



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CANTÓN ARCHIDONA DE LA PROVINCIA DE NAPO

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: VEGA QUISPE TANYA ELIZABETH

TUTOR: ING. HUGO SEGUNDO CALDERÓN

Riobamba – Ecuador

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CANTÓN ARCHIDONA DE LA PROVINCIA DE NAPO**, de responsabilidad de la señorita Tanya Elizabeth Vega Quispe, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Hugo Calderón

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Mónica Andrade

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Tanya Elizabeth Vega Quispe; declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 15 de Junio del 2016

Tanya Elizabeth Vega Quispe

C.I. 150057977-4

Yo, Tanya Elizabeth Vega Quispe soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Tanya Elizabeth Vega Quispe

DEDICATORIA

Quiero dedicar mi Trabajo de Titulación primeramente a Dios, por darme su amor infinito, la fortaleza y todo lo necesario para culminar este proyecto. De igual forma con todo mi amor a mis padres Jorge y Graciela, quienes con su apoyo incondicional han sido el pilar fundamental en mi vida y en toda mi carrera estudiantil, por el ejemplo de constancia y perseverancia que los caracteriza y que me han inculcado para no rendirme jamás, además de brindarme sus consejos, valores y motivación para ser una persona de bien. A mis hermanas y hermano, novio, abuelitos, tíos, tías, y amigas que sin esperar nada a cambio estuvieron a mi lado de alguna u otra manera apoyándome.

Tanya

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a mi Dios por todas las bendiciones para llegar hasta esta etapa de mi vida y poder alcanzar con este sueño tan anhelado.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogerme en su noble Institución, especialmente a la Escuela de Ingeniería Química por darme la oportunidad de prepararme en sus prestigiosas instalaciones y ser una profesional que aporte a la sociedad.

Un agradecimiento especial a mi Tutor del Trabajo de Titulación el Ing. Hugo Calderón y al miembro del tribunal Ing. Mónica Andrade, por aceptar guiarme y compartir sus conocimientos, quienes con su experiencia, paciencia y motivación han sido un aporte inigualable no solo para el desarrollo de este trabajo, sino también en mi formación como profesional; para ellos mi lealtad, admiración y gratitud eterna.

Al Ilustre Municipio de Archidona, es especial a su distinguido Alcalde el Ing. Jaime Shiguango por patrocinar mi trabajo de titulación.

A todos los docentes y personas que formaron parte de mi vida profesional, gracias por su amistad, consejos, ánimos y apoyo, sin importar donde se encuentren los llevaré en mi corazón.

Y aún más a mi familia querida por estar incondicionalmente apoyándome y dándome ánimos, los amo.

Para ellos muchas gracias y Dios los bendiga.

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Aguas residuales.....	3
1.2. Clasificación de las aguas residuales.....	3
<i>1.2.1. Aguas residuales domésticas</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2. Aguas residuales urbanas.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.3. Aguas residuales industriales</i>	<i>4</i>
<i>1.2.4. Aguas residuales agropecuarias.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.5. Aguas blancas o pluviales.....</i>	<i>5</i>
1.3. Parámetros que determinan la calidad del agua residual.	5
<i>1.3.1. Características físicas</i>	<i>6</i>
<i>1.3.1.1. Temperatura.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.1.2. Olor.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.1.3. Color</i>	<i>6</i>
<i>1.3.1.4. Turbiedad.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.1.5. Conductividad.....</i>	<i>7</i>
<i>1.3.1.6. Sólidos.....</i>	<i>7</i>

1.3.2. Características químicas	7
1.3.2.1. pH (Potencial de hidrógeno).....	7
1.3.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	8
1.3.2.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	8
1.3.2.4. Relación de Biodegradabilidad.....	8
1.3.2.5. Alcalinidad.....	9
1.3.2.6. Fósforo.....	9
1.3.2.7. Nitrógeno	9
1.3.2.8. Aceites y grasas.....	9
1.3.2.9. Detergentes	9
1.3.3. Características Microbiológicas	10
1.3.3.1. Bacterias	10
1.3.3.2. Virus.....	10
1.3.3.3. Parásitos	11
1.4. Tratamiento de las aguas residuales	11
1.4.1. Pre-tratamiento o tratamiento preliminar	12
1.4.2. Tratamiento primario.....	12
1.4.3. Tratamiento secundario.....	12
1.4.4. Tratamiento terciario	12
1.4.5. Tratamiento de lodos.....	14
1.5. Sistemas naturales de depuración	14
1.5.1. Humedales artificiales	15
1.5.1.1. Humedal artificial de flujo superficial (HAFS).....	15
1.5.1.2. Humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS).....	16
1.5.1.3. Fitorremediación	17
1.5.1.4. Especies de plantas utilizadas en los humedales artificiales	17
1.5.1.5. <i>Echinochloa polystachya</i> (Pasto alemán)	18
1.5.1.6. Geomembrana.....	189

1.6.	Pruebas de tratabilidad	20
1.6.1.	Prueba de jarras	20
1.7.	Normativa ambiental	20
1.7.1.	Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce	20
1.8.	Muestreo	22
1.8.1.	Tipos de muestras	22
1.8.1.1.	Muestra simple o puntual	22
1.8.1.2.	Muestra compuesta	23
1.8.1.3.	Muestra integrada	23
1.9.	Parámetros de diseño de un Sistema de tratamiento de aguas residuales	23
1.9.1.	Período de tiempo	23
1.9.2.	Población de diseño	24
1.9.2.1.	Población actual	24
1.9.2.2.	Población futura	24
1.9.3.	Caudal	24
1.9.3.1.	Caudal medio teórico	24
1.9.3.2.	Caudal máximo teórico	25
1.9.3.3.	Caudal de diseño	26
1.9.4.	Canal de recepción	27
1.9.4.1.	Consideraciones de diseño del canal	27
1.9.5.	Cribado	29
1.9.5.1.	Consideraciones de diseño de las rejillas	29
1.9.6.	Desengrasador	32
1.9.6.1.	Consideraciones de diseño del desengrasador	32
1.9.7.	Humedal artificial de flujo Subsuperficial	34
1.9.7.1.	Consideraciones de diseño del HAFSS	35
1.9.8.	Coagulación	38
1.9.8.1.	Policloruro de aluminio (PAC)	38

1.9.8.2.	<i>Dosificación del coagulante</i>	38
1.9.9.	<i>Canaleta Parshall</i>	39
1.9.9.1.	<i>Consideraciones de diseño para una Canaleta Parshall</i>	39
1.9.10.	<i>Sedimentación</i>	46
1.9.10.1.	<i>Tipos de tanques de sedimentación</i>	46
1.9.10.2.	<i>Consideraciones de diseño del sedimentador</i>	47
1.9.11.	<i>Filtración</i>	51
1.9.11.1.	<i>Filtro dual con medios múltiples</i>	52
1.9.11.2.	<i>Consideraciones de diseño de un filtro dual con medios múltiples</i>	52
1.9.11.3.	<i>Consideraciones de diseño del sistema de drenaje</i>	55
1.9.12.	<i>Lechos de Secado</i>	57

CAPÍTULO II

2.	PARTE EXPERIMENTAL	60
2.1.	Localización	60
2.2.	Límites	60
2.3.	Topografía	61
2.4.	Climatología	62
2.5.	Hidrografía	62
2.6.	Densidad poblacional	63
2.7.	Muestreo	63
2.7.1.	<i>Recolección de la información</i>	63
2.7.2.	<i>Transporte y manipulación de las muestras</i>	64
2.8.	Metodología	64
2.8.1.	<i>Métodos</i>	64
2.8.1.1.	<i>Método inductivo</i>	64
2.8.1.2.	<i>Deductivo</i>	64
2.8.1.3.	<i>Experimental</i>	64
2.8.2.	<i>Técnicas</i>	65

2.8.2.1.	<i>Potencial hidrógeno</i>	65
2.8.2.2.	<i>Conductividad</i>	65
2.8.2.3.	<i>Turbiedad</i>	66
2.8.2.4.	<i>Aceites y Grasas</i>	66
2.8.2.5.	<i>Tensoactivos</i>	67
2.8.2.6.	<i>Demanda Química de Oxígeno</i>	67
2.8.2.7.	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	68
2.8.2.8.	<i>Nitrógeno amoniacal</i>	68
2.8.2.9.	<i>Sulfatos</i>	69
2.8.2.10.	<i>Fosfatos</i>	70
2.8.2.11.	<i>Sólidos en suspensión</i>	70
2.8.2.12.	<i>Sólidos sedimentables</i>	71
2.8.2.13.	<i>Sólidos totales</i>	71
2.8.2.14.	<i>Coliformes fecales</i>	72
2.9.	Datos	72
2.9.1.	<i>Caracterización inicial del agua residual</i>	72
2.9.2.	<i>Parámetros fuera de los límites permisibles establecidos en la Normativa Ambiental Tuluma</i>	73
2.9.3.	<i>Fundamentos para el tratamiento de aguas residuales</i>	74
 CAPÍTULO III		
3.	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76
3.1.	Cálculos	76
3.1.1.	<i>Población futura</i>	76
3.1.2.	<i>Caudal</i>	77
3.1.3.	<i>Canal de recepción</i>	78
3.1.4.	<i>Rejillas para el Cribado</i>	80
3.1.5.	<i>Desengrasador</i>	82
3.1.6.	<i>Cálculo del Humedal de flujo subsuperficial</i>	84

3.1.7. <i>Cantidad necesaria de Echinochloa polystachya (pasto alemán) para el humedal artificial.</i>	88
3.1.8. <i>Dosificación del coagulante</i>	90
3.1.9. <i>Canaleta Parshall</i>	90
3.1.10. <i>Sedimentador</i>	96
3.1.11. <i>Filtro dual con medios múltiples</i>	99
3.1.12. <i>Lechos de Secado</i>	102
3.1.13. <i>Porcentajes de remoción</i>	104
3.2. Resultados	107
3.2.1. <i>Medición de caudales</i>	107
3.2.2. <i>Tratamientos realizados</i>	108
3.2.3. <i>Resultados del dimensionamiento planteado para el tratamiento de aguas residuales</i>	109
3.2.3.1. <i>Población de diseño</i>	110
3.2.3.2. <i>Caudal de diseño</i>	110
3.2.3.3. <i>Canal de recepción</i>	110
3.2.3.4. <i>Rejillas</i>	110
3.2.3.5. <i>Desengrasador o trampa de grasas</i>	111
3.2.3.6. <i>Humedal de flujo subsuperficial</i>	111
3.2.3.7. <i>Canaleta Parshall</i>	112
3.2.3.8. <i>Sedimentador convencional</i>	112
3.2.3.9. <i>Filtro dual con medios múltiples</i>	112
3.2.3.10. <i>Lechos de secado</i>	113
3.2.3.11. <i>Porcentajes de remoción de los parámetros fuera de la Normativa Ambiental (TULSMA)</i>	113
3.2.3.12. <i>Análisis de costos</i>	116
3.3. Propuesta	120
3.4. Análisis y discusión de resultados	120

CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Nivel de concentración de componentes típicos en aguas residuales.....	5
Tabla 2-1:	Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO ₅ /DQO	8
Tabla 3-1:	Criterios de biodegradabilidad según la relación DQO/ DBO ₅	8
Tabla 4-1:	Principales bacterias, virus y parásitos patógenos presentes en aguas residuales.	11
Tabla 5-1:	Características de las principales etapas de los tratamientos del agua residual..	13
Tabla 6-1:	Etapas de los tratamientos de lodos	14
Tabla 7-1:	Principales especies de plantas usadas en humedales artificiales.....	17
Tabla 8-1:	Características del Pasto Alemán.	18
Tabla 9-1:	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	21
Tabla 10-1:	Tasa de infiltración según el área	26
Tabla 11-1:	Información típica para el diseño de un canal.	27
Tabla 12-1:	Parámetros de diseño para rejillas.	29
Tabla 13-1:	Parámetros de diseño para desengrasadores.	32
Tabla 14-1:	Parámetros de diseño para el diseño de HAFSS.....	34
Tabla 15-1:	Materiales empleados en el diseño de humedales	35
Tabla 16-1:	Determinación del ancho de la canaleta Parshall en función del caudal.	39
Tabla 17-1:	Valores de K _c y n _c de acuerdo al tamaño (W).....	40
Tabla 18-1:	Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall	41
Tabla 19-1:	Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall	42
Tabla 20-1:	Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta para el agua	46
Tabla 21-1:	Información típica para el diseño de tanques de sedimentación.....	47
Tabla 22-1:	Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares.....	48
Tabla 23-1:	Criterios de diseño para pantalla difusora.	48
Tabla 24-1:	Criterios de diseño para filtros	52
Tabla 25-1:	Criterios de diseño para filtros	53
Tabla 26-1:	Criterios de diseño para los lechos de secado.....	57
Tabla 1-2:	Climatología de la zona	62
Tabla 2-2:	Población de Archidona por géneros.....	63
Tabla 3-2:	Recopilación de Muestras.....	63
Tabla 4-2:	STANDARD METHODS *4500 HB.....	65
Tabla 5-2:	STANDARD METHODS *2510 B	65
Tabla 6-2:	STANDARD METHODS *2130 B	66

Tabla 7-2:	EPA *418,1	66
Tabla 8-2:	STANDARD METHODS *5540 C	67
Tabla 9-1:	STANDARD METHODS *5220 D	67
Tabla 10-2:	STANDARD METHODS *5210 B	68
Tabla 11-2:	Método HACH *8155 N-NH ₃	68
Tabla 12-2:	Método HACH *8051 SO ₄ ²⁻	69
Tabla 13-2:	Método HACH *8048 PO ₄ ³⁻	70
Tabla 14-2:	STANDARD METHODS *2540 D	70
Tabla 15-2:	STANDARD METHODS *2540 F	71
Tabla 16-2:	STANDARD METHODS *2540 B	71
Tabla 17-2:	Método de Microfiltración.	72
Tabla18-2:	Análisis físico-químicos y microbiológicos del Agua Residual del Cantón Archidona.....	73
Tabla 19-2:	Parámetros físico-químicos y microbiológicos fuera de la norma.	73
Tabla 1-3:	Datos para el cálculo de la población futura.....	76
Tabla 2-3:	Datos para el cálculo del caudal	77
Tabla 3-3:	Datos para el cálculo del canal de recepción	78
Tabla 4-3:	Datos para el cálculo de las rejillas	80
Tabla 5-3:	Datos para el cálculo del desengrasador.....	82
Tabla 6-3:	Datos para el cálculo del HAFSS	84
Tabla 7-3:	Datos para el cálculo de las macrófitas del humedal.....	88
Tabla 8-3:	Datos para el cálculo de la coagulación.....	90
Tabla 9-3:	Datos para el cálculo de la canaleta Parshall.....	90
Tabla 10-3:	Datos para el cálculo del sedimentador	96
Tabla 11-3:	Criterios de diseño para el filtro lento de arena.....	99
Tabla 12-3:	Datos para el cálculo de los lechos de secado	102
Tabla 13-3:	Datos para el cálculo de porcentaje de remoción	104
Tabla 14-3:	Resultados de la medición del caudal.....	107
Tabla15-3:	Resultados físicos, químicos y microbiológicos después del humedal de los parámetros fuera de los límites permisibles.....	108
Tabla16-3:	Resultados físicos, químicos y microbiológicos después del tratamiento de los parámetros fuera de los límites permisibles.....	108
Tabla 17-3:	Verificación del cumplimiento de la Normativa Ambiental TULSMA.	109
Tabla 18-3:	Comparación de los resultados de la caracterización del agua residual inicial con el agua residual tratada.....	109
Tabla 19-3:	Resultados de la población de diseño	110

Tabla 20-3:	Resultados de los caudales	110
Tabla 21-3:	Resultados del canal de recepción	110
Tabla 22-3:	Resultados de las rejillas	110
Tabla 23-3:	Resultados de la trampa de grasas	111
Tabla 24-3:	Resultados del HFSS	111
Tabla 25-3:	Resultados de la canaleta Parshall	112
Tabla 26-3:	Resultados del sedimentador convencional	112
Tabla 27-3:	Resultados del Filtro dual con medios múltiples	112
Tabla 28-3:	Resultados del Filtro dual con medios múltiples	113
Tabla 29-3:	Porcentajes de remoción	113
Tabla 30-3:	Costo civil de la obra (Canal de recepción)	116
Tabla 31-3:	Costo civil de la obra (Rejillas)	117
Tabla 32-3:	Costo civil de la obra (Desengrasador)	117
Tabla 33-3:	Costo civil de la obra (HFSS)	117
Tabla 34-3:	Costo civil de la obra (Canaleta Parshall)	118
Tabla 35-3:	Costo civil de la obra (Sedimentador)	118
Tabla 36-3:	Costo civil de la obra (Lechos de secado)	118
Tabla 37-3:	Costo civil de la obra (Filtro dual)	119
Tabla 38-3:	Costo civil de la obra (Total)	119
Tabla 39-3:	Costos operativos de la obra (Pasto alemán)	120
Tabla 40-3:	Costos operativos de la obra (PAC)	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Composición típica del agua residual doméstica.	4
Figura 2-1:	Clasificación de los sólidos totales presentes en el agua residual.....	7
Figura 3-1:	Clasificación microbiológica en aguas residuales.....	10
Figura 4-1:	Clasificación de humedales artificiales según el tipo de macrófitas.....	15
Figura 5-1:	Humedal artificial de flujo superficial.....	16
Figura 6-1:	a) HAFSSH, b) HAFSSV.....	16
Figura 7-1:	Factores de forma β para secciones usuales de rejillas.....	31
Figura 8-1:	Disposición del medio granular en un humedal.....	35
Figura 9-1:	Distribución efectiva del caudal en los humedales.....	35
Figura 10-1:	Tanque rectangular.....	47
Figura 11-1:	Tanque circular.....	47
Figura 12-1:	Lecho de secado.....	57
Figura 1-2:	Ubicación del Cantón Archidona.....	60
Figura 2-2:	Límites del Cantón Archidona.....	61
Figura 3-2:	Topografía del Sector.....	62
Figura 1-3:	Canal de recepción.....	80
Figura 2-3:	Rejillas.....	82
Figura 3-3:	Desengrasador simple.....	84
Figura 4-3:	Disposición de los humedales.....	87
Figura 5-3:	Humedal Artificial de flujo subsuperficial.....	89
Figura 6-3:	Canaleta Parshall.....	95
Figura 7-3:	Sedimentador horizontal.....	98
Figura 8-3:	Filtro dual.....	102
Figura 9-3:	Lecho de secado.....	104

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Parámetros físico-químicos fuera de la Norma vs Límites permisibles.	74
Gráfico 2-2:	Parámetro microbiológico fuera de la Norma vs Límite permisible.	74
Gráfico 1-3:	Propuesta del Sistema de tratamiento para el agua residual del Cantón Archidona.....	76
Gráfico 2-3:	Caudal semanal del Cantón Archidona	108
Gráfico 3-3:	Porcentaje de remoción de DQO.....	114
Gráfico 4-3:	Porcentaje de remoción de DBO	114
Gráfico 5-3:	Porcentaje de remoción de grasas y aceites.....	115
Gráfico 6-3:	Porcentaje de remoción de Nitrógeno amoniacal	114
Gráfico 7-3:	Porcentaje de remoción de detergentes	115
Gráfico 8-3:	Porcentaje de remoción de sólidos sedimentables.....	115
Gráfico 9-3:	Porcentaje de remoción de coliformes fecales	116
Gráfico 10-3:	Porcentaje de remoción de turbidez	116
Gráfico 11-3:	Propuesta del Diseño de un Sistema de tratamiento.....	120
Gráfico 12-3:	Crecimiento Poblacional del Cantón Archidona	121

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.** Rejillas metálicas y canal de recepción.
- Anexo B.** Desengrasador o trampa de grasas.
- Anexo C.** Humedales artificiales de flujo subsuperficial.
- Anexo D.** Humedales artificiales de flujo subsuperficial.
- Anexo E.** Canaleta Parshall.
- Anexo F.** Sedimentador y lechos de secado.
- Anexo G.** Filtro dual de etapas múltiples.
- Anexo H.** Sistema de tratamiento de aguas residuales
- Anexo I.** Sistema de tratamiento de aguas residuales
- Anexo J.** Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua residual.
- Anexo K.** Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua residual tratada.
- Anexo L.** Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua residual tratada.
- Anexo M.** Ficha Técnica Policloruro de Aluminio (PAC).
- Anexo N.** Procedimiento para la dosificación del policloruro de aluminio (PAC)

RESUMEN

Se diseñó una Planta de Tratamiento de aguas residuales para el Cantón Archidona de la Provincia de Napo con la finalidad de disminuir el impacto ambiental que ocasiona el vertido de estas aguas a un cuerpo de agua dulce. Se inspeccionó el lugar de la descarga del agua residual para proceder a la medición de caudales en un periodo de siete días consecutivos, desde las 06h30 am hasta las 18h00 pm, obteniendo un caudal de aforo de 5,81 L/s. Posteriormente se aplicó un muestreo compuesto en tres horarios de 07h00 am, 12h00am y 18h00 pm, obteniendo una muestra representativa del efluente para su caracterización física, química y microbiológica. Los resultados obtenidos de los análisis indicaron valores de: Demanda Química de Oxígeno (DQO) 391,3 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 304 mg/L, Aceites y Grasas 37,2 mg/L, Nitrógeno Amoniacal 45,5 mg/L, Tensoactivos 1,8 mg/L, Sólidos Sedimentables 3,16 mg/L, Coliformes Fecales 1×10^6 UFC/100 ml, mismos que están fuera de los límites permisibles de las normas del Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULSMA). Con estos parámetros se propuso un Sistema de Tratamiento idóneo para las aguas residuales del Cantón Archidona, que consta de los siguientes componentes: canal de recepción, rejillas, desengrasador, cuatro humedales artificiales de flujo subsuperficial empleando el pasto alemán (*Echinochloa polystachya*), una canaleta Parshall para la dosificación del Policloruro de Aluminio, sedimentador y finalmente filtración. Con el presente diseño se alcanzó porcentajes de remoción de: DQO 93,18%, DBO 94,85%, Aceites y Grasas 78,5%, Nitrógeno Amoniacal 98,07%, Tensoactivos 70,6%, Sólidos Sedimentables 96,84%, Coliformes Fecales 99,9%, Turbiedad 92,03%, evidenciando de esta manera que el tratamiento empleado es fiable. Esta Planta de Tratamiento de Aguas Residuales deberá ser implementada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Archidona para evitar la contaminación del río Misahuallí.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA QUÍMICA>, <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>, <CARACTERIZACIÓN DEL AGUA>, <TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA (TULSMA)>, <HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL>, <RÍO MISAHUALLÍ>, <ARCHIDONA (CANTÓN)>, <NAPO (PROVINCIA)>.

SUMMARY

This research is intended to design a wastewater treatment station for Archidona from Napo province in order to diminish the environmental impact arisen from the direct wastewater discharges into the river Misahuallí. The point of final wastewater discharge was inspected at first for a 7-day consecutive period from 06:30a.m – 18:00p.m in order to measure the wastewater flow which accounts for 5,81 liters. Afterwards, this control covers compound sampling carried out in 3 time-tables corresponding to 07:00a.m, 12:00a.m and 18:00p.m which let to ensure a representative flow sampling for the biological and physical and chemical characterization. The analysis results reflected substance values such as Oxygen Chemical Demand (DQO) 391 mg/L, Oxygen Biochemical Demand (DBO) 304 mg/L, Oils and Greases 37, 2 mg/L, Ammonia Nitrogen 45,5 mg/L, Tensoactive Substances 1,8 mg/L, Sedimentable solid 3,16 mg/L, Fecal Coliform 1×10^6 UFC/100 ml, which are very high and which exceed limits of norms laid down in the unified text from secondary environmental regulations (TULSMA). Thus, the necessity to have an appropriate system for the wastewater treatment in Archidona was real need; therefore the wastewater treatment station of this study proposal was stated from these parameters, it consist of a catchment water conduit, grilles, a degreaser devise, four wetland devises for superficial flow which are like those used for German grass (*Echinochloa polystachya*), a Parshall canal for the Polychloride of aluminum dosification, sedimentation and finally for filtration. This wastewater treatment station design allows to reach removal levels which were reflected in percentages as follow: DQO 93,18%, DBO 94,85%, Oils and Greases 78,5%, Ammonia Nitrogen 98,07%, Tensoactive Substances 70,6%, Sedimentable solid 96,84%, Fecal Coliform 99,9%, Turbidity 92,03%, which evidence that the treatment purposed from this study proposal is reliable. Therefore it is advisable for the Archidona Municipality to implement this wastewater treatment station to prevent the Misahuallí river pollution.

RESEARCH KEY WORDS: <ENGINEERING SCIENCE TECHNOLOGY>, <CHEMICAL ENGINEERING>, <WASTEWATER TREATMENT>, <WATER CHARACTERIZATION>, <UNIFIED TEXT FROM SECONDARY ENVIRONMENTAL REGULATIONS (TULSMA)>, <SUPERFICIAL FLOW WETLAND DIVICE>, <MISAHUALLÍ RIVER>, <ARCHIDONA (VILLAGE)>, <NAPO (PROVINCE)>.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales, es un proceso que implica operaciones físicas, químicas y biológicas con el propósito de depurar los contaminantes presentes en los efluentes generados por el uso humano, para generar agua limpia o reutilizable en el ambiente.

La característica principal de este tipo de aguas es el deterioro de su naturaleza física, química y microbiológica después de haber sido usada en actividades domiciliarias, industriales, agrícolas, entre otras, y que de acuerdo a una publicación realizada por el Banco Mundial un 70% de estas aguas en Latinoamérica retornan a los ríos sin ser tratadas ocasionando olores desagradables, impactos visuales negativos e insalubridad.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es la contaminación, lo que origina un riesgo en el bienestar de plantas, animales y seres humanos de los sectores aledaños y de aquellos que se surten más adelante de éstas aguas como fuente de suministro.

La investigación de esta problemática social se realizó por el interés de conocer el grado de polución que generan las aguas residuales de la población del cantón Archidona, ubicado en el corazón de la amazonía ecuatoriana, que posee paisajes inigualables y una rica diversidad que se ha visto afectada por el desecho directo de sus efluentes a su principal cuerpo de agua dulce el río Misahuallí.

Una solución básica para este inconveniente es la adecuada gestión de los efluentes mediante una planta de tratamiento de aguas residuales, que implica la caracterización física, química y microbiológica del agua residual, la medición de los caudales que genera una determinada población, así como la revisión y análisis bibliográfico de la información necesaria para su posterior implementación.

Por ello el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Archidona, a través de su departamento de obras públicas, consientes del gran impacto negativo que provoca a la ciudadanía el vertido de estas aguas, buscan solucionar dicho problema ambiental mediante la implementación de un tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales que no altere el ambiente.

El tipo de depuración usada fue no convencional, con el que se pretende reducir los costos a comparación al de un tratamiento común, que cumpla con la normativa establecida por el Ministerio del Ambiente quien exige el cumplimiento de los parámetros correspondientes del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 10 Límites de descargar a un cuerpo de agua dulce, para evitar este tipo de perjuicios.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aguas residuales

Es el agua de composición diversa procedente de usos domiciliario, municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, así como aguas subterráneas, superficiales o pluviales que pueden incorporarse eventualmente, y que por esta razón haya sufrido degradación o modificación en el equilibrio de sus características físicas, químicas y microbiológicas, causando peligro en la salud y en el ambiente al ser una combinación de líquidos y residuos sólidos transportados. (Ramos et al., 2003, p. 24)

1.2. Clasificación de las aguas residuales

Las principales fuentes de contaminación se han clasificado en cinco grandes grupos de acuerdo a su procedencia, siendo los siguientes:

1.2.1. *Aguas residuales domésticas*

Son aguas originadas en los hogares al ser usadas en ocupaciones domésticas y humanas como en: servicios sanitarios, duchas, cocina, aguas de lavado y limpieza, etc. Los principales contaminantes que contienen son gérmenes patógenos, materia orgánica, sólidos, detergentes, nitrógeno, fósforo, microorganismos, grasas y otros en menor proporción.

Las aguas residuales domésticas son una mezcla de un 99,9% de agua y tan sólo un 0,1% de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos. Precisamente este pequeño fragmento de sólidos ocasiona inconvenientes en su tratamiento y disposición. Siendo el agua nada más el medio de transporte de dichos sólidos.

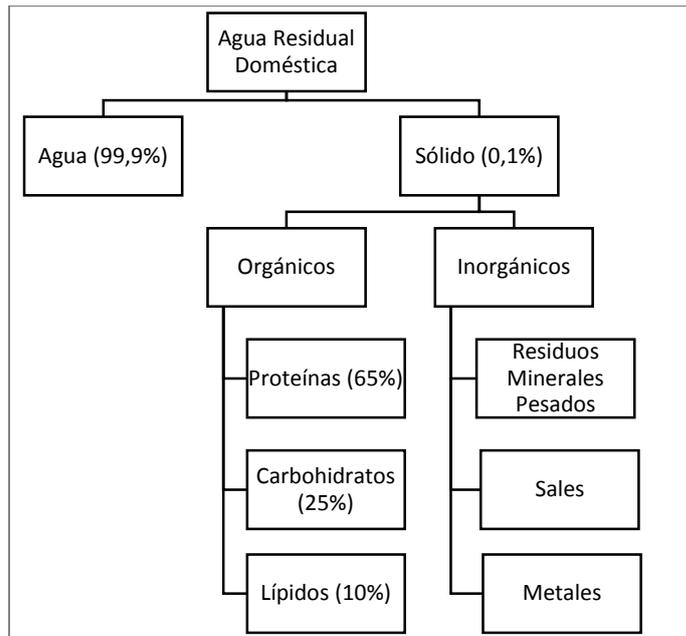


Figura 1-1: Composición típica del agua residual doméstica.

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

1.2.2. Aguas residuales urbanas

Son las descargas de origen doméstico y público, generada en los núcleos de población urbana como resultado de las actividades propias de éstos. Su acopio en su mayor parte es a través del sistema de alcantarillado. La composición y carga contaminante de las aguas residuales urbanas generalmente presenta cierta similitud, pero esta puede variar de acuerdo a la población en donde se genere.

1.2.3. Aguas residuales industriales

Son los vertidos generados por el desarrollo de actividades de extracción y transformación de los recursos naturales en bienes de consumo satisfactorios para la población, y que debido a este uso se ha degradado la calidad del agua utilizada. Además las características de las descargas dependen de los procesos específicos usados en cada industria. (Ramos et al., 2003, pp. 42-43)

1.2.4. Aguas residuales agropecuarias

Son las descargas procedentes de los labores en campos agrícolas, y como consecuencia arrastran remanentes de compuestos herbicidas, plaguicidas, fertilizantes, excrementos de animales, etc., estos contaminantes provocan alteraciones en el equilibrio ecológico.

1.2.5. Aguas blancas o pluviales

Como su nombre lo indica se refiere a las aguas de lluvia que se desliza de los techos, pavimentos, y otras superficies de terreno; acarreado en ella arena, hojas, basura, etc. Se caracterizan por grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación. (Trapote, 2013, p. 15)

1.3. Parámetros que determinan la calidad del agua residual.

Las aguas residuales presentan una diversidad de parámetros relacionados entre sí que han sido clasificados por su composición en: físicos, químicos y biológicos. Siendo imprescindible su caracterización para conocer una información más detallada sobre su naturaleza y características, que nos permita ejecutar una gestión adecuada, eficaz y económica para su depuración.

Tabla 1-1: Nivel de concentración de componentes típicos en aguas residuales.

Parámetro	Unidad	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales	mg/L	350	720	1200
Disueltos totales	mg/L	250	500	850
Sólidos en suspensión	mg/L	100	220	350
Sólidos sedimentables	mg/L	5	10	20
DBO ₅	mg/L	100	200	300
COT	mg/L	80	160	290
DQO	mg/L	250	500	1000
Nitrógeno total (N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoníaco libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo total (P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfatos	mg/L	20	30	50
Aceites y grasas	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	NPM	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
COVs	µg/L	<100	100-400	>400

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

Realizado por: Tanya Vega, 2016

1.3.1. Características físicas

1.3.1.1. Temperatura

La temperatura del agua residual comúnmente es superior a la temperatura del agua para abasto debido a su empleo en actividades domésticas e industriales. Su rango varía entre los 25°C a 35°C, condicionando los procesos de depuración biológica es decir la nitrificación y degradación de materia orgánica, siendo de gran de importancia su control para retardar dichos procesos.

Su medida es en grados Celsius (°C) y se determina en el lugar de muestreo mediante termómetros. (Trapote, 2013, p. 21)

1.3.1.2. Olor

El olor que se desprende de las aguas residuales se produce por la descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en la misma, siendo los principales causantes del mal olor gases como: el sulfuro de hidrogeno (huevos podridos), amoniaco (amoniacal), dimetilsulfuro (vegetales descompuestos), eskatol (materia fecal), entre otros.

Un agua residual fresca genera olores inofensivos, y a medida que el proceso de degradación de contaminantes se desarrolla el olor va aumentando, por lo que es un aspecto muy importante en una PTAR, principalmente si ésta se localiza cerca de una población. (Delgadillo et al., 2010, pp. 53-54)

1.3.1.3. Color

El color es un indicador de la contaminación de los efluentes residuales y su medición es en unidades de platino-cobalto (PCU). Este puede variar del gris al negro debido a la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos en elevadas concentraciones como: colorantes industriales, sales de cromo, aceites, material coloidal, etc. (Bódalo et al., 2002, p. 126)

1.3.1.4. Turbiedad

Es una propiedad óptica que provoca que la luz se emita y no traspase a través de una suspensión, se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). La turbidez del agua

residual es ocasionada por el material en suspensión, insoluble o dispersión coloidal. (Orozco et al., 2011, p. 66)

1.3.1.5. Conductividad

Es la capacidad de un fluido para conducir la corriente eléctrica que es transportada por iones presentes en una solución, su medida es en micro-siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Entonces una elevada concentración de iones es decir la presencia de impurezas en el agua residual estimula un aumento en la conductividad. (Delgadillo et al., 2010, p. 56)

1.3.1.6. Sólidos

Las partículas disueltas, en suspensión y filtrables conforman los sólidos totales que son medidos en miligramos - litro (mg/L). Su presencia en el agua residual ocasiona la disminución de oxígeno disuelto al oxidarse los sólidos, sedimentándose y por ende alterando la biota acuática.

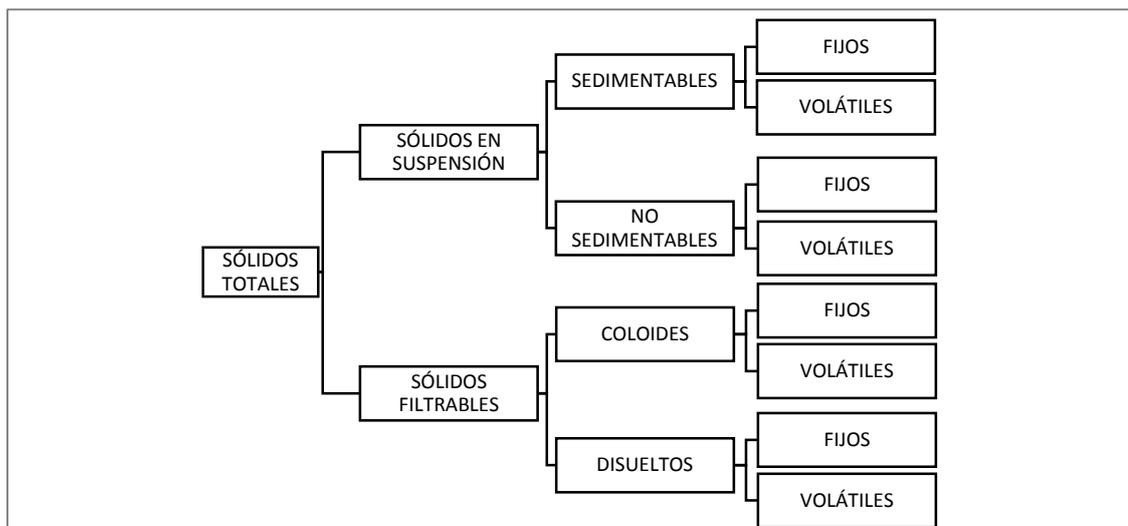


Figura 2-1: Clasificación de los sólidos totales presentes en el agua residual.

Fuente: Sainz, 2007

1.3.2. Características químicas

1.3.2.1. pH (Potencial de hidrógeno)

Las aguas residuales que presentan un pH entre 6,5 y 8,5 no ocasionan inconvenientes al momento de su depuración, mientras que si están fuera de este rango los procesos biológicos se

ven afectados. Se puede determinar si es ácida si su pH <7, básica pH >7, y neutra pH =7 neutra. (Trapote, 2013, p. 21)

1.3.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es la medición en miligramos-litro (mg/L) de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual a una temperatura de 20° C y en un tiempo generalmente de 5 días, en condiciones anaerobias. Transcurrido este tiempo cerca del 70% de las sustancias biodegradables se han consumido. (Espigares, 1985, p.26)

1.3.2.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la cantidad equivalente de oxígeno en miligramos-litro (mg/L) necesario para oxidar componentes orgánicos en el agua residual usando para ello oxidantes químicos fuertes.

