



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA EL BARRIO EL CARMEN EN EL CANTÓN
CHAMBO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

AUTOR: GUILLERMO ANDRES NIAMA MONTOYA

TUTOR: ING. SEGUNDO HUGO CALDERÓN.

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El presente trabajo: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL BARRIO EN EL CARMEN EN EL CANTÓN CHAMBO, de responsabilidad del señor Guillermo Andrés Niama Montoya, ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Segundo Hugo Calderón

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Mónica Andrade

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Guillermo Andres Niama Montoya; 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, 18 de Octubre del 2016

Guillermo Andrés Niama Montoya

C.I. 060334571-1

Yo, **GUILLERMO ANDRES NIAMA MONTOYA**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**.

GUILLERMO ANDRES NIAMA
MONTOYA

DEDICATORIA

Con infinito amor dedico esta investigación a mi madre Isabel Montoya y a mi padre Guillermo Niama, ellos son y serán siempre lo más hermoso que Dios me ha dado ya que han sido un pilar fundamental con sus consejos y valores me prepararon para que lograr mis metas.

Guillermo

AGRADECIMIENTO

Mi total sentimiento de gratitud a mi querido Dios por darme la vida y la fuerza necesaria para poder lograr los objetivos que me he propuesto.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme formarme académicamente bajo su seno, especialmente a la Escuela de Ingeniería Química por darme la oportunidad de prepararme dentro de sus instalaciones para llegar a ser un profesional.

Un profundo agradecimiento 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 Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo, en especial al Ing. Vinicio Suarez por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de titulación.

A todos los docentes y personas que formaron parte de mi vida académica, gracias por los conocimientos impartidos, las experiencias, momentos compartidos gracias de todo corazón.

Por ultimo a mi familia por estar dándome ánimos siempre.

.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

H₂O	Agua
d	Altura de la base triangular de la cámara de sedimentación (m)
f	Altura de la cámara de digestión (m)
H_{sed}	Altura de la cámara de sedimentación (m)
h_s	Altura de seguridad (m)
g	Altura del depósito de lodos (m)
H'	Altura del desnivel de la placa de entrada (m)
H''	Altura del desnivel de salida (m)
h	Altura del tirante de agua (m)
H	Altura del total canal (m)
c	Altura del triángulo (m)
h_o	Altura del vertedero (m)
H_{tf}	Altura total del filtro (m)
NH₃	Amoniaco
b	Ancho de la cámara de sedimentación (m)
B_D	Ancho del desarenador (m)
b	Ancho del filtro (m)
b	Ancho del lecho de secado (m)
b_v	Ancho del vertedero (m)
B	Ancho total del tanque (m)
θ	Angulo de divergencia (°)
°	Angulo en grados
A_l	Área de la sección transversal (m ²)
A_{ls}	Área del lecho de secado (m ²)
A_{rectangulo}	Área del rectángulo (m ²)
A_{triángulo}	Área del triángulo (m ²)
A_b	Área entre barras (m ²)
A_{ind}	Área individual del lecho de secado (m ²)
A_s	Área superficial (m ²)
A_{SD}	Área superficial del desarenador (m ²)
A_{sf}	Área superficial del filtro (m ²)
A_T	Área transversal de la cámara de sedimentación (m ²)
A_{TD}	Área transversal del desarenador (m ²)
S	Azufre

