Policloruro de aluminio por cada litro de muestra.

### 2.6.1.1 Eficiencia de Remoción con la prueba de Jarras

Para determinar la eficiencia que tuvo la prueba de jarras en nuestra muestra tratada procedemos a realizar la eficiencia de remoción para cada parámetro que se encuentra fuera de norma, mediante la Ecuación (109):

$$E_R = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100$$

Dónde:

**E<sub>R</sub>**: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes (%)

**S**: Carga contaminante de salida (mg/L)

**S<sub>0</sub>**: Carga contaminante de entrada (mg /L)

A continuación mostramos los resultados de remoción en la siguiente tabla:

**Tabla 10-2:** Porcentaje de Remoción con el PAC

	<b>Valor Inicial</b>	<b>Valor Final</b>	<b>% Remoción</b>
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	632	308	51,26
<b>DQO (mg/L)</b>	1056	460	56,43
<b>SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L)</b>	9	0,5	94,44
<b>pH</b>	8,17	7,03	13,95
<b>TURBIDEZ (NTU)</b>	155	6,6	51,26
<b>COLIFORMES FECALES (UFC/100mL )</b>	5,6X10 <sup>5</sup>	79000	85,89%

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña

### 2.6.2 Prueba de Filtración- Filtro de Zeolita

Una vez que se ha realizado la prueba de jarras continuamos con el tratamiento optamos por un método de filtración, por intercambio iónico, para el efecto se aplica zeolita natural. Las zeolitas, se

consideran un tamiz molecular, debido a sus poros altamente cristalinos pues sus cavidades son de dimensiones moleculares, de modo que al pasar las aguas residuales, las moléculas más pequeñas se quedan y las más grandes siguen su curso, lo cual permite que salga un líquido más limpio, blando y cristalino.

Según la investigación realizada se considera que la granulometría más adecuada para que se lleve a cabo el intercambio iónico, es de 1 a 3 mm, además es indispensable el proceso de activación de la zeolita, para lo cual, se utiliza una solución de NaCl al 5%.

Preparamos la solución de NaCl al 5% y sumergimos 50g de zeolita en esta solución durante un periodo aproximado de 1 hora, luego lavamos la zeolita con agua destilada y de esta manera la zeolita queda lista para que se lleve a cabo el intercambio iónico. Cabe recalcar que es necesario que la muestra de agua residual se deje unos 10 minutos antes de que empiece a filtrar. Preparamos 3 tipos de filtros en unas botellas de plástico de 50 mL, que simularan nuestro filtro para realizar diferentes pruebas y comprobar cuál es el filtro más efectivo para nuestro tratamiento de aguas residuales:

- **Filtro 1:** Grava-Zeolita-Carbón
- **Filtro 2:** Grava-Zeolita Activada-Carbón
- **Filtro 3:** Zeolita Activada

Hicimos pasar aproximadamente 500mL de agua residual por cada uno de los filtro y nos arrojan los siguientes resultados:

**Tabla 11-2:** Prueba Filtros de Zeolita

	<b>FILTRO 1</b>	<b>FILTRO 2</b>	<b>FILTRO 3</b>
DQO (mg/L)	307	98	100,5
TURBIDEZ(NTU)	9	12	3
pH	7,46	7,34	7,41

**Realizado por:** Mónica Marcela Parra Lamiña

Según los resultados obtenidos en la tabla anterior podemos darnos cuenta que con el filtro 2 tenemos un menor porcentaje en cuanto al DQO, pero utilizaremos el filtro 3 ya que con este se

obtiene un resultado similar en DQO pero un mejor resultado en cuanto a turbidez y pH. Además al utilizar el filtro 3 solo utilizaremos zeolita activada a diferencia que el filtro 2 que contiene grava, zeolita y carbon lo cual implica mayor costo en el diseño de nuestra planta de tratamiento de aguas residuales.

#### 2.6.2.1 Eficiencia de Remoción con el Filtro de Zeolita

Procedemos a pasar toda nuestra muestra por el filtro de zeolita activada que seleccionamos obteniendo los siguientes resultados en cuanto al porcentaje de remoción en los parámetros fuera de norma:

**Tabla. 12-2:** Porcentaje de Remoción con el Filtro de Zeolita Activada

	Valor Inicial	Valor Final	% Remoción
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	308	22	92,86
<b>DQO (mg/L)</b>	460	68	85,22
<b>SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L)</b>	0,5	0	100
<b>pH</b>	7,03	7,51	--
<b>TURBIDEZ (NTU)</b>	6,6	1,20	81,81
<b>COLIFORMES FECALES (UFC/100mL )</b>	79000	214	99,72

Realizado por : Mónica Marcela Parra Lamiña

Con los resultados obtenidos se determina que la operación llevada a cabo es eficiente y permite corregir los valores de aquellos parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles y de esta manera cumplir con la norma establecida. ANEXO E.

Finalizada la parte experimental de nuestro tratamiento procedemos a enviar nuestra muestra tratada de agua residual a un laboratorio acreditado para corroborar que cada uno de los parámetros se encuentre dentro de la norma establecida.

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. Cálculos de diseño

En base a los análisis que realizamos, se determina que el Agua Residual producida por la parroquia San Antonio de Bayushig requiere una planta de tratamiento de aguas residuales para dar una disposición adecuada al agua y que cumpla con la norma establecida TULAS, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI, Anexo 1, Tabla 12.

##### 3.1.1. Población futura

En primera instancia calculamos la población actual, dado que solo contábamos con el dato de la población según el INEC en el censo del año 2010 la población de San Antonio de Bayushig era de 1101 habitantes, y obtuvimos una población actual de 1119,84 habitantes para determinar la población futura para el diseño de nuestra planta aplicaremos la Ecuación 3.

El tiempo de diseño para este proyecto de investigación es de 20 años, dado que este valor es recomendado por el CEC INEN 5 Parte9-1. Normas para estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 Habitantes.

$$P_f = P_a \times \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

**Datos:**

**Pa** = Población actual (2015): 1119,84 habitantes

**r** = Índice de crecimiento anual: 0,34%. (Según INEC; Población y Tasas de crecimiento)

**t** = tiempo de diseño: 20 años

$$P_f = 1119,84 \left(1 + \frac{0,34}{100}\right)^{20}$$

$$P_f = 1198,49 \text{ hab}$$

### *Nivel de Complejidad del Sistema*

Una vez calculado la población futura, determinamos el nivel de complejidad que tendrá el sistema mediante la Tabla 1-3:

**Tabla 1-3:** Nivel de Complejidad del Sistema

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

Fuente: (ARBOLEDA, 2000)

Como la población de diseño proyectada para 20 años es de 1198,49 habitantes, se determina que el nivel de complejidad del sistema es bajo.

### **3.1.2. Dotación de agua consumida a partir de la medición del caudal**

La bibliografía menciona que el 85 % del total de agua potable consumida, se convierte en agua residual es por ello que tomamos como base de partida el caudal proporcionado por la Junta Parroquial de San Antonio de Bayushig el cual es de 6 L/s equivale a 518,4 m<sup>3</sup>/día. Para calcular la cantidad de agua que consume la parroquia San Antonio de Bayushig en (L/ hab\*día) se utilizará la siguiente Ecuación 4.

$$Dc = \frac{Q_{promc} \times 1000 \text{ L/m}^3}{P_f}$$

$$Dc = \frac{518,4 \text{ m}^3/\text{dia} \times 1000 \text{ L/m}^3}{1119,84 \text{ hab}}$$

$$Dc = 462,92 \frac{L}{hab * dia}$$

### **Dotación Futura**

De la Ecuación 5, se tiene:

$$Dotación\ futura = \frac{Dotación\ consumida}{1 - pérdidas\ técnicas}$$

Datos:

Pérdidas técnicas = 0.40 (Tabla 2-3)

Dc = Dotación Básica = 462,92 L/hab\*día

Las pérdidas técnicas para la dotación futura se determinan a partir de la Tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Pérdidas Técnicas

<b>NIVEL DE COMPLEJIDAD</b>	<b>% MÁXIMO ADMISIBLE DE PÉRDIDAS TÉCNICAS</b>
Bajo	40
Medio	30
Medio Alto	25
Alto	20

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices, 2012

$$Dotación\ futura = \frac{462,92}{1 - 0.40}$$

$$Dotación\ futura = 771,53 \frac{L}{hab * día}$$

### **3.1.4 Caudal medio diario**

De la Ecuación 6, se tiene:

$$Qmd = \frac{P_f \times Dotación\ futura}{1000 L/m^3}$$

Datos:

$P_f =$  Población futura = 1198,49 hab

Dotación futura = 771,53 L/hab\*día

$$Q_{md} = \frac{1198,49 \text{ hab} \times 771,53 \frac{L}{\text{hab} \times \text{día}}}{1000 L/m^3}$$

$$Q_{md} = 924,67 \frac{m^3}{\text{día}}$$

$$Q_{md} = 38,53 \frac{m^3}{h}$$

### 3.1.5 Caudal de Diseño

El Caudal de diseño, se obtiene mediante la Ecuación 7

$$Q_{\text{Diseño}} = Q_{md} \times M$$

Datos:

$Q_{\text{DISEÑO}}$  = Caudal de diseño

$Q_{md}$  = Caudal medio 924,67 m<sup>3</sup>/día

$M$  = Factor de Harmon

### Calculo del Factor de Harmon

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P_f}}$$

Dónde:

$P_f$  = Población futura en miles de habitantes: 1,1984

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{1,1984}}$$

$$M = 3,74$$

$$Q_{Diseño} = 924,67 \frac{m^3}{dia} \times 3,74$$

$$Q_{Diseño} = 3458,26 m^3 / dia$$

$$Q_{Diseño} = 144,09 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{Diseño} = 0,040 m^3 / s$$

$$Q_{Diseño} = 40,02 L/s$$

### 3.1.6 Caudal máximo diario

Caudal máximo diario (Q<sub>máx</sub>) maneja un valor para K<sub>p</sub> de 1,3 dado que son sistemas nuevos se recomienda este valor y mediante la Ecuación 9:

$$Q_{max} = K_p \times Q_{md}$$

K<sub>p</sub> = coeficiente de variación diaria (adimensional)

**Tabla 3-3:** Valores de k<sub>p</sub> para Caudales Máximos

Nivel de Complejidad	K <sub>p</sub>
Bajo	1,3
Medio	1,3
Medio Alto	1,2
Alto	1,2

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices, 2012

$$Q_{max} = 1,3 \times 3458,26 m^3 / dia$$

$$Q_{max} = 4495,74 m^3 / dia$$

$$Q_{max} = 187,32 m^3 / h$$

### 3.1.7 Caudal mínimo diario

Caudal mínimo diario ( $Q_{\min}$ ) el valor **K** es **0,3**. Se calcula mediante la Ecuación 10:

$$Q_{\min} = k \times Q_{md}$$

$$Q_{\min} = 0,3 \times 3458,26 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{\min} = 1037,47 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{\min} = 43,22 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3.1.8 Caudal punta

Para calcular el Caudal punta ( $Q_P$ ), asumimos un valor de 4 veces  $k_1$ , mientras que es tres veces cuando hay sequía y cinco veces para el tiempo de lluvias. Utilizamos la Ecuación 11:

$$Q_P = K_1 \times Q_{md}$$

$$Q_P = 4 \times 924,67 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_P = 3698,68 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_P = 154,11 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,0428 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 42,80 \text{ L/s}$$

## 3.2 Cálculos de Ingeniería

Los cálculos de Ingeniería que vamos a realizar a continuación son un complemento a la información técnica de los planos, así nos sirve para comprobación y de verificación del funcionamiento óptimo de los demás procesos que ocurren dentro de la Planta de Tratamiento.

### 3.2.2 Sistema de Tratamiento

#### 3.2.2.1 Diseño de Rejillas o Cribas de Gruesos

En este proyecto del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Parroquia San Antonio de Bayushig se utilizará rejas de limpieza manual, se hace necesaria la limpieza periódica de estos dispositivos con el fin de evitar reboses y desbordamientos que se producen por la obstrucción de las mismas. Los materiales retenidos entre las rejas se conocen con el nombre de residuos o basuras.

Las rejillas son de tipo limpieza manual, son limpiadas periódicamente y posee una inclinación de 60° con respecto al plano horizontal. Para obtener la velocidad de entrada del agua residual utilizaremos la siguiente ecuación:

$$v = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2}$$

Datos:

S = Pendiente (2%)

Rh = Radio hidráulico proporcionado por la Junta Parroquial: 0,05 m

n = Coeficiente de Manning: Material de concreto 0,013

Al conocer los datos especificados y la Ecuación de Manning, se obtiene:

$$v = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2}$$

$$v = \frac{1}{0,013} (0,05)^{2/3} (0,002)^{1/2}$$

$$v = 0,46 \text{ m/s}$$

## Diseño del Canal

- **Área transversal**

Área transversal total del canal, se calcula mediante la Ecuación 13

$$A_T = \frac{Q_{Diseño}}{v}$$

Datos:

$Q_{Diseño}$  = Caudal de Diseño, (0,040 m<sup>3</sup>/s)

$v$  = Velocidad de entrada del flujo (0,46 m/s)

$$A_T = \frac{0,040 \text{ m}^3/\text{s}}{0,46 \text{ m/s}}$$

$$A_T = 0,087 \text{ m}^2$$

- **Altura Efectiva**

Se encuentra la Altura efectiva mediante la Ecuación 14.

$$H_e = \frac{A_T}{b}$$

Datos:

$A_T$  = Área transversal de Canal: 0,087m<sup>2</sup>

$b$  = ancho del canal (Dato propuesto 0,9 m)

$$H_e = \frac{0,087 \text{ m}^2}{0,9 \text{ m}}$$

$$H_e = 0,096 \text{ m}$$

- **Profundidad del canal**

Según bibliografía se establece que el borde libre  $h_0$  sea de 0,24 m, entonces la profundidad total del canal se calcula con la Ecuación 15:

$$h_a = H_e + h_0$$

Datos:

$H_e$ = Altura Efectiva: 0,096 m

$h_0$ = borde libre (0,24 m)

$$h_a = 0,096 \text{ m} + 0,24 \text{ m}$$

$$h_a = 0,34 \text{ m}$$

### **Longitud de las Barras**

Realizamos el cálculo con la ayuda de la Ecuación 16:

$$L_b = \frac{H_e}{\text{sen}\alpha}$$

Datos:

$H_e$ = Altura Efectiva: 0,096 m

$$L_b = \frac{0,096 \text{ m}}{\text{sen } 60}$$

$$L_b = 0,11 \text{ m}$$

- **Separaciones entre las barras**

Suma de las separaciones entre barras, se utiliza valores tomados de la Tabla 4-1. Para la separación entre barras ( $e$ ) 45 mm y espesor ( $S$ ) 14 mm; teniendo así la Ecuación 17

$$bg = \left( \frac{b - e}{S + e} + 1 \right) e$$

Datos:

**b** = Ancho del canal de entrada (Dato propuesto 900 mm)

**e** = Separación entre barras (45 mm)

**S** = Espesor de las barras (14 mm)

$$bg = \left( \frac{900 - 45}{14 + 45} + 1 \right) 45$$

$$bg = 697,11mm$$

$$bg = 0,70 m$$

### Área de Espacios entre Barrotes

Utilizamos la Ecuación 18

$$\text{Área}_{eb} = b_g \times L_b$$

Datos:

**b<sub>g</sub>** = suma de las separaciones entre las barras (0,70 m)

**L<sub>b</sub>** = longitud de las barras (0,11m)

$$\text{Área}_{eb} = 0,70 m \times 0,11 m$$

$$\text{Área}_{eb} = 0,077 m^2$$

### Velocidad a través de la Rejilla de Gruesos

Cálculo de la velocidad a través de la rejilla de Gruesos con la ecuación 19:

$$V_r = \frac{Q_{\text{Diseño}}}{\text{Area}_{eb}}$$

Datos:

$Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Diseño:  $0,040 \text{ m}^3/\text{s}$

$\text{Area}_{\text{eb}}$  = Área de Espacios entre barrotos;  $0,077 \text{ m}^2$

$$V_r = \frac{0,040 \text{ m}^3/\text{s}}{0,077 \text{ m}^2}$$

$$V_r = 0,52 \text{ m/s}$$

### Número de Barrotos de la Rejilla Gruesa

Utilizamos la Ecuación 20

$$n = \frac{b_g}{e} - 1$$

Datos:

$e$  = Separación entre barras (45 mm)

$b_g$  = Suma de la separación entre barras: 687,11 mm

$$n = \frac{697,11 \text{ mm}}{45 \text{ mm}} - 1$$

$$n = 14,49 \cong 15$$

### Pérdidas de Carga

Pérdida de Carga, se calcula mediante la Ecuación 21

$$hf = k \left( \frac{Vr^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

Datos:

$k$  = Coeficiente empírico:  $1/0,7$

$g$  = Aceleración de la gravedad:  $9,8 \text{ m/s}^2$

$Vr$  = Velocidad de flujo de las rejillas gruesas:  $0,52 \text{ m/s}$

$v$  = Velocidad de entrada del agua residual:  $0,46 \text{ m/s}$

$$hf = \frac{1}{0,7} \left( \frac{(0,52)^2 - (0,46)^2}{2 \times 9,8} \right)$$

$$hf = 4,28 \times 10^{-3} \text{ m}$$

### 3.2.2.2 Diseño de rejillas finas

Suma de las separaciones entre barras para rejillas finas, se utiliza valores de la Tabla 4-1

Para separación entre barras (e) 18 mm y espesor (S) 14mm y la Ecuación 17.

$$bg = \left( \frac{b - e}{S + e} + 1 \right) e$$

Datos:

**b** = Ancho del canal de entrada (Dato propuesto 900 mm)

**e** = Separación entre barras (18 mm)

**S** = Espesor de las barras (14 mm)

$$bg = \left( \frac{900 - 18}{14 + 18} + 1 \right) 18$$

$$bg = 399.87 \text{ mm}$$

$$bg = 0,39 \text{ m}$$

- **Área de Espacios entre Barrotes rejilla Fina**

Utilizamos la Ecuación 18

$$\text{Área}_{eb} = b_g \times L_b$$

Datos:

**b<sub>g</sub>** = Suma de las separaciones entre las barras (0,39 m)

**L<sub>b</sub>** = Longitud de las barras (0,11m)

$$\text{Área}_{eb} = 0,39 \text{ m} \times 0,11 \text{ m}$$

$$\text{Área}_{eb} = 0,043 \text{ m}^2$$

- **Velocidad a través de la Rejilla de Finos**

Cálculo de la velocidad a través de la rejilla de finos, con la siguiente Ecuación 19:

$$V_r = \frac{Q_{\text{Diseño}}}{\text{Area}_{eb}}$$

Datos:

$Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Diseño: 0,040 m<sup>3</sup>/s

$\text{Area}_{eb}$  = Área de Espacios entre barrotes; 0,043 m

$$V_r = \frac{0,040 \text{ m}^3/\text{s}}{0,043 \text{ m}^2}$$

$$V_r = 0,93 \text{ m/s}$$

- **Número de Barrotes de Rejilla Fina**

Utilizamos la Ecuación 20

$$n = \frac{b_g}{e} - 1$$

Datos:

$b_g$  = suma de las separaciones entre las barras (399.87 mm)

$e$  = Separación entre barras (18 mm)

$$n = \frac{399.87 \text{ mm}}{18\text{mm}} - 1$$

$$n = 21,21 \cong 21$$

- **Pérdidas de Carga**

Pérdida de Carga, se calcula mediante la Ecuación 21:

$$hf = k \left( \frac{Vr^2 - v^2}{2 \times g} \right)$$

Datos:

k = Coeficiente empírico: 1/0,7

g = Aceleración de la gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>

Vr = Velocidad de flujo de las rejillas de finos: 0,93m/s

v = Velocidad de entrada del agua residual: 0,46 m/s

$$hf = \frac{1}{0,7} \left( \frac{(0,93)^2 - (0,46)^2}{2 \times 9,8} \right)$$

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

### 3.2.2.3 Diseño de un Tanque Homogeneizador

#### a) Área del Homogeneizador

Para calcular el área del Homogeneizador utilizamos la Ecuación 22:

$$A_H = \frac{Q_{Diseño}}{C_S}$$

Datos:

Q<sub>Diseño</sub> = Caudal de Diseño: 3456,26 m<sup>3</sup>/día

C<sub>S</sub> = Carga superficial: 100 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día (Para caudal máximo)

$$A_H = \frac{3456,26 \text{ m}^3/\text{día}}{100 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$A_H = 34,56 \text{ m}^2$$

### b) Diámetro del Tanque Homogenizador

Para calcular el Diámetro del tanque Homogenizador utilizamos la Ecuación 23

$$\phi_H = \sqrt{4 \times \frac{A_H}{\pi}}$$

Datos:

$A_H$  = Área del Tanque Homogenizador, (34,56 m<sup>2</sup>)

$$\phi_H = \sqrt{4 \times \frac{34,56 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\phi_H = 6,63 \text{ m}$$

### c) Volumen del Tanque Homogenizador

Para calcular el volumen del tanque Homogenizador utilizamos la Ecuación 24

$$V_H = A_H \times H_H$$

Datos:

$A_H$  = Área del Tanque Homogenizador, (34,56 m<sup>2</sup>)

$H_H$  = Altura del Tanque Homogenizador (4 m)

$$V_H = 34,56 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}$$

$$V_H = 138,24 \text{ m}^3$$

### d) Número de Deflectores

Según bibliografía se recomienda 4 deflectores, dispuestos verticalmente en las paredes del tanque, desde el fondo y sobresaliendo por encima del nivel del líquido.