1.3.2.4. Relación de Biodegradabilidad

Es fundamental conocer la relación entre el DBO₅/DQO y DQO/ DBO₅ del agua residual, para determinar el grado de biodegradabilidad y el posible tratamiento que se le puede proporcionar; entonces tenemos:

Tabla 2-1: Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO₅/DQO

DBO ₅ /DQO	Carácter
>0,8	Muy biodegradable
0,7-0,8	Biodegradable
0,3-0,7	Poco biodegradable
<0,3	No biodegradable

Fuente: Bedoya et al., 2014

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 3-1: Criterios de biodegradabilidad según la relación DQO/ DBO₅

DQO/ DBO ₅	Carácter	Tratamiento
<2,5	Biodegradable	Sistemas biológicos (Fangos activos, fitorremediadores)
2,5-5	Biodegradable	Lechos bacterianos
<0,3	No biodegradable	Aplicación de químicos

Fuente: Vinuesa, 2015

Realizado por: Tanya Vega, 2016

1.3.2.5. Alcalinidad

La alcalinidad que posee el agua residual resulta de la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y se mide en miligramos-litros (mg/L). Generalmente las aguas residuales son alcalinas por el aporte de sustancias de uso doméstico, aguas de suministro, y subterráneas. Depende de la influencia del pH, temperatura, fuerza iónica y composición general. (Metcalf y Eddy, 1995, p. 46)

1.3.2.6. Fósforo

La presencia de fósforo en las aguas residuales estimula el crecimiento de algas y otros organismos biológicos y su medición es en miligramos-litros (mg/L). Las formas usuales en las que se encuentra al fósforo es en soluciones como el ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. (Metcalf y Eddy, 1995, p. 47)

1.3.2.7. Nitrógeno

Interviene en el crecimiento de microorganismos y algas, por ello es también conocido como nutriente o bioestimulante, se mide en miligramos-litros (mg/L). Las formas en las que se halla en el agua residual es como: amoníaco, nitrógeno orgánico, nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal. (Metcalf y Eddy, 1995, p. 48)

1.3.2.8. Aceites y grasas

Pueden ser de origen vegetal, animal o mineral; siendo las dos primeras biodegradables son fácilmente eliminadas con un tratamiento biológico, mientras que la última al no ser biodegradable necesita un pretratamiento antes del tratamiento biológico.

Son sustancias solubles en solventes orgánicos (hexano) e insolubles en agua, su medición es en miligramos-litros (mg/L). Se las pueden evidenciar en el agua residual porque forman películas o natas, y causan daños evidentes en alcantarillas y estaciones de depuración.

1.3.2.9. Detergentes

Disminuyen la tensión superficial en el agua residual al formar espumas y esto ocasiona la producción de fósforo en gran cantidad causando problemas de eutrofización. Se mide en

miligramos-litros (mg/L), y están conformados por moléculas orgánicas polares grandes, que son solubles en aguas y aceites.

1.3.3. Características Microbiológicas

Los excrementos y otros residuos eliminados por humanos enfermos y/o animales huéspedes, son el principal origen de patógenos entéricos. La mayoría de estos desechos se eliminan a través del agua residual ocasionando la transmisión de enfermedades intestinales a cualquiera que esté en contacto con ellas. Su medición generalmente es en unidades formadoras de colonias por mililitros (UFC/mL).

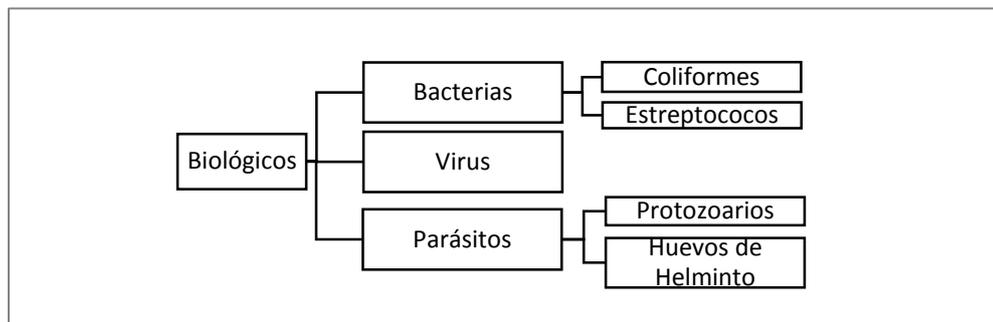


Figura 3-1: Clasificación microbiológica en aguas residuales

Fuente: Delgadillo et al., 2010

1.3.3.1. Bacterias

Son organismos unicelulares que se alojan tanto en el tracto intestinal del hombre como de animales, y son excretadas a través de la materia fecal. Se encuentran con mayor frecuencia en el agua residual.

La *Escherichia Coli* actualmente es considerada como el mejor indicador de contaminación fecal, debido a que representan entre el 90% y 100% de las bacterias coliformes presentes en las heces humanas, ya que cada persona evacua diariamente de 100000 a 400000 millones de coliformes a través de la materia fecal, incluyendo otras bacterias.

1.3.3.2. Virus

Se encuentran solamente presentes en el tracto gastrointestinal de personas o animales infectados, y aún en concentraciones mínimas pueden causar enfermedades, debido a que tienen la capacidad de absorberse al material particulado y sólidos fecales, su perduración se da en tiempos extensos en las aguas residuales.

1.3.3.3. Parásitos

Son microorganismos patógenos al que pertenecen los protozoos y helmintos, muy comunes en fangos o lodos y suelos. Afectan al ser humano si este presenta un sistema inmunológico bajo como es el caso de niños, ancianos, individuos con cáncer y personas víctimas del SIDA, causando infecciones por contacto con el agua contaminada.

Tabla 4-1: Principales bacterias, virus y parásitos patógenos presentes en aguas residuales.

	Agentes patógenos	Fuente (materia fecal)	Periodo de incubación	Enfermedad
Bacterias	Escherichia Coli	Hombre	1-6 días	Diarreas, vómitos
	Salmonellae	Hombre y animales	8-48 horas	Diarreas acuosas
	Salmonella typhi	Hombre y animales	7-28 horas	Fiebre tifoidea
	Vibrio Cholerae	Hombre	9 horas-5 días	Cólera
	Leptospira Icterohamorrhagiae	Ratas	-	Leptopirosis
Virus	Poliovirus	Hombre	3-14 días	Poliomielitis, fiebres, meningitis, diarreas, enfermedades respiratorias, infección de los ojos.
	Echovirus	Hombre	3-14 días	
	Hepatitis A	Hombre	15-30 días	Hepatitis infecciosa
	Hepatitis B	Hombre	16-65 días	
	Rotavirus A y B	Hombre	2-3 días	Gastroenteritis aguda, diarreas y vómitos.
Parásitos	Entamoeba histolytica	Hombre	2-4 semanas	Amebiasis
	Acanthamoeba	Hombre	-	Abscesos subcutáneos, conjuntivitis.
	Tricocéfalos	Hombre y animales	-	Infección intestinal
	gusano helminto	Hombre y animales	-	

Fuente: Delgadillo et a., 2010

Realizado por: Tanya Vega, 2016

1.4. Tratamiento de las aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales tiene como objetivo eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes presentes en el agua residual, por medio de procesos y operaciones físicas, químicas y biológicas; de manera que se cumpla con lo estipulado en las normativas existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cuerpos receptores donde serán vertidas o bien ser reutilizadas.

Existen algunos tipos de procesos y operaciones unitarias que se complementan entre sí para la depuración de las aguas residuales, considerando comúnmente cuatro niveles de tratamiento que son: pre-tratamiento o tratamiento preliminar (procesos físicos), tratamiento primario (procesos físicos y químicos), tratamiento secundario (procesos biológicos), tratamiento terciario o avanzado (procesos físicos, químicos y biológicos)

1.4.1. Pre-tratamiento o tratamiento preliminar

Abarca una serie de operaciones físicas, cuyo objetivo es separar del agua residual una gran cantidad de material que por su tamaño (ramas, palos, basura, hojas, etc.) o naturaleza (grasas y aceites), puedan causar inconvenientes en las instalaciones (válvulas, bombas, desgaste de equipos, etc.) y en las etapas consecutivas del tratamiento.

1.4.2. Tratamiento primario

Son procesos físicos o físico-químicos que reducen la materia orgánica y los sólidos que se encuentran en suspensión (sedimentables y/o flotables), presentes en el agua residual. Se considera por lo menos que exista una disminución de un 25%-35% del DBO₅, un 50%-70% del total de sólidos en suspensión y un 30%-40% de las bacterias coliformes. (Manahan, 2007, p. 209)

1.4.3. Tratamiento secundario

Son procesos que incluyen tratamientos biológicos para eliminar la materia orgánica normalmente medida como DBO₅; esto básicamente consiste en el uso de microorganismos que en condiciones aerobias degradan el material orgánico en suspensión o en solución presente en el agua residual hasta niveles aceptables.

Son algunos los procesos biológicos que se pueden usar, y su elección depende tanto de lo tecnológico (modo de suministrar el oxígeno que requieren los microorganismos, velocidad a la que éstos metabolizan la materia orgánica) como de lo económico. (Manahan, 2007, p. 210)

1.4.4. Tratamiento terciario

Conocido también como tratamiento avanzado, consiste en una serie de procesos físicos, químicos y hasta biológicos, destinados a alcanzar una calidad máxima de los efluentes provenientes de las etapas anteriores. Aquí se consigue eliminar los contaminantes aun

presentes en mínimas cantidades como: compuestos orgánicos y tóxicos, nutrientes, sólidos suspendidos, etc.

Su aplicación representa un costo más elevado que los mencionados anteriormente, es por ello que es usado solo en casos especiales de reutilización para consumo humano, riego de áreas agrícolas, zonas verdes, crianza de peces y demás actividades productivas. (Ramalho, 196, p.585)

Tabla 5-1: Características de las principales etapas de los tratamientos del agua residual

Etapas de tratamiento	Mecanismos predominantes	ÍTEM		
		Operaciones o Procesos unitarios	Contaminantes removidos	Eficiencias de reducción
Preliminar	Físicos	Rejas o tamices, trituradores, desarenadores, desengrasadores, pre-aireación.	Sólidos gruesos, grasas y aceites	SS: <10% DBO ₅ : <10% Coliformes: ≈ 0% Nutrientes: ≈ 0%
Primario	Físicos y químicos	Procesos de separación sólido-líquido: (sedimentación o decantación primaria, flotación, proceso mixto: decantación-flotación) Procesos complementarios: (floculación, coagulación)	Sólidos suspendidos sedimentables y/o flotantes, materia orgánica (parcialmente)	SS: 40-50% DBO ₅ : 25-35% Coliformes: 30-40% Nutrientes: <20%
Secundario	Biológicos	Fangos activados o lodos activados, lechos bacterianos, reactores de lecho fijo y sistemas de lagunaje y sedimentación.	Sólidos no sedimentables, materia orgánica suspendida fina /soluble, patógenos	SS: 60-99% DBO ₅ : 60-99% Coliformes: 60-99% Nutrientes: 10-50%
Terciario	Físicos, químicos y biológicos	Separación de sólidos en suspensión, adsorción de carbón activado, intercambio iónico, osmosis inversa, electrodiálisis, oxidación química, métodos de eliminación de nutrientes y sonozone.	Contaminantes específicos, materia orgánica, nutrientes (N y P), patógenos.	SS: >99% DBO ₅ : >99% Coliformes: >99% Nutrientes: >90%

Fuente: Torres, 2012

Realizado por: Tanya Vega, 2016

1.4.5. Tratamiento de lodos

La depuración del agua residual conlleva a la formación de subproductos conocidos como lodos o fangos, que deben ser tratados adecuadamente, y de esta manera cumplir con los requisitos establecidos en las normativas ambientales.

Tabla 6-1: Etapas de los tratamientos de lodos

Espesamiento	Estabilización	Acondicionamiento	Deshidratación
Objetivo: incrementar la concentración de sólidos. Operaciones básicas: espesamiento por gravedad, y por flotación.	Objetivo: reduce la fracción biodegradable de los lodos. Operaciones básicas: estabilización aerobia o anaerobia, química y tratamiento térmico.	Objetivo: mejora las características de los lodos facilitando su deshidratación. Operaciones básicas: adición de químicos.	Objetivo: reduce el contenido de agua para su fácil manejo y transporte. Operaciones básicas: centrifugación, filtros de banda, secado térmico y eras de secado.
Procesos físicos	Procesos físicos, químicos y biológicos	Procesos químicos	Procesos físicos

Fuente: CENTA, 2008

Realizado por: Tanya Vega, 2016

1.5. Sistemas naturales de depuración

Los tratamientos naturales consisten en la depuración de las aguas residuales por la acción del suelo, vegetación y microorganismos; es decir utiliza y maximiza varios procesos que suceden de forma natural en el medio, en un lugar controlado, los cuales no requieren de energía externa ni de aditivos químicos.

Durante los últimos años este tipo de tratamientos ha tenido gran acogida debido a su fácil operación y mantenimiento, baja producción de fangos, reducido consumo energético y ventajas económicas; convirtiéndose por lo tanto en una alternativa sostenible, que generalmente se usa como tratamiento secundario para poblaciones reducidas.

Para su aplicación es necesario conocer el índice de biodegradabilidad de las aguas residuales o eliminar con anterioridad con otros tratamientos los residuos peligrosos o tóxicos para emplear este tipo de método; además se debe contar con una superficie de terreno amplio pues exige un tiempo de permanencia y volúmenes mayores de agua. A estos procesos naturales se los conoce como procesos de depuración de bajo coste.

1.5.1. Humedales artificiales

Los humedales artificiales son zonas de fitodepuración construidas por el hombre como una alternativa tecnológica para el tratamiento de aguas contaminadas, que consisten en la siembra de macrofitas y cuya profundidad es inferior a 0,6 m.

Estas plantas acuáticas son el principal agente depurador de las aguas residuales al producir una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas que eliminan grandes cantidades de contaminantes como material orgánico, sólidos, nitrógeno, fósforo, etc., de forma gradual y progresivamente. Los elementos básicos que constituyen este tipo de sistemas son los siguientes:

- Sustrato: estabiliza la vegetación, permitiendo la fijación de una biopelícula microbiana que elimine los contaminantes del agua residual.
- La vegetación: son macrófitas que oxigenan al sustrato, y eliminan nutrientes.
- El agua a tratar: circula a través del sustrato y de la vegetación.

Su clasificación es de acuerdo al tipo de macrofitas que se emplean para su funcionamiento en superficial y subsuperficial.

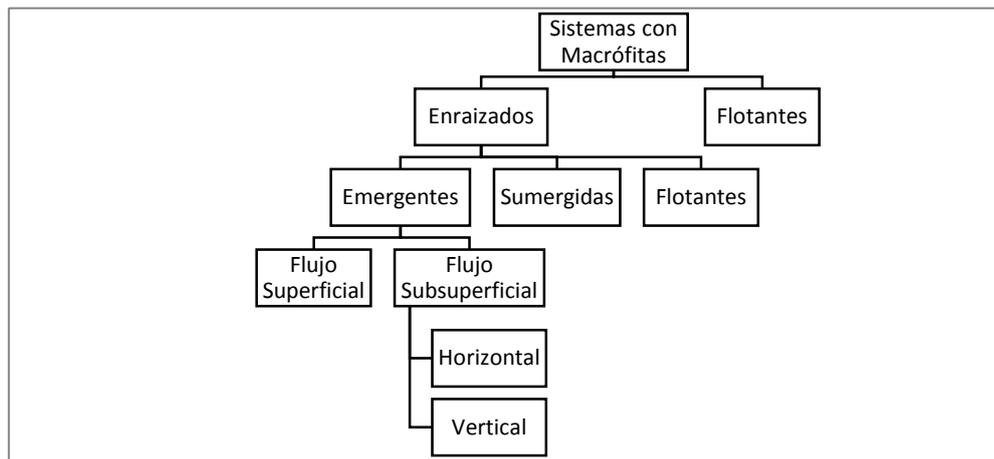


Figura 4-1: Clasificación de humedales artificiales según el tipo de macrófitas

Fuente: Delgadillo et al., 2010

1.5.1.1. Humedal artificial de flujo superficial (HAFS)

El agua circula por encima del sustrato o por entre los tallos de las macrofitas continuamente, favoreciendo las condiciones aerobias al estar el agua directamente expuesta a la atmósfera.

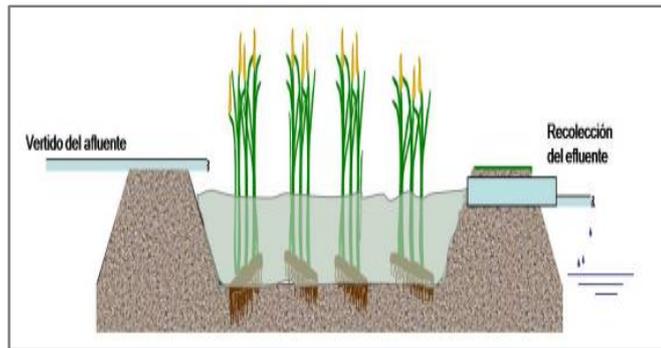
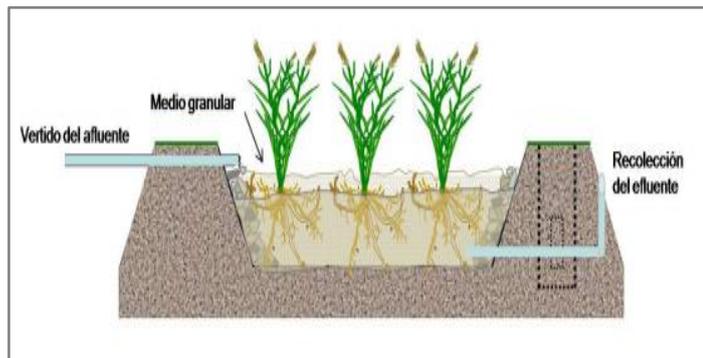


Figura 5-1: Humedal artificial de flujo superficial

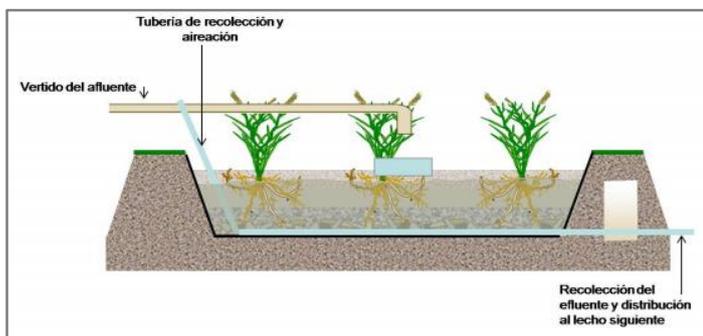
Fuente: García y Corzo, 2008

1.5.1.2. *Humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS)*

También denominados lechos de plantas o filtros de plantas. En estos sistemas el agua residual circula a través de un medio granular de 0,4m a 0,7m de profundidad sobre un fondo impermeabilizado o geomembrana, por debajo de la superficie y en contacto con las raíces y rizomas de las macrofitas que se plantan artificialmente.



a)



b)

Figura 6-1: a) HAFSSH, b) HAFSSV

Fuente: García y Corzo, 2008

1.5.1.3. Fitorremediación

El proceso más importante que ocurre en un humedal artificial es la fitorremediación que consiste en el uso de plantas y microorganismos asociados a ellas. Estos realizan procesos bioquímicos que remueven, reducen, transforman, degradan, mineralizan, volatilizan o estabilizan los contaminantes orgánicos e inorgánicos de su entorno o disminuyen su peligrosidad. (Delgadillo et al., 2011)

1.5.1.4. Especies de plantas utilizadas en los humedales artificiales

Las plantas que se usan en los humedales artificiales van a depender del tipo de humedal que se establezca para el tratamiento, es por ello que representan una parte fundamental en estos sistemas. Los criterios que se consideran comúnmente son los siguientes:

- Debe ser de preferencia una planta nativa para su fácil manejo.
- Capacidad de asimilar contaminantes, alta productividad y crecimiento.
- Adaptabilidad al clima y a sus diversos cambios.
- Tolerancia a concentraciones elevadas de contaminantes.
- Capacidad de transportar oxígeno desde sus hojas hasta las raíces.

Tabla 7-1: Principales especies de plantas usadas en humedales artificiales.

Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Características
Ciperácea	Cyperus papyrus	Papiro gigante	-Son plantas perennes que se desarrollan en humedales, aguas costeras e interiores salobres. -Crecen en grupo. -Pueden establecerse en lugares con agua de 5cm a 3m de profundidad y también resisten períodos de sequía. -Penetración de raíces en grava 60 cm.
	Scirpus validus	Junco redondo	
	Scirpus lacustris	Junco cebrá	
Gramínea	Phragmites australis	Carrizo	-Son macrófitas usadas con preferencia en los humedales por su eficacia en la transferencia de oxígeno al contar con
	Hymenachne amplexicaulis	Canutillo	

	Echinochloa polystachya	Pasto alemán	raíces profundas que penetran fácilmente en el lecho de grava.
	Panicum máximum	Pasto guinea	-Ofrecen un valor alimenticio bajo. -Son muy resistentes a los cambios de salinidad y pH del agua. - Penetración de raíces en grava 40 cm.
Tifácea	Typha domingensis	Junco	-Plantas con la capacidad de crecer con facilidad en condiciones ambientales hostiles.
	Typha angustifolia	Aenea	-Se propaga fácilmente. -Tienen gran capacidad de transferir el oxígeno desde sus hojas y tallo a la zona de la raíz.
	Typha latifolia	Espadaña	-Remueve en pequeñas cantidades nutrientes como el nitrógeno y fósforo a través de la poda y cosecha. -Penetración de raíces en grava 30 cm.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Fuente: Delgadillo et al., 2010

Las especies de plantas mencionadas anteriormente en su mayoría crecen en humedales naturales y habitualmente se desarrollan en ambientes inundables. Las más comunes utilizadas a nivel del Ecuador son: *E. polystachya* y *P. maximum*.

1.5.1.5. *Echinochloa polystachya* (Pasto alemán)

Gramínea perenne originaria de Centro América, también conocida como pasto alemán, hierba de río, entre otros. La *Echinochloa polystachya* pertenece a la familia de las Poaceae, subfamilia: Panicoideae, tribu: Paniceae; y está distribuida en América del Norte, Mesoamérica, el Caribe, América del Sur.

Tabla 8-1: Características del Pasto Alemán.

Planta	Características
	<ul style="list-style-type: none"> -Alcanza una altura de hasta 2m. -Posee una tasa de crecimiento elevada. -Su reproducción es de forma sexual y asexual por propagación vegetativa. -La condición del clima ideal es el cálido. -Robusta con tallos erguidos cuando jóvenes. -Son decumbentes en su madurez.

Fuente: Carpio, 2013

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Esta especie es nativa de pantanos, lagos, costas de las tierras húmedas y permanentes en humedales naturales, se desarrollan en el agua a 30 cm de profundidad, es por ello que se adapta con gran facilidad a condiciones de alta humedad, pudiendo soportar láminas de agua cercanas a 1m.

En los últimos años se le ha dado gran uso en el tratamiento de aguas residuales por su alto rendimiento en la depuración de contaminantes presentes en las mismas, pudiendo ser usada en humedales de flujo superficial como subsuperficial al ser considerada una helófito.

En los sistemas de flujo superficial posee una ventaja debido a que sus rizomas al penetrar con mayor profundidad y verticalmente en el interior del sustrato o fango del humedal, presentan un efecto de oxigenación superior.

1.5.1.6. Geomembrana

Las geomembranas son un recubrimiento, una membrana o barrera de muy baja permeabilidad hecha a partir de diferentes resinas plásticas para controlar la migración de fluidos. En general, son sistemas de impermeabilización para la construcción de túneles, canales, embalses, lagunas de oxidación, rellenos sanitarios, humedales y piscinas de recolección de lodos, etc.

Son usadas porque ayudan al desarrollo ambiental y a la protección del ecosistema; además de su bajo costo. Su presentación es en rollos de diferentes espesores, con cualidades físicas y químicas distintas de acuerdo a cada necesidad. Los tipos de geomembranas que podemos encontrar son:

➤ **Geomembranas de PVC:** Fabricadas a base de un 50% de resina virgen de PVC (Cloruro de Polivinilo) y un 50% de aditivos que generaran una gran gama de películas con diferentes cualidades de consistencia y propiedades.

Son resistentes a la intemperie, económico en cuanto a su calidad y reciclable, por estos motivos el PVC ofrece un gran número de posibilidades de aplicación en humedales artificiales, debido a su bajo costo y al conjunto de propiedades que el mismo presenta.

➤ **Geomembranas de Polietileno de alta densidad o HDPE:** Es fabricada a partir de un 93% de resina de Polietileno de alta densidad, un 3% de aditivos antioxidantes y negro de humo, que las hace muy resistentes a los rayos UV haciéndola excelente para aplicaciones expuestas.

No es muy recomendada por ser semirrígida, ya que al doblar el material se ocasionan esfuerzos de falla en los dobleces.

1.6. Pruebas de tratabilidad

Son tratamientos previos o paralelos al diseño de una planta de tratamiento. Son realizados como ensayos en el laboratorio de manera obligatoria mediante el test de jarras, antes de su aplicación en la planta piloto.

1.6.1. Prueba de jarras

La prueba de jarras es generalmente la técnica más usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros en el tratamiento de aguas para su potabilización, o de aguas residuales. En este ensayo se trata de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio de los coloides en suspensión y materia orgánica, que son separados fácilmente por decantación.

Se debe utilizar una serie de jarras al mismo tiempo, en las que se aplica diferentes dosis del coagulante con una variación de la velocidad de agitación (rpm), esto permite la formación de flóculos de distinto tamaño dando valores alternados del parámetro de estudio; todo esto con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento.

En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos, entre éstos tenemos: pH, temperatura, concentración de coagulante, secuencia de aplicación de las sustancias químicas, grado de agitación y tiempo de sedimentación.

1.7. Normativa ambiental

La presente normativa ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y el Reglamento para el Control de la Contaminación Ambiental con el objetivo de controlar y prevenir la contaminación del ambiente, sometiéndose a la disposición de éstos, por lo que su aplicación es obligatoria en todo el territorio nacional. (TULSMA)

1.7.1. Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce

Para la caracterización del agua residual y la calidad del efluente que se vierte al río Misahuallí, estudiado en la presente investigación, se seguirá el lineamiento establecido en la normativa del

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Recurso Agua, Libro VI, Anexo I, Tabla 10.

Tabla 9-1: 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	30,0
Alkil mercurio		mg/L	NO DETECTABLE
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 ⁻	mg/L	0,1
Cinc	Zn	mg/L	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1 000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	NMP/100 ml	10 000
Color real	Color real	Unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	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	mg/L	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 Suspendidos Totales	SST	mg/L	130
Sólidos totales	ST	mg/L	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/L	1 000
Sulfuros	S ⁼	mg/L	0,5
Temperatura	T	°C	Condición natural ± 3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0

Fuente: TULSMA

Realizado por: Tanya Vega, 2016

1.8. Muestreo

El proceso de muestreo debe ser realizado meticulosamente con el fin de obtener muestras representativas, cuyos resultados obtenidos determinen la selección adecuada de las distintas etapas del proceso de tratamiento.

1.8.1. Tipos de muestras

1.8.1.1. Muestra simple o puntual

Son aquellas muestras que se recolectan individualmente en un lugar, y tiempo específicos. Estas se analizan de forma separada reflejando las circunstancias del cuerpo de agua para el momento y sitio de su recolección, obediendo dos situaciones que son:

- Cuando la muestra es analizada in situ para la determinación de pH, sólidos sedimentables, temperatura, etc., o ser recolectada para posteriores análisis de laboratorio.
- Cuando es tomada de forma cuidadosa para integrarse como alícuota dependiente del caudal y formar parte de una muestra compuesta.

1.8.1.2. Muestra compuesta

Es el resultado de la combinación y homogenización de muestras puntuales recolectadas en el mismo lugar en diferentes intervalos de tiempo. Se emplean para estimar concentraciones promedio de los materiales descargados cuya composición varía en el tiempo; además reducen el trabajo analítico.

1.8.1.3. Muestra integrada

Consiste en el análisis de muestras recolectadas de forma simultánea en distintos puntos y al mismo tiempo o con la menor distancia posible. La integración se hace de manera proporcional a los caudales medidos al tomar la muestra.

1.9. Parámetros de diseño de un Sistema de tratamiento de aguas residuales

Existen varias alternativas para reducir el impacto ambiental que producen las aguas residuales, siendo el nivel de concentración de los contaminantes los que determinen los tipos de tratamientos a usar ya sean físicos, químicos y biológicos que ayuden a alcanzar niveles de depuración deseables del efluente; además también se debe considerar la topografía del lugar, el espacio disponible, y los costos de construcción.

Cabe mencionar que uno de los métodos más usados en los últimos años por ser amigable con el medio ambiente, de bajo costo y alta eficiencia en la disminución de la carga contaminante presente en las aguas residuales, es sin duda la aplicación de los humedales artificiales.

Una vez mencionados todos los aspectos anteriores para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de preservar la salud de los habitantes y no causar perjuicios en el ambiente, es preciso conocer la siguiente información:

1.9.1. Período de tiempo

Es el tiempo estimado de vida útil del diseño y de acuerdo a la norma INEN 005-9-1 (1992) para una planta de tratamiento de aguas residuales está entre 20 y 30 años, considerando un tiempo de 20 años.

1.9.2. Población de diseño

Es la determinación del número de habitantes para los cuales ha de diseñarse la planta de tratamiento de aguas residuales, además de ser un parámetro importante para el cálculo del caudal de diseño de un sector.

1.9.2.1. Población actual

Es el número total de personas que viven en un sector, comunidad o ciudad, etc., en un tiempo real. De acuerdo al último CENSO realizado en el año 2010 por el Instituto de Estadísticas y Censos (INEC), en el cantón Archidona de la Provincia de Napo, existe una población de 11689 habitantes, con una tasa de crecimiento del 3,5%.

1.9.2.2. Población futura

Es la determinación de la proyección de la población en estudio. El cálculo de la población futura se realiza por el método geométrico aconsejable para poblaciones en constante incremento con la siguiente ecuación:

$$P_f = P_a * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^N \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Pf: Población futura.

Pa: Población actual.

r: Índice anual de crecimiento.

N: Periodo de tiempo en años.

1.9.3. Caudal

El caudal es la cantidad de fluido, medido en volumen, en un lugar y tiempos determinados. Para su determinación se tomará en consideración las aportaciones generadas por la población.

1.9.3.1. Caudal medio teórico

Es la cantidad de agua residual consumida en un día de aportación al sistema depurador.

Se determina en función del agua potable que se suministra a la población en estudio, la población futura y el coeficiente de retorno.

$$Q_{med} = \frac{CR (Dot)(Pf)}{86400} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Q_{med} : Caudal medio teórico (L/s)

CR: Coeficiente de retorno

Dot: Dotación de agua potable (L/hab.día)

P_f : Población futura

El valor del coeficiente de retorno (CR) de acuerdo a las normas EX-IEOS DE 1993, oscila entre un 70% y 80%, este representa el porcentaje del agua usada en actividades como riego, lavado de pisos, cocina, entre otros, que no es devuelta a la red de alcantarillado.

1.9.3.2. Caudal máximo teórico

Es el valor máximo de escurrimiento que se puede presentar en un determinado periodo del día. Se obtiene a partir del caudal medio teórico y el coeficiente de Harmon o de mayorización.

a) Coeficiente de mayorización: Son las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. La siguiente expresión está diseñada únicamente para poblaciones igual o mayores a 1000 habitantes.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Pf}{1000}}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

M: Coeficiente de Mayorización o Simultaneidad.

P_f : Población futura (hab)

b) Caudal máximo teórico

$$Q_{max} = M(Q_{med}) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

Q_{\max} : Caudal máximo teórico (L/s)

M: Coeficiente de mayorización

Q_{med} : Caudal medio (L/s)

1.9.3.3. Caudal de diseño

Es el volumen de agua que llegará al sistema de tratamiento. Se determina a partir de los caudales medio, máximo y de infiltración.

Tabla 10-1: Tasa de infiltración según el área

Área (ha)	Tasa de infiltración (L/s-ha)
0,5	0,05
1	0,1
1,5	0,15
2	0,2
2,5	0,25

Fuente: Romero, 2008

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) **Caudal de infiltración:** Es la cantidad de agua que se filtra a través del suelo.

$$qi = A * i \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

qi : Caudal de infiltración (m^3/s)

A: Área donde se va a implementar el proyecto (ha)

i: Tasa de infiltración (L/s-ha)

b) **Caudal medio de diseño:** Es la cantidad media de agua requerida en un día.

$$Q = Q_{\text{med}} + qi \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

Q: Caudal medio de Diseño (L/s)

Q_{med} : Caudal medio teórico (L/s)

qi : Caudal de infiltración (L/s)

c) **Caudal máximo de diseño:** Es el máximo gasto de agua requerido en un día.

$$Q_M = Q_{max} + q_i \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

Q_M : Caudal máximo de diseño (L/s)

Q_{max} : Caudal máximo teórico (L/s)

q_i : Caudal de infiltración (L/s)

1.9.4. Canal de recepción

Es una estructura abierta a la atmosfera destinada al transporte de fluidos, conformada por dispositivos como: compuertas, vertederos, sifones, etc., que permiten el control del caudal y el nivel del agua que está transportando.

Son de dos tipos los naturales que existen de forma natural en la tierra como: arroyos, ríos, arroyuelos, etc.; y los artificiales que son construidos por el hombre sobre el suelo mediante esfuerzo humano, y están revestidos con concreto, hormigón, roca, etc.

1.9.4.1. Consideraciones de diseño del canal

Para el diseño de un canal artificial se debe considerar la profundidad del flujo y las dimensiones de la sección, existen canales rectangulares, trapezoidales, triangulares, entre otros. El canal de conducción debería ser del mismo ancho de la tubería de llegada, con el fin de mantener constantes la velocidad y el tirante del agua. La longitud del canal no necesariamente debe ser calculada pero si debe ser suficiente para dar cabida a la basura que se aglomere en las rejillas.

Tabla 11-1: Información típica para el diseño de un canal.

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor estimado
Altura de seguridad**	hs	m	0,4-1,0
Ancho del canal	b	m	0,3-0,8
Pendiente del canal	s	%	0,05-5
Coefficiente de rugosidad hormigón	n	-	0,013
Velocidad a caudal medio*	v_{med}	m/s	$\geq 0,6$
Velocidad a caudal máximo*	v_{max}	m/s	$\leq 2,5$

Fuente: UTPL, 2010

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) **Coefficiente de Manning:** Evidencia la velocidad con la que el agua atraviesa el canal.

$$K = \frac{Q * n}{b^{8/3} * S^{1/2}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

K: Coeficiente de Manning (adimensional)

Q_{med} : Caudal medio de diseño (m^3/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

b: Base del canal (m)

S: Pendiente del canal (m/m)

b) **Altura:** Es la altura del agua dentro del canal.

$$h = 1,6624 * K^{0,74232} * b \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

h: Altura del tirante de agua en el canal (m)

K: Coeficiente de Manning (adimensional)

b: Base del canal (m)

c) **Altura total del canal:** Es la sumatoria de la altura del agua en el canal y una altura que normalmente es un valor propuesto.

$$h_T = h + h_S \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

h_T : Altura del canal (m)

h: Altura (m)

h_S : Altura de seguridad (m)

d) **Radio hidráulico:** Es la pérdida de carga en conductos tanto abiertos como cerrados. Está en función del ancho y altura del canal.

$$RH = \frac{b * h_T}{b + 2h_T} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

RH: Radio hidráulico (m)

b: Base del canal (m)

h_T : Altura total del canal (m)

e) **Velocidad:** Es la velocidad con la que recorre el agua el canal.

$$v = \frac{1}{n} * RH^{2/3} * s^{1/2} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

v: Velocidad (m/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

RH: Radio hidráulico (m)

s: Pendiente del canal (m/m)

1.9.5. Cribado

La operación del cribado se usa para separar sólidos gruesos como palos, basura, etc., presentes en el agua mediante el paso de la misma a través de una criba o rejillas, evitando así perjuicios en las instalaciones y en las posteriores etapas de tratamiento. Se selecciona el tipo de rejillas de limpieza manual por ser las más utilizadas.

1.9.5.1. Consideraciones de diseño de las rejillas

La ubicación de las rejillas debe ser de forma inclinada con respecto al piso del canal donde será instalada para promover una distribución uniforme de los sólidos que serán retenidos en ella.

Tabla 12-1: Parámetros de diseño para rejillas.

Parámetro	Sigla	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Tamaño de la barra				
Espesor	e	cm	0,6-1,5	0,6-1,5
Profundidad o altura	h	cm	2,5-7,5	2,5-7,5
Separación entre barras	s_b	cm	2,5 – 5,0	1,6-7,5
Angulo de inclinación	\emptyset	°	25– 50	50-80
Velocidad de aproximación	v_a	m/s	0,3-0,6	0,6-0,9
Perdida de carga admisible	P_c	cm	15	15

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) **Número de barras:** Es la cantidad de barras que tendrá la rejilla.

$$Nb = \left(\frac{b}{e + s_b} \right) - 1 \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

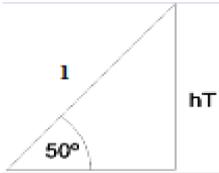
Nb: Número de barras

b: Base del canal (m)

e: Diámetro de barros (m)

s_b: separación entre barros (m)

b) **Longitud de barras:** Es la extensión que tendrá cada barra y no debe exceder la longitud que permita su limpieza conveniente por el operador.

$$l = \frac{h_T}{\text{Sen } 50^\circ} \quad \text{Ecuación 14}$$


Donde:

l: Longitud de la barra (m)

h_T: Altura total del canal (m)

θ: Ángulo de inclinación de los barros respecto a la horizontal.

c) **Área libre entre barra:** Es la separación que existirá entre cada barra.

$$A_L = \frac{Q}{v} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

A_L: Área libre entre barras (m²)

Q: Caudal medio de diseño (m³/s)

v: Velocidad con la que recorre el agua en el canal (m/s)

d) **Pérdida de carga en rejillas:** También conocida como pérdida de energía, es la diferencia de las alturas antes y después de las rejillas, y no deberá ser mayor a 0,75m.

Este parámetro está en función de las barras y la altura o energía de velocidad del flujo entre las mismas, a continuación se presentan las diferentes formas de rejillas y sus coeficientes de pérdidas.

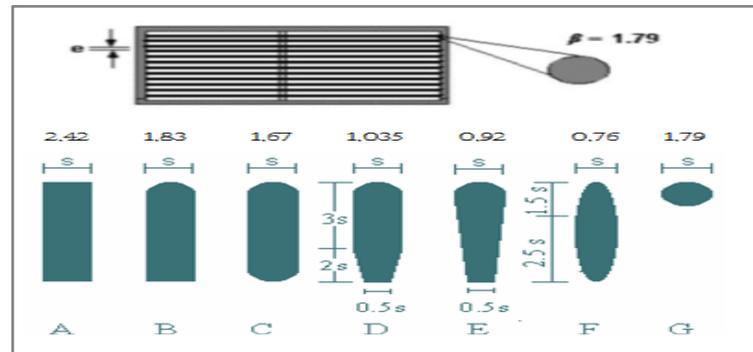


Figura 7-1: Factores de forma β para secciones usuales de rejillas.

Fuente: RAS, 2000

$$h_c = \beta \left(\frac{s_b}{e} \right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \sin \theta \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

h_c : Pérdida de la carga (m)

β : Coeficiente de pérdida de las rejillas

e : Diámetro de barrotes (m)

s_b : Separación entre barrotes (m)

g : Gravedad (m/s^2)

v : Velocidad del agua en el canal (m/s)

θ : Ángulo de inclinación de las rejillas ($^\circ$)

e) **Área de sección transversal del flujo:** Determinación de la superficie de la sección transversal del flujo al pasar por las rejillas.

$$A_f = \frac{A_L(s_b + e)}{s_b} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

A_f : Área de sección transversal del flujo (m^2)

A_L : Área libre entre barras (m^2)

e : Diámetro de barrotes (m)

s : Separación entre barrotes (m)

1.9.6. Desengrasador

El objetivo de los desengrasadores es remover sustancias que pueden ser de origen natural o sintético conocidas como grasas (sólidos o pastas) y aceites (líquidos), así como espumas y otras materias flotantes más ligeros que el agua, que pueden provocar distorsiones en los tratamientos posteriores. Existen dos tipos de desengrasadores: estáticos y aireados; el más usado en el tratamiento de aguas residuales es el desengrasador estático conocido como trampa de grasas.

1.9.6.1. Consideraciones de diseño del desengrasador

Esta unidad generalmente es un tanque rectangular empleado cuando el valor de aceites y grasas esta fuera de los límites permisibles, siendo su función posibilitar la flotación del material particulado con menor densidad que la del agua.

Tabla 13-1: Parámetros de diseño para desengrasadores.

Parámetro	Rango	Unidad
Relación largo/ancho	2:1-3:2	-
Tiempo de retención	2,5-45	min
Profundidad útil		
Mínima	0,8	m
Máxima	2,5	m
Velocidad ascendente mínima	4	mm/s
Diámetro de tuberías de entrada y salida	3	pulg
Diferencia dl nivel entre la tubería de entrada y de salida	> 0,05	m
Parte inferior de la tubería de salida	0,075-0,15	m
Borde libre	≥ 30	m
Pendiente	45-60	°
Carga hidráulica	4	L/sm ²

Fuente: RAS, 2000

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) **Área superficial:** Es la extensión que tendrá el desengrasador. Se determina en función del caudal y la carga hidráulica.

$$A = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

A: Área superficial (m²)

Q: Caudal (L/s)

C_s: Carga hidráulica (L/s m²)

b) Ancho de la trampa de grasas: Es la extensión o espacio que tendrá el desengrasador.

$$b = \sqrt{\frac{A}{1,5}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

b: Ancho (m)

A: Área superficial (m²)

c) Longitud de la trampa de grasas: Es la distancia entre dos puntos.

$$l = 1,5 * b \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

l: Longitud (m)

b: Ancho (m)

d) Volumen de la trampa de grasas: Es el espacio que se va a ocupar en un área.

$$V = b * h \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

V: Volumen (m³)

L: Longitud (m)

b: Ancho (m)

h: Altura recomendada (m)

e) Tiempo de Permanencia: Es el periodo de tiempo que permanecerá el caudal a tratar en el desengrasador.

$$TR = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

TR: Tiempo de permanencia (h)

Q: Caudal máximo (m³/h)

V: volumen (m³)

1.9.7. Humedal artificial de flujo Subsuperficial

Este tipo de tratamiento durante los últimos años ha tenido gran acogida debido a su alta eficiencia en la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual y su bajo costo de implementación, operación y mantenimiento.

Es usado cuando el DQO y DBO están en valores entre 200 mg/L a 1000 mg/L. El tipo de planta a utilizar es el pasto alemán.

Tabla 14-1: Parámetros de diseño para el diseño de HAFSS

Parámetro de diseño	Unidad	Valor
Humedal de flujo superficial		
Tiempo de retención hidráulica	días	3-15
Profundidad del humedal	m	0,30-1
Carga hidráulica	m ³ /m ² d	0,014-0,046
Superficie específica	ha/ (10 ³ m ³ /d)	7,1-2,15
Pendiente	m/m	0,0005
Distribución del medio granular		
Profundidad	cm	50-80
Grava fina	mm	2-8
Profundidad grava fina	cm	10-15
Arena	mm	1-4
Profundidad arena	cm	≥ 30
Grava	mm	20-40
Profundidad grava	cm	10-20
Distribución del agua		
Diámetro tubería	pulg	1-2
Distancia entre tuberías	m	0,5-1,2
Orificio de distribución	mm	3-8
Distancia entre orificios	m	0,5-1,2
Drenaje -Clase (tubería perforada)		
Tamaño	pulg	3-4

Fuente: Delgadillo et al., 2010

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 15-1: Materiales empleados en el diseño de humedales

Tipo de material	Tamaño efectivo D10 (mm)	Conductividad hidráulica (m ³ /m ² d)	Porosidad, n _p (%)
Arena gruesa	2	100-1000	38-32
Arena gravosa	8	500-5000	30-35
Grava fina	16	1000-10000	35-48
Grava media	32	10000-50000	36-40
Roca gruesa	128	50000-250000	38-35

Fuente: Delgadillo et al., 2010

Realizado por: Tanya Vega, 2016

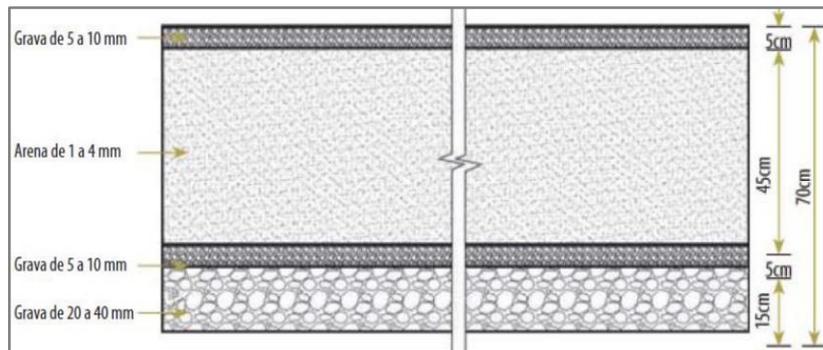


Figura 8-1: Disposición del medio granular en un humedal

Fuente: ONU-HABITAT, 2008

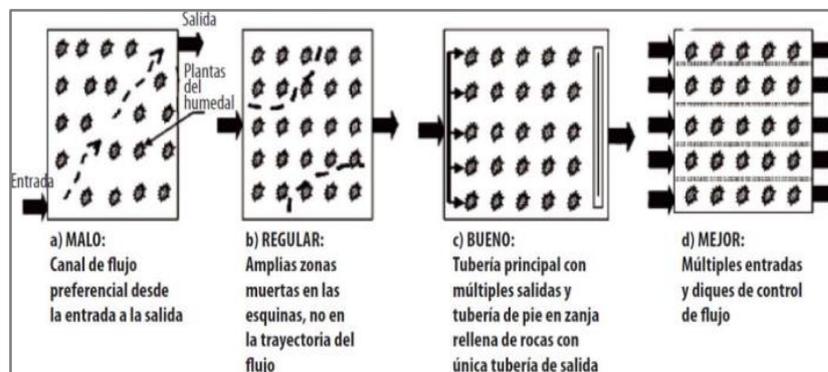


Figura 9-1: Distribución efectiva del caudal en los humedales.

Fuente: ONU-HABITAT, 2008

1.9.7.1. Consideraciones de diseño del HAFSS

a) **Área superficial del humedal:** Es la extensión que tendrán el HAFSS. Está en función del parámetro contaminante que se desea disminuir, generalmente el DBO₅.

$$A_s = \frac{Q * \ln(C_o/C)}{K_T * h * n_p}$$

Ecuación 23

Donde:

As: Área superficial del humedal (m²)

Q: Caudal de diseño del humedal (m³/día)

C: Concentración de DBO₅ caracterizada del agua residual a la salida del humedal (mg/L)

Co: concentración de DBO₅ caracterizada del agua residual (mg/L)

K_T: Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

h: Profundidad (m)

n_p: Porosidad del medio granular (%)

b) La constante de reacción de primer orden

$$K_T = 1,104 * (1,06)^{T_a-20} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

K_T: Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

T_a: temperatura del humedal (°C)

c) Ancho del humedal: Está en función del área vertical, que tiene relación con el material usado en el fondo del humedal, basados en L:W= 4:1

$$W_H = \sqrt{\frac{As}{4}} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

W_H: Ancho del humedal (m)

As: Área Superficial del humedal (m²)

d) Largo del humedal: Debe ser más grande en relación al ancho.

$$L_H = 4 * W_H \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

L_H: Largo del humedal (m)

W_H: Ancho de humedal (m)

e) Volumen del humedal: Es el espacio que ocupará el humedal.

$$V_{HFL} = L_H * W_H * h \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

V_{HFL} : Volumen del humedal (m^3)

L_H : Longitud del humedal (m)

W_H : Ancho del humedal

h : Profundidad (m)

f) Tiempo de retención hidráulico: Es el tiempo que el agua va a permanecer en el humedal para ser depurada.

$$TRH = \frac{As * h * n_p}{Q} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulica necesario para descargar a la filtración (días)

h : Profundidad (m)

n_p : Porosidad del medio granular (%)

As : Área superficial del humedal (m^2)

Q : Caudal medio de diseño ($m^3/día$)

g) Porcentaje de remoción del Humedal: Es el indicativo de mejora en la calidad del efluente tratado en los humedales.

Porcentaje de remoción de DBO

$$\% \text{ Remoción} = \frac{DBO \text{ agua tratada} * 100}{DBO \text{ agua cruda}} \quad \text{Ecuación 29}$$

Porcentaje de remoción de DQO

$$\% \text{ Remoción} = \frac{DQO \text{ agua tratada} * 100}{DQO \text{ agua cruda}} \quad \text{Ecuación 30}$$

h) Caudal de salida del humedal: Es el indicador de la reducción del caudal al final del tratamiento en el humedal ya sea por absorción o filtración en los mismos.

$$Q_{SH} = Q_E - Q_p$$

Ecuación 31

Donde:

Q_{SH} : Caudal de salida del humedal (L/s)

Q_E : Caudal de entrada al humedal (L/s)

Q_p : Caudal perdido en el humedal (L/s)

1.9.8. Coagulación

El proceso de coagulación es utilizado para la remoción de la turbiedad, tensoactivos, bacterias, algas, color, y otras partículas presentes en el agua. Éste consiste en agrupar el material suspendido en el agua mediante la adición de un coagulante que debe ser dispersado completamente en la misma, teniendo como requisito el pH óptimo de coagulación, el tiempo para que se efectúe la reacción química mediante un mezclado rápido y favorecer su contacto con las partículas en suspensión.

Normalmente los reactivos que se usan como coagulantes son los derivados de aluminio y hierro, la cal, y diversos polímeros; entre ellos podemos mencionar: policloruro de aluminio (PAC), sulfato de aluminio, aluminato de sodio, entre otros, de acuerdo al tipo de contaminación del agua a tratar.

1.9.8.1. Policloruro de aluminio (PAC)

Son nuevos en el campo del tratamiento del agua. Consisten en una serie de compuestos con propiedades diferentes que aseguren su buen rendimiento en diversas aplicaciones y condiciones de operación. Puede ser usado como coagulante y/o floculante por su acción rápida para formar flóculos en tiempos cortos de reacción y sedimentación, además es versátil para tratar aguas de variada turbiedad, alcalinidad, y contenido de materia orgánica.

1.9.8.2. Dosificación del coagulante

La dosificación del policloruro de aluminio se efectuará por vía húmeda manualmente en una solución al 3%, cuyo volumen necesario de la solución se determinó mediante un ensayo de laboratorio empleando la prueba de jarras.

$$D_{PAC} = \frac{Q_E * C_{PAC}}{60 * P * \rho}$$

Ecuación 32

Donde:

D_{PAC} : Dosificación PAC (m^3/h)

C_{PAC} : Concentración de PAC de acuerdo al test de jarras (ppm)

Q_E : Caudal de entrada después del humedal (L/s)

P_{Pac} : Porcentaje de dilución (%)

ρ : Densidad del PAC (Kg/L)

1.9.9. Canaleta Parshall

Es una estructura hidráulica que cumple con un doble propósito en las plantas de tratamiento de aguas residuales, estas son: servir de medidor de caudales y en la turbulencia que se genera a la salida de la misma, servir de punto de aplicación de coagulantes.

1.9.9.1. Consideraciones de diseño para una Canaleta Parshall

Para el diseño de una canaleta Parshall como mezclador se debe seguir el siguiente procedimiento.

a) Ancho de garganta: Es el espacio que tendrá la parte estrecha de la canaleta. Se determina con el valor de los caudales mínimo y máximo calculados, de acuerdo a la siguiente tabla, para cumplir con la condición requerida.

Tabla 16-1: Determinación del ancho de la canaleta Parshall en función del caudal.

Ancho (W)	Límites del 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

Realizado por: Tanya Vega, 2016

b) **Altura del agua en la sección de medición:** Es la elevación que alcanza el agua en la canaleta.

$$H_0 = Kc * Q^{n_c} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

Ho: Altura del diseño (m)

Q: Caudal medio de diseño (m³/s)

Kc: Constante de acuerdo a W (adimensional)

n_c: Constante de acuerdo a W (adimensional)

Tabla 17-1: Valores de Kc y n_c de acuerdo al tamaño (W)

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

Fuente: CEPIS, 1992

Realizado por: Tanya Vega, 2016

c) **Ancho de la sección de medición:** Es el espacio inicial de la canaleta.

$$D' = \frac{2}{3} * (D^1 - W) + W \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

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

D¹: Dimensiones de la canaleta (m)

W: Ancho de la garganta (m)

d) **Velocidad en la sección de medición:** Es la rapidez con la que recorre el fluido dentro de la canaleta.

$$v_o = \frac{Q}{H_o * D} \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

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

Q: Caudal de diseño (m³/s)

H_o : Altura del diseño (m)

D: Ancho de la sección de medición (m)

e) **Carga hidráulica disponible:** Es la elevación de la superficie líquida.

$$E_o = \frac{v_o^2}{2g} + H_o + N \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

E_o : Carga hidráulica disponible (m)

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

g: Gravedad (m/s²)

H_o : Altura del diseño (m)

N: Dimensiones de la canaleta (m)

Tabla 18-1: Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall

(W)		A	B	C	D	E	F	G
Pulg.	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
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5
6"	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0
9"	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7
1"	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5
1 1/2"	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5
2"	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5
2"	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5
4"	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5
5"	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5
6"	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5

7"	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5
8"	244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5
10"	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,5

Fuente: CEPIS, 1992

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 19-1: Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall

(W)		K (cm)	N (cm)	R (cm)	M (cm)	P (cm)	X (cm)	Y (cm)
Pulg.	cm							
1"	2,5	1,9	2,9	-	-	-	-	-
3"	7,6	2,5	5,7	41	30	77	2	4
6"	15,2	7,6	11,4	41	30	90	5	8
9"	22,9	7,6	11,4	41	30	108	5	8
1"	30,5	7,6	22,9	51	38	149	5	8
1 1/2"	45,7	7,6	22,9	51	38	168	5	8
2"	61,0	7,6	22,9	51	38	185	5	8
2"	91,5	7,6	22,9	51	38	22	5	8
4"	122,0	7,6	22,9	61	46	271	5	8
5"	152,5	7,6	22,9	61	46	308	5	8
6"	183,0	7,6	22,9	61	46	344	5	8
7"	213,5	7,6	22,9	61	46	381	5	8
8"	244,0	7,6	22,9	61	46	417	5	8
10"	305,0	15,3	34,3	-	-	-	-	-

Fuente: CEPIS, 1992

Realizado por: Tanya Vega, 2016

f) Caudal específico en la garganta de la canaleta: Es la determinación del fluido en la parte estrecha de la canaleta.

$$Q_w = \frac{Q_d}{W} \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde:

Q_w: Caudal específico en la garganta de la canaleta (m³/sm)

Q_d: Caudal de diseño (m³/s)

W: Ancho de la garganta (m)

g) Ángulo de inclinación: Es el desnivel que presentará la canaleta.

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[- \frac{Q_w * g}{\left(\frac{2g * E_o}{3} \right)^{1,5}} * \frac{180}{\pi} \right]$$

Ecuación 38

Donde:

Θ_p : Ángulo específico en la garganta de la canaleta (°)

Q_w : Caudal específico en la garganta de la canaleta (m³/sm)

g : Gravedad (m/s²)

E_o : Carga hidráulica disponible (m)

h) Velocidad antes del resalto: Es la rapidez del fluido antes de la turbulencia que se produce en la canaleta.

$$v_1 = 2 \left(\frac{2E_o * g}{3} \right)^{0,5} * \cos \left(\theta_p * \frac{\pi}{540} \right)$$

Ecuación 39

Donde:

v_1 : Velocidad antes del resalto (m/s)

E_o : Carga hidráulica disponible (m)

g : Gravedad (m/s²)

Θ_p : Ángulo de inclinación (°)

i) Altura del agua antes del resalto: Es el nivel que alcanza el agua antes de la turbulencia en la canaleta.

$$h_1 = \left(\frac{Q_w}{v_1} \right)$$

Ecuación 40

Donde:

h_1 : Altura de agua antes del resalto (m)

Q_w : Caudal del agua (m³/sm)

v_1 : Velocidad antes del resalto (m/s)

j) Número de Froude: Es un numero adimensional que relaciona las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido. Debe estar comprendido entre estos dos

rangos: 1,7-2,5 ó 4,5-9,0. Debe evitarse números entre 2,5-4,5 que producen un resalto inestable que puede dificultar la adición de coagulantes.

$$F_1 = \frac{v_1}{(g \cdot h_1)^{0,5}} \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

F_1 : Número de Froude (adimensional)

v_1 : Velocidad antes del resalto (m/s)

h_1 : Altura de agua antes del resalto (m)

g : Gravedad (m/s^2)

k) Altura del resalto: Es el nivel que alcanza el agua en la turbulencia de la canaleta.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * [(1 + 8F_1^2)^{0,5} - 1] \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

h_2 : Altura de resalto (m)

h_1 : Altura de agua antes del resalto (m)

F_1 : Número de Froude (adimensional)

l) Velocidad del resalto: Es la rapidez del agua en la turbulencia presente en la canaleta.

$$v_2 = \frac{Q_d}{W * h_2} \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

v_2 : Velocidad del resalto (m/s)

Q_d : Caudal de diseño (m^3/s)

W : Ancho de la garganta (m)

h_2 : Altura de resalto (m)

m) Altura en la sección de salida de la canaleta

$$h_3 = h_2 - (N - K') \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

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

h_2 : Altura de resalto (m)

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

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

$$v_3 = \frac{Q_d}{C * h_3} \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

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

Q_d : Caudal de diseño (m^3/s)

C: Dimensiones de la canaleta (m)

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

o) **Pérdida de carga en el resalto:** Es la pérdida de energía en la turbulencia del flujo.

$$h_p = H_o + K' + h_3 \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

h_p : Pérdida de carga en el resalto (m)

H_o : Altura del diseño (m)

K' : Dimensión de la canaleta (m)

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

p) **Tiempo de mezcla en el resalto:** Es el período de combinación del agua con el coagulante.

$$T = \frac{2G'}{v_2 + v_3} \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

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:** Es la variación de la velocidad.

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

Ecuación 48

Donde:

G: Gradiente de velocidad (s⁻¹)

h_p: Pérdida de carga en el resalto (m)

T: Tiempo de mezcla en el resalto (s)

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$: Relación peso específico y viscosidad absoluta

Tabla 20-1: Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta para el agua

Temperatura (°C)	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$
0	2336,94
4	2501,56
10	2736,53
15	2920,01
20	3114,64
23	3206,03
25	3266,96

Fuente: Romero, 2008

Realizado por: Tanya Vega, 2016

1.9.10. Sedimentación

Esta operación es usada con la finalidad de separar las partículas superiores a 0,03 mm e inferiores a 0,2 mm por diferencia de densidades, por lo tanto disminuye la concentración de sólidos suspendidos en el agua.

Los tanques de sedimentación contribuyen de manera importante al eliminar estas partículas que por ser más pesadas que el agua, no son retenidas en las otras unidades. Estudios revelan que los tanques de sedimentación dimensionados y operados eficazmente logran eliminar entre un 50% y 70% de los sólidos suspendidos y entre el 25% y 40% de la DBO₅.

1.9.10.1. Tipos de tanques de sedimentación

A caudal medio	30-50	40
A caudal punta	80-120	100
Cargas sobre vertedero	125-500	250
<i>Sedimentación con adición del lodo activado en exceso</i>		
Tiempo de retención, h	1,5-2,5	2
<i>Carga de superficie, m³/m²*d</i>		
A caudal medio	24-32	28
A caudal punta	48-70	60
Cargas sobre vertedero	125-500	250

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 22-1: Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares.

Parámetro	Unidad	Intervalo	Valor típico
<i>Rectangular</i>			
Profundidad	m	1,5-2,5	3,6
Longitud	m	3-90	3
Ancho	m	3-25	5-10
Velocidad de sedimentación	m/h	0,10-0,50	0,10
<i>Circular</i>			
Profundidad	m	3-4,5	3,6
Longitud	m	3-60	12-45
Pendiente de la solera	mm/m	6,25-16	8
Velocidad de los rascadores	r/min	0,02-0,05	0,03

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

Realizado por: Tanya Vega, 2016

➤ **Zona de entrada:** Permite la distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador. Para la zona de entrada se diseñará una pantalla difusora.

Tabla 23-1: Criterios de diseño para pantalla difusora.

Parámetro	Rango	Unidad
Distancia desde la pared de entrada	0,7-1	m
Distancia de la pared inferior del sedimentador	0,80	m
Los orificios más altos a partir de la superficie	1/5-1/6	m
Los orificios más bajos a partir de la superficie del fondo	1/4-1/5	m

Velocidad inicial	≤0,15	m/s
Los orificios deben ser aboquillados en el sentido del flujo	15	°

Fuente: CEPIS

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) **Área total de los orificios:** Es la superficie en donde se ubicarán los agujeros.

$$A_o = \frac{Q}{V_o} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

A_o: Área total orificios (m²)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

V_o: Velocidad de paso entre orificios (m/s)

b) **Área de sección circular:** Se asume el diámetro de orificio de 10 cm.

$$a_o = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

a_o: Área de sección circular (m²)

D: Diámetro del orificio asumido (m)

c) **Número de orificios**

$$n_o = \frac{A_o}{a_o} \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde:

n_o: Numero de orificios

A_o: Área total orificios (m²)

a_o: Área de sección circular (m²)

➤ **Zona de sedimentación:** Debe constar de las condiciones idóneas de volumen, longitud y flujo para sedimentar las partículas, siendo su velocidad uniforme en todos los puntos.

a) **Longitud total:** Es la sumatoria de la longitud propuesta del sedimentador y distancia entre la pantalla difusora y pared de entrada.

$$L_T = L_s + L_{pd} \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde:

L_T : Longitud total (m)

L : Longitud del sedimentador (m)

L_{pd} : Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada (m)

b) **Velocidad de sedimentación**

$$v_s = \frac{Q}{L_T * B_s} \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde:

v_s : Velocidad de sedimentación (m/s)

Q : caudal de diseño (m³/s)

L_T : Longitud total del sedimentador (m)

B_s : Ancho del sedimentador (m)

c) **Área superficial en la zona de sedimentación:** Se calcula tomando en consideración el caudal de entrada y la velocidad de sedimentación.

$$A_s = \frac{Q}{v_s} \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde:

A_s : Área superficial (m²)

v_s : Velocidad de sedimentación (m/s)

Q : Caudal (m³/s)

d) **Carga Hidráulica:** Es la presión que ejerce el líquido sobre una superficie o punto de referencia.

$$C_H = \frac{Q}{B_s} \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde:

C_H : Carga hidráulica (L/sm)

Q : caudal de diseño (L/s)

B_S : Ancho del sedimentador (m)

e) **Volumen del tanque sedimentador**

$$Vol = B_S * L_T * H_S \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde:

Vol: Volumen (m^3)

B_S : Ancho del sedimentador (m)

L_T : Longitud total del sedimentador (m)

H_S : Profundidad del sedimentador (m)

f) **Periodo de retención hidráulico:** Es el tiempo que se demora en llegar la partícula a la zona de lodos.

$$P_{RH} = \left(\frac{Vol}{Q} \right) \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde:

P_{RH} : Período de retención hidráulico (min)

Vol: Volumen de la zona de sedimentación (m^3)

Q : Caudal de diseño (m^3/min)

➤ **Zona de recolección de lodos:** Esta zona está constituida por una tolva en donde se recolectan los lodos sedimentados, además de una tubería de diámetro de $\geq 12''$ y válvula para su evacuación periódica. Para una mejor facilidad de deslizamiento de las partículas, el fondo tendrá una pendiente entre el 5% al 10 %.

➤ **Zona de salida:** Se da mediante tubos perforados que recolectan el agua tratada evitando perturbar la sedimentación de las partículas depositadas en la tolva.

1.9.11. Filtración

Es la operación cuyo objetivo es mejorar la turbiedad del agua, y consiste en hacer pasar la misma a través de un lecho de arena u otro material poroso que retenga las partículas y

microorganismos que no han podido ser removidos en los procesos de coagulación y sedimentación. Además es el procedimiento final, que se realiza en una planta de tratamiento de aguas residuales para conseguir aguas de vertido dentro de la normativa.

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

1.9.11.1. Filtro dual con medios múltiples

Son unidades de baja velocidad de filtración que no requieren de sustancias químicas y ayudan a la clarificación del agua y eliminación de olores presentes en la misma.

Consisten en un lecho formado por dos o más medios de material granular con granos de tamaño relativamente uniforme drenados adecuadamente en el fondo del filtro. Generalmente se coloca grava en el fondo del lecho, arena en el medio y carbón de antracita en la parte superior.

1.9.11.2. Consideraciones de diseño de un filtro dual con medios múltiples

Para el diseño de un filtro dual con medios múltiples se toma en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 24-1: Criterios de diseño para filtros

Parámetro	Unidad	Valor
Carbón activado granular		
Espesor de la capa de carbón	cm	≥ 45
Tamaño efectivo	mm	0,8-1,4
Coefficiente de uniformidad	-	≤1,4
Arena		
Espesor de arena	cm	≥ 30
Tamaño efectivo	mm	0,45-0,65
Coefficiente de uniformidad	-	1,4-2,5
Grava		
Espesor de grava gruesa en el fondo	cm	10-45
Tamaño efectivo	mm	2,4
Capa de agua sobrenadante		
Altura de agua	m	1-1,5
Borde libre	cm	20-30
Lecho de filtración		

Profundidad del medio	m	0,6-1,40
Tasa de filtración	m/d	2-12
Drenaje (tubería perforada)		
Altura del drenaje	cm	40-70
Tiempo de lavado	min	5-15
Diseño Laterales		
Espacio de los laterales*	m	1,-2
Diámetro de los orificios de los laterales*	mm	2-4
Espacio de los orificios de los laterales*	cm	7,5-30
Altura entre tubo y fondo del filtro*	cm	3-5
Velocidad en orificio*	m/s	0,15-0,3
Velocidad afluente	m/s	0,15-3
Velocidad efluente	m/s	0,4-0,9

Fuente: Romero, 2008. * Vigneswaran, et al., 1995

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 25-1: Criterios de diseño para filtros

Población	Número de unidades	Unidades de reserva
< 2000	2	100 %
2000-10000	3	50%
10000-60000	4	33%
60000-100000	5	25%

Fuente: Cargua, 2014

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) **Geometría del lecho filtrante:** Consiste en un filtro de flujo descendente con forma rectangular a manera de caja.

b) **Caudal de diseño para cada filtro**

$$Q_d = \frac{Q \text{ captación}}{nf} \quad \text{Ecuación 58}$$

Donde:

Qd: Caudal de diseño para cada filtro (m³/s)

Qc: Caudal de captación (m³/s)

nf: Número mínimo de filtros (adimensional)

c) **Área del filtro:** Está condicionada por el caudal del agua a tratar, y la tasa de filtración. Se recomienda áreas de filtración máxima de 100 m² para facilitar las labores manuales de operación y mantenimiento del filtro.

$$A_s = \frac{Qd}{\text{tasa de filtración}} \quad \text{Ecuación 59}$$

Donde:

Af: Área del filtro (m²)

Q: Caudal a tratar (m³/h)

d) **Coefficiente mínimo de costo:** La relación de mínimo costo es un parámetro que depende del número de unidades de filtración.

$$K = \frac{2 * nf}{nf + 1} \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde:

K: Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

nf: Número de filtros (adimensional)

e) **Longitud del filtro:** Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$l = (A_f * K)^{1/2} \quad \text{Ecuación 61}$$

Donde:

L: Longitud del filtro (m)

As: Área superficial del filtro (m²)

f) **Ancho del filtro:** Se determina de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$b = \left(\frac{A_f}{K} \right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde:

b: Ancho del filtro (m)

As: Área superficial del filtro (m²)

K: Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

g) Altura del lecho filtrante: Estará compuesto por grava, arena y carbón activado.

$$H_{LF} = e_c + e_a + e_g \quad \text{Ecuación 63}$$

Donde:

H_{LF}: Altura del lecho filtrante (m)

e_c: Espesor de la capa de carbón (m)

e_a: Espesor de la capa de arena (m)

e_g: Espesor de la capa de grava (m)

h) Altura del filtro: Se calcula en función de la composición del lecho filtrante con un factor de seguridad de 10%.

$$Z_f = f_s (C_a + H_{LF} + C_s + F_c) \quad \text{Ecuación 64}$$

Donde:

Z_f: Altura del filtro (m)

f_s: Factor de seguridad (adimensional)

C_a: Altura de la capa de agua (m)

H_{LF}: Altura del lecho filtrante (m)

C_s: Altura de la capa de soporte (m)

F_c: Altura del drenaje (m)

1.9.11.3. Consideraciones de diseño del sistema de drenaje

La función del sistema de drenaje es suministrar de manera uniforme el agua de lavado, además sirve para recoger el agua que ya ha sido filtrada. El afluente debe entrar al filtro con una velocidad baja de 0,15 a 0,3 m/s aproximadamente para no seccionar el lecho.

a) Área de los orificios laterales: Es la superficie que tendrán orificios de la tubería que irá en el filtro.

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4} \quad \text{Ecuación 65}$$

Donde:

A_o : Área de cada orificio (m^2)

D_o : Diámetro del orificio (m)

b) Caudal que ingresa a cada orificio

$$Q_o = A_o * v_o \quad \text{Ecuación 66}$$

Donde:

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

A_o : Área de cada orificio (m^2)

v_o : Velocidad en orificio (m/s)

c) Número de laterales: Es el número de tuberías que se dispondrán a un lado de la tubería de drenaje.

$$N_L = n_L \frac{L_f}{e_L} \quad \text{Ecuación 67}$$

Donde:

N_L : Número de laterales (adimensional)

n_L : Número de laterales por lado (adimensional)

L_f : Longitud del filtro (m)

e_L : Separación entre laterales (m)

d) Diámetro de la tubería de entrada al filtro: Se calcula en base a los criterios de velocidad.

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v_e}} \quad \text{Ecuación 68}$$

Donde:

D_T : Diámetro de la tubería de entrada (m)

Q : Caudal (m^3/s)

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

e) **Diámetro de la tubería de salida del filtro:** Se calcula en base a los criterios de velocidad.

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*v_s}} \quad \text{Ecuación 69}$$

Donde:

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

Q: Caudal (m^3/s)

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

1.9.12. Lechos de Secado

Son sistemas sencillos de bajo costo que permiten la deshidratación de los lodos digeridos. Estos dispositivos eliminan el agua presente en los lodos a manera de evaporación, obteniendo un material sólido con un contenido de humedad inferior al 70% y puede ser usado como activador de suelos.

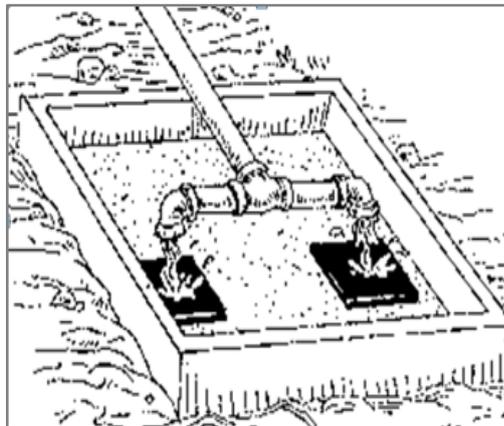


Figura 12-1: Lecho de secado

Fuente: UNATSABAR

Tabla 26-1: Criterios de diseño para los lechos de secado

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad del lodo, plodo	1,03	Kg/L
Porcentaje de sólidos	13	%
Tiempo de digestión de acuerdo a la temperatura	30	días
Ancho del lecho de secado	3-6	m
<i>Área de drenaje</i>		
Distancia de la tubería con respecto al fondo del tanque	15	cm

Diámetro de la tubería	≤ 200	mm
Carga hidráulica mínima	1,8	m
Espesor	0,20-0,46	m
Capa de ladrillos	10-15	cm
Separación de ladrillos	2-3	cm
Arena	0,2-3	mm
Coefficiente de uniformidad	2-5	-
Grava bajo la arena	0,30	m
Ancho	2-6	m

Fuente: Normas OPS/CEPIS, 2005

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Para su dimensionamiento se requiere realizar los siguientes cálculos:

a) **Geometría del lecho de secado:** El diseño típico del lecho de secado es una caja en forma rectangular poco profunda que puede tener o no un sistema de drenaje. El lodo se aplica sobre el lecho en forma de capas de 20 a 40 cm de espesor y se deja secar al ambiente.

b) **Carga de sólidos que ingresan al sedimentador:** Para este cálculo es necesario conocer el valor promedio de los sólidos suspendidos obtenidos en la caracterización inicial del agua residual.

$$C = Q * SS * 0,0864 \quad \text{Ecuación 70}$$

Donde:

C: Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (Kg SS/día)

Q: Caudal medio de diseño de aguas residuales (m³/s)

SS: Sólidos en suspensión obtenido en la caracterizada del agua residual (mg/L)

c) **Masa de sólidos que conforman los lodos**

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C) \quad \text{Ecuación 71}$$

Donde:

M_{sd}: Masa de sólidos que conforman los lodos (Kg SS/día)

C: Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (Kg SS/día)

d) **Volumen diario de lodos a extraerse**

$$Vld = \frac{Msd}{plodo(\% \text{ sólido}/100)}$$

Ecuación 72

Donde:

Vld: Volumen diario de lodos digeridos (m³)

M_{sd}: Masa de sólidos que conforman los lodos (Kg SS/día)

plodo: Densidad de los lodos (Kg/L)

% de sólidos: % de sólidos contenidos en el lodo.