### e) Ancho de los Deflectores

Para calcular el ancho de los deflectores utilizamos la Ecuación 25

$$W_B = \frac{1}{10} \text{ del } \Phi_H$$

Datos:

$\Phi_H$ = Diámetro del Tanque Homogenizador, (6,63 m)

$$W_B = \frac{6,63 \text{ m}}{10}$$

$$W_B = 0,66 \text{ m}$$

### 3.2.2.3.1 Cálculos para el Agitador de Paletas

#### f) Diámetro del Impulsor

Para calcular el diámetro del impulsor utilizamos la Ecuación 26

$$D_I = \frac{1}{3} \text{ del } \Phi_H$$

Datos:

$\Phi_H$ = Diámetro del Tanque Homogenizador, (6,63 m)

$$D_I = \frac{6,63 \text{ m}}{3}$$

$$D_I = 1,10 \text{ m}$$

#### g) Altura del Impulsor con respecto al fondo

Para calcular la altura del impulso utilizamos la Ecuación 27

$$H_I = D_I$$

Datos:

$D_I$ = Diámetro del Impulsor, (2,21 m)

$$H_I = 2,21 \text{ m}$$

#### **h) Ancho de las palas del impulsor**

Para calcular el ancho de las palas del impulsor utilizamos la Ecuación 28

$$A_{PI} = \frac{1}{5} \text{ del } D_I$$

Datos:

$D_I$ = Diámetro del Impulsor, (2,21 m)

$$A_{PI} = \frac{2,21 \text{ m}}{5}$$

$$A_{PI} = 0,44 \text{ m}$$

#### **i) Longitud de las palas del impulsor**

Para calcular la longitud de las palas del impulsor utilizamos la Ecuación 29

$$L_{PI} = \frac{1}{4} \text{ del } D_I$$

Datos:

$D_I$ = Diámetro del Impulsor, (2, 21 m)

$$L_{PI} = \frac{2,21 \text{ m}}{4}$$

$$L_{PI} = 0,55 \text{ m}$$

#### **j) Longitud de las palas del impulsor montadas en el disco central**

Para calcular la longitud de las palas del impulsor montadas en el disco central utilizamos la Ecuación 30

$$L_{DC} = \frac{L_{PI}}{2}$$

Datos:

$L_{DC}$ = Longitud de las palas montadas en el disco central: 0,55 m

$$L_{DC} = \frac{0,55 \text{ m}}{2}$$

$$L_{DC} = 0,28 \text{ m}$$

### k) Diámetro del disco central

Para calcular el diámetro central utilizamos la Ecuación 31:

$$S_{DC} = \frac{1}{4} \text{ del } \Phi_H$$

Datos:

$\Phi_H$  = Diámetro del Tanque Homogenizador, (6,63 m)

$$S_{DC} = \frac{6,63 \text{ m}}{4}$$

$$S_{DC} = 1,66 \text{ m}$$

### l) Espesor de las Palas

En vista que el impulsor gira con velocidad angular constante ( $\omega$ ), la velocidad lineal varía con respecto al radio, por lo que se utiliza la ecuación 32:

$$F_D = \frac{C_D \rho (\omega^2 r^2) (A_{PI} x r)}{2}$$

Datos:

$A_{PI}$  = Ancho de las paletas del impulsor: 0,44 m

$L_{PI}$  = Longitud de las palas del impulsor: 0,55 m

$C_D$  = Según la Figura 7: 1,2

$\omega$  = 900 RPM

$\rho$  = 1000 Kg/ m<sup>3</sup>

A ambos lados se multiplica por  $dr$  en la Ec.25 e integrando los límites  $r1$  y  $r2$  de la figura 7 en donde se obtiene el valor del momento con respecto al punto 0 por lo que se tiene, según la figura 7 los valores de  $r1$  y  $r2$  serán:

$$r1 = 0,27 - 0,132$$

$$r1 = 0,138$$

$$r_2 = 0,27$$

$$\int_{r_1}^{r_2} F_D dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2 r^2) (A_{PI} x r) dr$$

$$M_O = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2 r^2) (A_{PI} x r) dr$$

$$M_O = \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2) (A_{PI}) \int_{r_1}^{r_2} r^3 dr$$

$$M_O = \frac{1}{2} 1,2 x 1000 x (900^2) (0,44) \int_{0,138}^{0,27} 3,31^3 dr$$

$$M_O = 6,900 Nm$$

Con el valor de  $M_O$  reemplazamos en la ecuación y hallamos:

$$S_y = \frac{n M_O \frac{e}{2}}{I}$$

Datos:

I= Inercia =  $(A_{PI} x e^3 / 12)$

$M_O$  = Momento con respecto al punto O: 6,9 Nm

n= Factor de seguridad: 2

$S_y$ = Fluencia del acero inoxidable AISI 304:  $241 x 10^6 Pa$

Reemplazamos la Ecuación de la Inercia y despejamos e y nos queda la siguiente ecuación:

$$S_y = \frac{n M_O \frac{e}{2}}{\frac{A_{PI} x e^3}{12}}$$

$$e = \sqrt{\frac{6 n x M_O}{A_{PI} x S_y}}$$

$$e = \sqrt{\frac{6 x 2 x 6,9}{0,44 x 2,41 x 10^6}}$$

$$e = 2,68 mm$$

Por una adquisición fácil en el mercado ecuatoriano se asume un espesor de 3 mm.

### m) Potencia disipada en la mezcla

Para calcular la potencia disipada en la mezcla utilizamos la Ecuación 37:

$$P = G^2 \times \mu \times V$$

Datos:

**G**= Gradiente medio de velocidad ( $700 \text{ s}^{-1}$ ) Tabla 14.

**$\mu$** = Viscosidad dinámica: a  $20^\circ \text{ C}$  ( $1,102 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ )

**V** = Volumen del tanque ( $138,24 \text{ m}^3$ )

$$P = \frac{180^2}{\text{s}} \times 1,102 \times 10^{-3} \frac{\text{N s}}{\text{m}^2} \times 138,24 \text{ m}^3$$

$$P = 4935,83 \text{ W}$$

$$P = 4,85 \text{ kW}$$

$$P = 4,85 \text{ kW} \times \frac{1 \text{ Hp}}{0,736 \text{ kW}} = 6,70 \text{ Hp}$$

### n) Área de las Paletas

$$A = \frac{2 \times P}{C_D \rho V^3}$$

**Datos:**

**A**= área de la sección transversal de las paletas ( $\text{m}^2$ )

**P**= Potencia necesaria:  $503,64 \text{ kgF/s}$

**$C_D$** = Coeficiente de resistencia al avance de las paletas: 1,2

**$\rho$**  = Densidad del fluido:  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$

**V**= velocidad relativa de las paletas con respecto al fluido ( $\text{m/s}$ ), en general se asumen valores comprendidos entre 0,6 y 0,75 veces la velocidad tangencial de las paletas.

$$A = \frac{2x 503,64 \text{ kgf/s}}{1,2x 1000 \text{ kg/m}^3 (0,7 x 25,44 \text{ m/s})^3}$$

$$A = 0,00015 \text{ m}^2$$

### 3.2.2.3.2 Cálculo de la Dosificación de NaOH 1 N

Para que el Policloruro de Aluminio actúe sobre el agua cruda de una manera apropiada se requiere que el pH del agua cruda se encuentre en un rango óptimo de 8-9, es por ello que se debe elevar el pH del agua residual con la ayuda de NaOH 1N, según las pruebas de tratabilidad se requiere 1mL de esta solución por cada litro de agua residual; para preparar 1 litro de NaOH 1N se requiere 40 g de NaOH, es decir que requiero 0,04 g de esta solución por cada mililitro.

#### a) Cantidad de NaOH 1N al día

$$C_{NaOH} = Q_{Diseño} \times Dosis \text{ NaOH}$$

Datos:

$Q_{Diseño}$  = Caudal de Diseño, (345772 L/ día)

Dosis NaOH 1N = 0,04 g/L

$$C_{NaOH} = 345772 \frac{L}{día} \times 0,04 \text{ g/L}$$

$$C_{NaOH} = \frac{13830,88 \text{ g}}{día} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$C_{NaOH} = 13,83 \text{ kg/día}$$

### 3.2.2.4 Cálculo de la Dosificación de PAC

La dosificación de Policloruro de Aluminio se efectuara por un dosificador por vía húmeda para tratar el agua residual que posee un caudal de diseño de 40,02 L/s y una turbidez inicial de 155 NTU, además como ya mencionamos en el Capítulo II, la concentración de PAC en el test de jarras es de 1,5 mg/L.

**a) Dosis de PAC**

$$\begin{array}{ccc} 100\text{ml} & \rightarrow & 10\text{ g} \\ 1,5\text{ ml} & \rightarrow & x \end{array}$$
$$x = \frac{1,5\text{ ml} \times 10\text{ g}}{100\text{ ml}}$$
$$x = 0,15 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{ de PAC}$$

**b) Cantidad de PAC al día**

$$P_{PAC} = Q_{\text{Diseño}} \times \text{Dosis PAC}$$

Datos:

$Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Diseño, (345772 L/ día)

Dosis PAC = 0,15 g/L

$$P_{PAC} = 345772 \frac{\text{L}}{\text{día}} \times 0,15\text{g/L}$$

$$P_{PAC} = \frac{51865,8\text{ g}}{\text{día}} \times \frac{1\text{ kg}}{1000\text{g}}$$

$$P_{PAC} = 51,86\text{ kg/día}$$

**c) Precio de PAC al día**

$$\text{Precio PAC} = P_{PAC} \times \text{Costo PAC}$$

$$\text{Precio PAC} = 51,86 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,75\text{ cntv}$$

$$\text{Precio PAC} = 38,89\text{ dolares/día}$$

3.2.2.5 Diseño para Canaleta Parshall

**a) Ancho de la Garganta**

Se procede al dimensionamiento de la Canaleta Parshall para un caudal de diseño de 40,42 L/s, es decir 0,040 m<sup>3</sup>/s, se tiene que la función principal de esta canaleta es la aplicación del coagulante

debido a la turbulencia que se produce a la salida de la misma. Según la Tabla 9 se decide el ancho de la canaleta es:

$$W = 0,305 \text{ m}$$

**b) Altura del agua en la sección de medición**

Para calcular la altura del agua en la sección de medición utilizamos la Ecuación 39 y los datos de la tabla 9

$$H_o = K \times (Q_{Diseño})^n$$

Datos:

$Q_{Diseño}$  = Caudal de Diseño (0,040 m<sup>3</sup>/s)

$K$  = constantes: 0,795 Tabla 10-1.

$n$  = constantes: 0,645 Tabla 10-1

$$H_o = (0,795) \times (0,040)^{0,645}$$

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

**c) Ancho de la sección de medición D'**

Para calcular el ancho de la sección de medición utilizamos la Ecuación 40 y los datos de la Tabla 11-1

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

Datos:

$D^1$  = Dimensiones de la canaleta: (0,845 m) Tabla 11-1

$W$  = Ancho de la garganta: (0,305 m)

$$D' = \frac{2}{3} \times (0,845 - 0,305) + 0,305$$

$$D' = 0,66 \text{ m}$$

#### d) Velocidad en la sección de Medición

Para calcular la velocidad en la sección de medición utilizaremos la Ecuación 41.

$$V_0 = \frac{Q_{Diseño}}{H_0 \times D'}$$

Datos:

$H_0$  = Altura de agua en la sección de medición, (0,15 m)

$D'$  = Ancho de agua en la sección de medición, (0,66 m)

$Q_{Diseño}$  = Caudal de Diseño (0,040 m<sup>3</sup>/ s)

$$V_0 = \frac{0,040 \text{ m}^3/\text{s}}{0,15 \text{ m} \times 0,66 \text{ m}}$$

$$V_0 = \mathbf{0,40 \text{ m/s}}$$

#### e) Carga Hidráulica Disponible

Para calcular la carga hidráulica disponible utilizaremos la ecuación 42 y la Tabla 11

$$E_0 = \frac{V_0^2}{2g} + H_0 + N$$

Datos:

$V_0$  = Velocidad en la sección de medición, (0,40 m/s).

$g$  = Gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$H_0$  = Altura de agua en la sección de medición, (0,15 m)

$N$  = dimensiones de la canaleta, (0,229 m).Tabla 11-1

$$E_0 = \frac{(0,40 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} + 0,15 \text{ m} + 0,229 \text{ m}$$

$$E_0 = \mathbf{0,39 \text{ m}}$$

**f) Caudal específico en la garganta de la canaleta**

Para el cálculo del caudal específico de la garganta de la canaleta utilizamos la Ecuación 43

$$Q_w = \frac{Q_{Diseño}}{W}$$

Datos:

W = Ancho de la garganta, (0,305 m)

Q<sub>Diseño</sub> = Caudal de Diseño (0,040 m<sup>3</sup>/ s)

$$Q_w = \frac{0,040 \text{ m}^3/\text{s}}{0,305 \text{ m}}$$

$$Q_w = 0,13 \frac{\text{m}^3}{\text{m} \times \text{s}}$$

**g) Ángulo de Inclinación**

Para calcular el Angulo de Inclinación utilizamos la Ecuación 44

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[ - \frac{Q_w \times g}{\left( \frac{2g \times E_0}{3} \right)^{1,5}} \times \frac{180}{\pi} \right]$$

Datos:

Q<sub>w</sub> = Caudal específico en la garganta de la canaleta, (0,13 m<sup>3</sup>/ m s)

g = gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

E<sub>0</sub> = Carga hidráulica disponible, (0,39m)

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[ - \frac{0,13 \frac{\text{m}^3}{\text{m} \times \text{s}} \times 9,8 \text{ m/s}^2}{\left( \frac{(2 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \times 0,39}{3} \right)^{1,5}} \times \frac{180}{\pi} \right]$$

$$\theta_p = 108,25^\circ$$

### h) Velocidad antes del resalto

Para calcular la velocidad antes del resalto utilizamos la Ecuación 45

$$v_1 = 2 \left( \frac{2 E_0 x g}{3} \right)^{0.5} x \cos \left( \theta_p x \frac{\pi}{540} \right)$$

Datos:

$\theta_p$  = Angulo de inclinación, (108,25°)

$g$  = gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$E_0$  = Carga hidráulica disponible, (0,39 m)

$$v_1 = 2 \left( \frac{2 x 0,39 x 9,8}{3} \right)^{0.5} x \cos \left( 108,25 x \frac{\pi}{540} \right)$$

$$v_1 = 2,01 \text{ m/s}$$

### i) Altura de agua antes del resalto

Para calcular la altura del agua antes del resalto utilizamos la Ecuación 46

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

Datos:

$Q_w$  = Caudal de agua, (0,13 m<sup>3</sup>/ sm)

$v_1$  = Velocidad antes del resalto, (2,01 m/s)

$$h_1 = \frac{0,13 \frac{m^3}{m \times s}}{2,01 \text{ m/s}}$$

$$h_1 = 0,065 \text{ m/s}$$

### j) Número de Froude

Para calcular el Número de Froude utilizamos la Ecuación 47

$$F = \frac{v_1}{(gh_1)^{0,5}}$$

Datos:

$h_1$ = Altura de agua antes del resalto, (0,065 m).