El porcentaje de lodos se refiere a los sólidos que están presentes en el lodo, y que puede variar entre 8% y 12%

e) **Volumen de lodos a extraerse:** El lodo que se almacena durante el tratamiento debe ser extraído en un tiempo máximo 30 días.

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

Ecuación 73

Donde:

V_{el}: Volumen de lodos a extraerse del tanque (m³)

Vld: Volumen diario de lodos digeridos (m³)

Td: Tiempo de digestión (días)

f) **Área del lecho de secado**

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

Ecuación 74

Donde:

Als: Área del lecho de secado (m²)

V_{el}: Volumen de lodos a extraerse del tanque (m³)

H_a: Profundidad de aplicación (m)

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

El diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas se desarrolló en el Cantón Archidona de la Provincia de Napo.

2.1. Localización

El proyecto se efectuará en el Cantón Archidona ubicado en el sector centro oriental de la República del Ecuador, Provincia de Napo, con una elevación de 577 msnm, y coordenadas geográficas de latitud: $0^{\circ}55'00''S$ y longitud: $77^{\circ}47'00''O$, como se muestra en la figura 2-1.

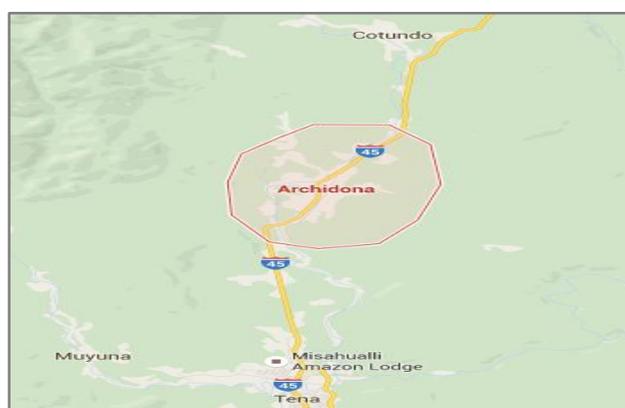


Figura 1-2: Ubicación del Cantón Archidona

Fuente: Google Maps, 2016

2.2. Límites

Archidona se encuentra limitada de la siguiente manera:

AL NORTE : Con el Cantón Quijos.

AL SUR : Con el Cantón Tena.

AL ESTE : Con la Provincia de Orellana.

AL OSTE : Con las Provincias de Pichincha y Cotopaxi.

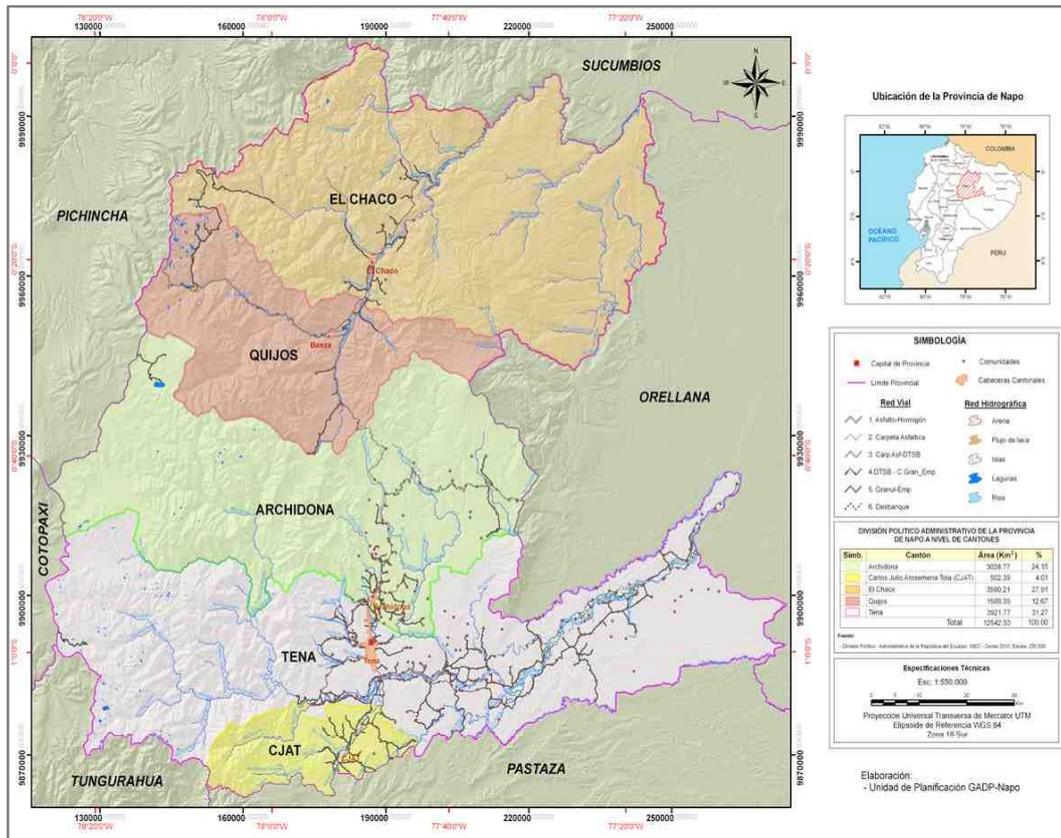


Figura 2-2: Límites del Cantón Archidona

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado de Napo, 2016

2.3. Topografía

La topografía del terreno del cantón presenta dos zonas bien diferenciadas:

La primera, tiene características irregulares al estar conformada por las estribaciones de la cordillera de los Guacamayos, con pendientes muy pronunciadas de hasta el 45% en sentido Oeste-Este y grandes ondulaciones, formando encañonados. Lo que implica que los sectores más altos se encuentran al Occidente de la Jurisdicción cantonal, en tanto que los de menor altura están al Oriente.

La segunda, es una zona moderadamente plana, que se va haciendo uniforme en sentido Norte-Sur presentando ondulaciones y valles pequeños, además las pendientes son inferiores al 5 % especialmente en la zona habitada de la ciudad de Archidona, el rango de elevaciones está comprendido entre los 580 y 530 msnm.

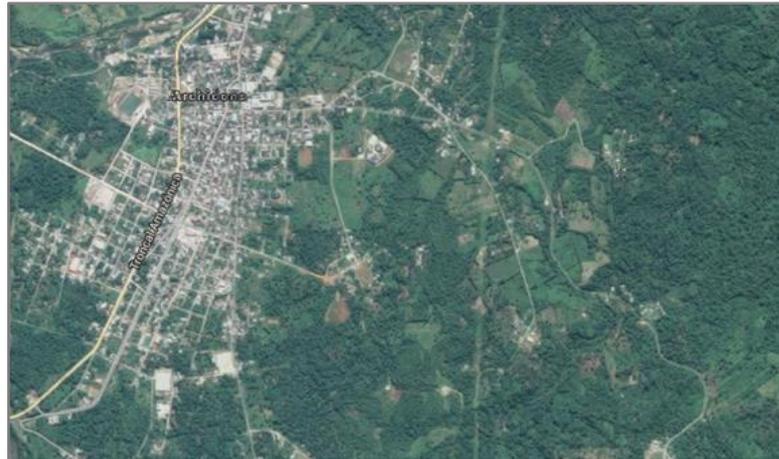


Figura 3-2: Topografía del Sector

Fuente: Google Maps, 2016

2.4. Climatología

Tiene un clima cálido húmedo, en la tabla 2-1 se puede observar de forma más detallada información del clima que posee Archidona.

Tabla 1-2: Climatología de la zona

Climatología Cantón Archidona	
Precipitación Media Anual	3290 mm
Humedad Relativa	88 %
Temperatura Máxima Absoluta	25 °C
Temperatura Media	23,8 °C
Temperatura Mínima	22,3 °C
Evaporación Media Anual	351 mm
Nubosidad Media Anual	5/8
Tensión de Vapor	24 HPa
Vientos	2,4 m/s
Presión Atmosférica	712 mmHg

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Archidona

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.5. Hidrografía

La ciudad se encuentra en el margen Sur del Río Misahuallí y del Lushian. Archidona se emplaza en la cuenca y sistema hidrográfico del río Napo, en la subcuenta del río Misahuallí, y en la microcuenca hidrográfica del río Calmitoyacu.

2.6. Densidad poblacional

El Cantón Archidona cuenta con una superficie de 3039,2 Km² de acuerdo a datos proporcionados por el GAD Municipal de Archidona, con una densidad de 48,01 hab/ Km².

Tabla 2-2: Población de Archidona por géneros

Cantón	Género				Total
	Masculino	%	Femenino	%	
Archidona	5821	49,80	5868	50,20	11689

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.7. Muestreo

2.7.1. Recolección de la información

El proceso de muestreo es de tipo compuesto para cada caracterización, las muestras fueron tomadas en la descarga de aguas residuales que desembocan en el río Misahuallí.

La recolección de las muestras se realizó durante un periodo de tres días en diferentes horarios, tomando en cuenta los días lluviosos y soleados del sector, debido a la existencia de variación en la concentración del agua y su caudal.

Tabla 3-2: Recopilación de Muestras

Lugar de Muestreo	Hora	Número de muestras por día	Numero de muestra compuesta por día
Descarga al río	7:00 am 12:00 pm 18:00 pm	3	1
Descarga al río	7:00 am 12:00 pm 18:00 pm	3	1
Descarga al río	7:00 am 12:00 pm 18:00 pm	3	1
Total			3

Realizado por: Tanya Vega, 2016

El muestreo se realizó considerando la Norma INEN 2176:1998, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo”.

2.7.2. Transporte y manipulación de las muestras

Para prevenir la pérdida de muestra o derrames se dejó libre un 10% del volumen total de cada recipiente y se rotuló en los mismos las condiciones del clima, temperatura, fecha, y día. El transporte de las muestras se hizo empleando una caja culer para ser llevadas al laboratorio de análisis técnico- ESPOCH y realizar los análisis correspondientes.

2.8. Metodología

2.8.1. Métodos

El estudio del presente trabajo de investigación se efectuará mediante tres métodos: inductivo, deductivo y experimental, mismos que nos permitirán conocer los contaminantes presentes en las aguas residuales y determinar así el sistema de tratamiento adecuado para el sector.

2.8.1.1. Método inductivo

El siguiente método se enfoca en el estudio de lo particular a lo general, se tomará una muestra promedio para realizar los análisis correspondientes con el propósito de encontrar los contaminantes que presentan las aguas residuales que produce la población del Cantón Archidona de la Provincia de Napo, y que son vertidas al río Misahuallí de forma directa.

2.8.1.2. Deductivo

Se hace un estudio de lo general a lo particular, nos va a permitir dar solución al problema de la contaminación del río Misahuallí, y en base a la deducción de los resultados obtenidos de las aguas residuales se planifica un sistema de tratamiento que disminuya los contaminantes presentes en las mismas cumpliendo de esta manera con los parámetros establecidos en la normativa TULSMA para dichas aguas.

2.8.1.3. Experimental

Este método se usa en la toma de muestras y análisis físico-químico y microbiológico del agua residual mediante equipos y materiales confiables.

Además nos sirve para encontrar el tipo de planta idónea que disminuya la contaminación del agua residual del cantón Archidona mediante la realización de un humedal artificial prototipo, y así poder diseñar el sistema adecuado para el tratamiento de este tipo de aguas.

2.8.2. Técnicas

2.8.2.1. Potencial hidrógeno

Tabla 4-2: STANDARD METHODS *4500 HB

Fundamento	Es la determinación de la actividad de los iones de hidrógeno por medición potenciométrica utilizando un electrodo de hidrógeno estándar y otro de referencia. El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua, varía en un rango de 1 a 14. Si el agua presenta: pH <7 ácida; pH >7 básica; pH =7 neutra.
Equipo	pH-metro.
Materiales	Vasos de precipitación.
Reactivos	-Agua destilada. -Muestra de agua residual doméstica.
Técnica	-Calibrar el equipo. -Lavar el electrodo del pH-metro con agua destilada. -Introducir el electrodo en un vaso de precipitación que contiene la muestra y presionar READ. -Dejar estabilizar la lectura y anotar el valor que se registra en la pantalla.

Fuente: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.2. Conductividad

Tabla 5-2: STANDARD METHODS *2510 B

Fundamento	Es la capacidad que posee una solución acuosa para conducir corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de la temperatura.
Equipo	Conductímetro.
Materiales	Vasos de precipitación.
Reactivos	-Agua destilada. -Muestra de agua residual doméstica.
Técnica	-Calibrar el equipo. -Lavar el electrodo (celda conductométrica) con agua destilada. -Introducir el electrodo en un vaso de precipitación que contiene la muestra y presionar READ. -Dejar estabilizar la lectura y anotar el valor que se registra en la pantalla.

Fuente: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.3. Turbiedad

Tabla 6-2: STANDARD METHODS *2130 B

Fundamento	Es la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas, con la dispersada por una suspensión patrón de referencia en las mismas condiciones.	
Equipo	Turbidímetro.	
Materiales	-Celda para turbidímetro.	-Vaso de precipitación.
Reactivos	-Agua destilada.	-Muestra de agua residual doméstica.
Técnica	<ul style="list-style-type: none"> -Lavar la celda con agua destilada. -Poner la muestra en la celda y colocar en el equipo. -Observar el valor en la pantalla del equipo y anotar la lectura. 	

Fuente: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.4. Aceites y Grasas

Tabla 7-2: EPA *418,1

Fundamento	Determina las sustancias extraídas con un disolvente orgánico de una muestra acuosa acidificada.	
Equipo	-Balanza analítica.	-Espectrofotómetro infrarrojo.
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> -Embudo de separación de 250ml. -Jeringa. -Papel filtro. -Probeta de 100 ml. 	<ul style="list-style-type: none"> -Espátula. -Matraz aforado de 100 ml. -Pipeta. -Soporte universal.
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> -Agua destilada. -Fluorocarbono-113 (disolvente de extracción). -Sulfato de sodio. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ácido clorhídrico. -Muestra de agua residual doméstica.
Técnica	<ul style="list-style-type: none"> -Acidificar 1L de la muestra a pH=2 con 5 ml de ácido clorhídrico. -Transferir la muestra a un embudo de separación y añadir 30 ml del disolvente de extracción. -Agitar durante 2 minutos. Dejar que las capas se separen y eliminar el disolvente de la parte inferior de la muestra. -Filtrar el extracto en un matraz aforado de 100 ml que contiene papel filtro humedecido en disolvente y 1 g de sulfato de sodio. -Tomar 5 mililitros del extracto con una jeringa y poner en una cubeta de cuarzo incorporada al espectrofotómetro de infrarrojo o analizador. -Seleccionar el programa para grasas y aceites. Presionar READ. -Leer los datos que aparecen en la pantalla y registrar. 	

Fuente: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.5. Tensoactivos

Tabla 8-2: STANDARD METHODS *5540 C

Fundamento	Los tensoactivos con el azul de metileno forman un par iónico que se extrae con cloroformo. El color azul de la fase orgánica se mide en el espectrofotómetro, el cual dará la concentración de tensoactivos presentes en la muestra de agua residual.	
Equipo	Espectrofotómetro.	
Materiales	-Celdas. -Vasos de precipitación. -Pipetas.	-Embudos de separación. -Matraz volumétrico. -Soporte universal.
Reactivos y Soluciones	-Azul de metileno. -Cloroformo. -Fenoltaleína. -Muestra de agua residual doméstica.	-Ácido sulfúrico concentrado. -Fosfato de sodio dihidrogenado monohidratado. -Hidróxido de sodio.
Técnica	<ul style="list-style-type: none"> -Colocar en un embudo de separación de 500 ml un volumen de muestra. -Añadir 3 gotas de fenoltaleína y titular con hidróxido de sodio hasta producir un color rosa. -Adicionar unas gotas de ácido sulfúrico hasta que el color rosa desaparezca completamente. -Adicionar 25 ml de azul de metileno y mezclar. -Adicionar 10 ml de cloroformo y agitar durante 30 segundos vigorosamente. -Dejar que las fases se separen y drenar el cloroformo en un segundo embudo de separación de 500 ml. -Repetir la extracción con dos porciones adicionales de 10 ml de cloroformo. -Adicionar 50 ml de fosfatos al cloroformo del segundo embudo de separación y agitar vigorosamente por 30 segundos. -Permitir que la muestra se estabilice durante 1 min. -Filtrar la capa de cloroformo a un matraz volumétrico de 100 ml. -Colocar la solución en una celda y poner en el equipo. Anotar la lectura observada. 	

Fuente: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.6. Demanda Química de Oxígeno

Tabla 9-1: STANDARD METHODS *5220 D

Fundamento	Este método define la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas.	
Equipo	-Espectrofotómetro.	-Termorreactor.
Materiales	-Gradilla. -Vaso de precipitación. -Paños para limpiar los viales.	-Pipeta. -Viales de 16 mm de diámetro. -Tapas rosca.
Reactivos y Soluciones	-Agua destilada. -Solución patrón de absorbancia.	-Muestra de agua residual doméstica. -Solución patrón ftalato ácido de potasio.
Técnica	-Agitar el vial de la solución patrón y ubicar en la gradilla.	

	<ul style="list-style-type: none"> -Tomar 2 ml de muestra para verter en el vial. -Tapar y homogenizar el contenido. -Encender el termostato a la temperatura de $148 \pm 2^\circ\text{C}$ y colocar el vial durante 2 horas. -Terminada la reacción en el tiempo indicado, dejar enfriar. -Limpiar las paredes externas del vial con agua destilada y secar con un paño seco y limpio. -Seleccionar el método en el espectrofotómetro y calibrar con la solución patrón. -Colocar el vial con la muestra y medir. Leer los resultados y anotar.
--	--

Fuente: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Tabla 10-2: STANDARD METHODS *5210 B

Fundamento	Determina la cantidad de oxígeno necesario para degradar la materia orgánica de una muestra de agua usando una población microbiana heterogénea, en un periodo de 5 días.
Equipo	Incubadora de aire controlada termostáticamente a $20 \pm 1^\circ\text{C}$.
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;">-Agitador magnético. <li style="width: 50%;">-Balón aforado de 100 ml. <li style="width: 50%;">-Botellas winkler de 300 ml. <li style="width: 50%;">-Cabezales de medición. <li style="width: 50%;">-Pipeta. <li style="width: 50%;">-Probeta. <li style="width: 50%;">-Tapa de sello.
Reactivos y Soluciones	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;">-Agua destilada. <li style="width: 50%;">-Ampolla de nutrientes. <li style="width: 50%;">-Muestra de agua residual doméstica. <li style="width: 50%;">-Escamas de hidróxido de potasio.
Técnica	<ul style="list-style-type: none"> -En un balón aforado diluir 10ml de la muestra con 100 ml de agua destilada. -Hacer este procedimiento una vez más hasta obtener 200ml de muestra diluida. -Colocar 150 ml de la dilución en la botella winkler y añadir una ampolla de nutrientes e introducir el agitador magnético. -En el tapón colocar una escama de hidróxido de potasio y sellar la botella con el mismo. -Enroscar el cabezal de medición y encender. -Colocar la botella en la incubadora de aire y esperar un periodo de 5 días. -Transcurrido el tiempo indicado tomar la lectura de los datos obtenidos en el cabezal de medición y anotar.

Fuente: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.8. Nitrógeno amoniacal

Tabla 11-2: Método HACH *8155 N-NH₃

Fundamento	Los compuestos amoniacales reaccionan con el salicilato para formar el aminosalicilato 5. Este compuesto se oxida en presencia de un reactivo para obtener una solución final de color verde.
Equipo	Equipo Hach.
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;">-Celdas de 10 ml. <li style="width: 50%;">-Paños para limpiar las cubetas. <li style="width: 50%;">-Vaso de precipitación. <li style="width: 50%;">-Tijera.

Reactivos	-Agua destilada. -Sobre de salicilato de amonio (reactivo 1).	-Muestra de agua residual doméstica. -Sobre de cianuro de amonio (reactivo 2).
Técnica	<p>-Seleccionar el programa 385 N en el equipo y pulsar ENTER.</p> <p>-Verter 10 ml de muestra en una celda y 10 ml de agua destilada en otra para preparar el blanco.</p> <p>-Añadir el contenido de un sobre del reactivo 1 en cada celda, y homogenizar durante 30 segundos.</p> <p>-Pulsar SHIF TIMER para programar el temporizador a 3 minutos, como periodo de reacción.</p> <p>-Finalizado el tiempo, agregar el reactivo 2 a cada celda y agitar. Se notará una coloración verde indicativo de la presencia de nitrógeno amoniacal.</p> <p>-Pulsar SHIF TIMER para programar nuevamente el temporizador a 15 minutos, como periodo de reacción.</p> <p>-Terminado el tiempo, colocar el blanco en el equipo y pulsar ZERO para encerrar.</p> <p>-Colocar la celda de la muestra preparada y pulsar READ. Anotar los resultados.</p>	

Fuente: HACH, MÉTODOS DE ANÁLISIS.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.9. Sulfatos

Tabla 12-2: Método HACH *8051 SO_4^{2-}

Fundamento	Los iones de sulfato en la muestra reaccionan con el bario en el reactivo de sulfato SulfaVer 4 y forman una turbidez de sulfato de bario insoluble. La cantidad de turbidez formada es proporcional a la concentración de sulfato.	
Equipo	Equipo Hach.	
Materiales	-Celdas de 10 ml. -Vaso de precipitación.	-Paños para limpiar las celdas. -Tijera.
Reactivos	-Agua destilada. -Sobre de sul-fa ver 4.	-Muestra de agua residual doméstica.
Técnica	<p>-Seleccionar el programa 680 Sulfato en el equipo y pulsar ENTER.</p> <p>-Verter 10 ml de muestra en una celda, añadir el contenido de un sobre de reactivo sul-fa ver 4 y agitar para mezclar. En la presencia de sulfato se observará una turbidez blanca.</p> <p>-Pulsar SHIF TIMER para empezar un periodo de reacción de cinco minutos.</p> <p>-Llene una segunda celda con 10 ml de agua destilada (blanco).</p> <p>-Terminado el tiempo, insertar la celda en el equipo y pulsar ZERO para encerrar. Comienza un tiempo de reacción de 5 minutos.</p> <p>-Finalizado el tiempo indicado, limpiar la celda de la muestra preparada e insertar en el equipo. -Pulsar READ y anotar el resultado.</p>	

Fuente: HACH, MÉTODOS DE ANÁLISIS.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.10. Fosfatos

Tabla 13-2: Método HACH *8048 PO₄³⁻

Fundamento	El fósforo reacciona con molibdato en un medio ácido para producir un complejo de fosfomolibdato. El ácido ascórbico reduce entonces el complejo, dando un color azul intenso de molibdeno.	
Equipo	Equipo Hach.	
Materiales	-Cubetas de 10 ml. -Tijeras.	-Vaso de precipitación. -Paños para limpiar las cubetas.
Reactivos	-Agua destilada. -Reactivo Phos Ver 3.	-Muestra de agua residual doméstica.
Técnica	<ul style="list-style-type: none"> -Seleccionar el programa 79 PO₄ en el equipo y pulsar ENTER. -Verter 10 ml de muestra en una cubeta, añadir un sobre del reactivo PhosVer 3, y agitar aproximadamente unos 30 segundos. -Pulsar SHIF TIMER para programar el temporizador a 2 min, como periodo de reacción de la sustancia. -Verter 10 ml de agua destilada en otra cubeta (blanco). -Limpiar las cubetas con un paño para eliminar cualquier interferencia que pueda afectar la medición o lectura. -Finalizado el tiempo colocar el blanco en el equipo, pulsar ZERO para encerrar. -Después colocar la cubeta con la muestra y pulsar READ. Anotar los resultados. 	

Fuente: HACH, MÉTODOS DE ANÁLISIS.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.11. Sólidos en suspensión

Tabla 14-2: STANDARD METHODS *2540 D

Fundamento	Es un método gravimétrico que define la porción de sólidos retenidos en un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se deja secar a 103-105°C. El aumento del peso del filtro representa la cantidad de sólidos suspendidos.	
Equipo	-Balanza analítica. -Estufa.	-Equipo de filtración al vacío.
Materiales	-Desecador. -Vaso de precipitación.	-Filtro de fibra de vidrio. -Pinza.
Reactivos	Muestra de agua residual doméstica.	
Técnica	<ul style="list-style-type: none"> -Pesar el filtro, anotar su peso uno y colocar en el equipo de filtración al vacío. -Encender el equipo, verter 100 ml de la muestra y después colocar dentro de la estufa 1 hora. -Transcurrido el tiempo indicado, llevar el filtro al desecador y dejar 30 minutos. -Pesar el filtro y anotar el peso dos. Realizar los cálculos correspondientes con ambos pesos y obtener el resultado. 	

Fuente: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.12. Sólidos sedimentables

Tabla 15-2: STANDARD METHODS *2540 F

Fundamento	Define el volumen de sólidos que en un tiempo determinado se sedimentan en el fondo de un recipiente en condiciones estáticas.
Materiales	-Base para conos Imhoff. -Cono Imhoff. -Cronómetro.
Reactivos	Muestra de agua residual doméstica.
Técnica	-Colocar el cono Imhoff en la base para que quede estático y agregar un litro de muestra previamente homogenizada, hasta la marca indicativa. -Dejar sedimentar 45 minutos, transcurrido este tiempo girar suavemente el cono y dejar 15 minutos más. Registrar el volumen.

Fuente: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.13. Sólidos totales

Tabla 16-2: STANDARD METHODS *2540 B

Fundamento	Determina la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103-105°C. El aumento de peso de la cápsula representa los sólidos totales.
Equipo	-Estufa. -Balanza analítica. -Equipo para Baño María.
Materiales	-Caja Petri. -Desecador. -Vaso de precipitación. -Pinza.
Reactivos	-Muestra de agua residual doméstica.
Técnica	-Colocar la caja Petri en la estufa durante 1 hora. -Terminado el tiempo, llevar al desecador y dejar 1 hora. -Pesar y registrar el peso 1. -Homogenizar la muestra y añadir 25 ml en la caja. -Situarse la caja en el equipo para secado a baño maría. -Retirar del equipo una vez que se haya secado totalmente. -Llevar nuevamente a la estufa y dejar 1 hora. -Colocar después en el desecador durante otra hora más. -Finalizado el tiempo, pesar y registrar el peso 2. -Realizar los cálculos correspondientes con ambos pesos y obtener el resultado.

Fuente: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.8.2.14. Coliformes fecales

Tabla 17-2: Método de Microfiltración.

Fundamento	Son medios de cultivo en formato listo para sembrar la muestra. Constituidas de adhesivos, películas y nutrientes. Semejantes a las metodologías tradicionales para llevar a cabo pruebas microbiológicas rápidas.
Equipo	-Incubadora. -Autoclave.
Materiales	-Algodón. -Frasco hermético para muestra. -Pipetas estériles. -Viales de 10 ml. -Placa Petrifilm.
Reactivos y Soluciones	-Agua destilada. -Alcohol. -Muestra de agua residual doméstica.
Técnica	-Preparar 3 viales con 10 ml de agua destilada, tapar y llevar al equipo autoclave para esterilizar, durante 30 minutos. -Limpiar la superficie de trabajo con un algodón empapado de alcohol. -Colocar la placa Petrifilm en la superficie limpia. -Abrir el frasco de la muestra, y con una pipeta coger 1 ml para agregar al primer vial, homogenizar. -Del primer vial coger con otra pipeta 1 ml de la dilución y colocar en un segundo vial y repetir el mismo procedimiento 2 veces más. -Del último vial añadir 1 ml de dilución a la placa Petrifilm, distribuyendo cuidadosamente sobre el círculo. -Rotular la placa y llevar a la incubadora a 35 °C. -Dejar un tiempo de incubación de 48 horas. -Contar el número de colonias y realizar los cálculos correspondientes.

Fuente: AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS)

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.9. Datos

2.9.1. Caracterización inicial del agua residual

La caracterización de las aguas residuales se realizó mediante un muestreo compuesto in situ, considerando para ello: días lluviosos, días calurosos y horas pico. Los análisis de las aguas residuales se desarrollaron en el Laboratorio de Análisis Técnicos-ESPOCH y en el Laboratorio de Servicios Ambientales-UNACH, ubicados en la ciudad de Riobamba.

Se elaboró una tabla con el promedio de los resultados obtenidos, comparando éstos con los límites permisibles establecidos en el TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente) libro VI Anexo 1 Tabla #10, para constatar aquellos parámetros que cumple o no con lo estipulado en la norma.

Tabla 18-2: Análisis físico-químicos y microbiológicos del Agua Residual del Cantón Archidona.

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible
pH	Und.	7,57	Condición natural ± 3
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	535,63	-
Turbiedad	UNT	156,1	-
Aceites y Grasas	mg/L	37,2	30,0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	391,3	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	304	100
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	45,5	30
Sulfatos	mg/L	95,3	1 000
Fosfatos	mg/L	4,8	10
Detergentes	mg/L	1,8	0,5
Sólidos en Suspensión	mg/L	30,3	130
Sólidos Sedimentables	ml/L	3,16	1
Sólidos Totales	mg/L	435,3	1600
Coliformes fecales	UFC/100 ml	1×10^6	10 000

Fuente: Laboratorio de análisis técnicos – ESPOCH, Laboratorio de servicios ambientales – UNACH.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.9.2. *Parámetros fuera de los límites permisibles establecidos en la Normativa Ambiental Tulsma.*

Una vez comparados los parámetros físico-químicos y microbiológicos con la normativa TULSMA Libro VI Anexo I Tabla #10, se determinó los siguientes datos fuera de la norma:

Tabla 19-2: Parámetros físico-químicos y microbiológicos fuera de la norma.

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible
DBO ₅	mg/L	304	100
DQO	mg/L	391,3	200
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	45,5	30
Detergentes	mg/L	1,8	0,5
Grasas y aceites	mg/L	37,2	30
Sólidos sedimentables	ml/L	3,16	1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	1×10^6	10 000

Realizado por: Tanya Vega, 2016

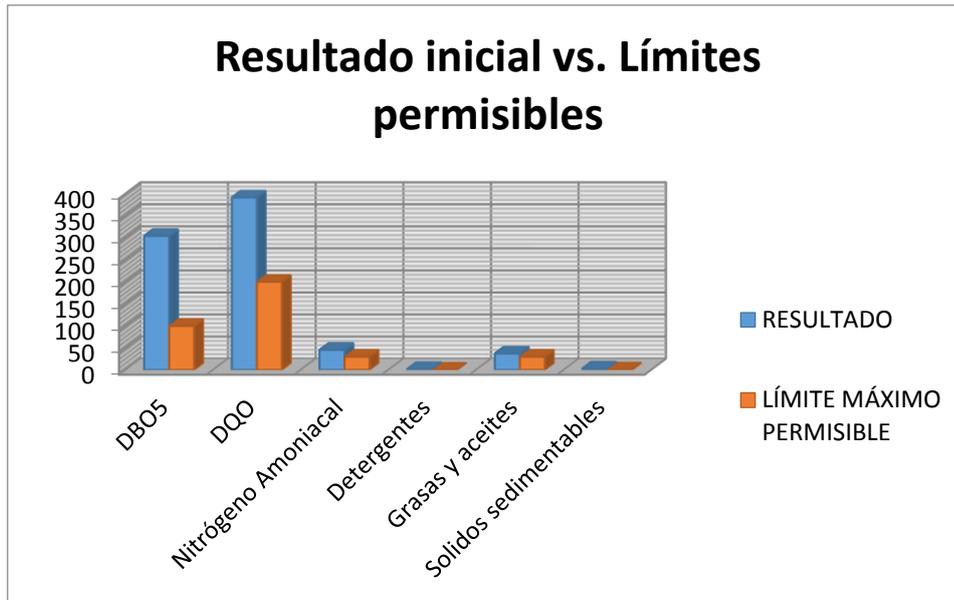


Gráfico 1-2: Parámetros físico-químicos fuera de la Norma vs Límites permisibles.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

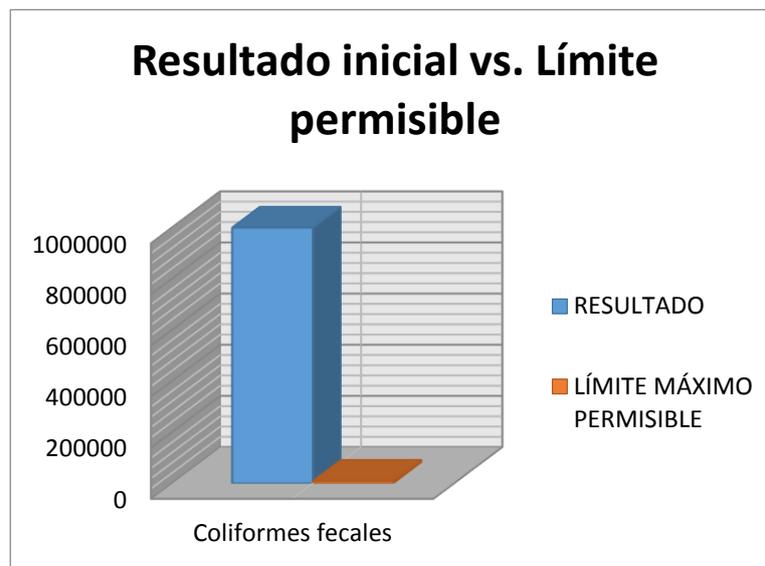


Gráfico 2-2: Parámetro microbiológico fuera de la Norma vs Límite permisible.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

2.9.3. Fundamentos para el tratamiento de aguas residuales

De acuerdo con la relación de biodegradabilidad mencionada anteriormente, podemos decidir el sistema de tratamiento que emplearemos para las aguas residuales de estudio, entonces tenemos:

$$\frac{DQO}{DBO_5} = \frac{391,3}{304} = 1,29 \text{ Sistemas biológicos}$$

O:

$$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{304}{391,3} = 0,78 \text{ Biodegradable}$$

Los resultados obtenidos en cada una de las relaciones previas, nos permiten deducir que el agua residual originada en el Cantón Archidona tiende a ser biodegradable pudiendo aplicarse en ellas Sistemas Biológicos o Fitodepuradores como los humedales artificiales.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En función de la caracterización física, química y microbiológica inicial; y de los resultados de las relaciones de DBO y DQO de las aguas residuales del cantón Archidona, se plantea el siguiente sistema de tratamiento para dicho cantón.