$g$  = Gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$v_1$ = Velocidad antes del resalto, (2,01 m/s)

$$F = \frac{2,01 \text{ m/s}}{(9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,065 \text{ m})^{0,5}}$$

$$F = 2,51$$

El número de Froude cumple con lo establecido es decir:  $3 \geq 2,51 \geq 2$

### k) Altura del agua después Resalto

Para poder calcular la altura después del Resalto utilizamos la Ecuación 48:

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

Datos:

$F$  = Numero de Froude (2,51)

$h_1$ = Altura de agua antes del resalto, (0,065 m).

$$h_2 = \frac{0,065 \text{ m}}{2} \times (\sqrt{1 + 8(2,51)^2} - 1)$$

$$h_2 = 0,20 \text{ m}$$

### l) Velocidad de Resalto

Para calcular la Velocidad de Resalto utilizamos la Ecuación 49:

$$v_2 = \frac{Q_{Diseño}}{h_2 \times W}$$

Datos:

W = Ancho de la garganta, (0,305m)

Q<sub>Diseño</sub>= Caudal de Diseño (0,040 m<sup>3</sup>/ s)

h<sub>2</sub>= Altura después del resalto (0,20 m)

$$v_2 = \frac{0,040 \text{ m}^3/\text{s}}{0,20 \text{ m} \times 0,305 \text{ m}}$$

$$v_2 = 0,66 \text{ m/s}$$

### m) Altura en la sección de salida de la canaleta

Para calcular la altura en la sección de salida de la canaleta utilizamos la Ecuación 50:

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

Datos:

h<sub>2</sub>= Altura después del resalto: 0,20 m

K'= dimensión de la canaleta: 0,076 m

N= dimensión de la canaleta: 0,229 m

$$h_3 = 0,20 \text{ m} - (0,229 \text{ m} - 0,076 \text{ m})$$

$$h_3 = 0,047 \text{ m}$$

### n) Velocidad en la sección de la salida

Para calcular la velocidad en la sección de la salida utilizamos la Ecuación 51:

$$v_3 = \frac{Q_{Diseño}}{C \times h_3}$$

Datos:

h<sub>3</sub>= Altura en la sección de salida de la canaleta, (0,047m)

Q<sub>Diseño</sub>= Caudal de Diseño (0.040 m<sup>3</sup>/ s)

C= Dimensiones de la canaleta: (0,61m)

$$v_3 = \frac{0,040 \text{ m}^3/\text{s}}{0,61 \text{ m} \times 0,047 \text{ m}}$$

$$v_3 = 1,40 \text{ m/s}$$

**o) Pérdida de carga en el resalto**

Para calcular la pérdida de carga en el resalto utilizamos la Ecuación 52:

$$h_R = H_0 + K' + h_3$$

Datos:

$h_3$  = Altura en la sección de salida de la canaleta, (0,047m)

$K'$  = Dimensión de la canaleta: 0,076 m

$H_0$  = Altura del flujo de agua, (0,15m)

$$h_R = 0,15 \text{ m} + 0,076 \text{ m} + 0,047 \text{ m}$$

$$h_R = 0,27 \text{ m}$$

**p) Tiempo de mezcla en el resalto**

Para calcular el tiempo de mezcla en el resalto utilizamos la Ecuación 53:

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

Datos:

$G'$  = Dimensión de la canaleta, (0,915 m)

$v_2$  = velocidad del resalto, (0,66m/s)

$v_3$  = Velocidad en la sección de salida, (1,40 m/s)

$$T = \frac{2 \times 0,915 \text{ m}}{(0,66 + 1,40) \text{ m/s}}$$

$$T = 0,89 \text{ s}$$

#### q) Gradiente de Velocidad

Para calcular el Gradiente de Velocidad utilizamos la Ecuación 54:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \left(\frac{h_R}{T}\right)^{0,5}$$

Datos:

**T**= tiempo de mezcla en el resalto, (0,89s)

**h<sub>R</sub>** = Perdida de carga en el resalto (0,27m)

**γ** = Peso específico: 9789 N/ m<sup>3</sup>

**μ** = Viscosidad Absoluta: 1,102 x 10<sup>-3</sup> N x s/ m<sup>2</sup>

$\sqrt{(\gamma/\mu)}$  = Relación peso específico y viscosidad absoluta: 3114.64 Tabla 12-1

$$G = \sqrt{\frac{9789 \frac{N}{m^3}}{1,102 \times 10^{-3} N s/m^2}} \times \left(\frac{0,27}{0,89}\right)^{0,5}$$

$$G = 1641,59 s^{-1}$$

#### 3.2.2.6 Diseño para Floculador hidráulico de Flujo Horizontal

En este proceso tratamos el agua con aditivos químicos que ayudan a la sedimentación rápida de flóculos, formados por la materia coloidal no sedimentable. Se utiliza el Floculador Hidráulico de Flujo horizontal debido a que en costo es el más económico entre los Floculadores y además es eficiente. Además este tipo de Floculadores es ideal para caudales menores a 50 L/s, el cual es nuestro caso.

#### a) Longitud de canales

Para calcular la longitud de canales utilizaremos la Ecuación 56:

$$L_{CF} = v_F \times t_{RF} \times 60$$

Datos:

$t_{RF}$  = Tiempo de retención: 20 min (Asumido de la Tabla 13-1)

$v_F$  = Velocidad del fluido: 0,13 m/s (Asumido de la Tabla 13-1)

$$L_{CF} = 0,13 \frac{m}{s} \times 20 \text{ min} \times 60 \text{ s/min}$$

$$L_{CF} = 156 \text{ m}$$

### b) Área de los canales del Floculador

Para calcular el Área de los canales del Floculador utilizaremos la Ecuación 57:

$$A_{CF} = \frac{Q_{Diseño}}{v_F}$$

Datos:

$Q_{Diseño}$  = Caudal de Diseño, (0,040 m<sup>3</sup>/s)

$v_F$  = Velocidad de fluido, (0,13 m/s) (Asumido de la Tabla 13-1)

$$A_{CF} = \frac{0,040 \text{ m}^3/\text{s}}{0,13 \text{ m/s}}$$

$$A_{CF} = 0,30 \text{ m}^2$$

### c) Ancho de canales de Floculación

Para calcular el Ancho de canales de Floculación utilizamos la Ecuación 58:

$$b_{CF} = \frac{A_{CF}}{H_{UF}}$$

Datos:

$A_{CF}$  = Área de los canales del floculador, (0,30 m<sup>2</sup>)

$H_{UF}$  = Altura de agua en la unidad, (1,10 m) (Asumido de la Tabla 13-1)

$$b_{CF} = \frac{0,30 \text{ m}^2}{1,10 \text{ m}}$$

$$\mathbf{b_{CF} = 0,27 \text{ m}}$$

**d) Ancho de las vueltas de la Floculación**

Para calcular el ancho de las vueltas del Floculador utilizaremos la Ecuación 59:

$$b_{VF} = 1,5 \times b_{CF}$$

Datos:

$b_{CF}$  = Ancho de los canales del floculador, (0,27 m)

$$b_{VF} = 1,5 \times 0,27 \text{ m}$$

$$\mathbf{b_{VF} = 0,41 \text{ m}}$$

**e) Ancho del Floculador**

Para calcular el ancho del Floculador utilizaremos la Ecuación 60:

$$b_F = 3b_{LF} + b_{VF}$$

Datos:

$b_{LF}$  = Ancho util de la lamina, ( 0,825 m)

$b_{VF}$  = ancho de las vueltas de la floculación, (0,41 m)

$$b_F = 3(0,825) + 0,41\text{m}$$

$$\mathbf{b_F = 2,89 \text{ m}}$$

**f) Número de Canales**

Para calcular el Número de Canales utilizamos la Ecuacion 61:

$$N_{CF} = \frac{L_{CF}}{b_F}$$

Datos:

$L_{CF}$  = Longitud de canales, (156 m)

$b_F$  = Ancho del floculador, (2,89m)

$$N_{CF} = \frac{156 \text{ m}}{2,89 \text{ m}}$$

$$N_{CF} = 53,97 \approx 54 \text{ unidades}$$

### g) Longitud del Floculador

Para calcular la longitud de Floculador utilizamos la Ecuacion 62:

$$L_F = (N_{CF} \times b_{CF}) + (N_{CF} - 1) \times e_1$$

Datos:

$N_{CF}$  = Numero de canales, ( 54 unidades)

$b_{CF}$  = Ancho de los canales del Floculador, (0,27 m)

$e_1$  = Espesor del Floculador, (0,12 m) Valor Asumido Tabla 13-1

$$L_F = (54 \times 0,27 \text{ m}) + (54 - 1) \times 0,12 \text{ m}$$

$$L_F = 20,99 \text{ m}$$

### h) Pérdida de carga en las vueltas

Para calcular la perdida de carga en las vueltas utilizamos la Ecuacion 63:

$$h_{p1} = \frac{k_f \times v_F^2 \times (N_{CF} - 1)}{2 \times g}$$

Datos:

$k_f$  = Coeficiente de perdida de carga en las vueltas,. 2 unidades (Valor asumido Tabla 13-1)

$v_F$  = Velocidad de fluído, (0,13 m/s)

$N_{CF}$  = Numero de canales, (54 unidades)

$g$  = Aceleracion de la gravedad, (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$$h_{p1} = \frac{2 \times (0,13\text{m/s})^2 \times (54 - 1)}{2 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{p1} = 0,09 \text{ m}$$

**i) Perímetro mojado de las secciones**

Para calcular el Perímetro mojado de las secciones utilizamos la Ecuación 64:

$$P_M = 2 H_{UF} + b_{CF}$$

Datos:

$H_{UF}$  = Altura de agua en la unidad, (1,10 m Valor asumido)

$b_{CF}$  = Ancho de los canales del Floculador, (0,27 m)

$$P_M = 2 \times 1,10 + 0,27$$

$$P_M = 2,33$$

**j) Radio Hidráulico**

Para calcular el Radio Hidráulico utilizamos la Ecuación 66:

$$R = \frac{A_{CF}}{P_M}$$

Datos:

$A_{CF}$  = Área de los canales del Floculador, (0,30 m<sup>2</sup>)

$P_M$  = Perímetro Mojado (2,33m)

$$R = \frac{0,30 \text{ m}^2}{2,33 \text{ m}}$$

$$R = 0,13 \text{ m}$$

### k) Pérdida de carga en los canales

Para calcular la pérdida de carga en los canales utilizamos la Ecuación 65:

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

Datos:

$v_F$  = Velocidad de fluido, (0,13 m/s)

$n$  = Coeficiente de Manning: 0,013

$R$  = Radio Hidráulico (0,13 m)

$L_{CF}$  = Longitud de canales, (156 m)

$$h_{p_2} = \left[ \frac{\frac{0,13 \text{ m}}{\text{s}} \times 0,013}{(0,13 \text{ m})^{2/3}} \right]^2 \times 156 \text{ m}$$

$$h_{p_2} = 0,0067 \text{ m}$$

### l) Pérdida de Carga Total

Para calcular la pérdida de carga total utilizamos la Ecuación 67:

$$h_{F1} = h_{p_1} + h_{p_2}$$

Datos:

$h_{p_1}$  = Pérdida de carga en las vueltas, (0,09 m)

$h_{p_2}$  = Pérdida de la carga en los canales, (0,0067 m)

$$h_{F1} = 0,09 \text{ m} + 0,0067 \text{ m}$$

$$h_{F1} = 0,096 \text{ m}$$

### m) Gradiente de Velocidad

Para calcular el gradiente de Velocidad utilizamos la Ecuación 68:

$$G_F = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{h_{F1}}{t_{RF}}}$$

Datos:

$\gamma$  = Peso específico: 9789 N/ m<sup>3</sup>

$\mu$  = Viscosidad Absoluta: 1,102 x 10<sup>-3</sup> N x s/ m<sup>2</sup>

$\sqrt{(\gamma/\mu)}$  = Relación peso específico y viscosidad absoluta: 3114.64 Tabla 12-1

$h_{F1}$  = Pérdida de carga total, (0,096 m)

$t_{RF}$  = Tiempo de mezcla en el resalto, (20min)

$$G_F = \sqrt{\frac{9789 \text{ N/m}^3}{1,102 \times 10^{-3}}} \times \sqrt{\frac{0,096}{20 \text{ min} \times 60 \text{ s/min}}}$$

$$G_F = 26,65 \text{ s}^{-1}$$

#### 3.2.2.7 Diseño del Tanque de Sedimentación

A continuación dimensionaremos un sedimentador de Alta tasa (placas) debido que este es un tipo de sedimentador muy eficiente y posee tiempos de retención cortos de 15 min, para un caudal de 0,040 m<sup>3</sup>/ s, la temperatura del agua es de 20 °C, se adopta una sola unidad para una mejor operación y mantenimiento del mismo.

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

Para el diseño se deberá calcular la carga superficial en el área de sedimentación. Se obtiene mediante la Ecuación 69:

$$V_{CS} = \frac{L_P}{t_{RP}}$$

Datos:

$L_P$  = Longitud de las Placas, 1,20 m (Valor asumido Tabla 16-1)

$t_{RP}$  = Tiempo de Retención en las placas, 30 min (Valor asumido Tabla 17-1)

$$V_{CS} = \frac{1,20 \text{ m}}{20 \text{ min}}$$

$$V_{CS} = 0,06 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$V_{CS} = 86,40 \frac{\text{m}}{\text{dia}}$$

### b. Área de Sedimentación

Esta área de sedimentación la calculamos utilizando la Ecuación 70:

$$A_s = \frac{Q_{\text{Diseño}}}{V_{CS} \text{ sen } \theta}$$

Datos:

$Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de diseño (3456,26 m<sup>3</sup>/d)

$V_{CS}$  = Carga superficial después de instalar las placas, (86,40 m/d)

$\Theta$  = Ángulo de Inclinación del elemento de sedimentación, (60°)

$$A_s = \frac{3456,26 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{86,40 \frac{\text{m}}{\text{d}} \times \text{sen } 60}$$

$$A_s = 46,19 \text{ m}^2$$

### c. Longitud de Sedimentación:

La longitud de sedimentación la calculamos mediante la Ecuación 71:

$$L_{TS} = \frac{A_s}{b_s}$$

Datos:

$A_s$  = Área superficial de sedimentación acelerada, (46,19 m<sup>2</sup>)

$b_s$  = Ancho del Sedimentador: 2,40 m (Valor asumido de la Tabla 16-1)

$$L_{TS} = \frac{46,19 \text{ m}^2}{2,40 \text{ m}}$$

$$L_{TS} = 19,24 \text{ m}$$

#### d. Longitud Relativa del sedimentador de alta tasa

Para calcular la longitud relativa del sedimentador de alta tasa utilizamos la Ecuación 72:

$$L_{RS} = \frac{L_P}{A_P}$$

Datos:

$L_P$  = Longitud de las Placas: 1,20 m (Valor asumido Tabla 16-1)

$A_P$  = ancho del conducto o espaciamiento entre placas: 0,05m (Valor asumido de la Tabla 17-1)

$$L_{RS} = \frac{1,20 \text{ m}}{0,05 \text{ m}}$$

$$L_{RS} = 24$$

#### e. Numero de Reynolds

Para calcular el Número de Reynolds utilizamos la Ecuación 77:

$$Re = \frac{V_{CS} \times A_P}{\nu}$$

Datos:

$T$  = Temperatura del Agua 20°C

$V_{CS}$  = Carga superficial después de instalar las placas, (86,40 m/d: 0,001 m/s)

$A_P$  = ancho del conducto o espaciamiento entre placas: 0,05m (Valor asumido de la Tabla 17-1)

$\nu$  = Viscosidad cinemática:  $1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (Valor tomado de la Tabla 15-1 con la temperatura)

$$Re = \frac{0,001 \frac{m}{s} \times 0,05 \text{ m}}{1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 49,85$$

#### f. Longitud Relativa en la región de Transición

Para calcular la longitud relativa en la región de transición utilizamos la Ecuación 73:

$$L' = 0,013 \times Re$$

Datos:

$Re$  = Número de Reynolds: 49,85

$$L' = 0,013 \times 49,85$$

$$L' = 0,65$$

#### g. Longitud Relativa Corregida

La longitud relativa corregida en la longitud de transición del sedimentador se calcula con la Ecuación 74:

$$L_{RC} = (L_{RS} - L')$$

Datos:

$L'$  = Longitud relativa en la región de transición: 0,65

$L_{RS}$  = longitud relativa del sedimentador: 24

$$L_{RC} = (24 - 0,57)$$

$$L_{RC} = 23,35$$

#### h. Velocidad de sedimentación Crítica

Para calcular la velocidad de sedimentación crítica utilizamos la Ecuación 76:

$$V_{CA} = \frac{S_C \times V_{CS}}{\text{sen } \theta + (L_{RC} \times \text{cos } \theta)}$$

Datos:

$V_{CS}$  = Carga superficial después de instalar las placas: (86,40 m/d)

$\theta$  = Ángulo de Inclinación del elemento de sedimentación, (60°)

$L_{RC}$  = Longitud Relativa Corregida: 23.35 (CRITES, 2000)

$S_C$  = Constante para cada tipo de modulo: 1 (Valor asumido Tabla 18-1)

$$V_{CA} = \frac{1 \times 86,40 \text{ m/d}}{\text{sen } 60 + (23,35 \times \text{cos } 60)}$$

$$V_{CA} = 6,89 \text{ m/d}$$

$$V_{CA} = 7.97 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

#### i. Tiempo de Retención en las placas

Para calcular el tiempo de Retención en las placas utilizamos la Ecuación 79:

$$t_{RH} = \frac{L_p}{V_{CS}}$$

Dónde:

$V_{CS}$  = Carga superficial después de instalar las placas: (0,001m/s)

$L_r = L_p$  = Longitud recorrida a través del elemento: 1,20m (Valor asumido Tabla 16-1)

$$t_{RH} = \frac{1,20 \text{ m}}{0,001 \text{ m/s}}$$

$$t_{RH} = 1200 \text{ s} = 20 \text{ min}$$

**j. Velocidad promedio de flujo entre las placas**

Para calcular la velocidad promedio de flujo entre placas utilizamos la Ecuación 80:

$$V_{PP} = \frac{Q_{Diseño}}{A_S x \text{sen } \theta}$$

Datos:

$Q_{Diseño}$  = Caudal de Diseño: 3456.26 m<sup>3</sup>/d

$A_S$  = Área superficial de sedimentación acelerada: 46,19 m<sup>2</sup>

$\Theta$  = Angulo de Inclinación del elemento de sedimentación: 60°

$$V_{PP} = \frac{3456 \text{ m}^3/\text{d}}{46,19 \text{ m}^2 x \text{sen } 60}$$

$$V_{PP} = 86,40 \text{ m/d}$$

$$V_{PP} = 0,001 \text{ m/s}$$

**k. Número de placas por modulo**

Para calcular el número de placas por modulo utilizamos la Ecuación 81:

$$N_P = \frac{(L_{TS} x \text{sen } \theta) + S_P}{S_P + e_P}$$

Datos:

$L_{TS}$  = Longitud de Sedimentacion: 19,24 m

$\Theta$  = Ángulo de Inclinación del elemento de sedimentación, (60°)

$S_P$  = Separación entre placas: 0,05 m (Valor Asumido Tabla 17-1)

$e_P$  = Espesor de las placas: 0,01m (Valor asumido Tabla 16-1)

$$N_p = \frac{(19,24 \text{ m} \times \text{sen } 60) + 0,05 \text{ m}}{0,05 \text{ m} + 0,01 \text{ m}}$$

$$N_p = 278 \text{ placas}$$

### l. Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

Para calcular el tiempo de retención en el tanque de sedimentación utilizamos la Ecuación 82:

$$tr_s = \frac{V}{Q_{\text{Diseño}}} = \frac{A_s \times H_s}{Q_{\text{Diseño}}}$$

Datos:

$Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Diseño:  $0,040 \text{ m}^3/\text{s}$

$H_s$  = Altura total del sedimentador:  $4,5 \text{ m}$  (Valor Asumido Tabla 17-1)

$A_s$  = Área superficial de sedimentación:  $46,19 \text{ m}^2$

$$tr_s = \frac{46,19 \text{ m}^2 \times 4,5 \text{ m}}{0,040 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$tr_s = 5196,38 \text{ s} = 86,60 \text{ min}$$

### m. Volumen del Tanque Sedimentador

Para calcular el volumen del Tanque sedimentador utilizamos la Ecuación 83:

$$V_s = L_{TS} \times b_s \times H_s$$

Datos:

$b_s$  = Ancho del Tanque Sedimentador:  $2,40 \text{ m}$  (Valor asumido Tabla 16-1)

$L_{TS}$  = Longitud del Tanque Sedimentador:  $19,24 \text{ m}$

$H_s$  = Altura del Tanque Sedimentador:  $4,5 \text{ m}$  (Valor asumido Tabla 17-1)

$$V_s = 19,24 \text{ m} \times 2,40 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$$

$$V_s = 207,79 \text{ m}^3$$

### 3.2.2.8 Diseño de un Filtro

#### a) Área del Filtración

Para calcular el área del filtro utilizamos la Ecuación 84:

$$A_F = \frac{Q}{T_{FL}}$$

Datos:

**Q**= Caudal de Diseño (3456,26 m<sup>3</sup>/d)

**T<sub>FL</sub>**= Tasa de Filtración, (120 m/d)

$$A_F = \frac{3456,26 \frac{m^3}{d}}{120 \frac{m}{d}}$$

$$A_F = 28,80 \text{ m}^2$$

#### b) Número de módulos de filtración

Para calcular el número de módulos de filtración utilizamos la Ecuación 85:

$$N_{MF} = 0,5 \times \sqrt[3]{A_F}$$

Datos:

**A<sub>F</sub>** = Área de filtración: 28,80 m<sup>2</sup>

$$N_{MF} = 0,5 \times \sqrt[3]{28,80 \text{ m}^2}$$

$$N_{MF} = 2,06 \approx 2 \text{ unidades}$$

#### c) Área para cada unidad

Para calcular el área para cada unidad utilizamos la Ecuación 86:

$$A_U = \frac{A_F}{N_{MF}}$$

Datos:

$N_{MF}$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo: 2 unidades

$A_F$  = Área de filtración: 28,80 m<sup>2</sup>

$$A_U = \frac{28,80 \text{ m}^2}{2}$$

$$A_U = 14,40 \text{ m}^2$$

#### d) Dimensiones del filtro

Para determinar el ancho y la longitud de cada unidad, se realiza los siguientes cálculos:

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

Para calcular la longitud de la pared común por unidad utilizamos la Ecuación 87:

$$L_{FU} = \left( \frac{2 \times N_{MF} \times A_U}{2 \times N_{MF}} \right)^{0,5}$$

Datos:

$N_{MF}$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo: 2 unidades

$A_U$  = Área de la unidad: 14,40 m<sup>2</sup>

$$L_{FU} = \left( \frac{2 \times 2 \times 14,40 \text{ m}^2}{2 \times 2} \right)^{0,5}$$

$$L_{FU} = 3,79 \text{ m}$$

2. Cálculo del ancho de la unidad

Para el cálculo del ancho de la unidad utilizamos la Ecuación 88:

$$b_{FU} = \left[ \frac{(N_{MF} + 1) \times A_U}{2 \times N_{MF}} \right]$$

Datos:

$N_{MF}$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo: 2 unidades

$A_U$  = Área de la unidad: 14,40 m<sup>2</sup>

$$b_{FU} = \left[ \frac{(2 + 1) \times 14.40 \text{ m}^2}{2 \times 2} \right]$$

$$b_{FU} = 3,28 \text{ m}$$

### 3. Longitud Total de la Pared

Para calcular la longitud total de la pared utilizamos la Ecuación 89:

$$L_{TP} = (2 \times b_{FU} \times N_{MF}) + L_{FU} \times (N_{MF} + 1)$$

Datos:

$b_{FU}$  = Ancho de la unidad de Filtración: 3,28m

$N_{MF}$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo: 2 unidades

$L_{FU}$  = Longitud de la pared común por unidad: 3,79 m

$$L_{TP} = (2 \times 3,28 \text{ m} \times 2) + 3,79 \text{ m} \times (2 + 1)$$

$$L_{TP} = 24,49 \text{ m}$$

### 4. Longitud total mínima de pared

Para calcular la longitud total mínima de la pared utilizamos la Ecuación 90:

$$L_{TM} = 2 \times L_{FU} \times (N_{MF} + 1)$$

Datos:

$N_{MF}$ = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo: 2 unidades

$L_{FU}$ = Longitud de la pared común por unidad: 3,79 m

$$L_{TM} = 2 \times 3,79 \text{ m} \times (2 + 1)$$

$$L_{TM} = 22,79 \text{ m}$$

## 5. Altura del Filtro

Para calcular la altura del filtro utilizamos la Ecuación 91:

$$Z_F = fs \times (H_{CA} + H_{LF} + H_{CS} + H_D)$$

Datos:

$H_{CA}$ = Altura de la capa de agua, (2 m)

$H_{LF}$ = Altura del Lecho Filtrante, (0,9 m)

$H_{CS}$  = Altura de la capa soporte (0,20 m)

$H_D$ = Altura de drenaje, (0,20 m)

$fs$ = Factor de seguridad del 10%

$$Z_F = 1,10 (2 + 0,20 + 0,90 + 0,20)$$

$$Z_F = 3,05 \text{ m}$$

## 6. Volumen del filtro

$$V_{FL} = Z_F \times b_{FU} \times L_{FU}$$

Datos:

$Z_F$ = Altura del filtro: 3,05 m

$b_{FU}$  = Ancho del filtro: 3,28 m

$L_{FU}$ = Longitud del filtro: 3,79 m

$$V_{FL} = 3,05 \text{ m} \times 3,28 \text{ m} \times 3,79 \text{ m}$$

$$V_{FL} = 107,27 \text{ m}^3$$

### e) Sistema de Drenaje

Los parámetros con los que se diseña el sistema de drenaje se muestra en los siguientes cálculos:

#### 1. Área de orificios laterales

Para calcular el área de orificios laterales utilizamos la Ecuación 92:

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

Datos:

$D_o$ = Diámetro de los orificios: 10mm: 0,01 m (Valor asumido Tabla 20-1)

$$A_{CO} = \frac{\pi \times (0,01 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{CO} = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

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

#### 2. Caudal que ingresa a cada orificio

Para calcular el caudal que ingresa a cada orificio utilizamos la Ecuación 93:

$$Q_I = A_{CO} \times V_{OF}$$

Datos:

$A_{CO}$ = Área de cada orificio:  $7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

$V_{OF}$ = Velocidad en el orificio: 3m/s (Valor asumido Tabla17-1)

$$Q_I = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times 3 \text{ m/s}$$

$$Q_I = 2,36 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### 3. Número de laterales

Para calcular el número de laterales utilizamos la Ecuación 94:

$$N_L = N_{LF} \times \frac{L_{TP}}{S_{EL}}$$

Datos:

$N_{LF}$  = Número de laterales por lado; (2 Valor asumido)

$L_{TP}$  = Longitud total del filtro: 24,44 m

$S_{EL}$  = Separación entre laterales: 1,2 m (Valor asumido Tabla 20-1)

$$N_L = 2 \times \frac{24,49 \text{ m}}{1,2 \text{ m}}$$

$$N_L = 76,42 \text{ unidades}$$

### 4. Separación entre orificios

Para calcular la separación entre orificios utilizamos la Ecuación 95:

$$S_O = \frac{\# \text{ orificios}}{\text{laterales}} = 2 \times \frac{L_{CL}}{e_O}$$

Datos:

$L_{CL}$  = Longitud de cada lateral: 3m (Valor asumido Tabla 20-1)

$e_O$  = Espacio entre orificios: 0,08 m (Valor asumido Tabla 20-1)

$$S_O = 2 \times \frac{3 \text{ m}}{0,8 \text{ m}}$$

$$S_O = 75$$

### 5. Número total de orificios

Para calcular el número total de orificios utilizamos la Ecuación 96:

$$N_o = \# \text{ total de orificios} = N_L \times S_o$$

Datos:

$N_L$  = Número de laterales: 41

$S_o$  = Separación entre orificios: 75

$$N_o = 41 \times 75$$

$$N_o = 3075$$

#### 6. Área total de orificios

Para calcular el área total de orificios utilizamos la Ecuación 97:

$$A_{TO} = A_{CO} \times N_o$$

Datos:

$A_{CO}$  = Área de cada orificio:  $7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

$N_o$  = Número total de orificios: 3075

$$A_{TO} = 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times 3075$$

$$A_{TO} = 0,24 \text{ m}^2$$

#### 7. Diámetro de tubería de entrada al filtro

Para calcular el diámetro de tubería de entrada al filtro utilizamos la Ecuación 98:

$$D_T = \sqrt{\frac{4 Q_I}{v \times \pi}}$$

Datos:

$Q_I = Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Ingreso:  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$

$v$  = Velocidad de la Tubería:  $2 \text{ m/s}$

$$D_T = \sqrt{\frac{4 \times 0,2 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi}}$$

$$D_T = 0,113 \text{ m}$$

8. Diámetro de la tubería de salida del filtro

La tubería de salida del filtro se calcula mediante la Ecuación 99:

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{4 \times Q_I}{v_S \times \pi}}$$

Datos:

$Q_I = Q_{\text{Diseño}}$  = Caudal de Ingreso: 0,02 m<sup>3</sup>/s

$v_S$  = Velocidad del agua a través de la Tubería de salida: 0,8m/s

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{4 \times 0,2 \text{ m}^3/\text{s}}{0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi}}$$

$$D_{TS} = 0,18 \text{ m}$$

f) **Cálculo del tiempo y volumen de la solución de lavado para el filtro**

1. Cálculo de la velocidad de lavado

$$V_{LF} = C_U \times T_E$$

Datos:

$C_U = 0,58$  (Valor asumido Tabla 4-3)

$T_E = 1,5$  (Valor asumido Tabla 4-3)

**Tabla 4-3:** Valores para Lavado de Resina

CU	TE
0,58	1,5

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices, 2012

$$V_{LF} = 0,5 \times 1,5$$

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

2. Cálculo del tiempo de lavado

$$2,303 \frac{L}{kq} = \frac{\theta}{\log_{co} - \log_c}$$

Datos:

k= constante característica; (0,3 – 0,5)

L= espesor de la torta: 0,04 m

C<sub>0</sub>= turbidez de inicio: 55 NTU

C= turbidez final: 3 NTU

$$\theta = \frac{2,303 L}{k \times v_L} \log \frac{C_0}{C}$$

$$\theta = \frac{2,303 \times 0,04}{0,4 \times 2,27} \log \frac{55}{3}$$

$$\theta = 0,17 \text{ h}$$

$$\theta = 10,2 \text{ min}$$

3. Cálculo del volumen de lavado

Para un tiempo calculado de 10,2min la cantidad de agua que se necesita para lavar el filtro es:

$$V_{LV} = V_{LF} \times A_F \times \theta$$

Datos:

$V_{LF}$ = Velocidad de lavado: 0,75 m

$A_F$ = Área del filtro: 28,80 m<sup>2</sup>

$\theta$  = tiempo de lavado: 10,2 min

$$V_{LV} = 0,75m \times 28,80 m^2 \times 10,2$$

$$V_{LV} = 220,32 m^3$$

### g) Análisis de la resina

1. Cálculo de granos de la resina

$$\frac{G_{RS}}{d} = Q \times D$$

Datos:

Q= Caudal de diseño: 3456,26 m<sup>3</sup>/ día = 9131,46 galones/día

$$\frac{G_{RS}}{d} = 9131,46 \times 85,53$$

$$\frac{G_{RS}}{d} = 781013,77$$

2. Volumen de la Resina

Usamos el factor de conversión 1ft<sup>3</sup> = 30000 granos de resina

$$V_{RS} = \frac{G_{RS}}{30000}$$

Datos:

$G_{RS}$ = 781013,77

$$V_{RS} = \frac{781013,77}{30000}$$

$$V_{RS} = 26,03 \text{ ft}^3$$

$$V_{RS} = 0,73 \text{ m}^3$$

### 3. Cantidad de la Resina

$$C_{RS} = V_{RS} \times \rho_{RS}$$

Datos:

$V_{RS}$  = Volumen de la resina: 26,03 ft<sup>3</sup>

$\rho_{RE}$  = Densidad de la resina: 72,68 lb/ft<sup>3</sup>

$$C_{RS} = 26,03 \text{ ft}^3 \times 72,68 \text{ lb/ft}^3$$

$$C_{RS} = 1891,86 \text{ lb}$$

$$C_{RS} = 851,33 \text{ kg}$$

Para activar la resina utilice 80 ml de Solución de salmuera por cada 50 g de resina es decir para activar 851,33 kg de resina necesito:

$$0,05 \text{ kg resina} \rightarrow 0,08 \text{ L salmuera}$$

$$851,33 \text{ kg resina} \rightarrow X$$

$$X = \frac{851,22 \text{ kg resina} \times 0,08 \text{ L salmuera}}{0,05 \text{ kg resina}}$$

$$X = 1362,13 \text{ L salmuera}$$

Se utilizara 1362,13 L de Salmuera para tratar 851,33 Kg de resina. Es decir que requiero 68,10 Kg de NaCl (Cloruro de Sodio) para preparar dicha cantidad de Salmuera al 5 %.

### 4. Volumen del Tanque de Salmuera

$$V_{TS} = \pi \times r^2 \times h$$

Datos:

r= Radio del tanque de salmuera (0,50 m)

h= Altura del tanque (Valor asumido 2,50 m)

$$V_{TS} = \pi \times (0,50)^2 \times 2,5$$

$$V_{TS} = 1,96 \text{ m}^3$$

#### 5. Ciclo de Regeneración

$$C_{RG} = \frac{G_{RS}}{V_{RS} \times 1000}$$

Datos:

$G_{RS} = 781013,77$

$V_{RS} =$  Volumen de la resina: 26,03 ft<sup>3</sup>

$$C_{RG} = \frac{781013,73}{26,03 \times 1000}$$

$$C_{RG} = 30,00 \frac{kg}{ft^3 \text{ dia}}$$

Para poder calcular el tiempo de regeneración de la resina utilizamos la siguiente Ecuación:

$$T_{RG} = \frac{C_{CR} \times E_{RS}}{C_{RG}}$$

Datos:

$C_{CR} =$  Capacidad total de la resina: 85,8 kg/ft<sup>3</sup> (Valor obtenido de la ficha técnica de la resina)

$E_{RS} =$  Eficiencia de la resina: 85% (Valor obtenido de la ficha técnica de la resina)

$C_{RG} =$  Ciclo de regeneración: 30,00 kg/ ft<sup>3</sup> día

$$T_{RG} = \frac{85,8 \times 0,85}{30,00}$$

$$T_{RG} = 2,43 \text{ dia}$$

### 3.3 Resultados del Sistema de Tratamiento

#### 3.3.1 Proyección Futura

**Tabla 5-3:** Resultados obtenidos de la Población futura 2035

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Población Actual 2015	Pa	1119,84	habitantes
Índice de Crecimiento	r	0,34	%
Periodo de Tiempo	t	20	años
Población Futura 2035	Pf	1198,49	habitantes

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña

#### 3.3.2 Resultados de Caudales a tratar en la Planta de Tratamiento

**Tabla 6-3:** Caudales para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Dotación Consumida	Dc	462,92	L/hab x día
Dotación Futura	Df	771,53	L/hab x día
Caudal Medio Diario	Qmd	38,53	m <sup>3</sup> /h
Caudal de Diseño	Qdiseño	144,09	m <sup>3</sup> /h
Caudal Máximo Diario	Qmax	187,32	m <sup>3</sup> /h
Caudal Mínimo Diario	Qmin	43,22	m <sup>3</sup> /h

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña

#### 3.3.3 Resultados del Dimensionamiento de Rejillas

**Tabla 7-3:** Dimensionamiento de Rejillas

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
<b>Rejillas de Gruesos</b>			
Angulo de Inclinación con la Horizontal		60	°
Separación entre barrotes	e	4,5 x 10 <sup>-3</sup>	m
Suma de las separaciones entre barras	bg	0,70	m
Espesor de los Barrotes	S	1,4 x 10 <sup>-3</sup>	m
Velocidad a través de la Rejilla	Vr	0,52	m/s
Numero de Barrotes	n	15	unidades
<b>Rejillas de Finos</b>			

Angulo de Inclinación con la Horizontal		60	°
Suma de las separaciones entre barras	bg	0,39	m
Espesor de los Barrotes	S	$1,4 \times 10^{-3}$	m
Velocidad a través de la Rejilla	Vr	0,93	m/s
Numero de Barrotes	n	21	unidades

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña

### 3.3.4 Resultados del Dimensionamiento del Tanque Homogenizador

**Tabla 8-3:** Dimensionamiento del Tanque Homogenizador

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Área	AH	34,56	m <sup>2</sup>
Diámetro	H	6,63	m
Volumen	VH	138,24	m <sup>3</sup>
Agitador de Paletas			
Numero de Deflectores	n	4	-
Ancho de Deflectores	WB	0,66	m
Diámetro de Impulsor	DI	1,10	m
Altura del impulsor	HI	2,21	m
Ancho de las Palas	API	0,44	m
Longitud de las Palas	LPI	0,55	m
Diámetro Disco Central	SDC	1,66	m
Espesor de las Paletas	e	2,68	mm

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña

### 3.3.5 Resultados del Dimensionamiento de la Canaleta Parshall

**Tabla 9-3:** Dimensionamiento de la Canaleta Parshall

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Altura del agua en la sección de medición	H <sub>0</sub>	0,15	m
Ancho de la garganta	W	0,305	m
Dimensiones de la Canaleta			
Longitud de paredes sección convergente	A	1,372	m
Longitud sección convergente	B	1,344	m
Ancho de la salida	C	0,61	m
Ancho entrada sección convergente	D	0,84	m

Longitud de la Garganta	F	0,61	m
Longitud de la sección divergente	G'	0,915	m
Longitud paredes sección divergente	K'	0,076	m
Dimensión de la Canaleta	N	0,229	m
Ancho entrada sección convergente	D'	0,66	m
Velocidad de la sección de convergencia	V <sub>O</sub>	0,40	m/s
Angulo de inclinación	θP	108,25	°
Velocidad antes del resalto	V <sub>1</sub>	2,21	m/s
Altura de agua antes del resalto	H <sub>1</sub>	0,065	m
Numero de Froude	F <sub>1</sub>	2,51	-
Altura del resalto	H <sub>2</sub>	0,20	m
Velocidad del resalto	V <sub>2</sub>	0,66	m/s
Altura en la sección de salida de la canaleta	H <sub>3</sub>	0,047	m
Velocidad en la sección de salida	V <sub>3</sub>	1,40	m/s
Tiempo de mezcla en el resalto	T	0,89	s
Gradiente de Velocidad	G'	1641,59	s

**Realizado por:** Mónica Marcela Parra Lamiña

### 3.3.6 Resultados del Dimensionamiento Floculador Hidráulico de flujo Horizontal

**Tabla 10-3:** Dimensionamiento Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Ancho del Floculador	b <sub>F</sub>	2,84	m
Longitud del Floculador	L <sub>F</sub>	20,99	m
Tiempo de retención	T <sub>RF</sub>	20	min
Número de canales	N <sub>CF</sub>	54	-
Longitud de canales	L <sub>CF</sub>	156	m
Ancho de canales de floculación	B <sub>CF</sub>	0,27	m
Altura de agua en la unidad	H <sub>UF</sub>	1,10	m
Ancho de vueltas de floculación	B <sub>VF</sub>	0,41	m
Espesor de las laminas	e	0,12	m

**Realizado por:** Mónica Marcela Parra Lamiña

### 3.3.7 Resultados de Dimensionamiento del Sedimentador de Alta Tasa

**Tabla 11-3:** Dimensionamiento del Sedimentador de Alta Tasa

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Altura del sedimentador	HS	4,5	m
Ancho del sedimentador	BS	2,40	m
Longitud de sedimentación	LTS	19,24	m
Tiempo de retención en el tanque	tRS	5196,38	s
Volumen del tanque	VS	207,74	m <sup>3</sup>
Número de placas	NP	278	-
Angulo de inclinación de las placas	$\theta$	60	°
Separación entre las placas	AP	0,05	m
Espesor de las placas	EP	0,01	m
Altura de las placas	LP	1,20	m
Altura del agua sobre las placas	HSP	1,50	m
Altura por debajo de las placas	HDP	1,65	m
Numero de Reynolds	Re	49,85	-
Tiempo de retención en las placas	TRH	1200	s