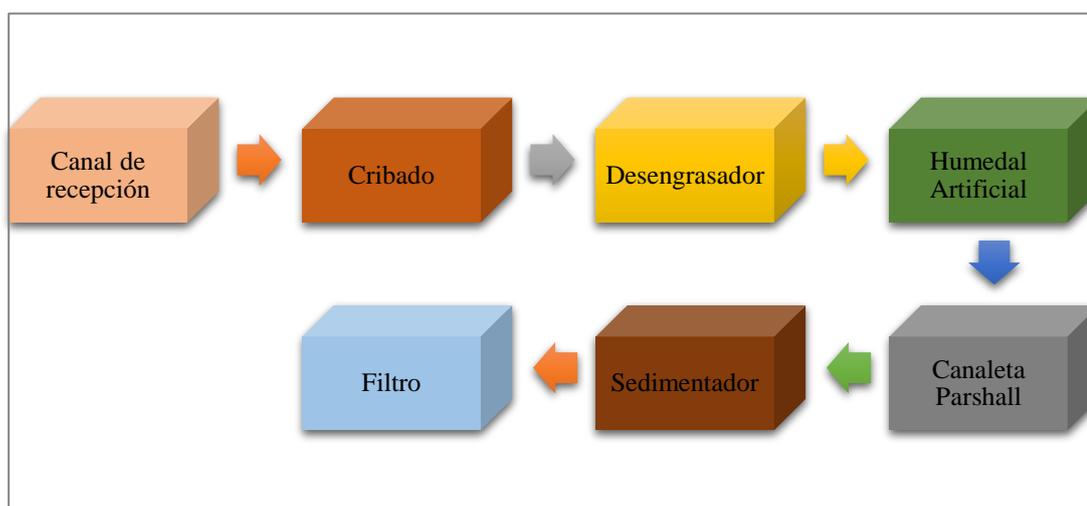


Gráfico 1-3: Propuesta del Sistema de tratamiento para el agua residual del Cantón Archidona

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.1. Cálculos

3.1.1. Población futura

Tabla 1-3: Datos para el cálculo de la población futura

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Población actual*	Pa	Hab	11689
Índice de crecimiento anual*	r	%	3,5
Período de tiempo**	N	Años	20

Fuente: *Tabla 2-2; ** Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

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

Ecuación 1

$$P_f = 11689 \text{ hab} * \left(1 + \frac{3,5}{100}\right)^{20}$$

$$P_f = 23258,6 \text{ hab}$$

$$P_f = 23259 \text{ hab}$$

3.1.2. Caudal

Tabla 2-3: Datos para el cálculo del caudal

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Población futura	Pf	Hab	23259
Coefficiente de retorno**	CR	-	0,75
Dotación de agua potable*	Dot	L/hab-día	140
Tasa de infiltración***	i	L/s-ha	0,2
Área del proyecto*	A	Ha	2

Fuente: *Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Archidona, **Ex-IEOS, 1993; Tabla 10-1

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) Caudal medio teórico

$$Q_{med} = \frac{CR (Dot)(Pf)}{86400} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$Q_{med} = \frac{0,75 \left(140 \frac{L}{\text{hab} - \text{día}}\right) (23259 \text{ hab})}{86400 \text{ s/día}}$$

$$Q_{med} = 28,26 \text{ L/s}$$

b) Coeficiente de Mayorización

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Pf}{1000}}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{23259}{1000}}}$$

$$M = 2,58$$

c) Caudal máximo teórico

$$Q_{max} = M(Q_{med}) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$Q_{max} = 2,58(28,26 \text{ L/s})$$

$$Q_{max} = 72,91 \text{ L/s}$$

d) Caudal de diseño

Caudal de infiltración

$$qi = A * i$$

Ecuación 5

$$qi = 2ha * \frac{0,2L}{s - ha}$$

$$qi = 0,4 \text{ L/s}$$

Caudal medio de diseño

$$Q = Q_{med} + qi$$

Ecuación 6

$$Q = 28,26 \text{ L/s} + 0,4 \text{ L/s}$$

$$Q = 28,66 \text{ L/s}$$

Caudal máximo de diseño

$$Q_M = Q_{max} + qi$$

$$Q_M = 72,91 \text{ L/s} + 0,4 \text{ L/s}$$

Ecuación 7

$$Q_M = 73,31 \text{ L/s}$$

3.1.3. Canal de recepción

Tabla 3-3: Datos para el cálculo del canal de recepción

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal máximo de diseño	Q _M	m ³ /s	0,07331
Caudal medio de diseño	Q	m ³ /s	0,02866
Coefficiente de rugosidad*	n	-	0,013
Ancho del canal*	b	m	0,8
Pendiente*	s	m/m	0,0005
Altura de seguridad*	h _s	m	0,5

Fuente: *Tabla 11-1

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) **Coefficiente de Manning**

Ecuación 8

$$K = \frac{Q_M * n}{b^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}$$
$$K = \frac{0,02866 \text{ m}^3/\text{s} * 0,013}{0,80 \text{ m}^{\frac{8}{3}} * 0,0005 \text{ m}/\text{m}^2}$$
$$K = 0,03$$

b) **Altura del tirante de agua**

Ecuación 9

$$h = 1,6624 * K^{0,74232} * b$$
$$h = 1,6624 * (0,03)^{0,74232} * 0,8 \text{ m}$$
$$h = 0,098 \text{ m}$$

c) **Altura total del canal**

Ecuación 10

$$h_T = h + h_s$$
$$h_T = 0,098 \text{ m} + 0,50 \text{ m}$$
$$h_T = 0,598 \text{ m}$$

d) **Radio hidráulico**

Ecuación 11

$$RH = \frac{b * h_T}{b + 2h_T}$$
$$RH = \frac{0,8 \text{ m} * 0,598 \text{ m}}{0,8 \text{ m} + 2(0,598 \text{ m})}$$
$$RH = 0,239 \text{ m}$$

e) **Velocidad**

Ecuación 12

$$v = \frac{1}{n} * RH^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$
$$v = \frac{1}{0,013} * 0,239^{\frac{2}{3}} * 0,0005^{\frac{1}{2}}$$
$$v = 0,66 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

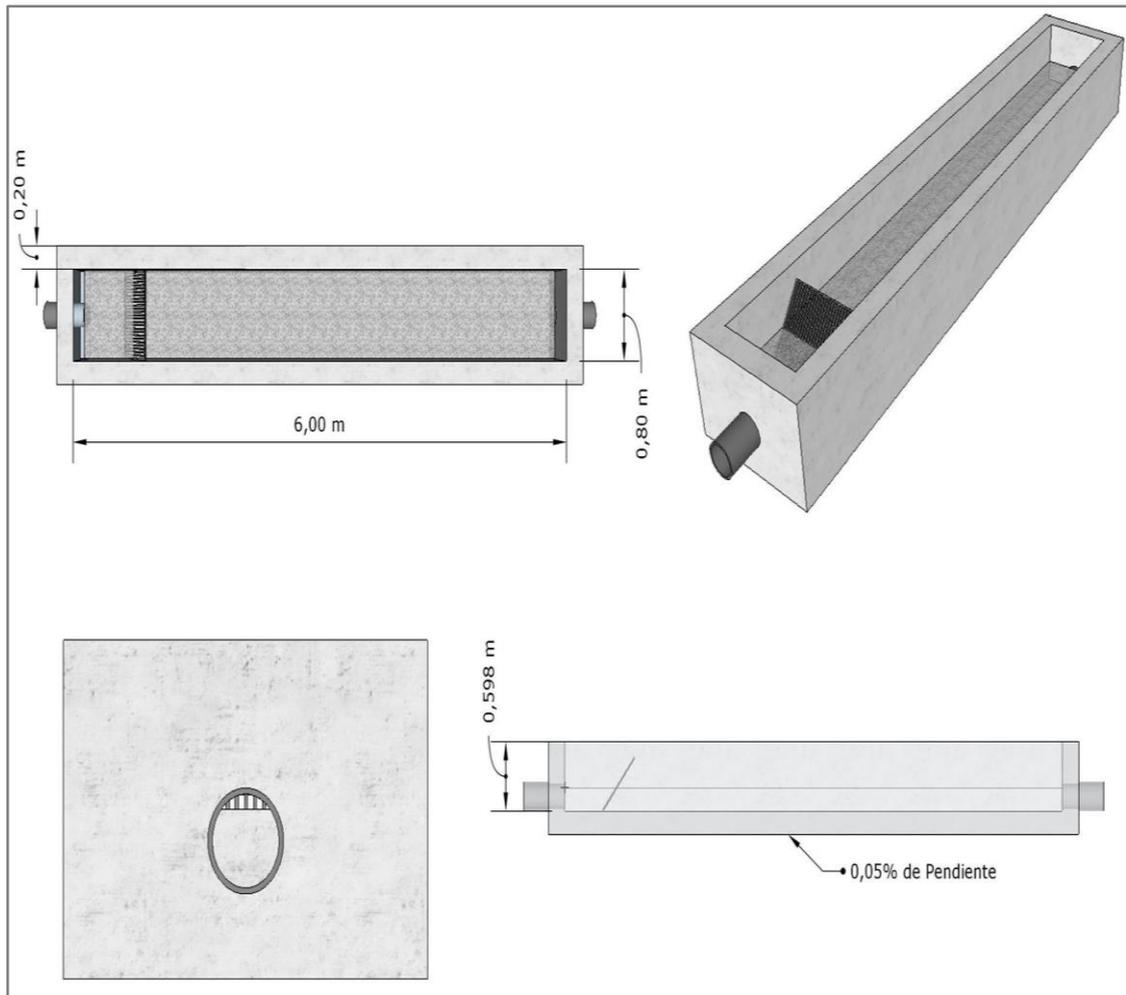


Figura 1-3: Canal de recepción

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.1.4. *Rejillas para el Cribado*

Tabla 4-3: Datos para el cálculo de las rejillas

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal medio de diseño	Q	m ³ /s	0,02866
Espesor de barras*	e	m	0,01
Separación entre barras*	s _b	m	0,02
Ángulo*	∅	°	50
Coefficiente de pérdida de las rejillas**	β	-	1,79
Altura total del canal	h _T	m	0,598
Velocidad del agua	v	m/s	0,66
Base del canal	b	m	0,80

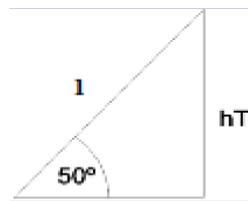
Fuente: *Tabla 12-1, **Figura 7-1

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) **Número de barras**

$$Nb = \left(\frac{b}{e + s_b} \right) - 1 \quad \text{Ecuación 13}$$
$$Nb = \left(\frac{0,8 \text{ m}}{0,01\text{m} + 0,02\text{m}} \right) - 1$$
$$Nb = 26,67 \text{ barras}$$
$$Nb = 27 \text{ barras}$$

b) **Longitud de barras**



$$l = \frac{h_T}{\text{Sen } \theta} \quad \text{Ecuación 14}$$
$$l = \frac{0,598 \text{ m}}{\text{Sen } 50^\circ}$$
$$l = 0,78 \text{ m}$$

c) **Área libre entre barra**

$$A_L = \frac{Q}{v} \quad \text{Ecuación 15}$$
$$A_L = \frac{0,02866 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,66 \text{ m/s}}$$
$$A_L = 0,04 \text{ m}^2$$

d) **Pérdida de carga en rejillas**

$$h_c = \beta \left(\frac{s_b}{e} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{V^2}{2g} \sin \theta \quad \text{Ecuación 16}$$
$$h_c = 1,79 \left(\frac{0,02}{0,01} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{(0,66 \text{ m/s})^2}{2 \left(\frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} \right)} \sin 50^\circ$$
$$h_c = 0,076 \text{ m}$$

e) **Área de sección transversal del flujo**

Ecuación 17

$$A_f = \frac{A_L(s_b + e)}{s_b}$$

$$A_f = \frac{0,04 \text{ m}^2(0,02\text{m} + 0,01\text{m})}{0,02\text{m}}$$

$$A_f = 0,06 \text{ m}^2$$

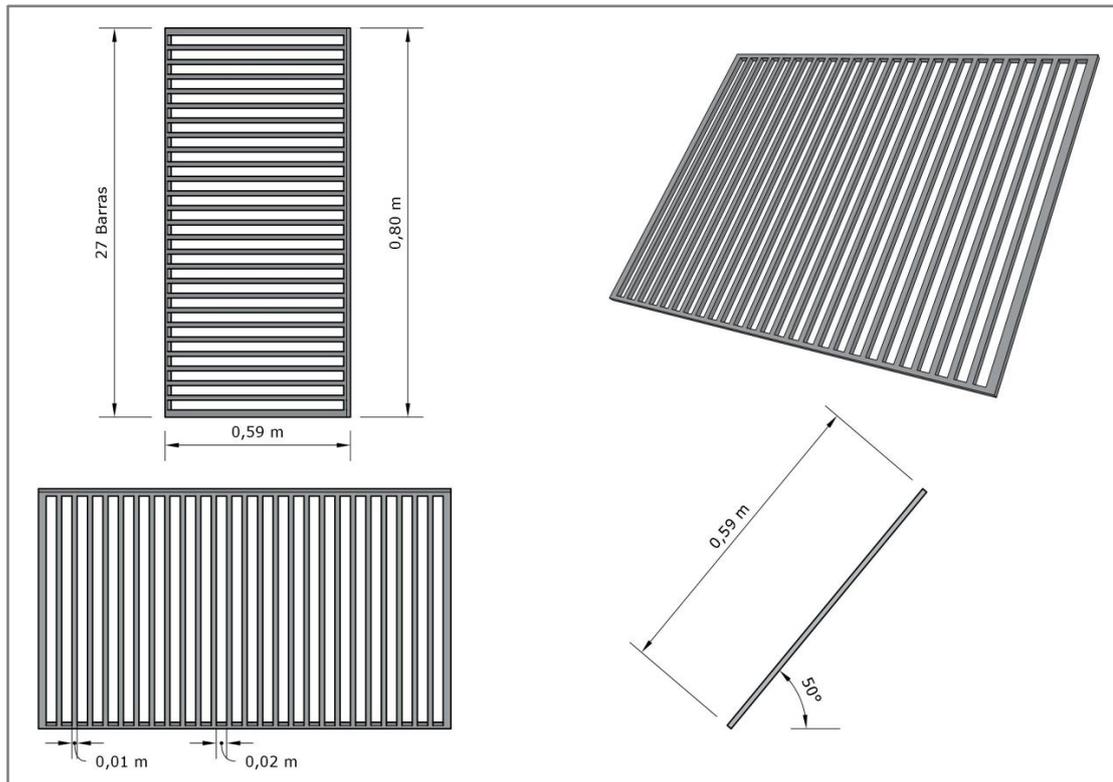


Figura 2-3: Rejillas

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.1.5. Desengrasador

Tabla 5-3: Datos para el cálculo del desengrasador

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Carga superficial hidráulica*	C _s	L/sm ²	4
Relación largo/ancho*	l/b	m	1,5
Caudal	Q	L/s	28,66
Altura o profundidad*	h	m	2

Fuente: *Tabla 13-1

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) **Área superficial**

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

Ecuación 18

$$A = \frac{28,66 \frac{L}{s}}{4 \frac{L}{m^2}}$$

$$A = 7,165 m^2$$

b) **Base de la trampa de grasas**

$$b = \sqrt{\frac{A}{1,5}}$$

Ecuación 19

$$b = \sqrt{\frac{7,165 m^2}{1,5}}$$

$$b = 2,185 m$$

c) **Longitud de la trampa de grasas**

$$l = 1,5 * b$$

Ecuación 20

$$l = 1,5 * 2,185 m$$

$$l = 3,278 m$$

d) **Volumen de la trampa de grasas**

$$V = b * l * h$$

Ecuación 21

$$V = 2,185 m * 3,278 m * 2 m$$

$$V = 14,32 m^3$$

e) **Tiempo de permanencia**

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

Ecuación 22

$$TR = \frac{14,32 m^3}{103,176 m^3/h}$$

$$TR = 0,14 h$$

$$TR = 8,4 min$$

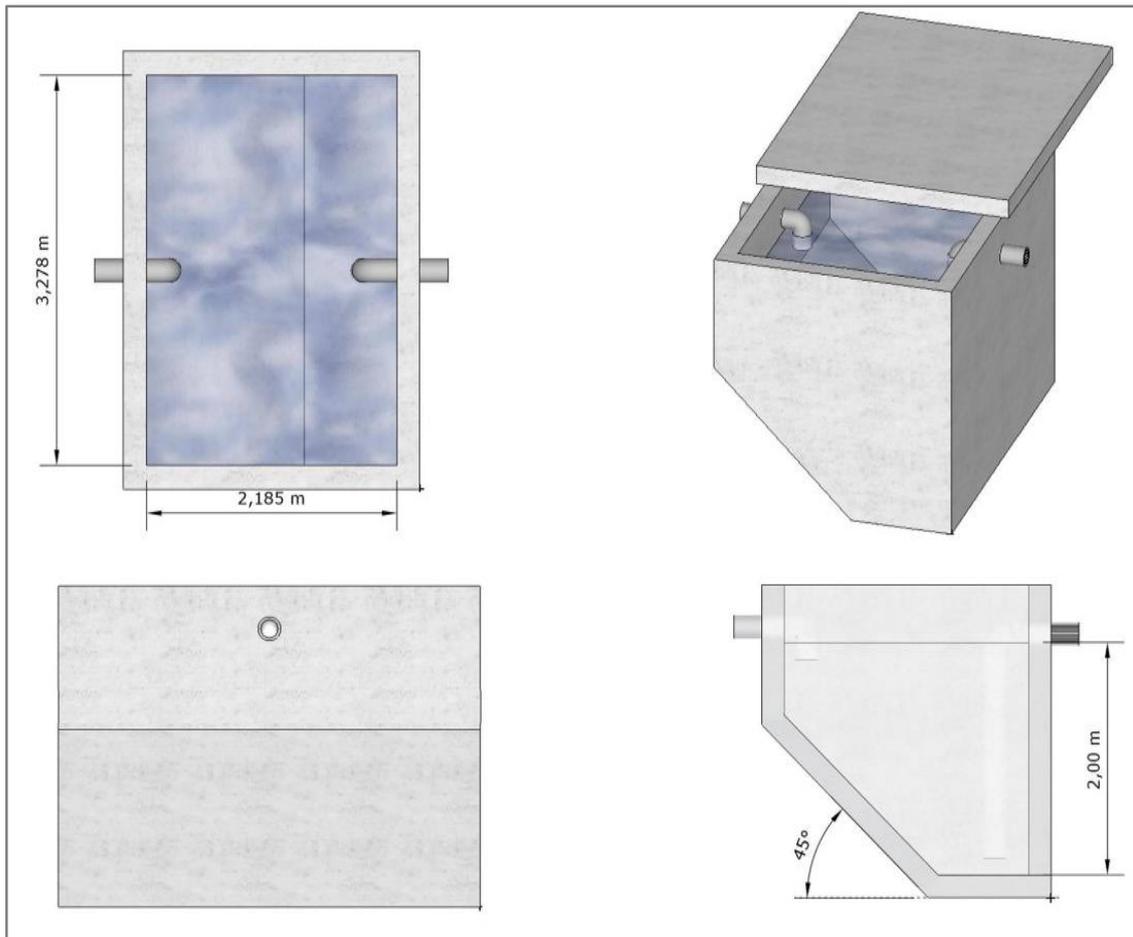


Figura 3-3: Desengrasador simple

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.1.6. Cálculo del Humedal de flujo subsuperficial

Tabla 6-3: Datos para el cálculo del HAFSS

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal medio de diseño	Q	L/s	28,66
Concentración de DBO ₅ inicial*	Co	mg/L	304
Concentración de DBO ₅ final**	C	mg/L	21
Temperatura del humedal	Ta	°C	23
Profundidad***	h	m	1
Porosidad del medio granular****	n	%	35
Pendiente***	s	m/m	0,0005

Fuente: *Tabla 19-2; ** Tabla 15-3; ***Tabla 14-1; ****Tabla 15-1

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) **Constante de reacción de primer orden**

$$K_T = 1,104 * (1,06)^{T_a-20}$$

$$K_T = 1,104 * (1,06)^{23-20}$$

Ecuación 23

$$K_T = 1,3$$

b) **Área superficial del humedal**

$$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C}\right)}{K_T * h * n}$$

Ecuación 24

$$A_s = \frac{2476,2 \text{ m}^3/\text{día} * \ln\left(\frac{304}{21}\right)}{1,3 * 1 \text{ m} * 0,35}$$

$$A_s = 14544,3 \text{ m}^2$$

c) **Ancho del humedal**

$$W_H = \sqrt{\frac{A_s}{4}}$$

Ecuación 25

$$W_H = \sqrt{\frac{14544,3 \text{ m}^2}{4}}$$

$$W_H = 60,3 \text{ m}$$

d) **Largo del humedal**

$$L_H = 4 * W_H$$

Ecuación 26

$$L_H = 4 * 60,3 \text{ m}$$

$$L_H = 241,2 \text{ m}$$

e) **Volumen del humedal**

$$V_{HFL} = L_H * W_H * h$$

Ecuación 27

$$V_{HFL} = 241,2 \text{ m} * 60,3 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$V_{HFL} = 14544,4 \text{ m}^3$$

f) Tiempo de retención hidráulico

$$TRH = \frac{As * h * n}{Q} \quad \text{Ecuación 28}$$
$$TRH = \frac{14544,3 \text{ m}^2 * 1 \text{ m} * 0,35}{2476,2 \text{ m}^3/\text{día}}$$
$$TRH = 2 \text{ días}$$

g) Porcentaje de remoción del Humedal

Porcentaje de remoción de DBO

$$\% \text{ Remoción} = \frac{DBO \text{ agua tratada} * 100}{DBO \text{ agua cruda}} \quad \text{Ecuación 29}$$
$$\% \text{ Remoción} = \frac{21 * 100}{304}$$
$$\% \text{ Remoción} = 6,9 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - \% \text{ Remoción}$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 6,9\%$$

$$\% \text{ Removido} = 93,1\%$$

Porcentaje de remoción de DQO

$$\% \text{ Remoción} = \frac{DQO \text{ agua tratada} * 100}{DQO \text{ agua cruda}} \quad \text{Ecuación 30}$$
$$\% \text{ Remoción} = \frac{38 * 100}{391,3}$$
$$\% \text{ Remoción} = 9,7\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - \% \text{ Remoción}$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 9,7\%$$

$$\% \text{ Removido} = 90,3\%$$

Para una mejor disposición del tratamiento se ha optado por dividir en cuatro el humedal, teniendo una relación largo/ancho de 4:1, entonces tenemos:

$$L_H = 60,3 \text{ m}$$

$$W_H = 60,3 \text{ m}$$

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

Además cabe mencionar que el suelo en donde se ubicarán los humedales artificiales irán recubiertos por una geomembrana hecha a partir de distintas resinas plásticas, que actúa como una lámina impermeable para controlar la migración del fluido.

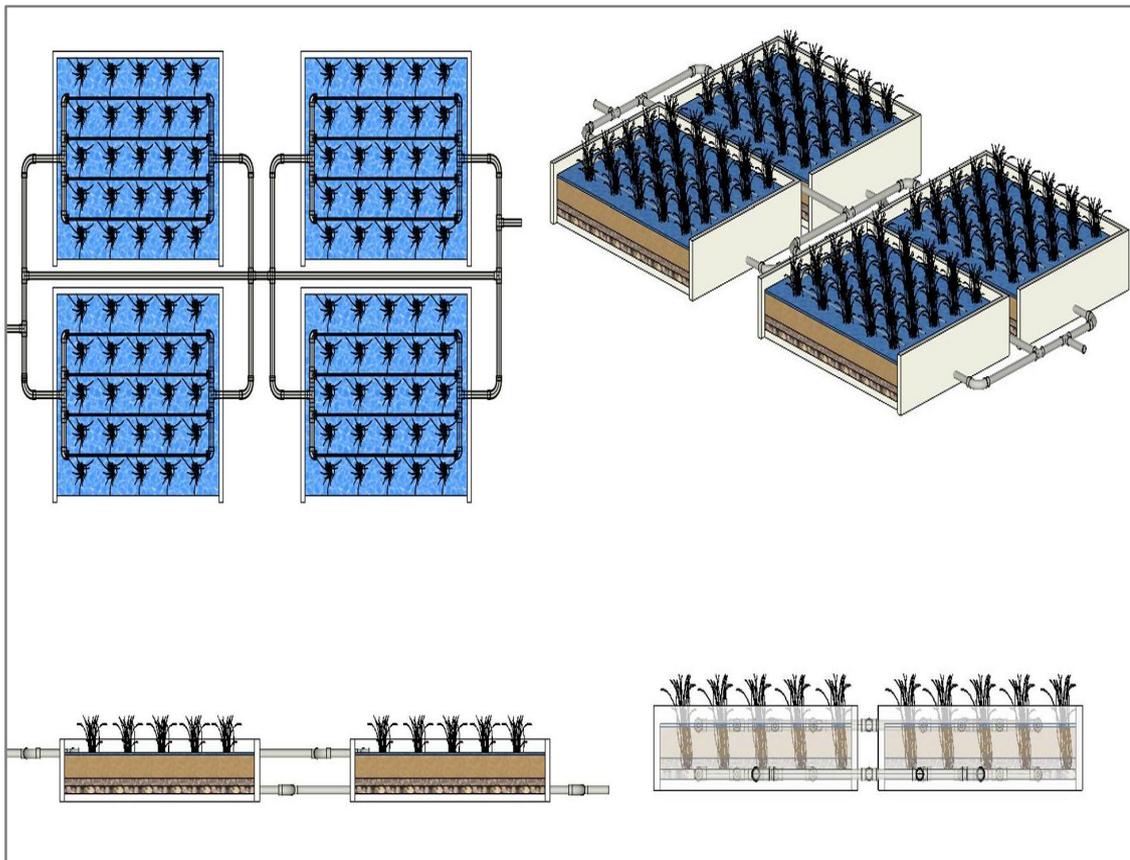


Figura 4-3: Disposición de los humedales

Realizado por: Tanya Vega, 2016

h) Caudal de salida del humedal

Debemos considerar que a la salida del humedal el caudal de entrada va a disminuir por pérdida de absorción o filtración durante su tratamiento. Para su determinación se debe tomar en cuenta los volúmenes de agua tanto inicial como final en el tratamiento preliminar.

El volumen utilizado al inicio del tratamiento fue de 30 litros de agua residual durante dos días, obteniéndose al final 24 litros del agua tratada.

$$\begin{array}{l}
 30 \text{ L} \longrightarrow 100 \% \\
 24 \text{ L} \longrightarrow x \\
 x = \frac{24 \text{ L} * 100\%}{30 \text{ L}} \\
 \boxed{x = 80 \%}
 \end{array}$$

$$\% \text{ Pérdida} = 100 \% - 80 \%$$

$$\boxed{\% \text{ Pérdida} = 20 \%}$$

El caudal de entrada es $Q = 28,66 \text{ L/s}$

$$\begin{array}{l}
 28,66 \text{ L/s} \longrightarrow 100 \% \\
 x \longrightarrow 20 \% \\
 x = \frac{28,66 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 20 \%}{100 \%} \\
 \boxed{x = 5,73 \text{ L/s}}
 \end{array}$$

$$Q_{SH} = Q_E - Q_p$$

Ecuación 31

$$Q_{SH} = (28,66 - 5,73) \text{ L/s}$$

$$\boxed{Q_{SH} = 22,93 \text{ L/s}}$$

3.1.7. Cantidad necesaria de *Echinochloa polystachya* (pasto alemán) para el humedal artificial.

Tabla 7-3: Datos para el cálculo de las macrófitas del humedal

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Volumen de agua utilizado*	Vep	L	30
Volumen del humedal	V _H	m ³	14544,4
Peso de la <i>Echinochloa polystachya</i> *	Pep	Kg	0,586

Fuente: *Pruebas de tratabilidad

Realizado por: Tanya Vega, 2016

$$30 \text{ L} * \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,03 \text{ m}^3$$

$$\begin{array}{l}
 0,03 \text{ m}^3 \longrightarrow 0,586 \text{ kg de Echinochloa polystachya} \\
 14544,4 \text{ m}^3 \longrightarrow x \\
 x = \frac{14544,4 \text{ m}^3 * 0,586 \text{ Kg}}{0,03 \text{ m}^3}
 \end{array}$$

$$x = 284100,6 \text{ Kg de Echinochloa polystachya}$$

Como se ha dividido en cuatro al humedal, lo mismo se hará con la cantidad calculada de pasto alemán para conocer la porción que ira en cada uno.

$$\begin{array}{l}
 x = \frac{\text{Kg de Echinochloa polystachya}}{\# \text{ de humedales}} \\
 x = \frac{284100,6 \text{ Kg de Echinochloa polystachya}}{4} \\
 x = 71025,15 \text{ Kg de Echinochloa polystachya}
 \end{array}$$

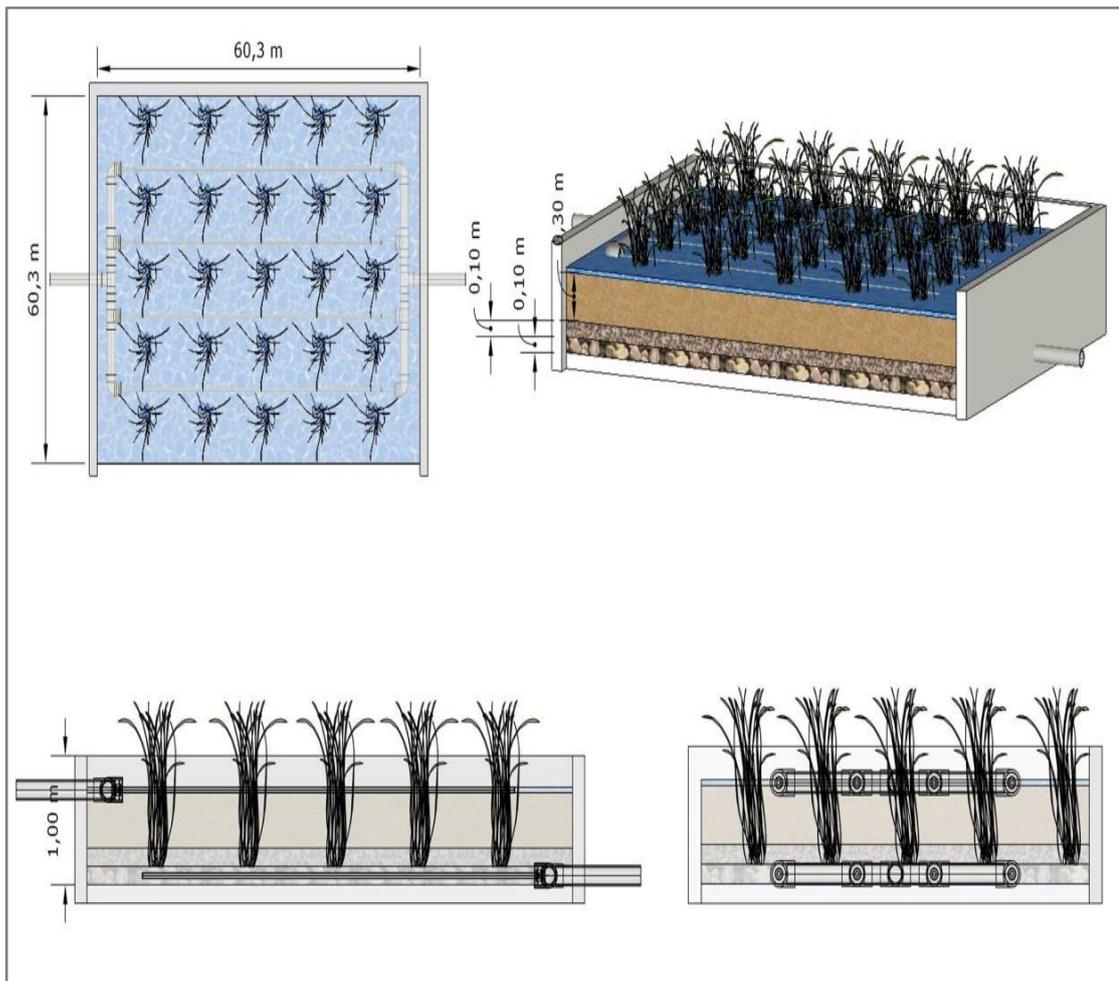


Figura 5-3: Humedal Artificial de flujo subsuperficial

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.1.8. Dosificación del coagulante

Debido al porcentaje mínimo de remoción de tensoactivos en la etapa anterior, se dosificó policloruro de aluminio por vía húmeda de forma manual en una solución al 3%, que consiste en pesar 3 gramos de coagulante para diluir en 100 ml de agua; cuyo volumen necesario de la solución, se determinó mediante un ensayo de laboratorio empleando la prueba de jarras, siendo éste de 6 ml/L.

Tabla 8-3: Datos para el cálculo de la coagulación

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal después del humedal	Q_E	L/s	22,93
Concentración de PAC**	C_{PAC}	ppm	6
Porcentaje de dilución**	P_{PAC}	%	3
Densidad del PAC*	ρ	Kg/L	1,24

Fuente: *Romero, 2008; **Pruebas de tratabilidad

Realizado por: Tanya Vega, 2016

$$D_{PAC} = \frac{Q_E * C_{PAC}}{60 * P * \rho} \quad \text{Ecuación 32}$$

$$D_{PAC} = \frac{82,55 \text{ m}^3/\text{h} * 6 \text{ ppm}}{60 * 3 \% * 1,24 \text{ Kg/L}}$$

$$D_{PAC} = 2,22 \text{ ml/min}$$

$$D_{PAC} = 3,19 \text{ L/día}$$

Calculamos la masa del PAC de la siguiente manera:

$$W = \rho * D_{PAC}$$

$$W = 3,19 \frac{\text{L}}{\text{día}} * 1,24 \frac{\text{Kg}}{\text{L}}$$

$$W = 3,96 \text{ Kg PAC/día}$$

3.1.9. Canaleta Parshall

Tabla 9-3: Datos para el cálculo de la canaleta Parshall

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal después del humedal	Q	L/s	22,93
Constante K, de acuerdo al ancho de garganta*	K_c	-	1,276

Constante n, de acuerdo al ancho de garganta*	nc	-	0,657
Dimensiones de la canaleta**	D	m	0,845
Gravedad	G	m/s ²	9,8
Dimensiones de la canaleta***	N	m	0,229
Dimensiones de la canaleta***	K'	m	0,076
Dimensiones de la canaleta**	C	m	0,61
Dimensiones de la canaleta**	G'	m	0,915
Dimensiones de la canaleta***	P	m	1,49
Dimensiones de la canaleta***	R	m	0,51
Dimensiones de la canaleta**	A	m	1,372
Dimensiones de la canaleta***	M	m	0,38
Dimensiones de la canaleta**	B	m	1,344
Dimensiones de la canaleta**	E	m	0,915
Dimensiones de la canaleta**	F	m	0,61
Dimensiones de la canaleta***	Y	m	0,08
Dimensiones de la canaleta***	X	m	0,05
Temperatura del agua	T	°C	23
Relación peso específico y viscosidad absoluta****	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$	-	3206,03

Fuente: *Tabla 17-1; **Tabla 18-1; ***Tabla 19-1; ****Tabla 20-1

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) Ancho de garganta

Conociendo el caudal con el que se va a trabajar que es $Q = 22,93$ L/s, y en base a la Tabla 16-1, se obtiene $W = 12"$.

$$W = 0,3048 \text{ m}$$

b) Altura del agua en la sección de medición

$$H_0 = K * Q^n$$

Ecuación 33

$$H_0 = 1,276 * (0,02293 \text{ m}^3/\text{s})^{0,657}$$

$$H_0 = 0,11 \text{ m}$$

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

$$D' = \frac{2}{3} * (D - W) + W \quad \text{Ecuación 34}$$

$$D' = \frac{2}{3} * (0,845 \text{ m} - 0,3048\text{m}) + 0,3048 \text{ m}$$

$$D' = 0,66 \text{ m}$$

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

$$v_0 = \frac{Q}{H_o * D'} \quad \text{Ecuación 35}$$

$$v_0 = \frac{0,02293 \text{ m}^3/\text{s}}{0,11 \text{ m} * 0,66 \text{ m}}$$

$$v_0 = 0,32 \text{ m/s}$$

e) **Carga hidráulica disponible**

$$E_0 = \frac{v_o^2}{2g} + H_o + N \quad \text{Ecuación 36}$$

$$E_0 = \frac{(0,32 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} + 0,11\text{m} + 0,229 \text{ m}$$

$$E_0 = 0,36 \text{ m}$$

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

$$Q_w = \frac{Q_d}{W} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$Q_w = \frac{0,02293 \text{ m}^3/\text{s}}{0,3048 \text{ m}}$$

$$Q_w = 0,075 \text{ m}^3/\text{sm}$$

g) **Ángulo de inclinación**

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[-\frac{Q_w * g}{\left(\frac{2g * E_0}{3}\right)^{1,5} * \pi} \frac{180}{\pi} \right] \quad \text{Ecuación 38}$$

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[\frac{0,075 \text{ m}^3/\text{sm} * 9,8 \text{ m/s}^2}{\left(\frac{(2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) * 0,36 \text{ m}}{3} \right)^{1,5}} * \frac{180}{\pi} \right]$$

$$\theta_p = 101,76^\circ$$

h) Velocidad antes del resalto

$$v_1 = 2 \left(\frac{2E_o * g}{3} \right)^{0,5} * \cos \left(\theta_p * \frac{\pi}{540} \right) \quad \text{Ecuación 39}$$

$$v_1 = 2 \left(\frac{2(0,36 \text{ m}) * 9,8 \text{ m/s}^2}{3} \right)^{0,5} * \cos \left(101,76 * \frac{\pi}{540} \right)$$

$$v_1 = 1,82 \text{ m/s}$$

i) Altura del agua antes del resalto

$$h_1 = \left(\frac{Q_w}{v_1} \right)$$

$$h_1 = \left(\frac{0,075 \text{ m}^3/\text{sm}}{1,82 \text{ m/s}} \right)$$

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

Ecuación 40

j) Número de Froude

$$F_1 = \frac{v_1}{(g * h_1)^{0,5}} \quad \text{Ecuación 41}$$

$$F_1 = \frac{1,82 \text{ m/s}}{(9,8 \text{ m/s}^2 * 0,041 \text{ m})^{0,5}}$$

$$F_1 = 4,5$$

El número de Froude cumple con lo establecido ya que debe estar dentro del rango 1,7-2,5 o 4,5-9,0 para una correcta aplicación del coagulante. Debe evitarse el rango de 2,5-4,5 ya que produce un resalto inestable.

k) Altura del resalto

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * [(1 + 8F_1^2)^{0,5} - 1] \quad \text{Ecuación 42}$$
$$h_2 = \frac{0,041m}{2} * [(1 + 8(4,5)^2)^{0,5} - 1]$$
$$h_2 = 0,24 \text{ m}$$

l) Velocidad del resalto

$$v_2 = \frac{Q_d}{W * h_2} \quad \text{Ecuación 43}$$
$$v_2 = \frac{0,02293 \text{ m}^3/\text{s}}{0,3048 \text{ m} * 0,24 \text{ m}}$$
$$v_2 = 0,31 \text{ m/s}$$

m) Altura en la sección de salida de la canaleta

$$h_3 = h_2 - (N - K') \quad \text{Ecuación 44}$$
$$h_3 = 0,24 \text{ m} - (0,229 \text{ m} - 0,076 \text{ m})$$
$$h_3 = 0,087 \text{ m}$$

n) Velocidad en la sección de la salida

$$v_3 = \frac{Q_d}{C * h_3} \quad \text{Ecuación 45}$$
$$v_3 = \frac{0,02293 \text{ m}^3/\text{s}}{0,61 * 0,087 \text{ m}}$$
$$v_3 = 0,43 \text{ m/s}$$

o) Pérdida de carga en el resalto

$$h_p = H_o + K' + h_3 \quad \text{Ecuación 46}$$
$$h_p = 0,11 \text{ m} + 0,076 \text{ m} + 0,087 \text{ m}$$
$$h_p = 0,27 \text{ m}$$