**Realizado por:** Mónica Marcela Parra Lamiña

### 3.3.8 Resultados del Dimensionamiento del Filtro de Zeolita

**Tabla 12-3:** Dimensionamiento del Filtro de Zeolita

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Área de cada unidad	AU	14,40	m <sup>2</sup>
Numero de filtros	NMF	2	-
Longitud de la unidad	LFU	3,79	m
Ancho de la unidad	bFU	3,28	m
Altura del filtro	ZF	3,05	m
Caudal para cada filtro	QI	0,00023	m <sup>3</sup> /s
Diámetro de los orificios	DO	0,01	m
Espacio entre los orificios	EO	0,08	m
Número total de orificios	NO	3075	-
Numero de laterales	NL	76,42	-
Altura del drenaje	FC	0,60	m
Diámetro de la tubería de entrada	DT	0,43	m
Diámetro de la tubería de salida	DTS	0,18	m
Velocidad lavado del filtro	VLF	0,75	m/min

Tiempo de lavado	$\theta$	10,2	min
Volumen de lavado	VLV	220,32	m
Cantidad de la Resina	CRS	851,33	kg
Volumen Tanque de Salmuera	VTS	1,96	m

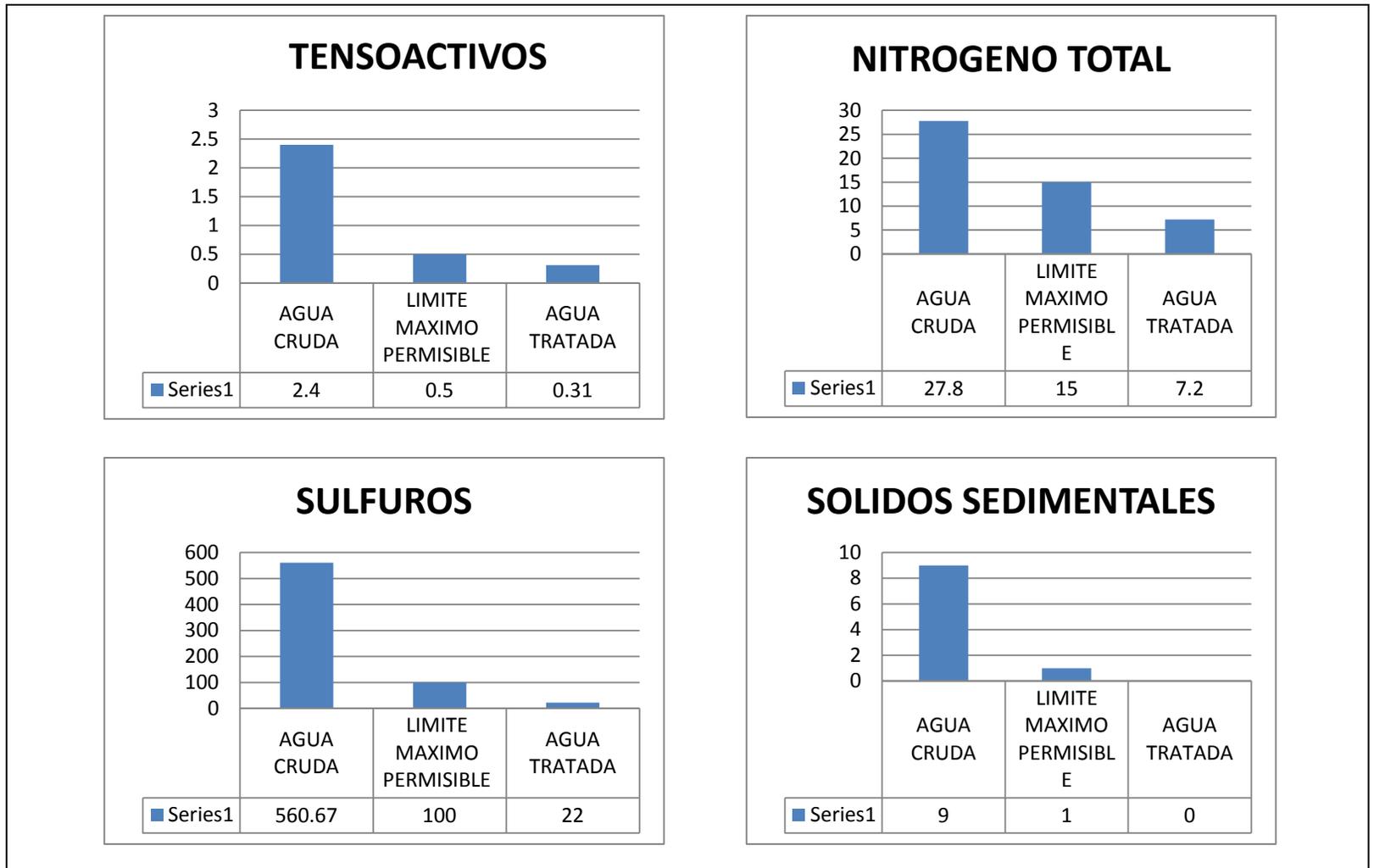
Realizado por Mónica Marcela Parra Lamiña

### 3.3.9 Resultados de la Caracterización Final Fisicoquímica y Microbiológicos del Agua Tratada comparada con el TULAS Anexo VI Tabla 12

Tabla 13-3: Resultados comparados con el TULAS

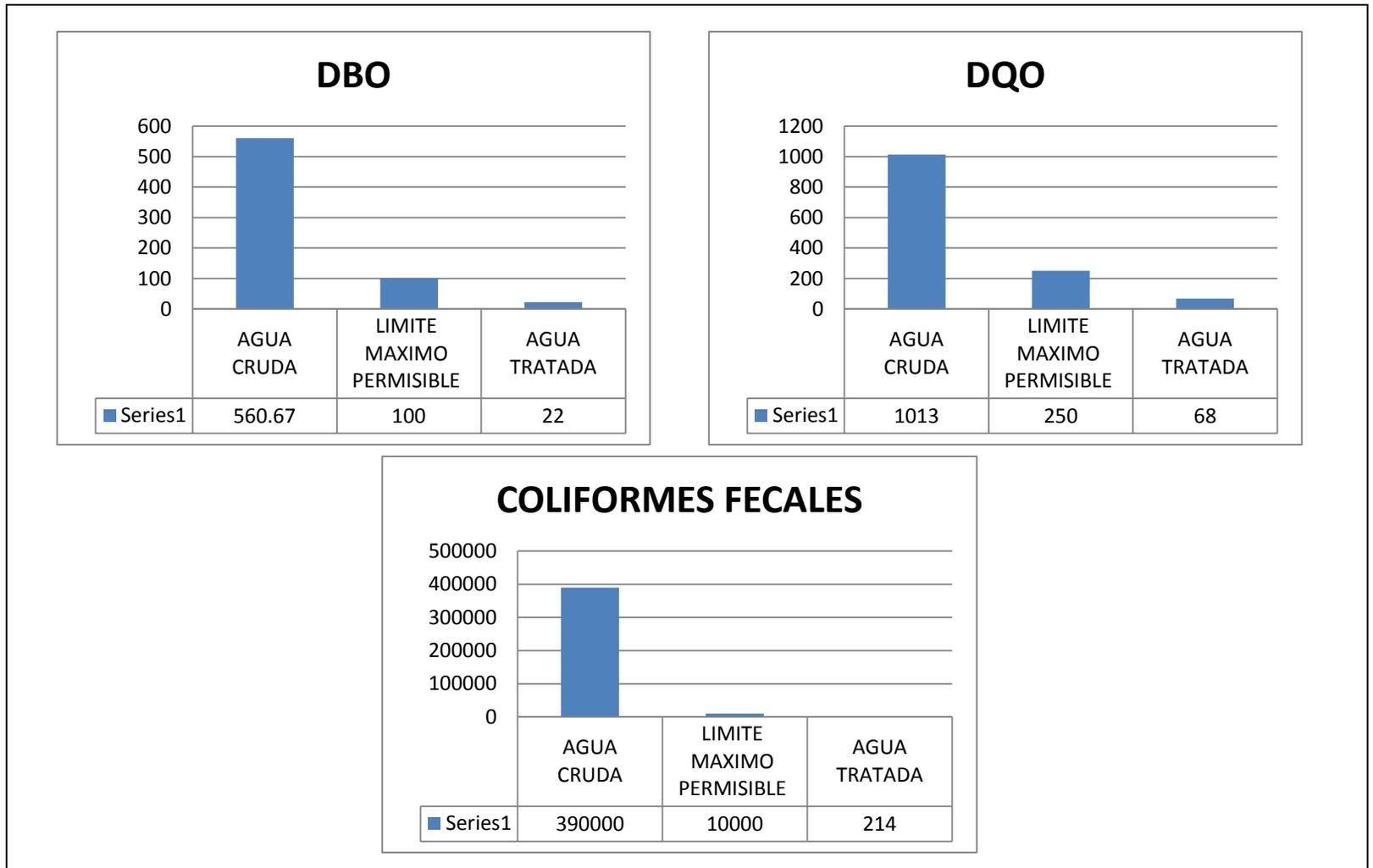
PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE	VALOR INICIAL	VALOR FINAL
TENSOACTIVOS	mg/L	0,5	2,40	0,31
NITROGENO TOTAL	mg/L	15	25,80	7,20
SULFUROS	mg/L	0,5	> 9,9	0,095
DBO	mg/L	100	560,67	22
DQO	mg/L	250	1013	68
SOLIDOS SEDIMENTALES	ml/l	1	9	0
SULFATOS	mg/L	1000	57,33	19
POTENCIAL DE HIDROGENO	pH	6 -9	5,67	7,55
TURBIDEZ	NTU		150	1,20
SOLIDOS TOTALES	mg/L	1600	366	828
COLIFORMES FECALES	UFC/100ml	Remoción > 99,9 %	$5,6 \times 10^5$	214

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña



**Figura 1-3:** Gráfico del Resultado Final del Agua Residual Tratada Fisicoquímico

**Realizado por:** Mónica Marcela Parra Lamiña



**Figura 2-3:** Gráfico de Resultado Final del Agua Residual Tratada Microbiológico

**Realizado por:** Mónica Marcela Parra Lamiña

**3.3.10 Resultados de la Caracterización Final Fisicoquímica y Microbiológicos del Agua Tratada comparada con el TULSMA Acuerdo Ministerial N 028**

Dado que en los últimos meses la Norma con la que estábamos trabajando se actualizó, también procedimos a comparar nuestro resultado final con la norma actualizada.

**Tabla 14-3:** Resultados finales comparados con el TULSMA

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE	VALOR INICIAL	VALOR FINAL
TENSOACTIVOS	mg/L	0,5	2,40	0,31
NITROGENO TOTAL	mg/L	50	25,80	7,20
SULFUROS	mg/L	0,5	> 9,9	0,095
DBO	mg/L	100	560,67	22
DQO	mg/L	200	1013	68
SOLIDOS SEDIMENTALES	ml/l	1	9	0
SULFATOS	mg/L	1000	57,33	19
POTENCIAL DE HIDROGENO	pH	6 -9	5,67	7,55
TURBIDEZ	NTU	-	150	1,20
SOLIDOS TOTALES	mg/L	1600	366	828
COLIFORMES FECALES	UFC/100ml	10000	5,6 x10 <sup>5</sup>	214

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña

**3.3.11 Requerimiento del Presupuesto**

En la siguiente tabla se muestra el presupuesto general para la construcción de la Planta de Tratamiento de Agua residual para la Parroquia San Antonio de Bayushig.

**Tabla 15-3:** Inversión de la Planta de Tratamiento

<b>CANALETA PARSHALL</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
LIMPIEZA Y DESBROCE	m <sup>2</sup>	5.2	0.90	4.69
REPLANTEO Y NIVELACION	m <sup>2</sup>	5.2	0.99	5.13
EXCAVACION MANUAL	m <sup>3</sup>	1.56	8.10	12.64
REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm2	m <sup>2</sup>	4.33	90.11	390.17
HORMIGON SIMPLE F`C=210 Kg/CM2	m <sup>3</sup>	0.753	175.13	131.88
ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE	m <sup>2</sup>	11.53	9.25	106.63
ENCOFRADO CON MADERA	m <sup>2</sup>	8.8	7.55	66.42
MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm	m <sup>2</sup>	5.6	4.68	26.18
			<b>TOTAL=</b>	<b>743.73</b>

<b>TANQUE HOMOGENIZADOR</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
LIMPIEZA Y DESBROCE	m <sup>2</sup>	40	0.90	36.04
REPLANTEO Y NIVELACION	m <sup>2</sup>	40	0.99	39.44
EXCAVACION MANUAL	m <sup>3</sup>	15.12	8.10	122.48
REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm2	m <sup>2</sup>	37.7	90.11	3397.09
HORMIGON SIMPLE F`C=210 Kg/CM2	m <sup>3</sup>	8.5365	175.13	1495.03
ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE	m <sup>2</sup>	151.52	9.25	1401.26
ENCOFRADO CON MADERA	m <sup>2</sup>	113.82	7.55	859.11
MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm	m <sup>2</sup>	56.91	4.68	266.05
EJE DE PALETAS	M	2.21	9.50	21.00
PLACAS DE ACERO 4mm	m <sup>2</sup>	0.968	40.00	38.72

TUBERIA PVC 200mm	M	3	15.50	46.50
REJILLA METALICA	UNIDAD	1	120.00	120.00
TOTAL=				<b>7842.72</b>

<b>FLOCULADOR HIDRAULICO DE FLUJO HORIZONTAL</b>				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
LIMPIEZA Y DESBROCE	m <sup>2</sup>	76	0.90	68.48
REPLANTEO Y NIVELACION	m <sup>2</sup>	76	0.99	74.94
EXCAVACION MANUAL	m <sup>3</sup>	45	8.10	364.52
REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm2	m <sup>2</sup>	75.5	90.11	6803.19
HORMIGON SIMPLE F`C=210 Kg/CM2	m <sup>3</sup>	21.3044	175.13	3731.12
ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE	m <sup>2</sup>	75.2	9.25	695.45
ENCOFRADO CON MADERA	m <sup>2</sup>	84.6	7.55	638.56
MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm	m <sup>2</sup>	101.22	4.68	473.20
TUBERIA PVC 200mm	M	3	15.50	46.50
TOTAL=				<b>12895.96</b>

<b>SEDIMENTADOR DE ALTA TASA</b>				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
LIMPIEZA Y DESBROCE	m <sup>2</sup>	46	0.90	41.45
REPLANTEO Y NIVELACION	m <sup>2</sup>	46	0.99	45.36
EXCAVACION MANUAL	m <sup>3</sup>	138	8.10	1117.87
REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm2	m <sup>2</sup>	48.4	90.11	4361.25
HORMIGON SIMPLE F`C=210 Kg/CM2	m <sup>3</sup>	16	175.13	2802.14

ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE	m <sup>2</sup>	506	9.25	4679.49
ENCOFRADO CON MADERA	m <sup>2</sup>	506	7.55	3819.29
MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm	m <sup>2</sup>	546	4.68	2552.55
TUBERIA PVC 200mm	M	3.5	15.50	54.25
TOTAL=				<b>19473.64</b>

<b>FILTROS DE ZEOLITA</b>				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
LIMPIEZA Y DESBROCE	m <sup>2</sup>	42	0.90	37.84
REPLANTEO Y NIVELACION	m <sup>2</sup>	42	0.99	41.41
EXCAVACION MANUAL	m <sup>3</sup>	12.6	8.10	102.07
REPLANTILLO H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	40	90.11	3604.34
HORMIGON SIMPLE F <sup>´</sup> C=210 Kg/CM <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	22.8	175.13	3993.06
ENLUCIDO VERTICAL CON IMPERMEABILIZANTE	m <sup>2</sup>	152	9.25	1405.70
ENCOFRADO CON MADERA	m <sup>2</sup>	152	7.55	1147.30
MALLA ELECTROSOLDADA 10X10X6mm	m <sup>2</sup>	152	4.68	710.60
TUBERIA PVC 200mm	M	5	15.50	77.50
TOTAL=				<b>11119.81</b>
COSTO TOTAL DE LA INVERSION		TOTAL=		<b>52075,86</b>

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña

**Tabla 16-3:** Inversión de los Reactivos y Sustancias

DESCRIPCION	Cantidad Anual kg	Presentación kg	Costo unitario	Valor Total
Policloruro de Aluminio	137,2	25	0,75	777.9
Zeolita	851,33	20	2,25	1915.49
NaOH 1N	719,16	25	1,5	1078,74
NaCl 5%	681	25	0,77	524.37
TOTAL				\$ 4296,5

Realizado por: Mónica Marcela Parra Lamiña

### 3.3.12 Propuesta

La propuesta que se realiza para el Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Parroquia San Antonio de Bayushig se basa en los análisis realizados al agua cruda y los resultados obtenidos a través del agua tratada, es la siguiente:



### **3.3.13 Análisis y Discusión de Resultados**

Después de haber realizado todos los tratamientos necesarios al agua residual y al haber obtenido resultados favorables en dicho tratamiento, procedemos al análisis y discusión de resultados que se presentaron al tratar el agua residual, dado que la Parroquia San Antonio de Bayushig no cuenta con una Planta de Tratamiento.

La Caracterización Fisicoquímica y Microbiológica se realizó al agua residual recolectada de los tanques recolectores durante 4 semanas, mediante esta caracterización pudimos observar que parámetros se encontraban fuera de los límites máximos permisibles establecidos por el TULAS, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI, Anexo 1, Tabla 12, estos son: Tensoactivos 2,40 mg/L, Nitrógeno Total 25,80 mg/L, Sulfuros 9,9 mg/L, DBO 560 mg/L, DQO 1013 mg/L, Sólidos Sedimentables 9ml/L y Coliformes Fecales  $5,6 \times 10^5$  NPM/100. Como podemos observar en los resultados de los parámetros fuera de norma, existen una concentración elevada constante de estos parámetros es por ello que se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, mediante el test de jarras con Policloruro de Aluminio y zeolita activada, se consiguió poner dentro de norma los parámetros que se encontraban alterados.

Para comprobar cuál es la mejor dosificación de Policloruro de Aluminio en el agua residual tratada, trabajamos en base al pH y a la turbiedad, teniendo un valor inicial de turbidez de 155 NTU, con esta base de partida se dispuso varias concentraciones de Policloruro de Aluminio y de esta manera pudimos observar diferentes cambios en el agua residual tratada y así poder encontrar la dosificación correcta de PAC, esto podemos observarlo en la Tabla 9-2 y , logrando de esta manera una disminución significativa en los parámetros que se hallaban fuera de norma.

En la Tabla 10-2, podemos observar los porcentajes de remoción obtenidos con la prueba de jarras, siendo la mejor dosificación 1,5 ml de Policloruro de Aluminio, obteniendo de esta manera un descenso significativo de la turbidez de 155 NTU a 6,6 NTU, de igual manera podemos observar la disminución de la concentración de los otros parámetros: DBO 308 mg/L, DQO 460 mg/L, Solidos Sedimentables 0,5 ml/L y Coliformes Fecales  $7,9 \times 10^4$  NPM/100.

Como podemos observar los resultados antes mencionados, aún tenemos parámetros fuera de norma principalmente estos son DBO, DQO y Coliformes Fecales es por ello que se procedió a realizar pruebas de tratabilidad con diferentes filtros, siendo el principal componente de este la Zeolita debido a las características que posee este material, dado que nos sirve como un tamiz molecular y

su alto poder de absorción. En la Tabla 11-2 se muestra que el filtro más efectivo es el filtro con zeolita activada, y de esta manera observamos la disminución de la concentración de los parámetros fuera de norma: DBO<sub>5</sub> mg/L, DQO mg/L, Sólidos Sedimentables 0 ml/L y Coliformes Fecales NPM/100, los porcentajes de remoción los final lo encontramos en la siguiente Tabla 17-3.

**Tabla 17-3:** Porcentaje de Final de Remoción del Agua Residual Tratada

	Valor Inicial	Valor Final	% Remoción
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	632	22	96,51
<b>DQO (mg/L)</b>	1056	68	93,56
<b>SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/L)</b>	9	0	100
<b>pH</b>	8,17	7,51	8,08
<b>TURBIDEZ (NTU)</b>	155	1,20	99,22
<b>TENSOACTIVOS (mg/L)</b>	2,40	0,31	87,08
<b>NITROGENO TOTAL (mg/L)</b>	28,80	7,20	75
<b>SULFUROS (mg/L)</b>	9,9	0,095	99,04
<b>COLIFORMES FECALES (UFC/100mL )</b>	5,6X10 <sup>5</sup>	214	99,96

**Realizado por:** Mónica Marcela Parra Lamiña

De esta manera se considera que la Planta de Tratamiento de Agua residual para la Parroquia San Antonio de Bayushig debe estar conformado por los siguientes procesos: Sistema de Rejillas, para retirar toda clase de residuos grandes y pequeños que puedan llegar afectar en los pasos siguientes del tratamiento; luego se necesita un Tanque Homogenizador, debido a que se necesita estabilizar el pH a una concentración de 8-9 con NaCl al 1N; después el agua se conducirá a una Canaleta Parshall, debido a que necesito una zona de turbulencia y a la vez la adición del agente coagulante Policloruro de Aluminio. Luego el agua será llevada a un proceso de Floculación en un Floculador Horizontal tipo Hidráulico, en donde se aglomeran las partículas para posteriormente pasar a un proceso de Sedimentación en un Sedimentador de Alta Tasa, donde dichas partículas serán sedimentadas por acción de la gravedad, y de esta manera se elimina significativamente la turbidez que posee el agua tratada, después de esto se hace pasar el Agua por un Filtro de Zeolita para que de

esta manera la materia orgánica y los microorganismos que no fueron removidos en los procesos anteriores, sean removidos definitivamente en dicho proceso.

Se considera que todos los procesos antes mencionados son los más adecuados y al haber realizado las pruebas de tratabilidad antes mencionadas cada uno de los parámetros que se encontraban fuera de norma, ahora cumple con los límites máximos permisibles establecidos por el TULAS, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI, Anexo 1, Tabla 12.

## CONCLUSIONES

- Se realizó la Caracterización Físicoquímica y Microbiológica del agua residual proveniente de los tanques recolectores 1 y 2 de la Parroquia de San Antonio de Bayushig, obteniendo los siguientes parámetros fuera de norma: Tensoactivos 2,40 mg/L, Nitrógeno Total 25,80 mg/L, Sulfuros 9,9 mg/L, DBO 560 mg/L, DQO 1013 mg/L, Sólidos Sedimentables 9ml/L y Coliformes Fecales  $5,6 \times 10^5$  NPM/100 .
- Se realizó varias pruebas de tratabilidad al agua residual, obteniendo como más óptimas el test de jaras con la ayuda de la dosificación adecuada de Policloruro de Aluminio y una filtración con la ayuda de Zeolita Activada, dichas pruebas estas especificadas en las Tablas 8-2,9-2,10-2,11-2 ; de esta manera se obtuvieron resultados favorables en cada uno de los parámetros que se encontraban fuera de norma, dichas pruebas de tratabilidad fueron realizadas en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias.
- El sistema de Tratamiento de Agua Residual constara de los siguiente equipos: Sistema de Rejillas para remover toda la clase de residuos que han sido arrastrados hasta los tanques recolectores y de esta manera evitar el taponamiento de los equipos que le proceden, un Tanque de Homogenización para que se mezcle tanto el agua residual del tanque recolector 1 y 2, y adicionar un reactivo que permita elevar el pH para posteriormente adicionar el coagulante requerido y este trabajo de la manera más efectiva, consiguiente se establece una Canaleta Parshall la misma que nos sirve como medidor del caudal de ingreso y a la vez para adicionar el PAC en la dosificación antes mencionada, se añade un Floculador Hidráulico de flujo horizontal debido que este tipo de Floculadores nos sirve para tratar caudales menores a 50 L/S, y además nos ayuda a disminuir significativamente la turbidez del agua, después se establece un Filtro de Zeolita el mismo con la finalidad de absorber toda la materia orgánica y los microorganismos con la ayuda de Zeolita Activada. Tras realizar cada uno de estos procesos se obtiene los resultados más óptimos y pertinentes permitiéndonos concluir que este es el tratamiento más adecuado para tratar el Agua residual de la Parroquia.
- Se validó el tratamiento antes mencionado, con los resultados finales obtenidos en la caracterización final del agua residual, el agua tratada se envió analizar a un laboratorio acreditado denominado CESTTA, y así corroborar con mayor seguridad los parámetros analizados y de esta manera podemos darnos cuenta que cumple con la norma establecida

TULAS, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI, Anexo 1, Tabla 12. Obteniendo los siguientes porcentajes de remoción finales al agua tratada: Tensoactivos 87,08%, Nitrógeno Total 75%, Sulfuros 99,04%, DBO 96,51%, DQO 93,56%, Solidos Sedimentables 100% y Coliformes Fecales 99,96%.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar las pruebas de caracterización de del agua residual de ser posible cada mes, para de esta manera verificar si se está cumpliendo con el tratamiento establecido.
- Se debe capacitar al personal para que se dé una adecuada dosificación del Policloruro de Aluminio, esta dosificación debe ser la correcta para que se pueda dar el proceso de coagulación, previo a este proceso se debe tener en cuenta que el pH se encuentre en un rango de 8-9 para que el coagulante actúe efectivamente.
- Es necesario que se realicen tratamientos de limpieza a cada uno de los equipos de la planta de manera periódica por ejemplo el tanque de floculación, para que de esta manera, cada equipo tenga un funcionamiento correcto.
- Realizar una limpieza sistemática de las rejillas para que de esta manera no se acumule los residuos sólidos y así evitar las perdidas por carga que se pueden producir.
- El personal que va a utilizar los reactivos, debe contar con equipo de protección personal. Además se debe contar con las fichas técnicas de cada reactivo.
- El lavado del filtro se lo puede realizar por retrolavado, y dado que existen dos filtros, el uno puede seguir en funcionamiento mientras que en el otro sigue el tratamiento.
- Se puede dar un tratamiento biológico a los lodos que se producen en el tratamiento, para que sirvan como abono para el suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

**ARBOLEDA, Jorge.** *Teoria y Practica de la Purificacion del Agua.* Bogota-Colombia : Mc Graw-Hill, 2000, pp. 200-201,216-217, 248-249,363-364,444,551-562.

**ARCE, Andrea y CALDERON, Cristian. 2008.** *Fundamentos Tecnicos para nuestro de Aguas Residuales.* [En línea] . [Consulta: 04 de Abril de 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>

**ARTEAGA, Jhoselyn. 2014.** *Tratamiento de Aguas Residuales.* [En línea]. [Consulta: 22 de Marzo de 2015]. Disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresidual.es.html>.

**BUCAY, Ruth.** *Rediseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales* (Tesis de Pregrado).Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2004.pp. 34-59. [En línea]. [Consulta: 15 de Abril de 2015]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3658/1/96T00273%20UDCTFC.pdf>

**GUZMAN, Alvaro. 2013.** *Tratamientos Preeliminarios. Tratamientos Preeliminarios.* [En línea] 08 de 2013. [Consulta: 22 de Abril de 2015.] Disponible en: [http://www.fch.cl/nuevo-sitio/?source-url=archivo\\_nombre\\_tratamientos\\_preliminares.pdf](http://www.fch.cl/nuevo-sitio/?source-url=archivo_nombre_tratamientos_preliminares.pdf)

**ISLA DE JUANA, Ricardo.** *Proyectos de plantas de tratamiento de aguas: aguas de proceso, residuales y de refrigeracion.* Bogota-Colombia : San Cristobal, 2005, pp. 20-48.

**LENNTech, B.V.** *Aplicaciones de las Zeolitas.* [En línea]. [Consulta: 10 de Mayo de 2015]. Disponible en: <http://www.lenntech.es/zeolitas-aplicaciones.htm>

**METCALF & EDDY.** *Ingenieria de Aguas Residuales.* Madrid-España: McGraw-Hill, 2005, pp. 41-60.

**OPS. 2005.** *Medicion de Caudales. Guia para el Diseño de Tanques Septicos: Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilizacion.* Lima-Perú : San Francisco, 2010, pp. 5-30.

**PAREDES, Mariela.** *Diseño de la Planta de Tratamiento para Aguas Residuales para la Lavandería y Tintorería JAV-TEX del canton Pelileo*(Tesis de Pregrado) . Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2013.pp. 68-96. [En línea].[Consulta: 02 de Mayo de 2015]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2697/1/96T00215.pdf>

**QUIJANDRIA, Silvana. 2012.** R-CHEMICAL. *Prueba de Jarras.* [En línea]. [Consulta: 01 de Mayo de 2015]. Disponible en: <http://www.r-chemical.com/la-prueba-de-jarras-en-una-planta-de-tratamiento-de-agua-potable/>.

**RAS-2000.** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento: Tratamiento de Aguas Residuales.* 2000, pp. 242-280.[Consulta: 05 de Abril de 2015]. Disponible en: <http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7. Tratamiento de aguas residuales.pdf>

**ROMERO, Jairo.** *Calidad del Agua:Teoría y Principios de Diseño.*Bogotá-Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008, pp. 17-19, 57-61,69,75-77,80,130-131,139,287-284,633-634,1085,1088-1090,1098.

**RUIZ, Clara.** *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua Potable para la Parroquia San Isidro del Canton Guano*(Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2013.pp. 39-68. [En línea]. [Consulta: 25 de Abril de 2015]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3216/1/96T00220.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A. TULAS LIBRO VI ANEXO 1 TABLA 12

Toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (ver tabla 12).

**TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<sup>8</sup> Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10

<sup>8</sup> Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

\* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

## **ANEXO B. TULSMA ACUERDO MINISTERIAL No. 028**

Con fecha 13 de febrero de 2015, mediante Acuerdo Ministerial No. 028 publicado en Edición Especial No. 270, el Ministerio del Ambiente ha promulgado una nueva Reforma al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria: “De la Calidad Ambiental”, el que se ratifica y consolida la institucionalidad para el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental, se incorpora los mecanismos de categorización ambiental y se reforman las normas técnicas ambientales. Este nuevo instrumento de gestión ambiental nacional estimula la regularización ambiental de las actividades productivas del país bajo un solo estándar nacional que permitirá prevenir, controlar y reducir los impactos sociales y ambientales de su entorno.

<b>TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce</b>				
<b>Parámetros</b>		<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Aceites y Grasas.		Sust. solubles en hexano	mg/1	30,0
Alkil mercurio			<b>mg/1</b>	No detectable
Aluminio		Al	mg/1	<b>5,0</b>
Arsénico total		As	<b>mg/1</b>	0,1

Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Est. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	10000
Color real <sup>1</sup>	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>6+</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

## ANEXO C. MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL COLECTOR 1 Y COLECTOR 2

Fotografías tomadas en el muestreo del Agua residual del Pozo 1 y Pozo 2, para realizar las respectivas pruebas de caracterización Fisicoquímicos y Microbiológicos al agua cruda.



## ANEXO D. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN INICIAL

Resultados de las pruebas de caracterización: Análisis Físico-Químico y Microbiológico (Agua Cruda).

# ESPOCH

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Mónica Parra

Fecha de Análisis: 28 de Enero 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 10 de Febrero de 2015

Tipo de muestras: Agua Residual doméstica Cruda.

Localidad: Parroquia San Antonio de Bayushig

## TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/012-15

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	5,67
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		852,66
Turbiedad	UNT	2130-B		132
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	1013
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	560,67
Nitritos	mg/L	4500-NO2-	10 (NO2+NO3)	0,34
Hierro	mg/L	3500-Fe-D	10	1,28
Manganeso	mg/L	3500- Mn-D	2	0,092
Nitratos	mg/L	4500-NO3 C	10 (NO2+NO3)	0,45
Sulfatos	mg/L	4500- SO4-E	1000	57,33
Fosfatos	mg/L	4500- P-D	10	27,08
Sólidos en Suspensión	mg/L	2540-D	100	44
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C		366
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1	9

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,

 ESPOCH 

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E  
INSPECCIÓN (LABCESTTA)**

**Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183**



**LABORATORIO DE  
ENSAYOS  
N° OAE LE 2C 06-008**

**INFORME DE ENSAYO No:** 165  
**ST:** 056 – 15 ANÁLISIS DE AGUAS

**Nombre Peticionario:** NA  
**Atn.** Mónica Parra  
**Dirección:** 2 de Agosto y Alvarado  
Riobamba – Chimborazo  
06 de Febrero del 2015

**FECHA:** 1  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2015/01/28 – 10:10  
**FECHA DE MUESTREO:** 2015/01/27– 11:00  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2015/01/28 – 2015/02/06  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua residual  
**CÓDIGO LABCESTTA:** LAB-A 118-15  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** NA  
**PUNTO DE MUESTREO:** Bayushig  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico-Químico-Microbiológico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Mónica Parra  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.:25,0 °C. T min.: 15,0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)	INCERTIDUMBRE (k=2)
Tensoactivos	PEE/LABCESTTA/44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	2,40	0.5	±7%
Grasas y Aceites	PEE/LABCESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	<2	0.3	±30%
Nitrógeno Total	PEE/LABCESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	mg/L	25,80	15	±5%

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio
- La columna marcada con (■) corresponde al límite máximo permitido indicado en la Tabla 12 del Tulas. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Solicitado por el cliente.

**RESPONSABLE:**

**Dr. Mauricio Alvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
E INSPECCIÓN  
LAB - CESTTA  
ESPOCH



CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
AMBIENTAL

DEPARTAMENTO :  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E  
INSPECCIÓN (LABCESTTA)

Panamericana Sur Km. 1 ½. ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183



LABORATORIO DE  
ENSAYOS  
N° OAE LE 2C 06-008

INFORME DE ENSAYO No: 201  
ST: 15-066 ANÁLISIS DE AGUAS  
Nombre Peticionario: NA  
Atn. Mónica Parra  
Dirección: NA  
FECHA: 13 de Febrero del 2015  
NUMERO DE MUESTRAS: 1  
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2015/02/02 - 10:00  
FECHA DE MUESTREO: 2015/02/01 - 18:00  
FECHA DE ANÁLISIS: 2015/02/02 - 2015/02/13  
TIPO DE MUESTRA: Agua Residual  
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 135-15  
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA  
PUNTO DE MUESTREO: Bayushig  
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico Químico  
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Mónica Parra  
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Sulfuros	PEE/LABCESTTA/ 19 Standard Methods No 4500-S <sup>2-</sup> C y D	mg/L	>9.9	±%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio

RESPONSABLES DEL INFORME:

  
Dr. Mauricio Álvarez  
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
E INSPECCIÓN  
LAB - CESTTA  
ESPOCH

## EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA

CÓDIGO 94-15

<b>CLIENTE:</b> Srta. Mónica Parra	
<b>DIRECCIÓN:</b> 2 de Agosto y Alvarado	<b>TELÉFONO:</b>
<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua de pozo N°2	
<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 27 de enero de 2015	
<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 27 de enero de 2015	

### EXAMEN FISICO

COLOR: Incoloro

OLOR: Desagradable

ASPECTO: Presencia de sólidos

PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO	*REFERENCIA
<i>Coliformes totales UFC/100ml</i>	Filtración por membrana	$7.3 \times 10^5$	---
<i>Escherichia coli. UFC/100ml</i>	Filtración por membrana	$5.6 \times 10^5$	2000

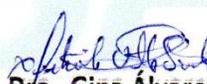
\* TULAS , libro VI del texto unificado 2014

OBSERVACIONES:

FECHA DE ANÁLISIS: 27 de enero del 2015

FECHA DE ENTREGA : 29 de enero del 2015

RESPONSABLES:

  
Dra. Gina Álvarez R.

  
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

  
Dra. Fabiola Villa

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

\*Las muestras son receptados en laboratorio.

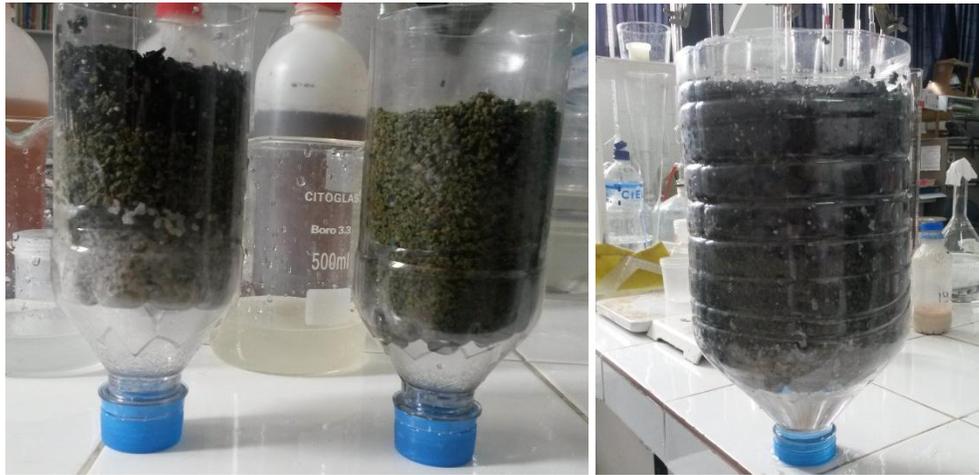
## ANEXO E. PRUEBAS DE TRATABILIDAD

Se muestran las fotografías tomadas durante las pruebas de tratabilidad realizadas al agua residual:

### Prueba de Jarras



## Prueba Filtro de Zeolita



## ANEXO F. RESULTADOS CARACTERIZACION FINAL

A continuación se presentan los resultados obtenidos una vez que se ha dado las pruebas de tratabilidad al agua obteniendo resultados favorables, debido a que cada uno de los parámetros fuera de los límites permisibles cumple con la norma establecida.

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p><b>DEPARTAMENTO : LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN (LABCESTTA)</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>			
<p><b>INFORME DE ENSAYO No:</b> 714 <b>ST:</b> 252 – 15 ANÁLISIS DE AGUAS</p> <p><b>Nombre Peticionario:</b> NA <b>Atn.</b> Mónica Parra <b>Dirección:</b> 2 de Agosto y Alvarado Riobamba-Chimborazo 28 de Abril del 2015</p> <p><b>FECHA:</b> 1 <b>NUMERO DE MUESTRAS:</b> 1 <b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b> 2015/04/20 – 13:00 <b>FECHA DE MUESTREO:</b> 2015/04/20 – 11:30 <b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 2015/04/20 – 2015/04/28 <b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua tratada <b>CÓDIGO LABCESTTA:</b> LAB-A 461-15 <b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b> NA <b>PUNTO DE MUESTREO:</b> Laboratorio Ciencias Técnicas <b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> Físico-Químico <b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b> Mónica Parra <b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b> T máx.:25,0 °C. T min.: 15,0 °C</p>					
<p><b>RESULTADOS ANALÍTICOS:</b></p>					
PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Tensoactivos	PEE/LABCESTTA/44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	0,31	±7%	0,5
Grasas y Aceites	PEE/LABCESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	<2	±30%	30,0
Nitrógeno Total	PEE/LABCESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	mg/L	7,20	±11%	50,0
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	68	±9%	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/LABCESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	22	±23%	100
Sólidos Totales	PEE/LABCESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	828	±6%	1600
Potencial Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/05 Standard Method No. 4500-H <sup>+</sup> B	Unidades de pH	7,55	±0,15	6-9
Sulfatos	PEE/LABCESTTA/18 Standard Methods No 4500-SO <sup>2</sup> 4 E	mg/L	19	±25%	1000
<p>Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados</p>					<p>Página 1 de 2 Edición 5</p>
<p><b>MC01-14</b></p>					



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E  
INSPECCIÓN (LABCESTTA)**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183



Servicio de  
**Acreditación**  
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 2C 06-008  
**LABORATORIO DE ENSAYOS**

Sulfuros	PEE/LABCESTTA/ 19 Standard Methods No 4500-S <sup>2-</sup> C y D	mg/L	0,095	±13%	0,5
----------	---	------	-------	------	-----

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio
- La columna marcada con (■) corresponde al límite máximo permitido indicado en la Tabla 10 del TULSMA. Acuerdo Ministerial No.028. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Solicitados por el cliente.