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

$$T = \frac{2G'}{v_2 + v_3} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$T = \frac{2 * 0,915 \text{ m}}{0,31 \text{ m/s} + 0,43 \text{ m/s}}$$

$$T = 13,72 \text{ s}$$

$$T = 14 \text{ s}$$

q) **Gradiente de velocidad**

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \left(\frac{h_p}{T}\right)^{0,5} \quad \text{Ecuación 48}$$

$$G = 3206,03 * \left(\frac{0,27 \text{ m}}{13,72 \text{ s}}\right)^{0,5}$$

$$G = 449,75 \text{ s}^{-1}$$

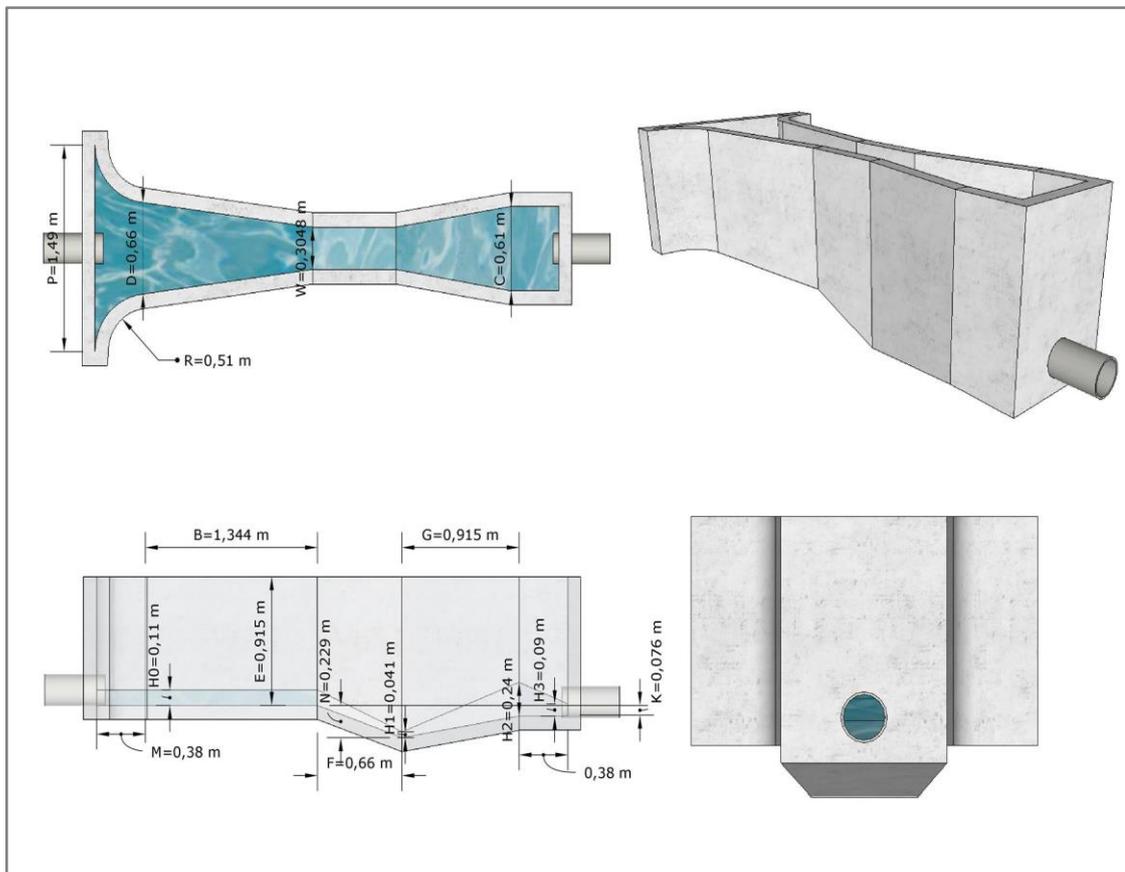


Figura 6-3: Canaleta Parshall

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.1.10. Sedimentador

Tabla 10-3: Datos para el cálculo del sedimentador

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Velocidad de paso entre orificios**	v_o	m/s	0,10
Caudal después del humedal	Q	L/s	22,93
Diámetro asumido del orificio	D	cm	5
Gravedad	g	cm/s ²	981
Ancho del Sedimentador*	b	m	2
Longitud del Sedimentador*	LS	m	3
Profundidad del Sedimentador*	hs	m	1,5
Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada**	L_{pd}	m	1
Período de retención hidráulico*	PRH	min	1

Fuente: *Tabla 22-1; ** Tabla 23-1

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) Zona de entrada

Área total de los orificios

$$A_o = \frac{Q}{V_o} \quad \text{Ecuación 49}$$

$$A_o = \frac{0,02293 \text{ m}^3/\text{s}}{0,1 \text{ m/s}}$$

$$A_o = 0,23 \text{ m}^2$$

Área de sección circular

$$a_o = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ecuación 50}$$

$$a_o = \frac{\pi(0,05\text{m})^2}{4}$$

$$a_o = 1,96 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Número de orificios

$$n_o = \frac{A_o}{a_o} \quad \text{Ecuación 51}$$

$$n_o = \frac{0,23 \text{ m}^2}{1,96 * 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$n_o = 116,9 \text{ orificios}$$

$$n_o = 117 \text{ orificios}$$

b) Zona de sedimentación

Longitud total

$$L_T = L_s + L_{pd}$$

Ecuación 52

$$L_T = 3 \text{ m} + 1 \text{ m}$$

$$L_T = 4 \text{ m}$$

Velocidad de sedimentación

$$v_s = \frac{Q}{L_T * B_S}$$

Ecuación 53

$$v_s = \frac{0,02293 \text{ m}^3/\text{s}}{4 \text{ m} * 2 \text{ m}}$$

$$v_s = 2,86x 10^{-3} \text{ m/s}$$

Área superficial en la zona de sedimentación

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

Ecuación 54

$$A_s = \frac{0,02293 \text{ m}^3/\text{s}}{2,86x 10^{-3} \text{ m/s}}$$

$$A_s = 8 \text{ m}^2$$

Carga Hidráulica

$$C_H = \frac{Q}{B_S}$$

Ecuación 55

$$C_H = \frac{0,02293 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ m}}$$

$$C_H = 0,011 \text{ m}^3/\text{sm}$$

Volumen del tanque sedimentador

$$Vol = B_S * L_T * H_S$$

Ecuación 56

$$Vol = 2 \text{ m} * 4 \text{ m} * 1,5 \text{ m}$$

$$Vol = 12 \text{ m}^3$$

Periodo de retención hidráulico

$$P_{RH} = \left(\frac{Vol}{Q} \right)$$

Ecuación 57

$$P_{RH} = \left(\frac{12 \text{ m}^3}{0,02293 \text{ m}^3/\text{s}} \right)$$

$$P_{RH} = 523,33 \text{ s}$$

$$P_{RH} = 8,7 \text{ min}$$

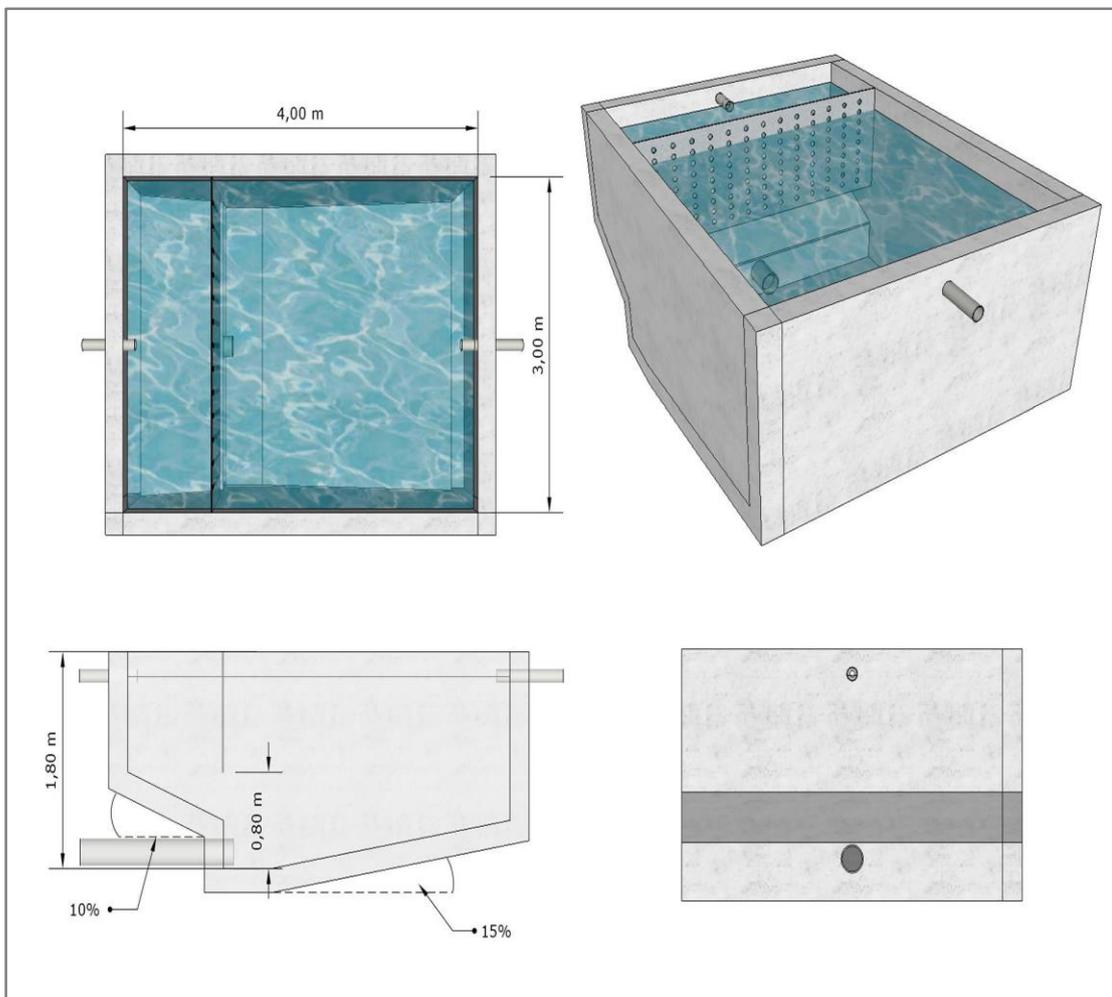


Figura 7-3: Sedimentador horizontal

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.1.11. Filtro dual con medios múltiples

Tabla 11-3: Criterios de diseño para el filtro lento de arena

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal después del humedal	Q	m ³ /s	0,02293
Número de filtros**	Nf	-	3
Tasa de filtración*	Ts	m/d	10
Espesor de la capa de carbón*	e _c	cm	45
Espesor de la capa de arena*	e _a	cm	30
Espesor de la capa de grava*	e _g	cm	15
Altura de la capa de agua*	Ca	m	1,5
Altura de la capa de soporte*	Cs	m	0,3
Altura de drenaje*	Fc	m	0,6
Diámetro de los orificios de los laterales*	Do	mm	4
Velocidad en orificio*	v _o	m/s	0,3
Espacio de los laterales*	e _L	m	2
Número de laterales*	n _L	-	2
Velocidad para tuberías afluente*	v _e	m/s	0.15-3

Fuente: * Tabla 24-1; **Tabla 25-1

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) Caudal de diseño para cada filtro

$$Q_d = \frac{Q \text{ captación}}{nf} \quad \text{Ecuación 58}$$

$$Q_d = \frac{0,02293 \text{ m}^3/\text{s}}{3}$$

$$Q_d = 7,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Área del filtro

$$Af = \frac{Q_d}{\text{tasa de filtración}} \quad \text{Ecuación 59}$$

$$Af = \frac{7,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{1,16 \times 10^{-4} \text{ m/s}}$$

$$Af = 65,5 \text{ m}^2$$

c) Coeficiente mínimo de costo

$$K = \frac{2 \cdot nf}{nf+1} \quad \text{Ecuación 60}$$

$$K = \frac{2 * 3}{3 + 1}$$

$$K = 1,5$$

d) **Longitud del filtro**

$$l = (Af * K)^{1/2}$$

Ecuación 61

$$l = (65,5 \text{ m}^2 * 1,5)^{1/2}$$

$$l = 9,9 \text{ m}$$

e) **Ancho del filtro**

$$b = \left(\frac{Af}{K}\right)^{1/2}$$

Ecuación 62

$$b = \left(\frac{65,5 \text{ m}^2}{1,5}\right)^{1/2}$$

$$b = 6,6 \text{ m}$$

f) **Altura del lecho filtrante**

$$H_{LF} = e_c + e_a + e_g$$

Ecuación 63

$$H_{LF} = (0,45 + 0,30 + 0,15) \text{ m}$$

$$H_{LF} = 0,9 \text{ m}$$

g) **Altura del filtro**

$$Z_f = f_s (C_a + H_{LF} + C_s + F_c)$$

Ecuación 64

$$Z_f = 1 (1,5 + 0,9 + 0,30 + 0,6) \text{ m}$$

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

f) **Área de los orificios laterales del sistema de drenaje**

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

Ecuación 65

$$A_o = \frac{\pi(0,004 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_o = 1,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

g) Caudal que ingresa a cada orificio

$$Q_o = A_o * v_o \quad \text{Ecuación 66}$$
$$Q_o = 1,25 \times 10^{-5} \text{m}^2 * 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$Q_o = 3,8 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$$

h) Número de laterales

$$N_L = n_L \frac{L_f}{e_L} \quad \text{Ecuación 67}$$
$$N_L = 2 \frac{11 \text{ m}}{2 \text{ m}}$$
$$N_L = 11$$

i) Diámetro de la tubería de entrada al filtro

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v_e}} \quad \text{Ecuación 68}$$
$$D_T = \sqrt{\frac{4 * 7,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 1,6 \text{ m/s}}}$$
$$D_T = 0,077 \text{ m}$$

j) Diámetro de la tubería de salida del filtro

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v_s}} \quad \text{Ecuación 69}$$
$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4 * 7,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 0,7 \text{ m/s}}}$$
$$D_{Ts} = 0,1 \text{ m}$$

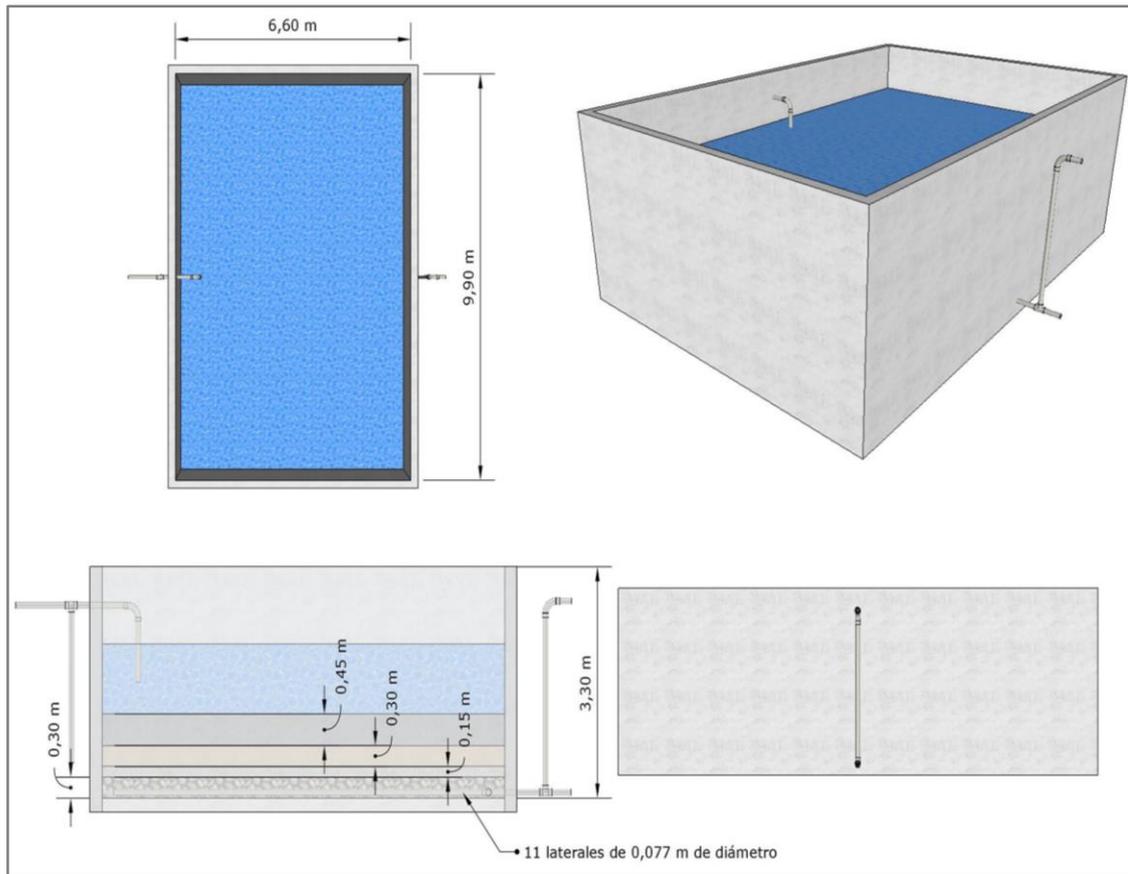


Figura 8-3: Filtro dual

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.1.12. Lechos de Secado

Tabla 12-3: Datos para el cálculo de los lechos de secado

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Sólidos totales suspendidos**	SS	mg/L	30,3
Caudal medio de diseño	Q	L/s	22,93
Densidad del lodo*	Plodo	Kg/L	1,04*
Porcentaje de sólidos*	% sólidos	%	10*
Tiempo de digestión*	Td	días	30*
Profundidad de aplicación*	Ha	m	0,5*

Fuente: **Tabla 26-1; **Tabla 19-2

Realizado por: Tanya Vega, 2016

a) Carga de sólidos que ingresan al sedimentador

$$C = Q * SS * 0,0864$$

Ecuación 70

$$C = 22,93 \text{ L/s} * 30,3 \text{ mg/L} * 0,0864$$

$$C = 60 \text{ Kg SS/día}$$

b) Masa de sólidos que conforman los lodos

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C) \quad \text{Ecuación 71}$$
$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 60 \text{ Kg SS/día}) + (0,5 * 0,3 * 60 \text{ Kg SS/día})$$
$$Msd = 19,5 \text{ Kg SS/día}$$

c) Volumen diario de lodos

$$Vld = \frac{Msd}{plodo(\% \text{ sólido}/100)} \quad \text{Ecuación 72}$$
$$Vld = \frac{19,5 \text{ Kg SS/día}}{1,04 \text{ Kg/L}(10/100)}$$
$$Vld = 187,5 \text{ L/día}$$

d) Volumen de lodos a extraerse del tanque

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad \text{Ecuación 73}$$
$$Vel = \frac{187,5 \frac{\text{L}}{\text{día}} * 30 \text{ días}}{1000}$$
$$Vel = 5,6 \text{ m}^3$$

e) Área del lecho de secado

$$Als = \frac{Vel}{Ha} \quad \text{Ecuación 74}$$
$$Als = \frac{5,6 \text{ m}^3}{1 \text{ m}}$$
$$Als = 5,6 \text{ m}^2$$

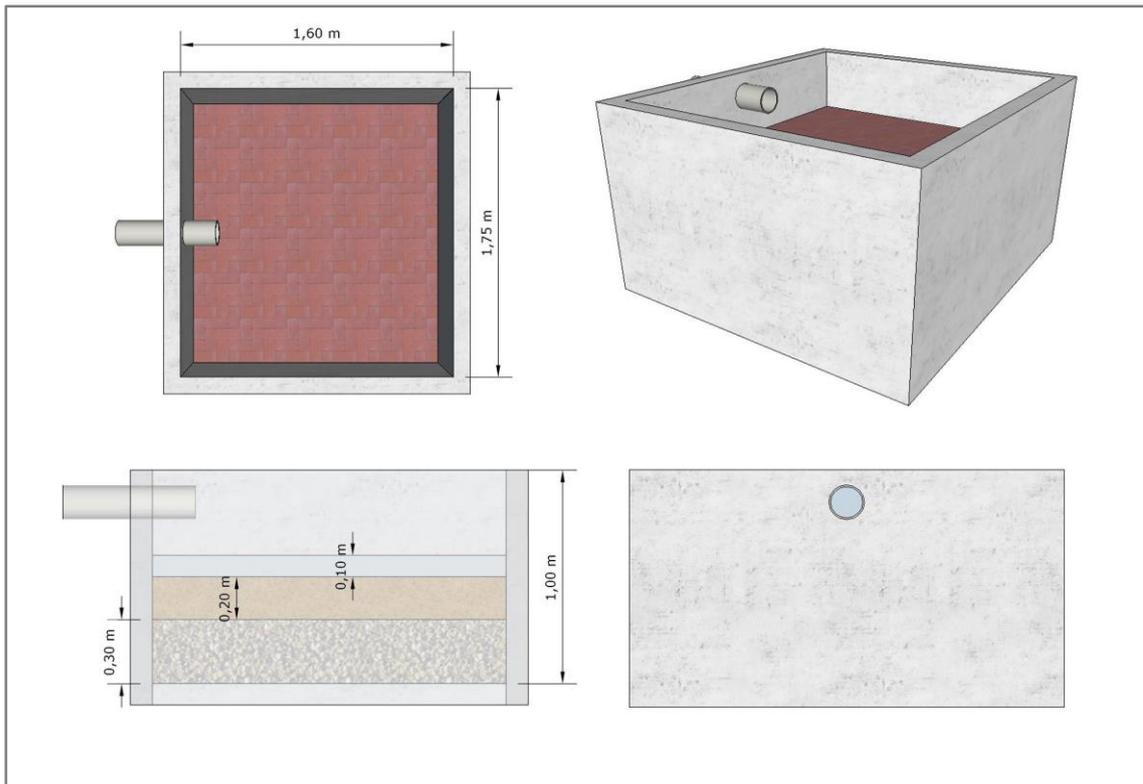


Figura 9-3: Lecho de secado

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.1.13. Porcentajes de remoción

Tabla 13-3: Datos para el cálculo de porcentaje de remoción

Parámetro	Unidad	Valor inicial	Valor final
DBO ₅	mg/L	304	15,67
DQO	mg/L	391,3	26,67
Nitrógeno amoniacal	mg/L	45,5	0,88
Detergentes	mg/L	1,8	1,2
Aceites y grasas	mg/L	37,2	8
Sólidos sedimentables	mg/L	3,16	0,1
Coliformes fecales	UFC/100	1x10 ⁶	65
Turbidez	NTU	156,1	12,45

Fuente: Laboratorio de análisis técnico - ESPOCH, Laboratorio de servicios ambientales - UNACH

Realizado por: Tanya Vega, 2016

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Análisis final} * 100}{\text{Análisis inicial}}$$

Ecuación 75

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - \% \text{ Remoción}$$

a) **Porcentaje de remoción de DBO₅**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{15,67 * 100}{304}$$

$$\% \text{ Remoción} = 5,15\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 5,15\%$$

$$\% \text{ Removido} = 94,85\%$$

b) **Porcentaje de remoción de DQO**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{26,67 * 100}{391,3}$$

$$\% \text{ Remoción} = 6,82\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 6,82\%$$

$$\% \text{ Removido} = 93,18\%$$

c) **Porcentaje de remoción de nitrógeno amoniacal**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{0,88 * 100}{45,5}$$

$$\% \text{ Remoción} = 1,93\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 1,93\%$$

$$\% \text{ Removido} = 98,07\%$$

d) **Porcentaje de remoción de detergentes**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{0,53 * 100}{1,8}$$

$$\% \text{ Remoción} = 29,4 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 29,4 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 70,6 \%$$

e) **Porcentaje de remoción de aceites y grasas**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{8 * 100}{37,2}$$

$$\% \text{ Remoción} = 21,5\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 21,5\%$$

$$\% \text{ Removido} = 78,5\%$$

f) **Porcentaje de remoción de sólidos sedimentables**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{0,1 * 100}{3,16}$$

$$\% \text{ Remoción} = 3,16\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 3,16\%$$

$$\% \text{ Removido} = 96,84\%$$

g) **Porcentaje de remoción de coliformes fecales**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{65 * 100}{1 \times 10^6}$$

$$\% \text{ Remoción} = 6,5 \times 10^{-3}\%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 6,5 \times 10^{-3}\%$$

$$\% \text{ Removido} = 99,9\%$$

h) **Porcentaje de remoción de turbidez**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{12,45 * 100}{156,1}$$

$$\% \text{ Remoción} = 7,97 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 7,97\%$$

$$\% \text{ Removido} = 92,03\%$$

3.2. Resultados

3.2.1. Medición de caudales

Tabla 14-3: Resultados de la medición del caudal.

Hora	Caudal (L/s)						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
6:30	6,33	6,21	6,25	6,22	6,26	6,27	6,25
7:00	6,28	6,19	6,21	6,18	6,24	6,18	6,23
7:30	6,19	6,15	6,16	6,15	6,19	6,22	6,19
8:00	6,13	6,11	6,14	6,12	6,14	6,15	5,91
8:30	5,86	5,42	5,85	5,58	5,65	5,85	5,87
9:00	5,55	5,38	5,54	5,53	5,51	5,72	5,86
9:30	5,42	5,31	5,33	5,42	5,39	5,71	5,68
10:00	5,35	5,41	5,21	5,41	5,51	5,65	5,67
10:30	5,31	5,22	5,42	5,46	5,45	5,68	5,55
11:00	5,28	5,34	5,96	5,75	5,56	5,57	5,52
11:30	6,16	5,35	6,13	6,11	5,35	5,68	5,55
12:00	6,23	6,13	6,14	6,21	6,29	6,15	6,13
12:30	6,31	6,22	6,24	6,22	6,31	6,17	6,15
13:00	6,12	6,29	6,12	6,18	6,28	6,12	6,18
13:30	6,05	5,85	5,43	5,11	5,73	5,51	5,45
14:00	5,32	5,78	5,55	5,78	5,68	5,52	5,32
14:30	5,23	5,86	5,32	5,75	5,55	5,46	5,56
15:00	5,18	5,75	5,37	5,35	5,51	5,58	5,48
15:30	5,25	5,68	5,41	5,43	5,46	5,39	5,45
16:00	5,33	5,55	5,33	5,51	5,35	5,11	5,64
16:30	5,95	5,41	5,35	5,55	5,59	5,22	5,62
17:00	6,14	6,21	6,18	6,11	6,19	6,25	6,11
17:30	6,24	6,28	6,28	6,15	6,21	6,31	6,12
18:00	6,25	6,32	6,29	6,21	6,28	6,33	6,19
Promedio	5,81	5,81	5,80	5,81	5,82	5,83	5,82
Promedio aforo diario	5,81						

Realizado por: Tanya Vega, 2016

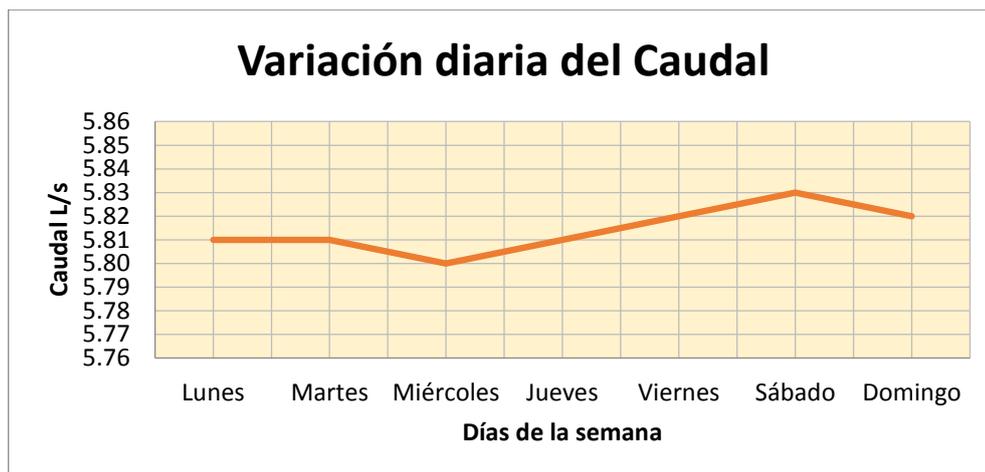


Gráfico 2-3: Caudal semanal del Cantón Archidona

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.2. Tratamientos realizados

Tabla 15-3: Resultados físicos, químicos y microbiológicos después del humedal de los parámetros fuera de los límites permisibles.

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible
pH	Und.	7	Condición natural ± 3
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	211	-
Turbiedad	UNT	14,2	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	38	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	21	100
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0,49	30
Detergentes	mg/L	1,2	0,5
Sólidos Sedimentables	ml/L	0,2	1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	Ausentes	10 000

Fuente: Laboratorio de análisis técnicos – ESPOCH, Laboratorio de servicios ambientales – UNACH.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 16-3: Resultados físicos, químicos y microbiológicos después del tratamiento de los parámetros fuera de los límites permisibles.

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible
pH	Und.	6,9	Condición natural ± 3
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	192	-
Turbiedad	UNT	10,71	-
Aceites y Grasas	mg/L	8	30
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	26,67	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15,67	100
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	1,08	30

Detergentes	mg/L	0,5	0,5
Sólidos Sedimentables	ml/L	0	1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	65	10 000

Fuente: Laboratorio de análisis técnicos – ESPOCH, Laboratorio de servicios ambientales – UNACH.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 17-3: Verificación del cumplimiento de la Normativa Ambiental TULSMA.

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible
pH	Und.	6,9	Condición natural ± 3
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	201,5	-
Turbiedad	UNT	12,45	-
Aceites y Grasas	mg/L	8	30
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	26,67	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15,67	100
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0,88	30
Detergentes	mg/L	0,5	0,5
Sólidos Sedimentables	ml/L	0,1	1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	65	10 000

Fuente: Laboratorio de análisis técnicos – ESPOCH, Laboratorio de servicios ambientales – UNACH.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 18-3: Comparación de los resultados de la caracterización del agua residual inicial con el agua residual tratada.

Parámetro	Unidad	Resultado inicial	Resultado final
pH	Und.	7,57	6,9
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	535,65	201,5
Turbiedad	UNT	156,1	12,45
Aceites y Grasas	mg/L	37,2	8
Detergentes	mg/L	1,8	0,5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	391,3	26,67
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	304	15,67
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	45,5	0,88
Sólidos Sedimentables	ml/L	3,16	0,1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	1×10^6	65

Fuente: Laboratorio de análisis técnicos – ESPOCH, Laboratorio de servicios ambientales – UNACH.

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3. Resultados del dimensionamiento planteado para el tratamiento de aguas residuales

Los resultados obtenidos a partir de los cálculos de diseño para cada unidad de tratamiento se establecen en la siguiente tabla.

3.2.3.1. Población de diseño

Tabla 19-3: Resultados de la población de diseño

Detalle	Abreviatura	Unidad	Valor
Población actual	Pa	hab	11689
Población futura	Pf	hab	23259

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.2. Caudal de diseño

Tabla 20-3: Resultados de los caudales

Detalle	Abreviatura	Unidad	Valor
Caudal medio teórico	Qmed	L/s	28,26
Caudal máximo teórico	Qmax	L/s	72,91
Caudal de infiltración	Qi	L/s	0,4
Caudal medio de diseño	Q	L/s	28,66
Caudal máximo de diseño	QM	L/s	73,31

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.3. Canal de recepción

Tabla 21-3: Resultados del canal de recepción

Detalle	Abreviatura	Unidad	Valor
Base	b	m	0,8
Largo	L	m	6
Espesor	e	cm	20
Altura total	hr	m	0,598
Pendiente	s	m/m	0,0005
Velocidad	v	m/s	0,66

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.4. Rejillas

Tabla 22-3: Resultados de las rejillas

Detalle	Abreviatura	Unidad	Valor
Base	b	m	0,80
Altura total	hr	m	0,598
Número de barras	Nb	-	27
Longitud de los barrotes	L	m	0,78

Espesor	e	mm	10
Separación	S _b	mm	20
Ángulo de inclinación de las barras	Ø	°	50
Área libre entre barra	A _L	m ²	0,04
Pérdida de carga en rejillas	h _c	m	0,076
Área de sección transversal del flujo	A _r	m ²	0,06

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.5. Desengrasador o trampa de grasas

Tabla 23-3: Resultados de la trampa de grasas

Detalle	Abreviatura	Unidad	Valor
Base	b	m	2,185
Longitud	L	m	3,278
Altura	h	m	2
Volumen	V	m ³	14,32
Tiempo de retención	TR	min	8,4
Área superficial	A	m ²	7,165

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.6. Humedal de flujo subsuperficial

Tabla 24-3: Resultados del HFSS

Detalle	Abreviatura	Unidad	Valor
Área superficial	A _S	m ²	14544,3
Ancho	W _H	m	60,3
Largo	L _H	m	241,2
Profundidad	H	m	1
Número de humedales	N ^o	-	4
Volumen	V _{HFL}	m ³	14544,4
Tiempo de retención	TR _H	días	2
Pendiente	S	m/m	0,0005
Profundidad del sustrato	h _{ST}	cm	50
Profundidad grava fina	-	cm	10
Profundidad arena	-	cm	30
Profundidad grava gruesa	-	cm	10

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.7. Canaleta Parshall

Tabla 25-3: Resultados de la canaleta Parshall

Detalle	Abreviatura	Unidad	Valor
Ancho de garganta	W	m	0,3048
Altura del agua en la sección de medición	Ho	m	0,11
Ancho de la sección de medición	D´	m	0,66
Carga hidráulica	Eo	m	0,36
Ángulo de inclinación	Θ_p	°	101,76
Altura del agua antes del resalto	h ₁	m	0,041
Número de Froude	F ₁	-	4,5
Altura de resalto	h ₂	m	0,24
Altura en la sección de salida	h ₃	m	0,087
Tiempo de mezcla	T	s	14

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.8. Sedimentador convencional

Tabla 26-3: Resultados del sedimentador convencional

Detalle	Abreviatura	Unidad	Valor
Zona de entrada (Pared difusora)			
Área total de los orificios	Ao	m ²	0,23
Área de sección circular	Ao	m ²	1,96x10 ⁻³
Número de orificios	No	-	117
Zona de sedimentación			
Longitud total	L _T	m	4
Base	b	m	3
Profundidad	h	m	1,8
Velocidad de sedimentación	v _s	m/s	2,86 x10 ⁻³ m/s
Área superficial	As	m ²	8
Volumen del tanque	Vol	m ³	12
Periodo de retención	P _{RH}	min	8,7

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.9. Filtro dual con medios múltiples

Tabla 27-3: Resultados del Filtro dual con medios múltiples

Detalle	Abreviatura	Unidad	Valor
Número de filtros	nf	-	3
Área	Af	m ²	65,5
Coefficiente mínimo de costo	K	-	1,5

Longitud	l	m	9,9
Base	b	m	6,6
Altura del lecho filtrante	H _{LF}	m	0,9
Altura del filtro	Z _f	m	3,3
Área de los orificios laterales del sistema de drenaje	A _o	m ²	1,25x10 ⁻⁵
Número de laterales	N _L	-	11
Diámetro de la tubería de entrada al filtro	D _T	m	0,077
Diámetro de la tubería de salida del filtro	D _{TS}	m	0,1

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.10. Lechos de secado

Tabla 28-3: Resultados de los lechos de secado

Detalle	Abreviatura	Unidad	Valor
Carga de sólidos que ingresan al sedimentador	C	Kg SS/día	60
Masa de sólidos	Msd	Kg SS/día	19,5
Volumen diario de lodos	Vld	L/día	187,5
Volumen de lodos a extraerse	Vel	m ³	5,6
Área del lecho de secado	Als	m ²	5,6
Ancho del lecho de secado propuesto	b	m	1,6
Altura del lecho de secado	h	m	1
Longitud	l	m	1,75

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.11. Porcentajes de remoción de los parámetros fuera de la Normativa Ambiental (TULSMA)

Tabla 29-3: Porcentajes de remoción.