**RESPONSABLE:**

  
Dr. Mauricio Alvarez  
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
E INSPECCIÓN  
LAB - CESTTA  
ESPOCH

# ESPOCH

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Mónica Parra

Fecha de Análisis: 20 de abril del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 29 de abril del 2015

Tipo de muestras: Agua Residual doméstica Tratada

Localidad: Cantón Penipe Parroquia San Antonio de Bayushig

Código LAT/052-15

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Turbiedad	UNT	2130-B	-	1,20
Fosfatos	mg/L	4500- P-D	-	1,41
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1,0	0

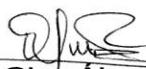
\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



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

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

## EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA

CÓDIGO 213-15

**CLIENTE:** Srta. Mónica Parra

**DIRECCIÓN:** 2 de Agosto y Alvarado

**TELÉFONO:**

**TIPO DE MUESTRA:** Agua residual

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 26 de marzo del 2015

**FECHA DE MUESTREO:** 26 de marzo del 2015

### EXAMEN FISICO

**COLOR:** Transparente

**OLOR:** desagradable

**ASPECTO:** Presencia de sólidos

PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
<i>Coliformes fecales UFC/100ml</i>	Filtración por membrana	2000	214

**TULAS , libro VI del texto unificado 2014**

**OBSERVACIONES:**

**FECHA DE ANÁLISIS:** 26 de marzo del 2015

**FECHA DE ENTREGA :** 30 de marzo del 2015

**RESPONSABLES:**



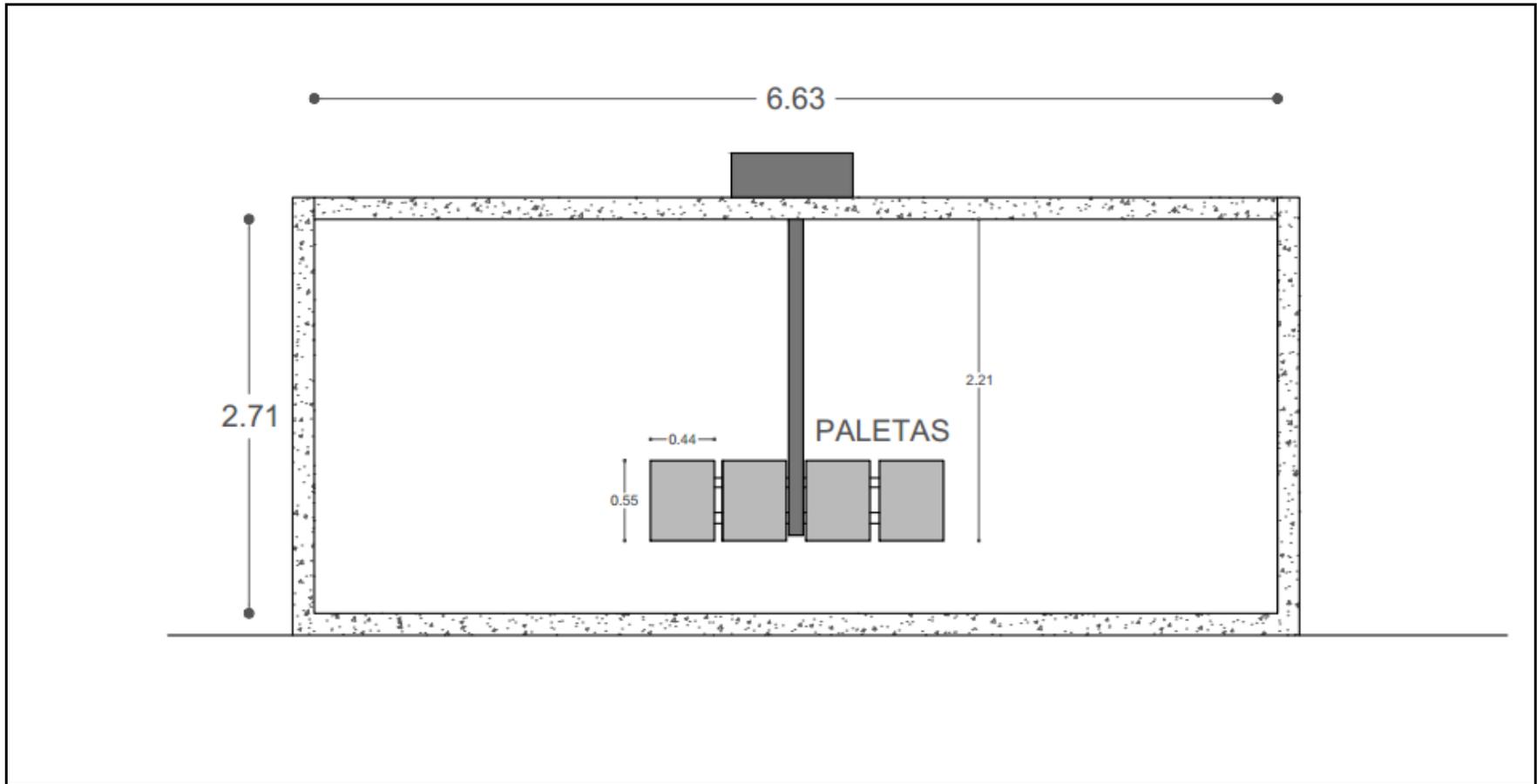
**Dra. Gina Álvarez R.**



**Dra. Fabiola Villa**

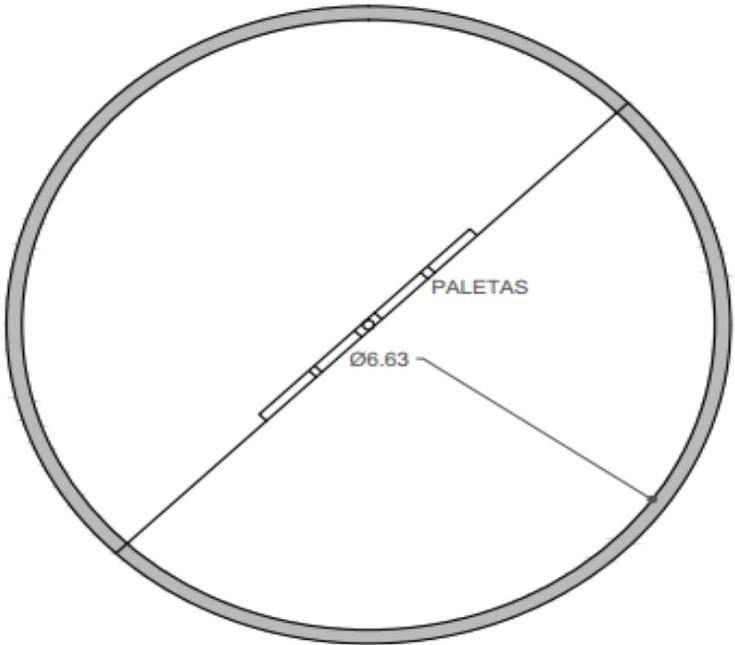
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

# ANEXO G. TANQUE HOMOGENIZADOR

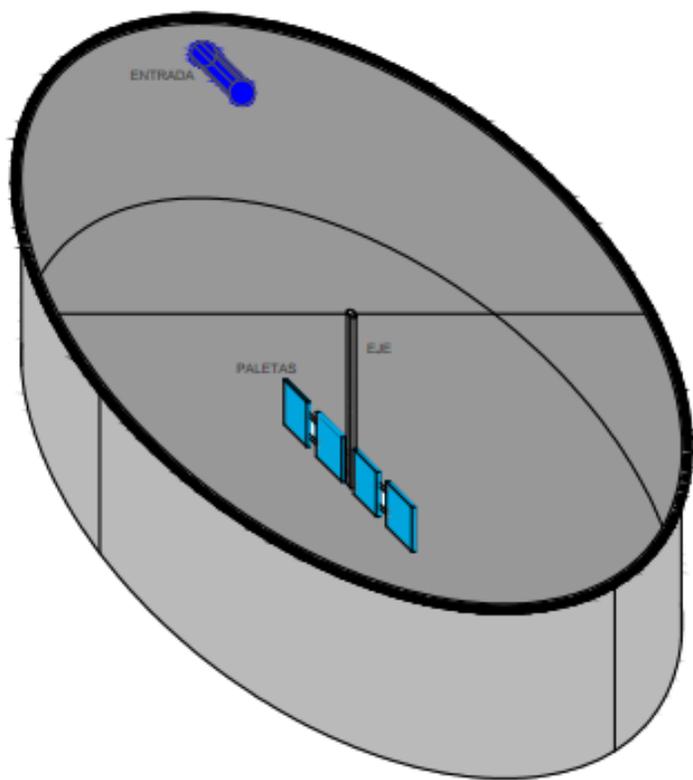


<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>TANQUE HOMOGENIZADOR</b>			
A. VISTA EN CORTE TANQUE HOMOGENIZADOR	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA MÓNICA MARCELA PARRA	LÁMINA		ESCALA	FECHA
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR		1/3	1:40	2015-06-16	
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN					

6.63



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TANQUE HOMOGENIZADOR		
B. VISTA EN PLANTA TANQUE HOMOGENIZADOR	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA MÓNICA MARCELA PARRA			
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		2/3	1:75	2015-06-16



**NOTAS**

C. VISTA EN ISOMETRÍA TANQUE HOMOGENIZADOR

**CATEGORIA DEL DIAGRAMA**

CERTIFICADO  POR ELIMINAR

APROBADO  POR ABROBAR

POR CALIFICAR  INFORMACIÓN

**ESPOCH**

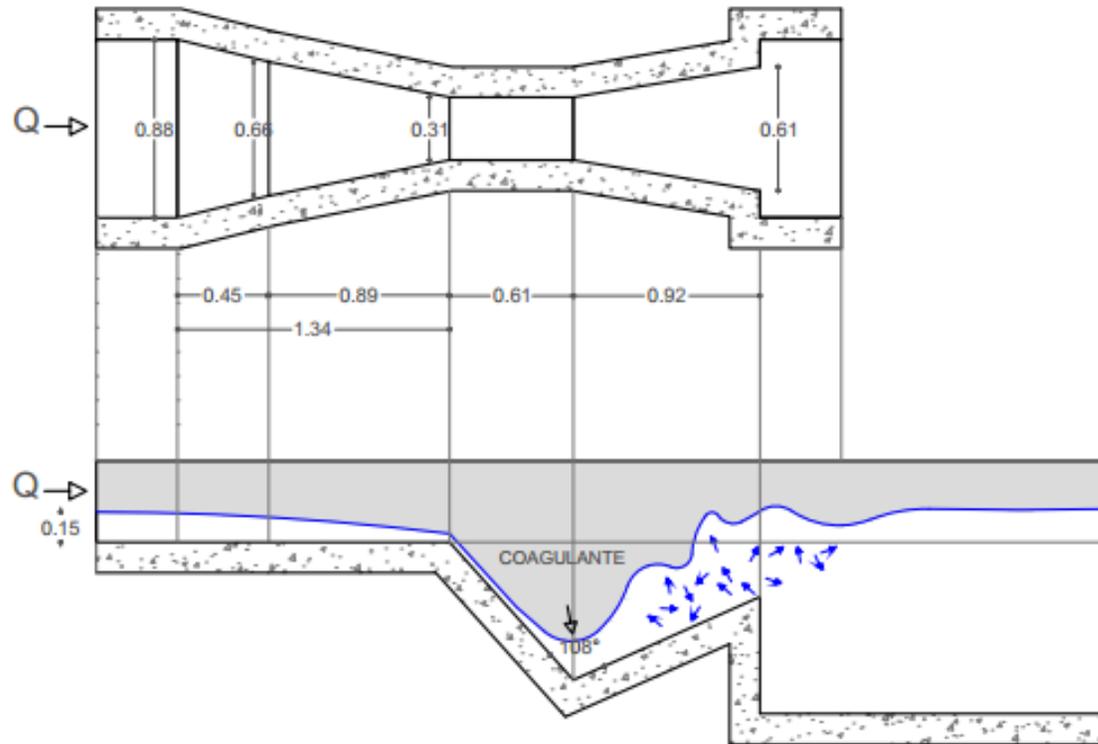
FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA

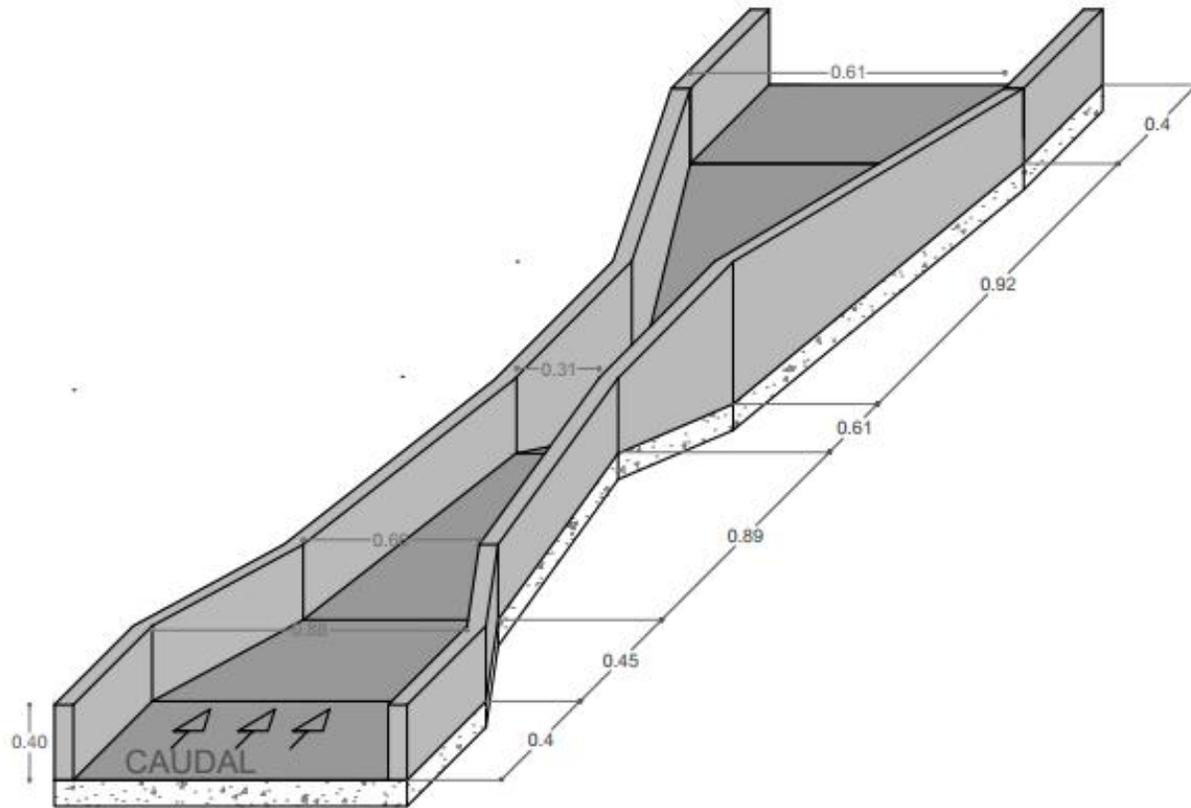
MÓNICA MARCELA PARRA

TANQUE HOMOGENIZADOR		
LÁMINA	ESCALA	FECHA
3/3	1:125	2015-06-16

**ANEXO H. CANALETA PARSHALL**

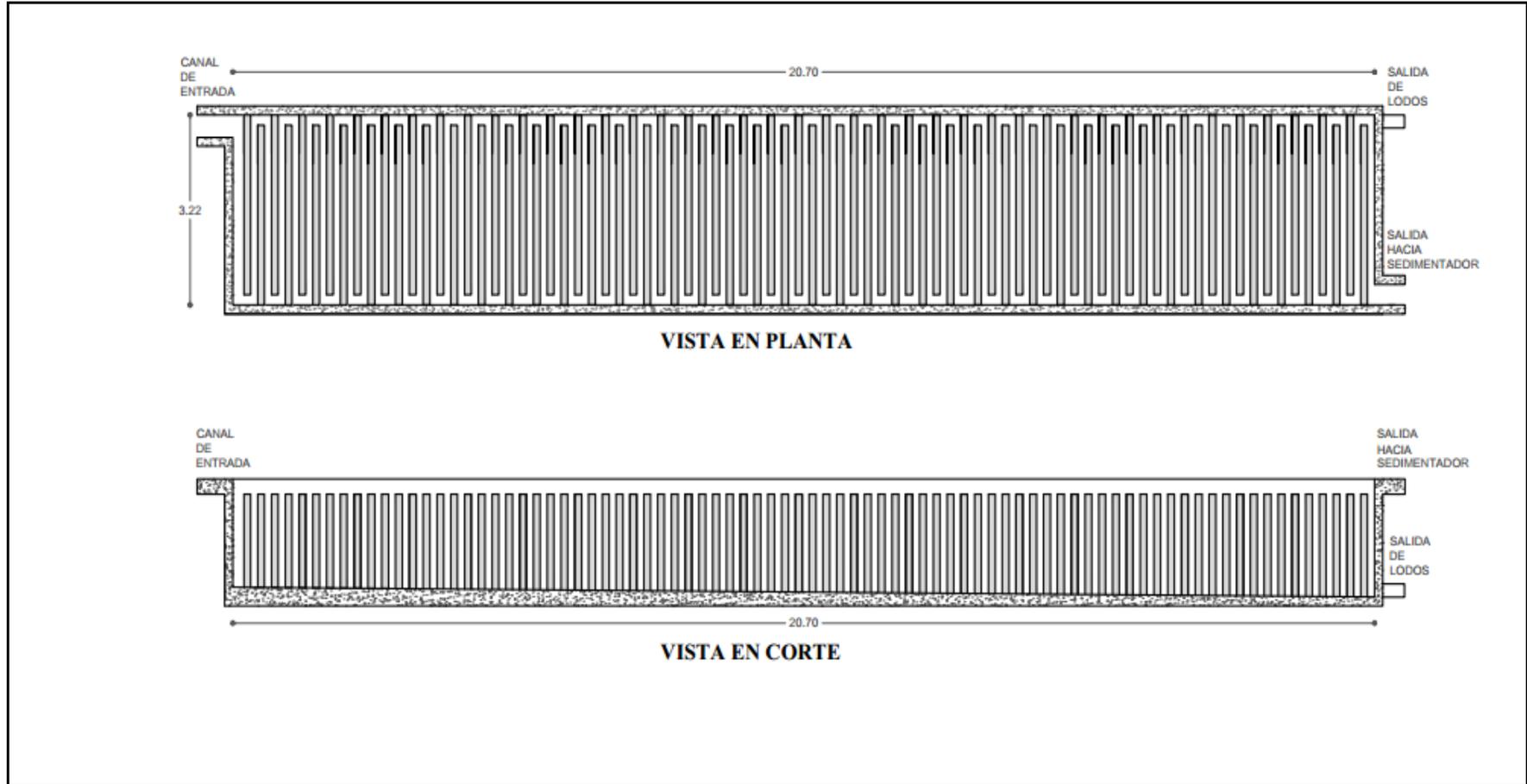


NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	CANALETA PARSHALL		
A. VISTA EN CORTE CANALETA PARSHALL	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA MÓNICA MARCELA PARRA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO	<input type="checkbox"/> POR ABROBAR		1/2	1:40	2015-06-16
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				