Parámetro	Porcentaje removido (%)
Demanda Química de Oxígeno	93,18
Demanda Bioquímica de Oxígeno	94,85
Nitrógeno Amoniacal	98,07
Grasas y aceites	78,5
Detergentes	70,6
Sólidos Sedimentables	96,84
Coliformes fecales	99,9
Turbiedad	92,03

Realizado por: Tanya Vega, 2016

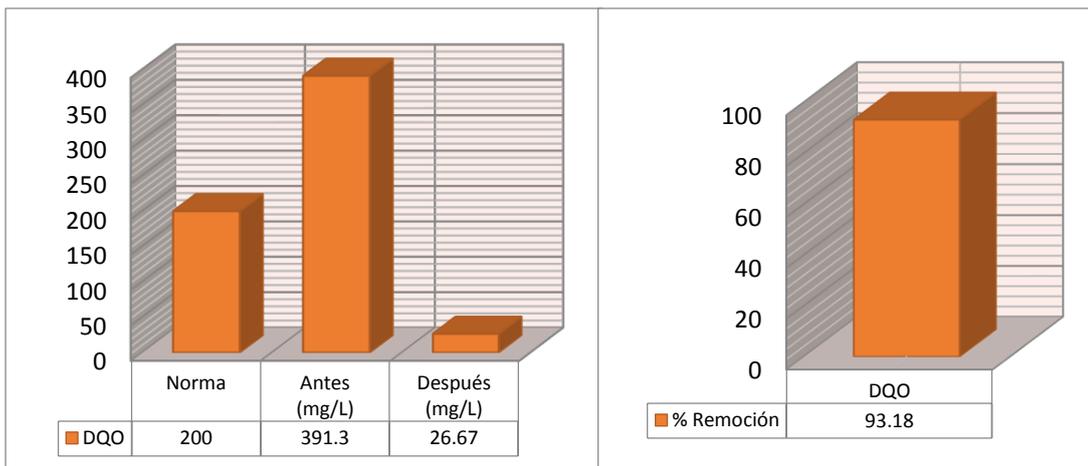


Gráfico 3-3: Porcentaje de remoción de DQO

Realizado por: Tanya Vega, 2016

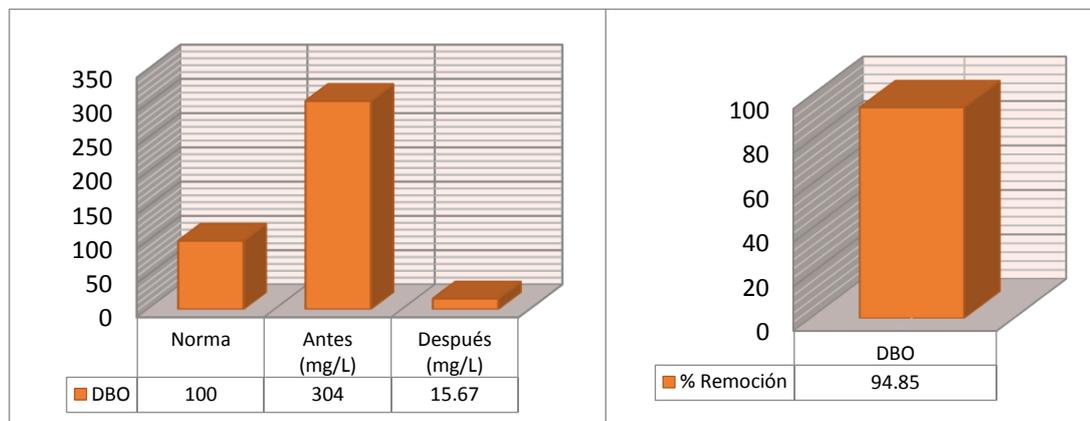


Gráfico 4-3: Porcentaje de remoción de DBO

Realizado por: Tanya Vega, 2016

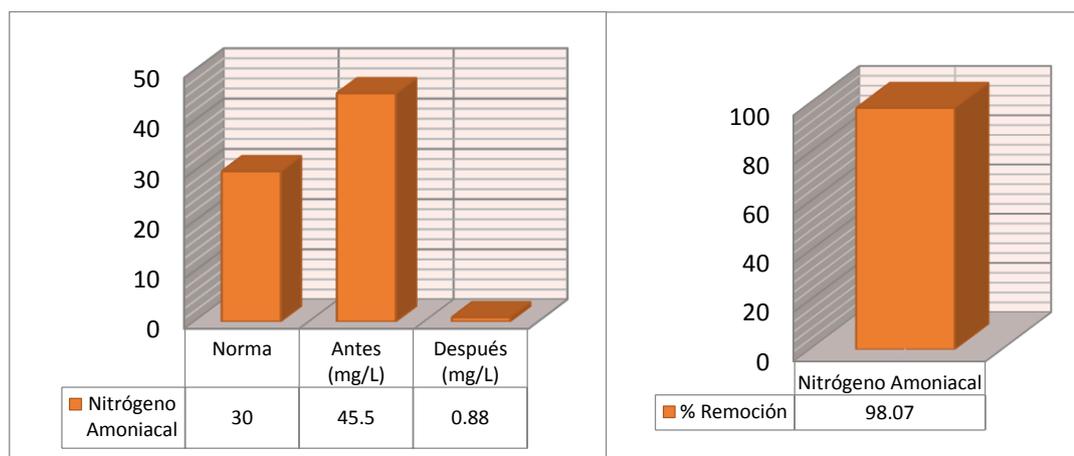


Gráfico 5-3: Porcentaje de remoción de Nitrógeno amoniacal

Realizado por: Tanya Vega, 2016

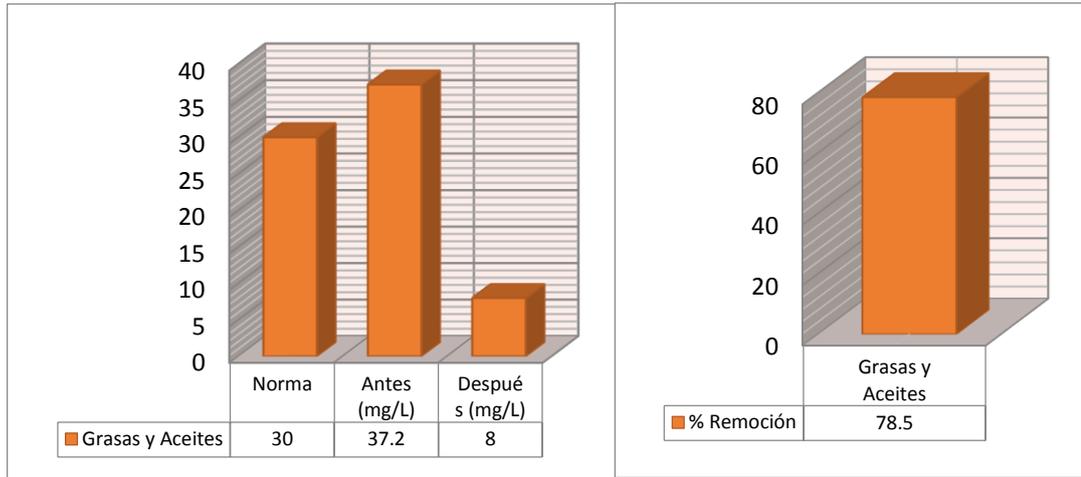


Gráfico 6-3: Porcentaje de remoción de grasas y aceites

Realizado por: Tanya Vega, 2016

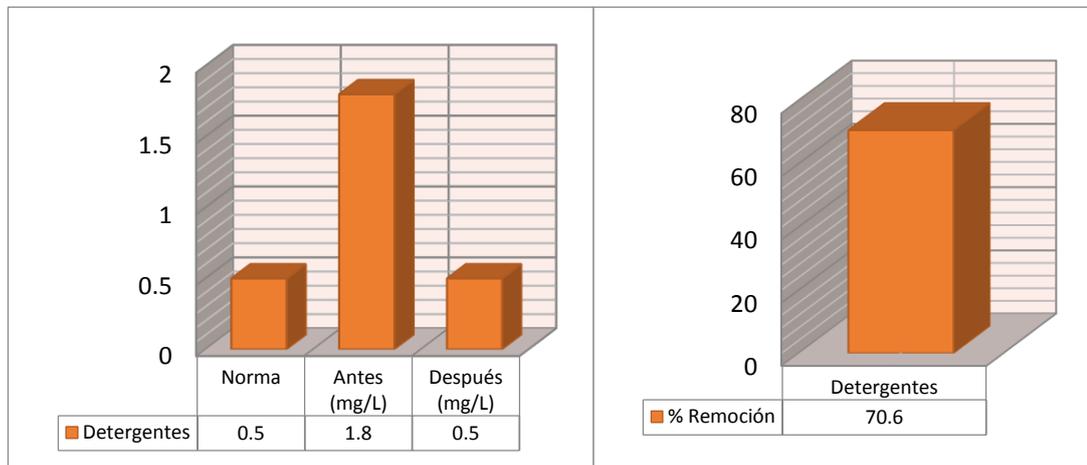


Gráfico 8-3: Porcentaje de remoción de detergentes

Realizado por: Tanya Vega, 2016

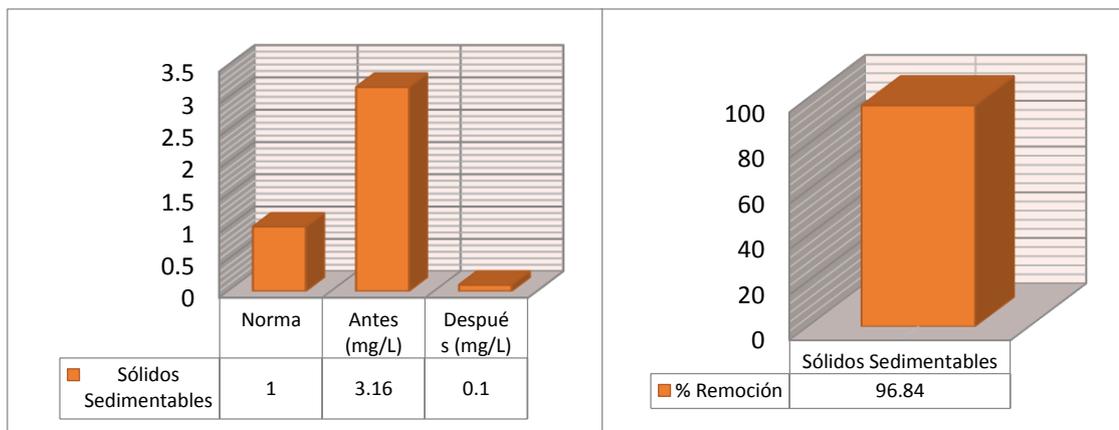


Gráfico 7-3: Porcentaje de remoción de sólidos sedimentables

Realizado por: Tanya Vega, 2016

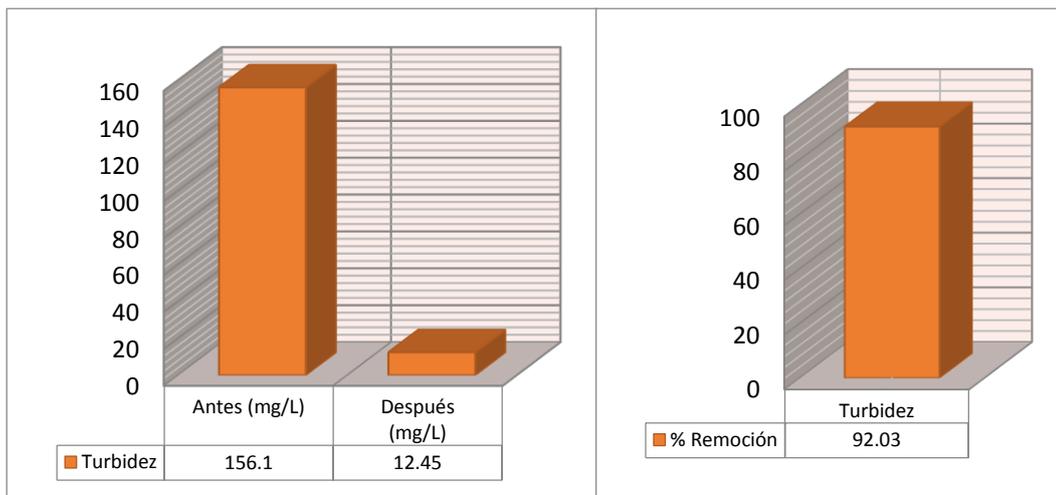


Gráfico 9-3: Porcentaje de remoción de turbidez

Realizado por: Tanya Vega, 2016

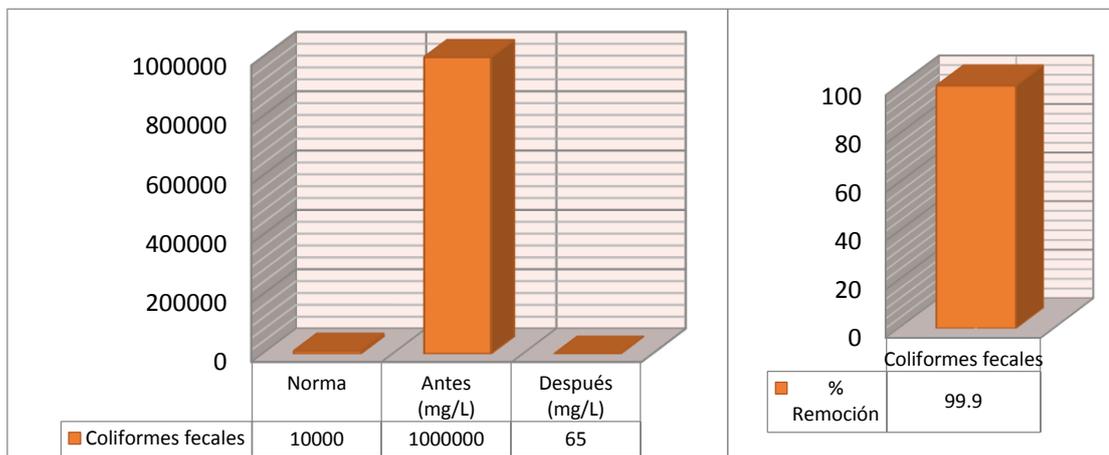


Gráfico 10-3: Porcentaje de remoción de coliformes fecales

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.2.3.12. Análisis de costos

➤ Costo Civil de la obra

Tabla 30-3: Costo civil de la obra (Canal de recepción)

Canal de recepción				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Excavación a Máquina	m ³	6,13	1,69	10,36
Hormigón simple f'c= 210 kg/cm ² y encofrado	m ³	1,64	202,28	331,74
Enlucido interior con impermeabilizante	m ²	12,93	7,91	102,28

Malla Electrosoldada 6 mm de 15x15 cm	m ²	8,01	1,16	9,29
Tubería PVC 110 mm y accesorios	ml	2,50	5,46	13,65
			TOTAL	467,32

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 31-3: Costo civil de la obra (Rejillas)

Rejilla separador de sólidos				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Suministro e instalación de rejilla según diseño	-	1,00	85,55	85,55
			TOTAL	85,55

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 32-3: Costo civil de la obra (Desengrasador)

Desengrasador o trampa de grasas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Excavación a Máquina	m ³	15,55	1,69	26,28
Hormigón simple f'c= 210 kg/cm ² y encofrado	m ²	6,52	202,28	1 318,87
Enlucido interior con impermeabilizante	m ²	54,54	7,91	431,41
Malla Electrosoldada 6 mm de 15x15 cm	m ²	31,44	1,16	36,47
Tubería PVC 110 mm y accesorios	ml	3,20	5,46	17,47
			TOTAL	1 830,5

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 33-3: Costo civil de la obra (HFSS)

Humedal de flujo subsuperficial				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Excavación a Máquina	m ³	17.569,20	1,69	29 691,95
Desalojo de Material sin clasificar	m ³	17.569,20	0,20	3 513,84
Suministro e instalación de Geomembrana	m ²	2.315,52	7,68	17 783,19
Tubería PVC 110 mm+ accesorios	ml	1.448,00	5,46	7 906,08
Suministro y colocación Grava Gruesa	m ³	1.454,44	9,70	14 108,07
Suministro y colocación Grava Fina	m ³	1.554,44	9,70	15 078,07

Suministro y colocación Arena	m ³	4.363,31	10,33	45 072,99
			TOTAL	133 154,19

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 34-3: Costo civil de la obra (Canaleta Parshall)

Canaleta Parshall				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Excavación a Máquina	m ³	4,74	1,69	8,01
Desalojo de Material	m ³	4,74	0,20	0,95
Hormigón simple f'c= 210 kg/cm ² con encofrado	m ³	3,25	202,28	657,41
Enlucido Interior con impermeabilizante	m ²	16,22	7,91	128,30
Malla Electrosoldada 6 mm de 15x15 cm	m ²	11,44	1,16	13,27
Tubería PVC 110 mm y accesorios	ml	3,00	5,46	16,38
			TOTAL	824,32

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 35-3: Costo civil de la obra (Sedimentador)

Sedimentador convencional				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Excavación a Máquina	m ³	23,34	1,69	39,44
Hormigón simple f'c= 210 kg/cm ² con encofrado	m ³	11,07	202,28	2 239,24
Enlucido Interior con impermeabilizante	m ²	55,35	8,35	462,17
Compuerta de Acero inoxidable (según diseño orificios 0.05 m)	-	1,00	105,54	105,54
Malla Electrosoldada 6 mm de 15x15 cm	m ²	34,85	1,16	40,43
Tubería PVC 110 mm y accesorios	ml	1,00	5,46	5,46
			TOTAL	2 892,28

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 36-3: Costo civil de la obra (Lechos de secado)

Lecho de secado				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Excavación a Máquina	m ³	8,60	1,69	14,53
Hormigón simple f'c= 210 kg/cm ² con encofrado	m ³	5,04	202,28	1 019,49

Malla Electrosoldada 6 mm de 15x15 cm	m ²	16,60	1,16	19,26
Suministro y colocación de Ladrillo	m ²	8,60	4,53	38,96
Suministro y colocación de Arena	m ³	1,72	11,26	19,37
Suministro y colocación de Grava	m ³	2,58	10,00	25,80
Tubería PVC 110 mm y accesorios	ml	6,50	5,46	35,49
			TOTAL	1 172,9

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 37-3: Costo civil de la obra (Filtro dual)

Filtro dual con medios múltiples				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Excavación a Máquina	m ³	713,79	1,69	1 206,31
Hormigón simple f'c= 210 kg/cm ² con encofrado	m ³	110,18	7,91	871,52
Enlucido Interior con impermeabilizante	m ²	550,92	7,91	4 357,78
Malla Electrosoldada 6 mm de 15x15 cm	m ²	334,62	1,16	388,16
Tubería PVC 110 mm+ accesorios	ml	12,00	5,46	65,52
Tubería PVC perforada + accesorios	ml	118,80	13,33	1 583,60
Suministro y colocación de Grava	m ³	88,21	10,69	942,96
Suministro y colocación de Arena	m ³	58,81	10,46	615,15
Suministro y Colocación de Carbón	m ³	88,21	6,25	551,31
			TOTAL	10 582, 31

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 38-3: Costo civil de la obra (Total)

Descripción	Costo
Canal de recepción	467,32
Rejillas	85,55
Desengrasador	1 830,5
Humedales	133 154,19
Canaleta Parshall	824,32
Sedimentador	2 892,28
Lechos de secado	1 172,9
Filtros	10 582,31
TOTAL	151 009,37

Realizado por: Tanya Vega, 2016

➤ **Costos Operativos**

Tabla 39-3: Costos operativos de la obra (Pasto Alemán)

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Echinochloa polystachya	m ²	14 544, 3	0,05	727,22
TOTAL				727,22

Realizado por: Tanya Vega, 2016

Tabla 40-3: Costos operativos de la obra (PAC)

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Policloruro de aluminio	Kg/día	3,96	8,40	33,26
TOTAL				33,26

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.3. Propuesta

Se presenta un Diseño del Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el Cantón Archidona de la Provincia de Napo, el mismo que consta de los siguientes procesos:

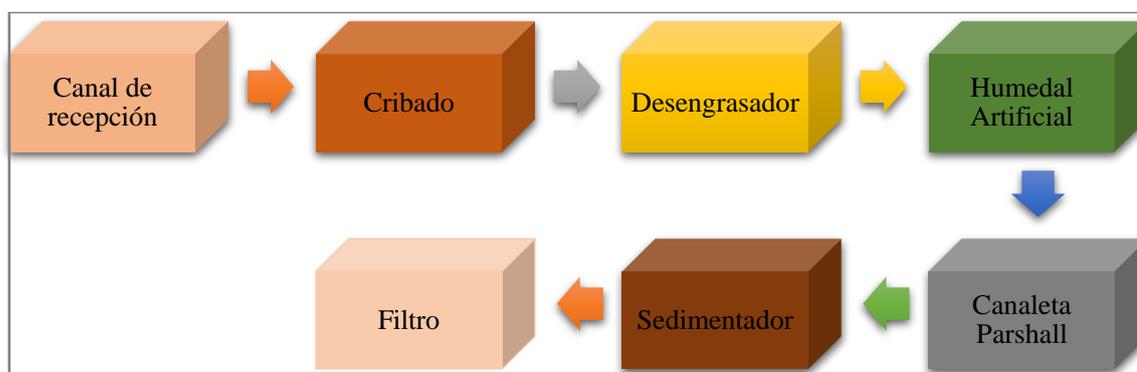


Gráfico 11-3: Propuesta del Diseño de un Sistema de tratamiento

Realizado por: Tanya Vega, 2016

3.4. Análisis y discusión de resultados

En la caracterización físico-química y microbiológica que se realizó al agua residual del Cantón Archidona, se obtuvo los siguientes resultados: Demanda Química de Oxígeno (DQO) 391,3 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 304 mg/L, Aceites y Grasas 37,2 mg/L, Nitrógeno Amoniacal 45,5 mg/L, Tensoactivos 1,8 mg/L, Sólidos Sedimentables 3,16 mg/L, Coliformes Fecales 1×10^6 UFC/100 ml, mismos que están fuera de los límites permisibles que

se especifican dentro de las normas del Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULSMA). (Ver tablas 18-2, 19-2)

Con la aplicación del humedal de flujo subsuperficial, se reduce un 93,1 % de DBO y un 90,3 % de DQO. Además se hizo necesario la aplicación de policloruro de aluminio (PAC) para reducir los tensoactivos aun presentes después del humedal.

Al finalizar la aplicación de todo el tratamiento se alcanzó resultados favorables al cumplir con los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce de la normativa TULSMA, teniendo así: DQO 26,67 mg/L, DBO 15,67 mg/L, Aceites y Grasas 8 mg/L, Nitrógeno Amoniacal 1,08 mg/L, Tensoactivos 0,5 mg/L, Sólidos Sedimentables 0,1 mg/L, y Coliformes Fecales 65 UFC/100 ml. (Ver Tablas 16-3, 17-3)

Los porcentajes de remoción al concluir el tratamiento son los siguientes: DQO 93,18%, DBO 94,85%, Aceites y Grasas 78,5%, Nitrógeno Amoniacal 98,07%, Tensoactivos 70,6%, Sólidos Sedimentables 96,84%, Coliformes Fecales 99,9%, Turbiedad 92,03%, confirmando con estos resultados la fiabilidad del tratamiento. (Ver tabla 29-3)

Para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de Aguas Residuales se establecieron los siguientes criterios de diseño, obteniendo los siguientes resultados:

➤ **Población de diseño**

Para la determinación de la población futura se empleó el método geométrico. Para ello se consideró un periodo de diseño de 20 años con una tasa de crecimiento anual del 3,5 % la población futura correspondiente al Cantón Archidona es de 23259 en el año 2036.

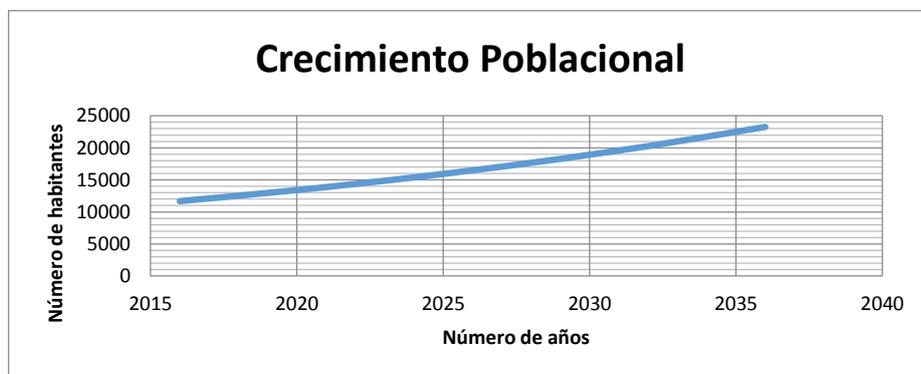


Gráfico 12-3: Crecimiento Poblacional del Cantón Archidona

Realizado por: Tanya Vega, 2016

➤ **Medición de caudal**

La medición de los caudales se llevó a cabo durante siete días consecutivos, desde el lunes hasta el domingo de 7h00 am a 18h00 pm con un intervalo de media hora, empleando para este fin el método del flotador, obteniendo un caudal promedio de aforo de 5,81 L/s. (Ver tabla 14-3)

Para la determinación del caudal de diseño se consideró la dotación de agua potable por habitante, el coeficiente de retorno que es el porcentaje de agua potable usada y que no es devuelta al alcantarillado, y la población futura. Se tiene entonces un caudal medio de diseño de 28,66 L/s y un caudal máximo de diseño de 73,31 L/s, sabiendo que estos caudales se tendrán después de 20 años.

Dimensionamiento de las unidades físicas

Para dimensionar la Planta de Tratamiento de aguas residuales del Cantón Archidona, se tomó en cuenta los resultados de los análisis obtenidos en el laboratorio, la medición de los caudales, población y fundamentación teórica.

Cabe recalcar que todas las unidades a excepción de los humedales artificiales y rejillas, serán construidas con hormigón; además el ingreso y salida del agua será mediante tuberías de PVC. El sistema de tratamiento propuesto para el Cantón Archidona se expone a continuación.

➤ **Canal de llegada**

El canal de recepción es de forma rectangular y con una pendiente hidráulica de 0,0005 m/m. El objetivo de esta unidad es recibir el agua residual que llega directamente del alcantarillado con una velocidad de 0,66 m/s, cuenta con una base de 0,80 m, una altura total de 0,598 m para evitar desbordes y una longitud de 6 m. (Ver tabla 21-3)

➤ **Rejillas**

Se diseñó una rejilla de limpieza manual hecha de metal y constituida por 27 barrotes; su objetivo es retener sólidos de mayor tamaño por ello está ubicada a 0,5 m de la entrada del canal de recepción con un ángulo de 50° con respecto a la horizontal. Por estar ubicada en el canal ésta tendrán el mismo ancho y longitud. (Ver tabla 22-3)

➤ **Desengrasador o trampa de grasas**

El desengrasador también conocido como trampa de grasas se diseñó debido a la presencia de grasas y aceites superiores al límite permitido. Estará ubicada después del canal de recepción, con unas dimensiones de 2,185 m de ancho, una longitud de 3,278 m, una profundidad de 2 m y una altura de seguridad de 0,3 m. (Ver tabla 23-3)

➤ **Humedales de Flujo Subsuperficial**

Se diseñaron cuatro humedales para tener una mejor depuración del agua residual proveniente de las unidades antes mencionadas. La remoción de la carga contaminante en los humedales será mediante el uso de plantas de pasto alemán, por ser propias del área de estudio y ser conocidas por su eficiencia en este tipo de tratamientos. Los HFSS presentarán una profundidad de 1 m, una base de 60,3 m y una longitud de 60,3 m con un tiempo de retención de 2 días. (Ver tabla 24-3)

El revestimiento del suelo se hará con una geomembrana de PVC de 0,5 mm de espesor en la cual se distribuirá el sustrato donde se sembrarán las macrofitas a usar, éste tendrá un espesor de 50cm y consta de grava gruesa en la parte inferior, grava fina en la parte media y arena en la parte superior, el espesor de cada una es 10 cm, 10 cm y 30 cm respectivamente; y su distribución se realizará con tuberías de múltiples entradas. (Ver tabla 14-1, figura 9-1)

➤ **Canaleta Parshall**

Se diseñó la canaleta Parshall con el fin de que sirva como punto de aplicación de 3,19 L/día de coagulante de policloruro de aluminio (PAC) en la turbulencia que se forma en la misma y así lograr la disminución de la carga contaminante de los detergentes aun presentes después del tratamiento en los humedales.

Sus dimensiones se obtienen a partir del caudal calculado, teniendo así un ancho de garganta de 12" que es el punto de partida para conocer el resto de medidas estandarizadas para este tipo de canaletas y el tiempo de mezcla será de 14 segundos. (Ver tablas 25-3, 18-1, 19-1)

➤ **Sedimentador convencional**

El sedimentador será de forma rectangular y con una pendiente en el fondo de 9° con flujo horizontal. Éste dispone de cuatro zonas bien diferenciadas que son: zona de entrada, de

sedimentación, de recolección de lodos y salida. Su finalidad es sedimentar los flóculos de detergentes que se forman gracias a la dosificación del PAC en la unidad anterior. Cuenta con dimensiones de una base de 3 m, una profundidad de 1,8 m, y longitud total de 4 m con un periodo de retención de 8,7 minutos.

➤ **Filtro dual con medios múltiples**

El diseño de este filtro consta de tres componentes que son carbón, arena y grava. Su objetivo es eliminar olores desagradables y clarificar el agua proveniente del sedimentador para ser vertida a un cuerpo receptor. De acuerdo al caudal se consideró utilizar tres filtros para su adecuada operación y mantenimiento, estos presentarán medidas de longitud 9,9 m, una base de 6,6 m, una altura de 3,3 m, y una altura del lecho filtrante de 0,9 m. (Ver tabla 27-3)

La distribución y drenaje del agua al filtro se hará mediante tuberías de diámetro a la entrada y salida de 0,077 m y 0,1 m, respectivamente.

➤ **Lechos de secado**

El diseño de los lechos de secado tiene un área de 11,2 m³ para un volumen de 187,5 L/día y una carga de 60 Kg SS/día, se dispondrá de 2 lechos para mayor facilidad de manejo de los mimos y su retiro se hará en un periodo de 30 días y la cantidad extraída es de 5,6 m³. (Ver tabla 28-3)

Los lodos se secarán de forma natural, y el material en el fondo del tanque está compuesto de ladrillo, arena y grava, siendo su finalidad filtrar algún residuo de agua presente en los lodos.

CONCLUSIONES

- Se diseñó un Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el efluente generado por la población del Cantón Archidona, con la finalidad de evitar problemas de salubridad pública y medio ambiental, debido a que ésta no tenía una depuración previa antes de su vertido al río Misahuallí.
- Se caracterizó físico-química y microbiológicamente el agua residual proveniente del Cantón Archidona para conocer la concentración de carga contaminante e identificar los parámetros fuera de norma presente en las mismas, basándose en el TULSMA, LIBRO VI, ANEXO I, TABLA 10 límites de descarga aun cuerpo de agua dulce, obteniendo los siguientes valores: DQO 391,3 mg/L, DBO 304 mg/L, Aceites y Grasas 37,2 mg/L, Nitrógeno Amoniacal 45,5 mg/L, Tensoactivos 1,8 mg/L, Sólidos Sedimentables 3,16 mg/L, Coliformes Fecales 1×10^6 UFC/100 ml.
- El dimensionamiento de la planta de tratamiento se realizó de acuerdo a criterios de guías de diseño, bibliografías y ecuaciones sugeridas en normas para el tratamiento de aguas residuales. A partir del caudal de diseño máximo y medio proyectado para un periodo de 20 años y considerando un área total de 2 hectáreas, se desarrolló los cálculos de ingeniería necesarios para diseñar el Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el Cantón Archidona de la Provincia de Napo que consta de los siguientes procesos: un canal de recepción, un desengrasador, cuatro humedales usando pasto alemán, una canaleta Parshall, un sedimentador convencional, y tres filtros duales de medios múltiples. Los procesos mencionados fueron eficientes para disminuir la carga contaminante presente en las aguas residuales del cantón Archidona.
- El dimensionamiento del Sistema de Tratamiento propuesto se validó mediante la experimentación y caracterización físico-química y microbiológica del agua residual al final del tratamiento, obteniendo como resultado una disminución considerable de los parámetros fuera de norma mencionados con anterioridad, siendo sus resultados los siguientes: DQO 26,67 mg/L, DBO 15,67 mg/L, Aceites y Grasas 8 mg/L, Nitrógeno Amoniacal 1,08 mg/L, Tensoactivos 0,5 mg/L, Sólidos Sedimentables 0,1 mg/L, y Coliformes Fecales 65 UFC/100 ml, cumpliendo de esta manera con lo mencionado en el TULSMA, LIBRO VI, ANEXO I, TABLA 10 límites de descarga aun cuerpo de agua dulce

➤ El costo de construcción e implementación de la Planta de tratamiento es de \$ 151 009,37 (ciento cincuenta y un mil nueve dólares con treinta y siete centavos) que implica operaciones desde la excavación del terreno hasta el funcionamiento del sistema, para ello se ha considerado los resultados del dimensionamiento de cada proceso y valores actuales de los materiales con el fin de obtener un análisis preciso de los costos. Además se determinó los costos operativos de la obtención de las plantas con un precio de \$727, 22 (setecientos veinte y siete dólares con veinte y dos centavos) el mismo que se volverá a invertir después de cinco años que es el tiempo estimado de vida útil del pasto alemán; y del coagulante PAC \$33,26 (treinta y tres dólares con veinte y seis centavos) que representa su inversión diaria dentro del planta.

RECOMENDACIONES

- La limpieza manual de las rejillas deberá ser frecuente para evitar la acumulación de cantidades significativas de sólidos.
- Se recomienda un adecuado manejo y retiro de las grasas que se acumulan en el desengrasador con el fin de no provocar olores desagradables por su descomposición.
- En los humedales se recomienda hacer una inspección mensual para observar que no exista proliferación de mosquitos causantes de enfermedades.
- La dosificación del PAC deberá hacerse cuidadosamente con la cantidad calculada para evitar que el agua pueda contaminarse por la presencia de este producto o no formar los flóculos adecuados de tensoactivos para su sedimentación.
- Se recomienda que los lodos acumulados en los filtros sean colocados en los lechos de secado para su tratamiento, mientras que la capa extraída de arena durante el raspado sea lavada las veces necesarias para volver a ser usada.
- Los lodos resultantes de la limpieza del sedimentador deberán ser tratados mediante una deshidratación por exposición al ambiente para ser utilizados como abono en la agricultura.
- Controlar que los parámetros sigan cumpliendo con la normativa TULSMA mediante análisis físico- químico y microbiológico de manera periódica.

BIBLIOGRAFÍA

APHA,AWWA Y WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater.* 22ª ed. Washington, D.C.:Díaz de Santos S.A., 1992, pp. 14,17,19,58-60,120,121

BEDOYA, Juan; et al. "Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia". *UAEM redalyc.org* [en línea], 2014, (México) 30 (3), p. 280 [Consulta: 22 diciembre 2015.] ISSN 0188-4999. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37031522004>.>

BÓDALO, Antonio; et al. *Química en Murcia. 50 Aniversario de los colegios de químicos de España.* Murcia-España : Universidad de Murcia, 2002, p. 126.

CARPÍO, Estefanía. Análisis de fitorremediación de dos plantas nativas del oriente ecuatoriano para tratamiento de aguas grises y negras en humedales artificiales en el campamento AMO 1, bloque 16. [en línea] (Tesis Doctoral) Universidad de las Americas, Ecuador. 2013. p. 26 [Consulta: 31 enero 2016]. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2264>.

CENTA. *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas.* Andalucía-España : Ideasmares, 2008, pp. 22,23,39-43,152.

DELGADILLO, Oscar; et al. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Cochabamba-Bolivia : COV-AGUA, 2010, pp. 14,53,54,56,59,60,62.

DELGADILLO, Angélica; et al. "Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación". *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [en línea], 2011, (México) 14 (1), p. 598. [Consulta: 31 enero 2016]. ISSN 1870-0462. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002

ESPIGARES, M. *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas.* 2ª ed. Granada-España : Universidad de Granada, 1985, p. 26.

GARCÍA, Joan; CORZO, Angélica. *Depuración con humedales costruidos . Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial.* Catalunya-España: Aigües de Catalunya S.A., 2008, pp. 2, 3, 9.

MANAHAN, Stanley. *Introducción a la Química Ambiental.* México D.F.- México : Reverté S.A., 2007, pp. 209-210.

METCALF Y EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales.* 3ª ed. Madrid-España : McGraw Hill, 1995, pp. 41-95.

OROZCO, Carmen; et al. *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química.* Madrid-España : Paraninfo S.A., 2011, p. 66.

RAMALHO, R. *Tratamiento de Aguas residuales.* Barcelona-España : Reverté S.A., 1996, p. 585.

RAMOS, Raudel; et al. *El agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis.* Baja California-EE.UU.: Plaza y Valdés S.A. de C.V., 2002, pp. 13,42,43.

RAS. 2000. *Título D.* Colombia : s.n., 2000, p. 35, 37.

Romero, Jairo. 2008. *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño.* 3ra ed. Bogotá-Colombia : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008, pp. 67,71,74,23,706,707

SAINZ, Juan. *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales.* Madrid-España : Fundación EOI, 2007, p. 38.

TORRES, Patricia. "Perspectivas del Tratamiento anaerobio de Aguas Residuales domésticas en países en desarrollo". *Revista EIA* [en línea], 2012, (Medellín) 1 (18), p. 118 [Consulta: 04 enero 2016]. ISSN 1794-1237. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372012000200010.

TRAPOTE, Arturo. *Depuración de aguas resicuales urbanas.* Alicante-España : Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2013, pp. 15,21.

TULSMA. *Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.* Quito-Ecuador : s.n., 2015, pp. 80,98,99.