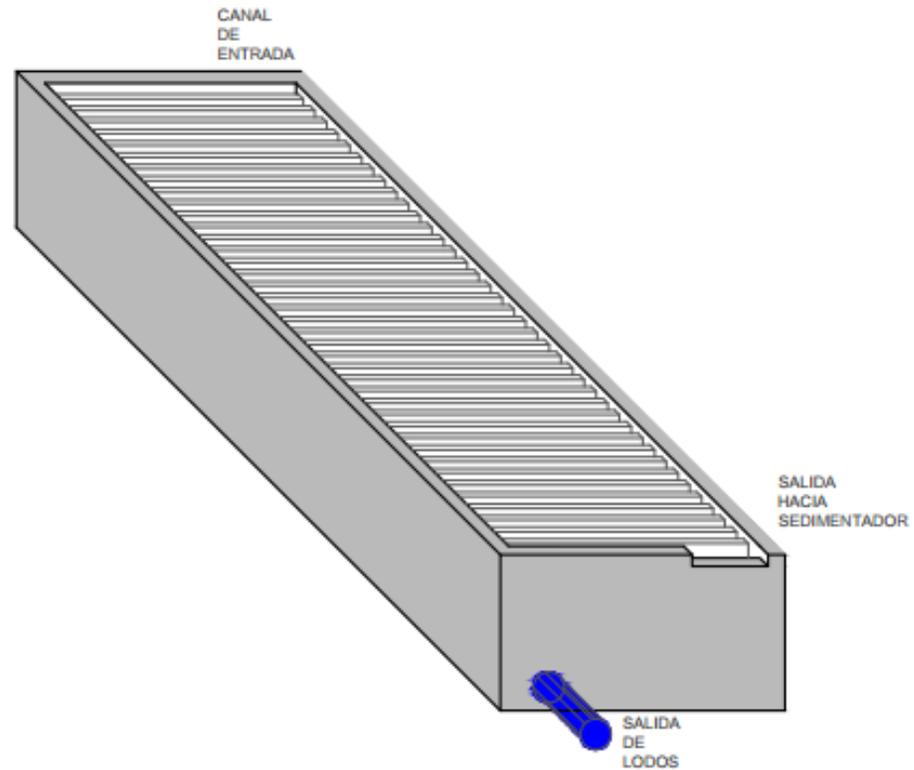


NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CANALETA PARSHALL		
B. VISTA ISOMÉTRICA CANALETA PARSHALL	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA MÓNICA MARCELA PARRA			
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		2/2	1:40	2015-06-16

# ANEXO I. FLOCULADOR HIDRAÚLICO

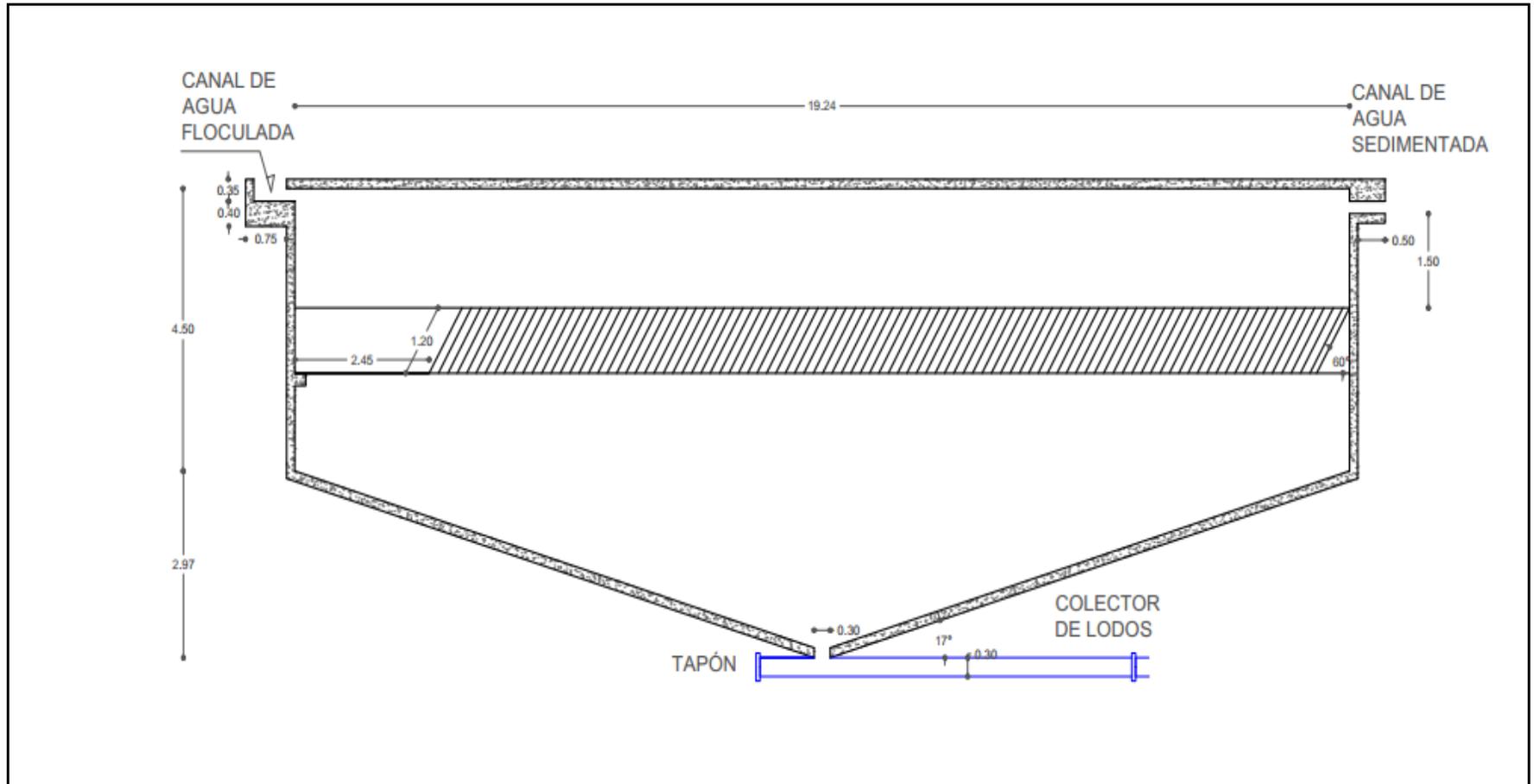


<p><b>NOTAS</b></p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p>	<p><b>ESPOCH</b></p>	<p><b>FLOCULADOR HIDRAÚLICO</b></p>		
<p>A. VISTA EN PLANTA Y CORTE DEL FLOCULADOR</p>	<p><input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR</p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA MÓNICA MARCELA PARRA</p>	<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
	<p><input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR</p>		<p>1/1</p>	<p>1:40</p>	<p>2015-06-16</p>
	<p><input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN</p>				



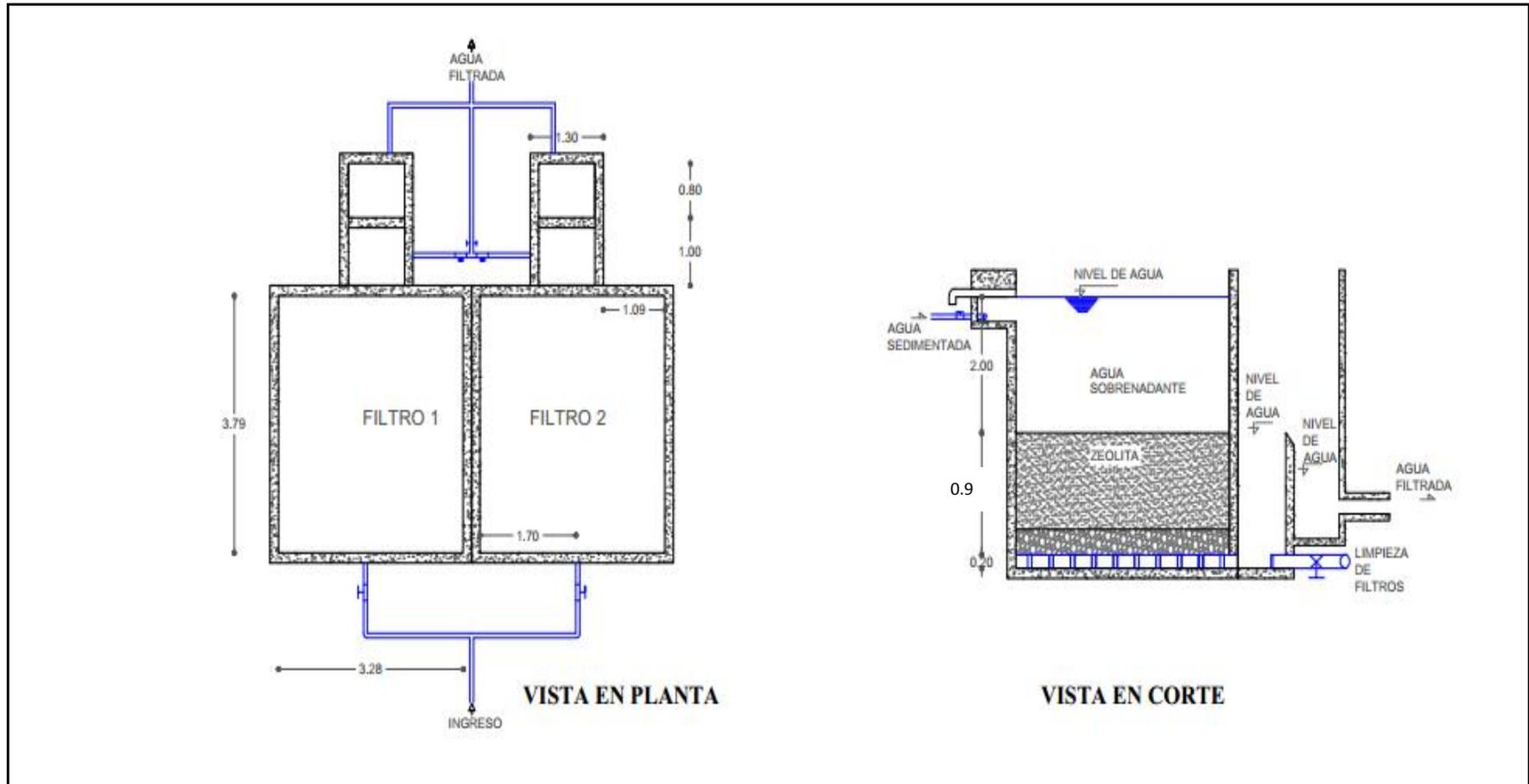
<b>NOTAS</b>		<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>		<b>ESPOCH</b>			<b>FLOCULADOR HIDRAÚLICO</b>		
B. VISTA ISOMÉTRICA DEL FLOCULADOR		<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR		FACULTAD DE CIENCIAS			LÁMINA	ESCALA	FECHA
		<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR		ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA			2/2	1:100	2015-06-16
		<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		MÓNICA MARCELA PARRA					

# ANEXO J. SEDIMENTADOR

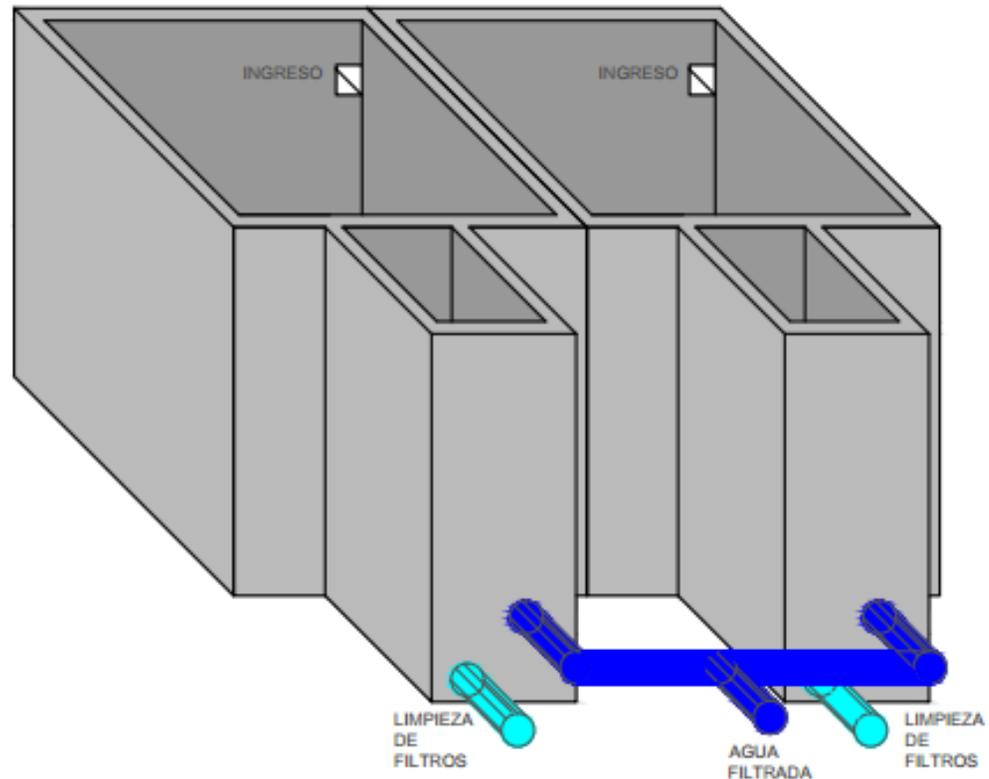


NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SEDIMENTADOR		
A. VISTA EN CORTE SEDIENTADOR	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA MÓNICA MARCELA PARRA			
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		1/1	1:40	2015-06-16

# ANEXO K. FILTRO DE ZEOLITA

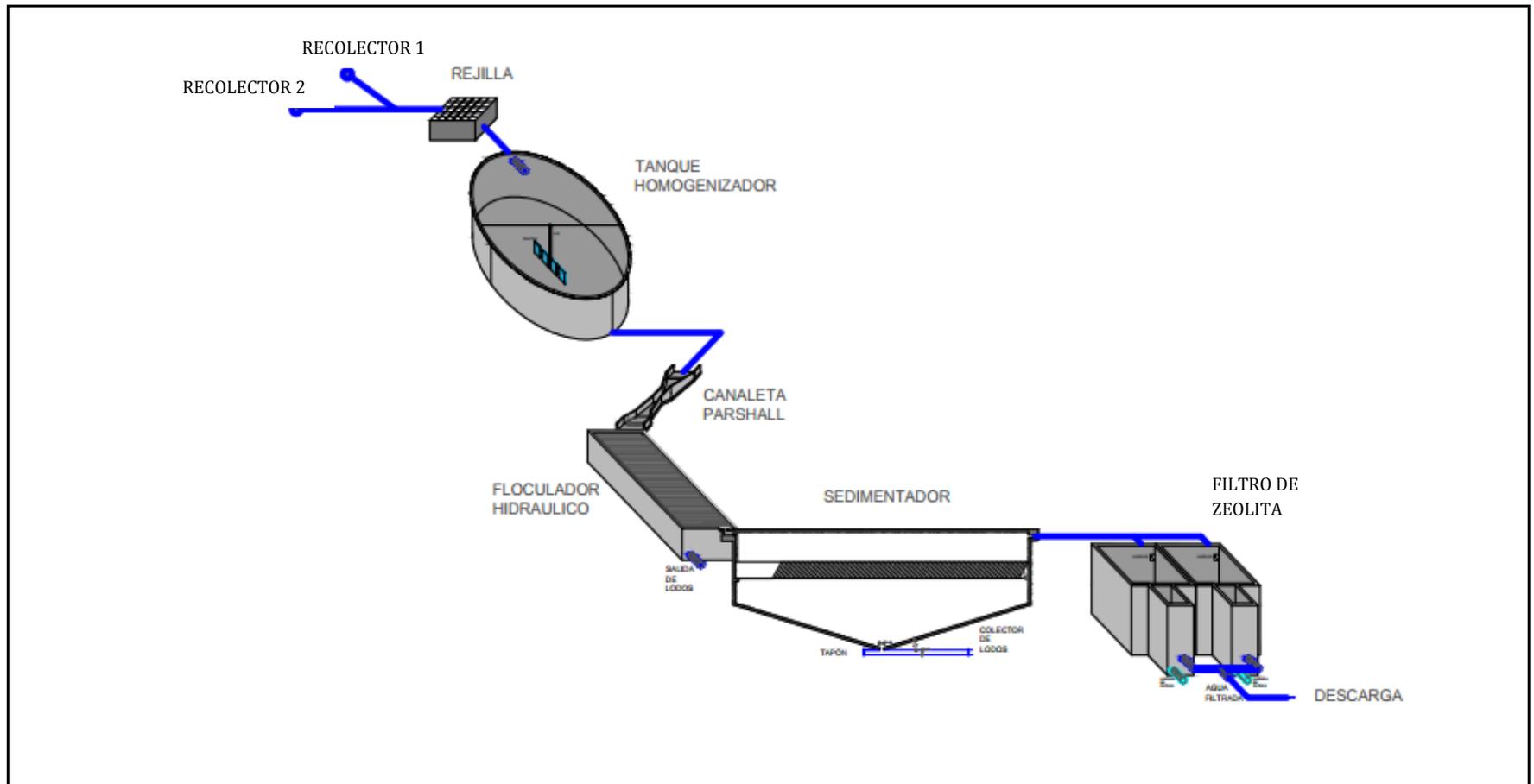


<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>FILTRO DE ZEOLITA</b>		
A. VISTA EN CORTE Y PLANTA DEL FILTRO	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA MÓNICA MARCELA PARRA	<b>LÁMINA    ESCALA    FECHA</b>		
	<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR		1/1    1:40    2015-06-16		
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN				



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA MÓNICA MARCELA PARRA	<b>FILTRO DE ZEOLITA</b>		
A. VISTA ISOMÉTRICA DEL FILTRO	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN		1/1	1:100	2015-06-16

## ANEXO L. VISTA GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PLANTA GENERAL								
A. VISTA ISOMÉRICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA MÓNICA MARCELA PARRA	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1461 1266 1619 1302">LÁMINA</th> <th data-bbox="1619 1266 1793 1302">ESCALA</th> <th data-bbox="1793 1266 1984 1302">FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1461 1302 1619 1399">1/1</td> <td data-bbox="1619 1302 1793 1399">1:400</td> <td data-bbox="1793 1302 1984 1399">2015-06-16</td> </tr> </tbody> </table>			LÁMINA	ESCALA	FECHA	1/1	1:400	2015-06-16
	LÁMINA		ESCALA	FECHA							
1/1	1:400	2015-06-16									
<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN											