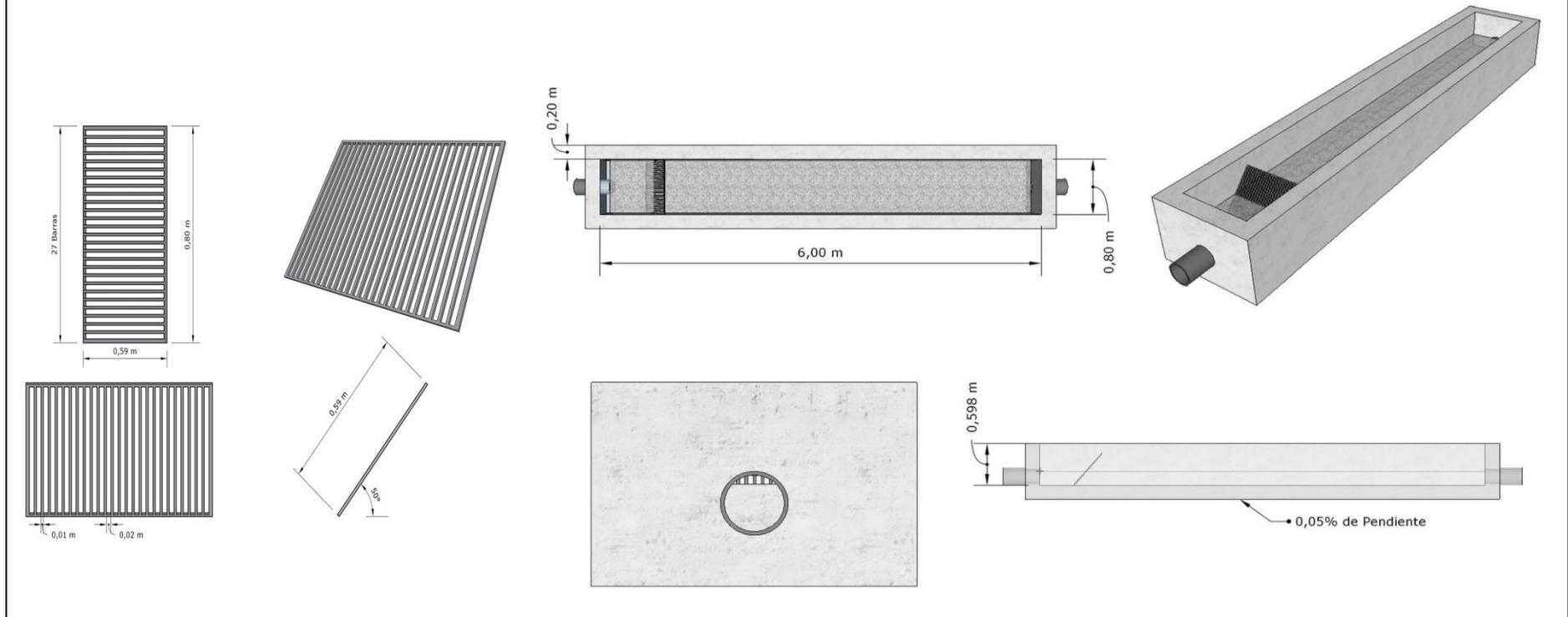
UNATSABAR. *Especificaciones Técnicas para el diseño de Trampa de Grasa.* Lima-Perú : s.n., 2003, p. 10.

UTPL. *Guía para la selección de Tecnologías de Depuración de Aguas Residuales por Métodos Naturales.* Loja-Ecuador : Universidad Técnica Particular de Loja, 2010, pp. 5-8.

VINUEZA, Jenn. *Determinación de la Demanda Química de Oxígeno.* [en línea]. Quito, 19 de Octubre de 2015. [Consulta: 29 diciembre 2015]. Disponible en: <<https://www.clubensayos.com/Ciencia/DETERMINACION-DE-LA-DEMANDA-QUIMICA-DE-OXIGENO/2868232.html>>

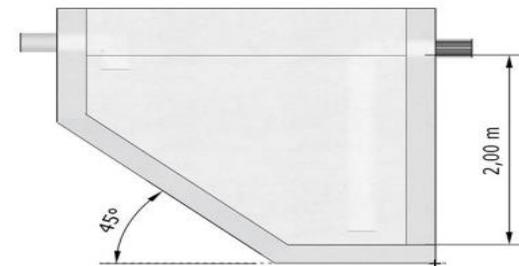
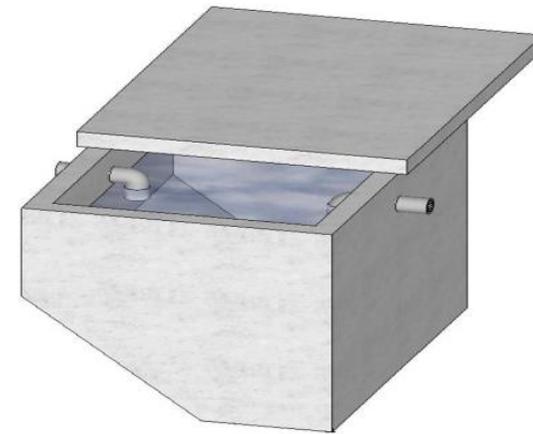
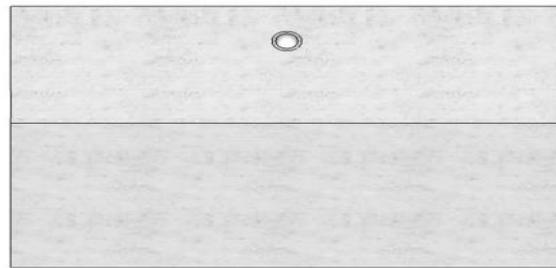
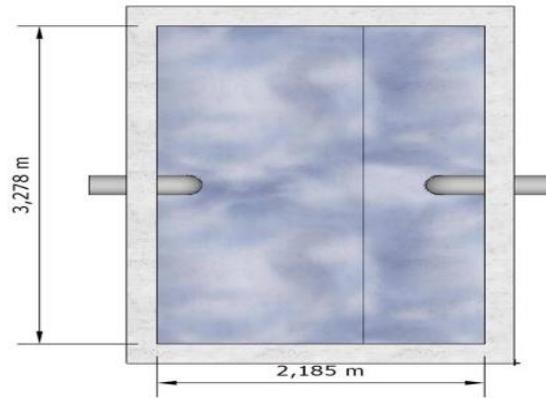
ANEXOS

Anexo A.



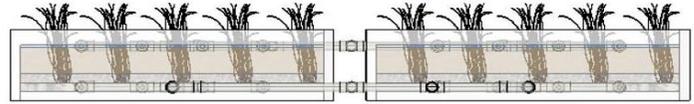
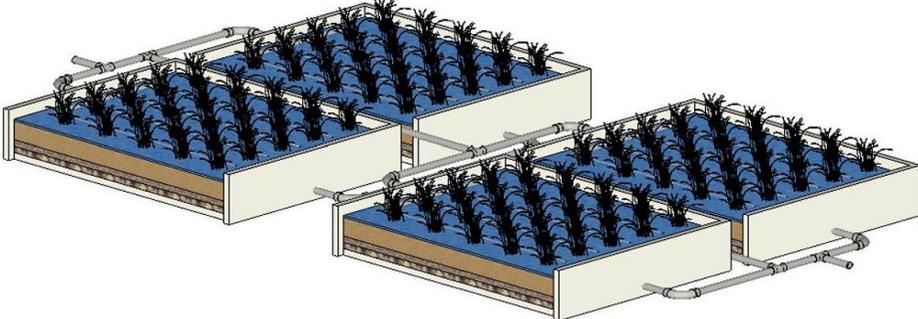
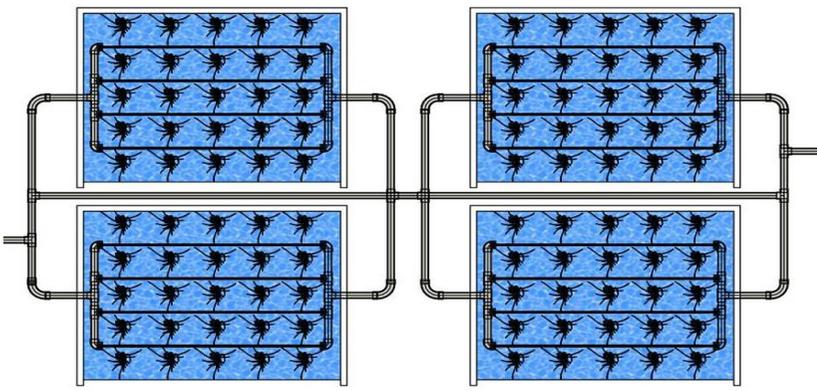
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	REJILLAS METÁLICAS Y CANAL DE RECEPCIÓN		
Dimensión de las rejillas metálicas y canal de recepción de agua.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		1A	A4	25/05/2016

Anexo B.



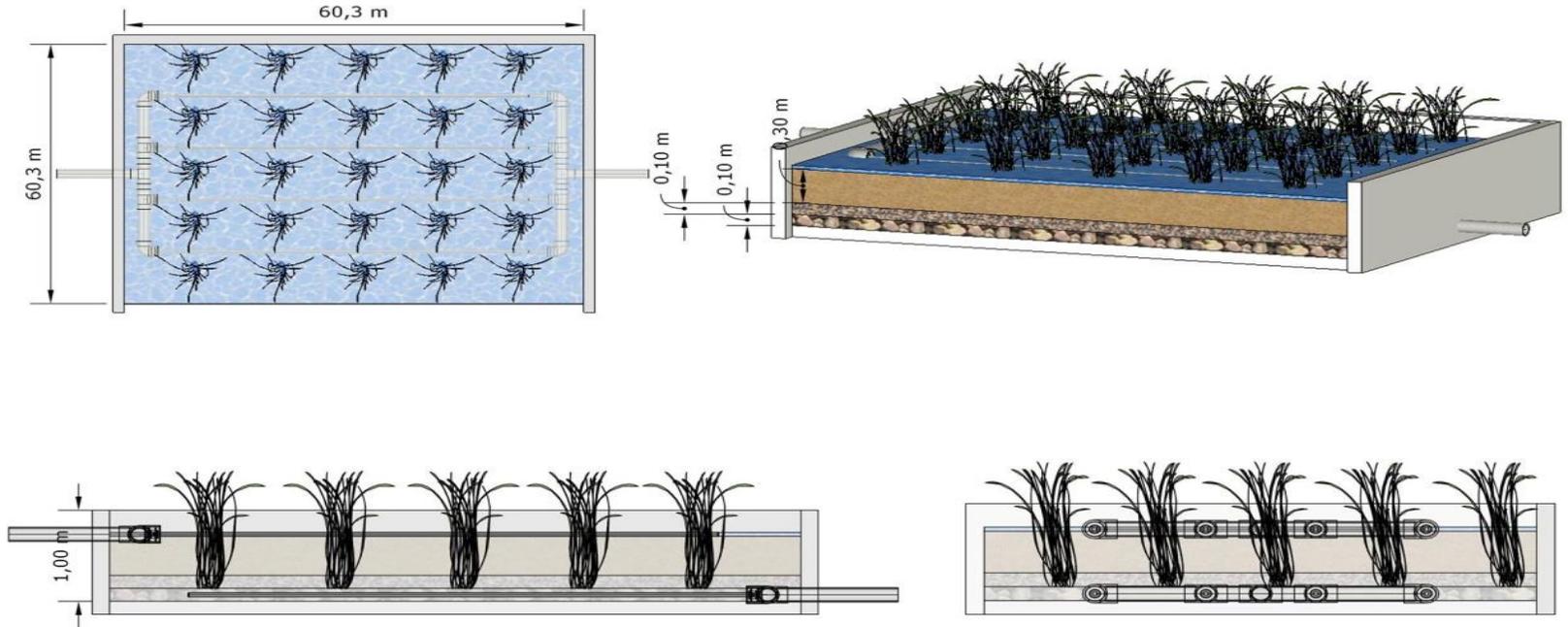
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DESENGRASADOR O TRAMPA DE GRASAS		
Dimensiones del desengrasador o trampa de grasas.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		2A	A4	25/05/2016

Anexo C.



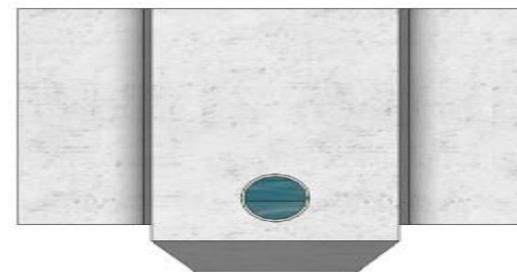
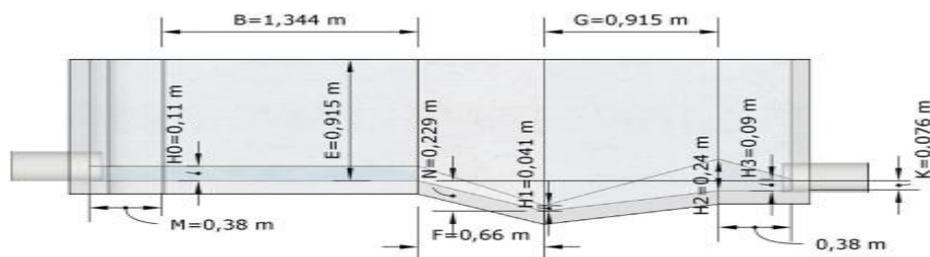
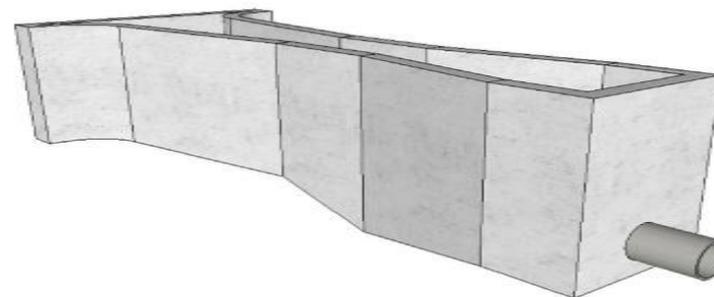
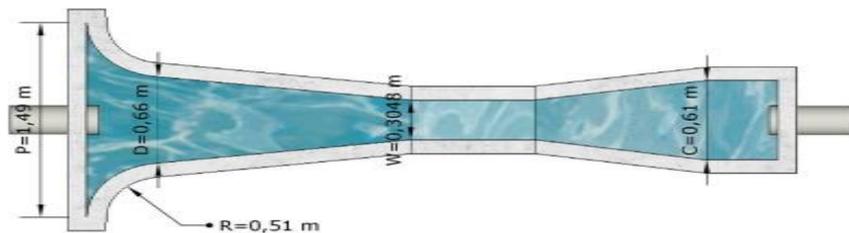
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL		
Distribución de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		3A	A4	25/05/2016

Anexo D.



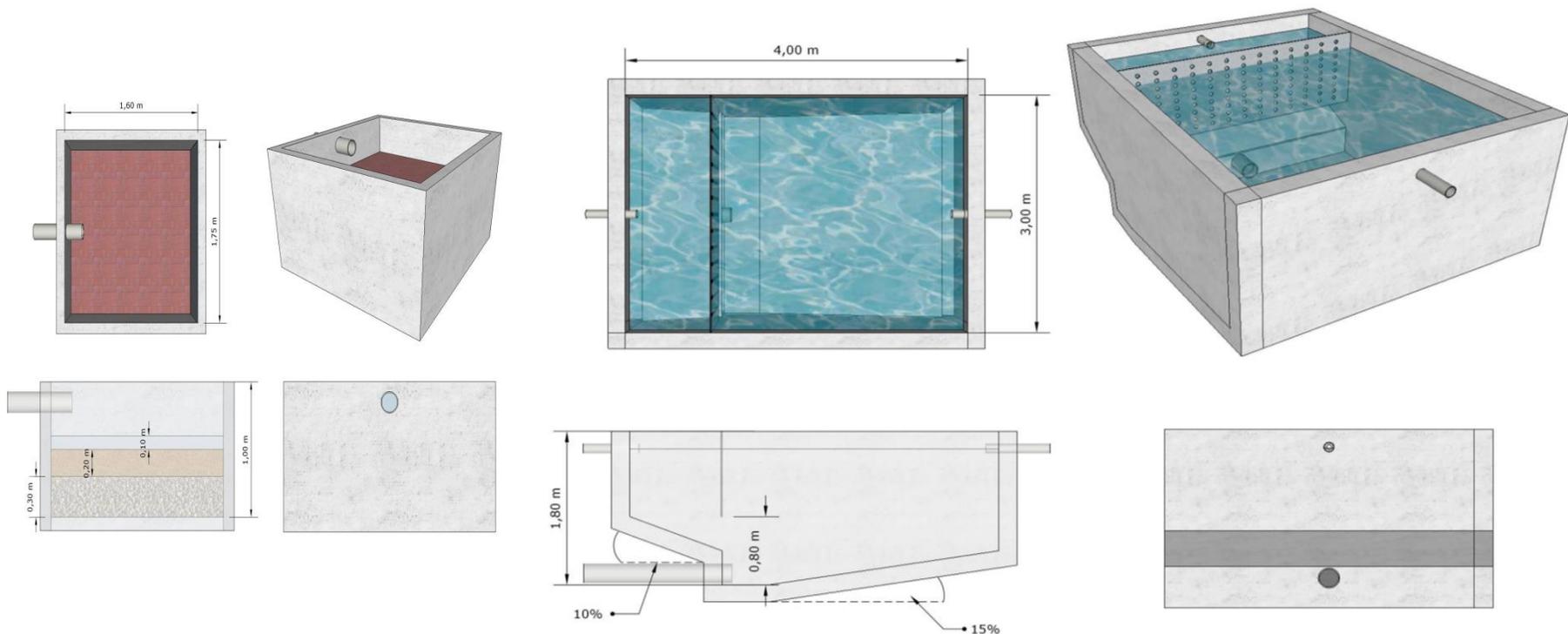
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL		
Dimensiones de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		4A	A4	25/05/2016

Anexo E.



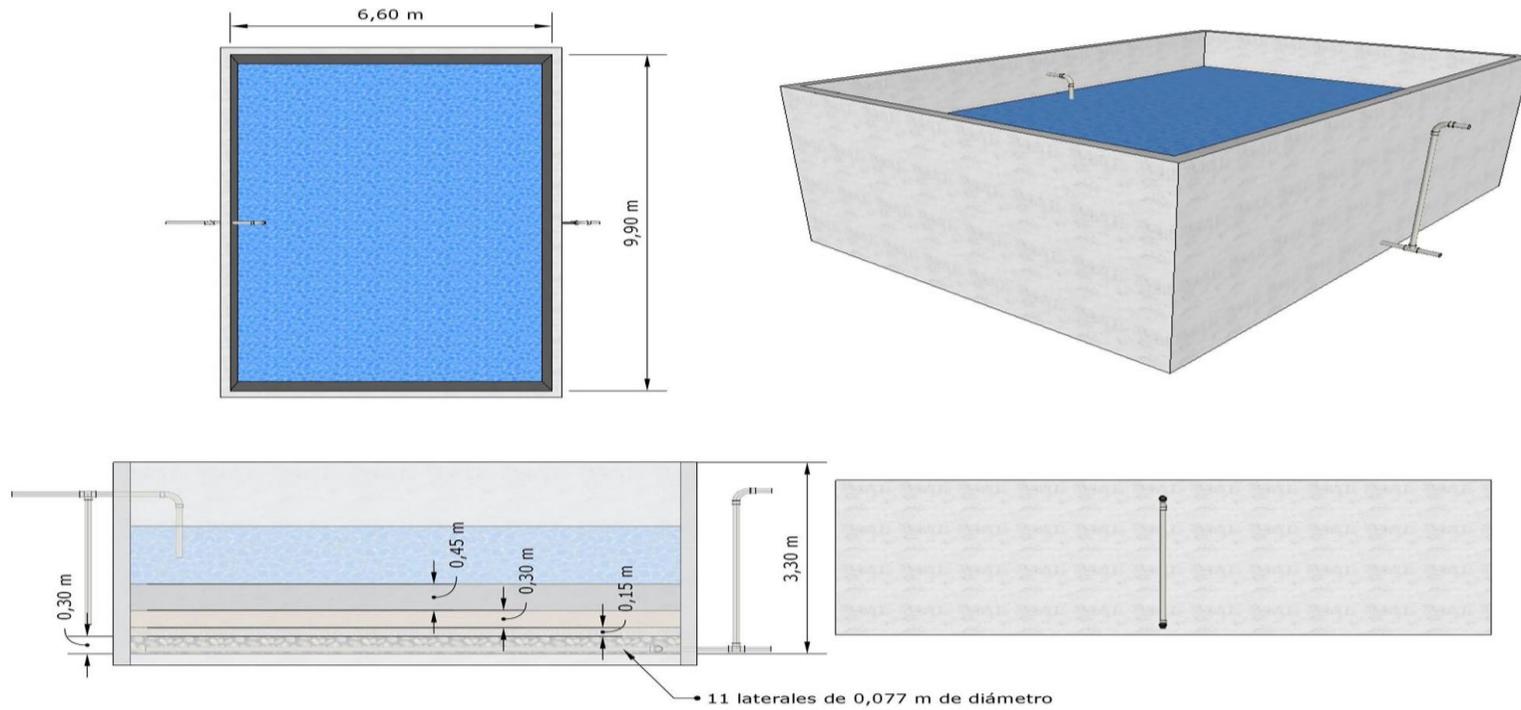
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CANALETA PARSHALL		
Dimensiones de la canaleta Parshall.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		5A	A4	25/05/2016

Anexo F.



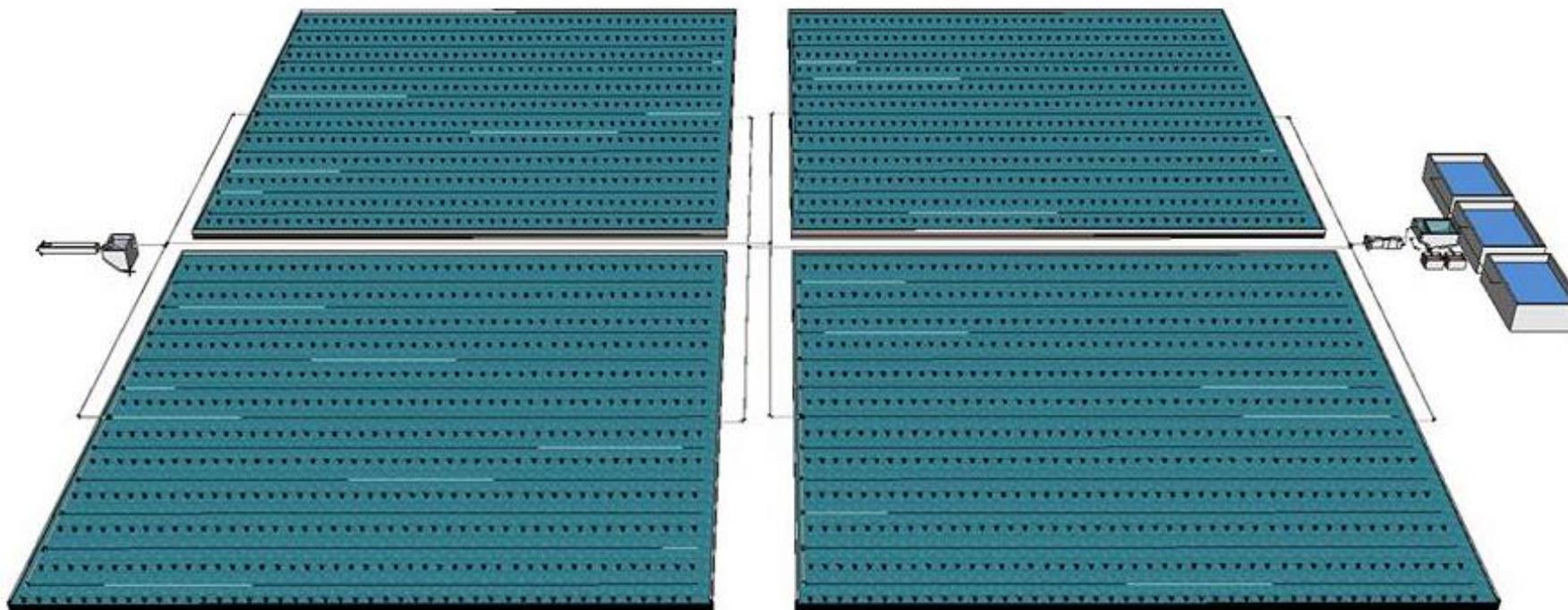
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SEDIMENTADOR HORIZONTAL Y LECHOS DE SECADO		
Dimensiones del sedimentador y lechos de secado.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega	Lámina	Escala	Fecha
	6A		A4	25/05/2016	

Anexo G.



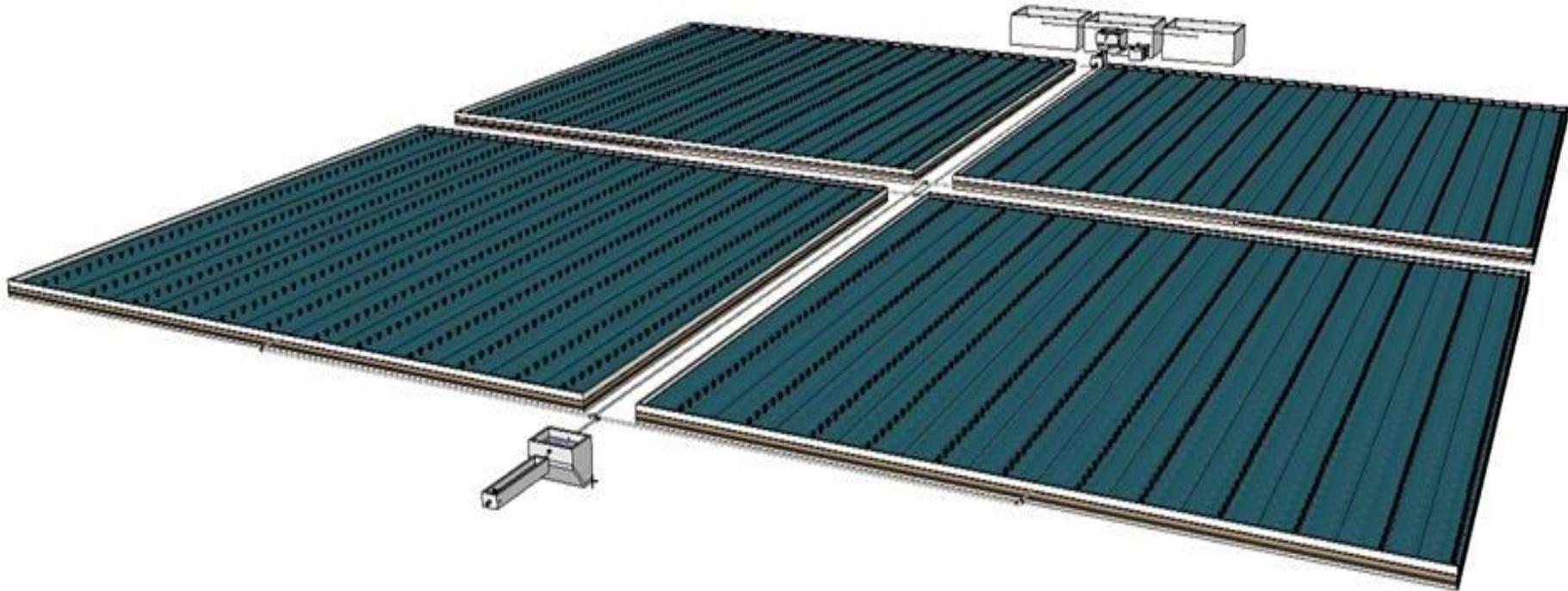
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	FILTRO DUAL DE ETAPAS MÚLTIPLES		
Dimensiones del filtro dual de etapas múltiples.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega	Lámina	Escala	Fecha
	7A		A4	25/05/2016	

Anexo H.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales, vista superior.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		8A	A4	25/05/2016

Anexo I.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales, vista frontal.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		9A	A4	25/05/2016

Anexo J.

LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES
Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006
N° SE: 072 - 15

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Tanya Vega **INFORME N°:** 072 - 15
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 072 - 15
DIRECCIÓN: Barrio del MOP
FECHA DE RECEPCIÓN: 05 - 10 - 15
TELÉFONO: 0992815612 **FECHA DE INFORME:** 12 - 10 - 15

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 **TIPO DE MUESTRA:** Agua Residual Doméstica, Archidona
IDENTIFICACIÓN: MA - 113-15 **TIPO DE MUESTRA:** Agua

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

MA - 113-15

PARÁMETROS	UNIDADES	METODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UM-21	FECHA DE ANALISIS
pH	-	PE-LSA-01	7,72	+/- 0,06	05 - 10 - 15
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	185,9	+/- 8,5%	05 - 10 - 15
* Temperatura	°C	STANDARD METHODS 2550-B	19,2	N/A	05 - 10 - 15
Sólidos Totales	mg/L	PE-LSA-04	192	+/- 8,5%	05 - 10 - 15
* Sulfatos	mg/L	STANDARD METHODS 4500-SO-E	29	N/A	05 - 10 - 15
* Fosfatos	mg/L	STANDARD METHODS 4500-PO-E	3,0	N/A	05 - 10 - 15
* Nitratos	mg/L	STANDARD METHODS 4500-NO-E	2,10	N/A	05 - 10 - 15
* Sólidos Sedimentables	mg/L	STANDARD METHODS 2540-D	65,5	N/A	05 - 10 - 15
* Sólidos Suspendidos	mg/L	STANDARD METHODS EPA 415.1	1,0	N/A	05 - 10 - 15
* Aceites y grasas	mg/L	STANDARD METHODS 840-C	37,2	N/A	05 - 10 - 15
* Detergencia	mg/L	STANDARD METHODS 840-C	2,2	N/A	05 - 10 - 15
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2120-B	13,30	N/A	05 - 10 - 15
* DBO5	mg O2/L	STANDARD METHODS 5210-B	4,2	N/A	05 - 10 - 15
DOO	mg/L	STANDARD METHODS 5210-B	64	+/- 10 %	05 - 10 - 15
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9220	9250	N/A	05 - 10 - 15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221-C	300	N/A	05 - 10 - 15

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

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:
Dr. Juan Carlos Lora R.
Benito Mendoza T. PhD

Benito Mendoza T. PhD
Benito Mendoza T. PhD
TECNICO L.S.A.

ESPOCH
LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS
Análisis solicitado por: Tanya Vega
Fecha de Análisis: 23-11-2015
Tipo de muestras: Agua Residual Doméstica.
Localidad: Cantón Archidona - Provincia de Napo

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7,9
Conductividad	µSiemens/cm	2510-B	-	760,0
Turbiedad	UNT	2130-B	-	268,0
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	4500-NH3	30,0	31,0
Sulfatos	mg/L	2400-SO4-B	1000	190,0
Fosfatos	mg/L	4500-PO4-B	10,0	5,10
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	750,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	580,0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	440,0
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1,0	4,5
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	130,0	42,0
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	micro filtración	10000	2x10 ⁴

*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed.
**TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:
Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS
ESPOCH

ESPOCH
LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS
Análisis solicitado por: Tanya Vega
Fecha de Análisis: 02-12-2015
Tipo de muestras: Agua Residual Doméstica.
Localidad: Cantón Archidona - Provincia de Napo

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7,1
Conductividad	µSiemens/cm	2510-B	-	660,0
Turbiedad	UNT	2130-B	-	187,0
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	385-N	30,0	40,0
Sulfatos	mg/L	2400-SO4-B	1000	66,0
Fosfatos	mg/L	4500-PO4-B	10,0	7,2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	360,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	290,0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	684,0
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1,0	4,0
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	130,0	20,0

*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed.
**TULSMA TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:
Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS
ESPOCH

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL		
Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual; prueba 1,2 y 3.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega	Lámina	Escala	Fecha
			10A	A4	25/05/2016

Anexo L.

LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES
Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N° SE: 003 - 16

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Tanya Vega **INFORME N°:** 003 - 16
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 003 - 16
DIRECCIÓN: Barrio del MOP **FECHA DE RECEPCIÓN:** 27 - 01 - 16
TELÉFONO: 0992815612 **FECHA DE INFORME:** 03 - 02 - 16

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Doméstica, Archidona **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 004 - 16 Agua Tratada Agua

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

MA - 004-16

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	5.10	N/A	27 - 01 - 16
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	7	N/A	27 - 01 - 16
* Nitrogeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH3 N&C - mod	1,7	N/A	27 - 01 - 16
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	8	N/A	27 - 01 - 16
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 8540 - C mod	1,2	N/A	27 - 01 - 16
* Coliformes fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - B	130	N/A	27 - 01 - 16

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

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:
 Dr. Juan Carlos Lara R.
 Benito Mendoza T. PhD

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

LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES
Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N° SE: 025 - 16

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Srta. Tanya Vega **INFORME N°:** 025 - 16
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 025 - 16
DIRECCIÓN: Barrio del MOP **FECHA DE RECEPCIÓN:** 19 - 04 - 16
TELÉFONO: 0992815612 **FECHA DE INFORME:** 20 - 04 - 16

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Doméstica, Archidona **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 051 - 16 Agua Tratada Agua

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

MA - 051-16

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 8540 - C mod	0,53	N/A	19 - 04 - 16

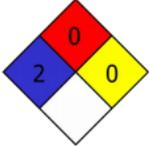
MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:
 Dr. Juan Carlos Lara R.
 Benito Mendoza T. PhD

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

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA			
Caracterización físico-química y microbiológica del agua residual tratada; prueba 4 y 5.	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Tanya Vega	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		12A	A4	25/05/2016
	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para información				

Anexo M. Ficha Técnica Policloruro de Aluminio (PAC)

	<p align="center">FICHA TÉCNICA</p> <p align="center">POLICLORURO DE ALUMINIO – PAC</p> <p align="center">QUIMIPAC</p>	<p align="center">FTP-</p> <p align="center">PAG. 1 DE 1</p> <p align="center">VERSION: 1</p>										
<p>1. PROPIEDADES</p> <p>FÓRMULA: $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$</p> <p>SINÓNIMOS: PAC, QUIMIPAC</p> <p>PESO MOLECULAR: 219 gramos/mol</p> <p>2. REGULACIONES</p> <p>RIESGO ASOCIADO: Irritante, Corrosivo</p> <div align="center" data-bbox="427 875 576 1021">  </div> <p>3. USOS PRINCIPALES</p> <p>El policloruro de aluminio tiene excelentes resultados en el uso como coagulante y/o floculante en el tratamiento de aguas potables, industriales y residuales. Amplio uso en agua con turbiedades altas y aguas con elevado contenido de materia orgánica. En la industria del papel se utiliza como agente de retención y para encolado en la fabricación del papel. Tiene aplicación en la industria textil, cerámica, extracción de petróleo y cosmética.</p> <p>4. PROPIEDADES TÍPICAS</p> <table border="0" data-bbox="272 1570 837 1865"> <tr> <td>Apariencia</td> <td>Sólido Amarillo</td> </tr> <tr> <td>pH (1% Sl_n)</td> <td>3,5 – 5</td> </tr> <tr> <td>Basicidad %</td> <td>75 – 90</td> </tr> <tr> <td>Al₂O₃ %</td> <td>30±1</td> </tr> <tr> <td>Insolubles %</td> <td>Máx. 5</td> </tr> </table>	Apariencia	Sólido Amarillo	pH (1% Sl _n)	3,5 – 5	Basicidad %	75 – 90	Al ₂ O ₃ %	30±1	Insolubles %	Máx. 5	<p>5. MANEJO Y ALMACENAMIENTO</p> <p>El PAC no es tóxico pero deben ser manejados como ligeramente corrosivos; se debe utilizar guantes de caucho, gafas de seguridad y overol.</p> <p>El PAC es un producto higroscópico por lo que se debe almacenar en lugares frescos, con mínima humedad y buena ventilación. El producto se comercializa en bolsas de 25 Kg.</p> <p>6. PRECAUCIÓN</p> <p>Usar los elementos de seguridad: guantes, gafas y protección respiratoria durante la manipulación del producto.</p> <p>En caso de contacto con la piel y ojos lavar con abundante agua.</p> <p>En caso de ingestión lavar la boca inmediatamente y suministrar 500 ml de agua.</p> <p>En caso de inhalación salir del área y buscar un área con aire fresco.</p> <p>En caso de paro respiratorio se debe suministrar oxígeno. Obtener ayuda médica inmediatamente para todos los casos.</p> <p>En caso de derrame, recoja el residuo con precaución y lave la zona contaminada con agua.</p>	
Apariencia	Sólido Amarillo											
pH (1% Sl _n)	3,5 – 5											
Basicidad %	75 – 90											
Al ₂ O ₃ %	30±1											
Insolubles %	Máx. 5											

Anexo N. Procedimiento para la dosificación del policloruro de aluminio (PAC)

La dosificación del policloruro de aluminio se realizará por vía húmeda mediante el siguiente procedimiento:

- 1.-** Pesar 3 gramos de policloruro de aluminio.

- 2.-** Preparar la solución de policloruro de aluminio al 3%, es decir diluir los 3 gramos pesados anteriormente y aforar con 100 ml de agua destilada con la ayuda de un balón de aforo.

- 3.-** En el caso de añadir el policloruro de aluminio por medio de una bomba, esta debe estar calibrada siempre para asegurar la exactitud de la dosificación.

- 4.-** En el caso que se añada manualmente el encargado debe dosificar justo en el punto de mezcla que es el resalto hidráulico.