b	Base del canal (m)
bl	Borde libre (m)
Ca	Calcio
CaCO₃	Carbonato de calcio
COT	Carbono orgánico total
C	Carga de solidos (Kgss/día)
q	Carga sobre el vertedero (m ² /s)
C_s	Carga superficial (m ³ /m ² día)
Q	Caudal
Q_{CE}	Caudal de conexiones erradas (L/s)
Q_{DM}	Caudal de diseño máximo (L/s)
Q_D	Caudal de diseño medio (L/s)
Q_{inf}	Caudal de infiltración (L/s)
Q_{max}	Caudal máximo semanal (L/d)
Q_{med}	Caudal medio de agua residual (L/s)
cm	Centímetro
cm²/s	Centímetro cuadrado por segundo
cm/s	Centímetro por segundo
Cl⁻	Cloruros
CD	Coeficiente de arrastre
K	Coeficiente de Manning
C	Coeficiente de retorno (%)
n	Coeficiente de rugosidad de Manning
K	Coeficiente para desarenadores de baja velocidad
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CE	Conductividad
C_{pc}	Contribución percapita ((gSS/hab*día)*Kg)
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
<i>ρ</i>	Densidad
<i>ρ_a</i>	Densidad de arena (g/cm ³)
<i>ρ</i>	Densidad del lodo (Kg/m ³)
lodo	Densidad del lodo (Kg/m ³)
Ø	Diámetro de partícula (cm)
CO₂	Dióxido de carbono
a	Distancia de ventilación (m)

D	Dotación (L/Hab día)
D	Dotación de lodos por habitante (L/Hab año)
EPMAPS	Empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento
e	Espesor de las barras (m)
f_{cr}	Factor de capacidad relativa
F	Factor de mayorización
β	Factor dependiente de la forma de las barras
P	Fósforo
P_{inorgánico}	Fosforo inorgánico
P_{orgánico}	Fosforo orgánico
P_{total}	Fosforo total
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
Ø	Grado de inclinación de las barras (°)
° C	Grados Celsius
g/L	Gramos por litro
g	Gravedad (m/s ²)
hab	Habitantes
OH⁻	Hidroxilo u oxhidrilo
I	Infiltración (L/s ha)
INEC	Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos
NH⁴⁺	Ion amonio
H⁺	Ion hidrogeno
NO³⁻	Ion nitrato
NO²⁻	Ion nitrito
Kg/m³	Kilogramo por metro cubico
L/hab.día	Litro por habitante al día
L/s	Litro por segundo
L/s.ha	Litro por segundo por hectárea
L_c	Longitud corregida del desarenador (m)
L_b	Longitud de la barra (m)
L'	Longitud de la placa de entrada (m)
L''	Longitud de la placa de salida (m)
L_g	Longitud de transición (m)
L_D	Longitud del desarenador (m)
L	Longitud del filtro (m)
L	Longitud del lecho de secado (m)

L	Longitud del tanque (m)
L_g	Longitud sumergida de las barras (m)
Mg	Magnesio
M_{sd}	Masa de los sólidos que conforman los lodos (Kgss/día)
CH₄	Metano
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cubico
m³/s	Metro cubico por segundo
m/s	Metro por segundo
m/s²	Metro por segundo al cuadrado
m	Metro
µm	Micrómetros
µmho/cm	microohmios por centímetro
mg/L	Miligramo por litro
mm	Milímetro
mS/m	milisiemens por metro
ml/l	Mililitro por litro
N	Nitrógeno
N₂	Nitrógeno molecular
N_{orgánico}	Nitrógeno orgánico
N_{total}	Nitrógeno total
d_{max}	Nivel máximo de agua (m)
n	Numero de barras
n	Número de filtros
n	Número de lechos de secado
Re	Número de Reynolds
O₂	Oxígeno
OD	Oxígeno disuelto
S	Pendiente (m/m)
S	Pendiente de fondo de entrada (%)
Ø	Pendiente de fondo de la cámara (°)
α	Pendiente de fondo de la cámara de sedimentación (°)
S'	Pendiente de fondo de salida (%)
H_f	Perdida de carga (m)
n	Periodo de diseño (años)
P_a	Población actual (hab)

P_e	Población estable (hab)
P_n	Población flotante (hab)
P_f	Población futura (hab)
%	Porcentaje
%sólidos	Porcentaje de solidos contenidos en el lodo (%)
pH	Potencial de hidrogeno
H_a	Profundidad de aplicación (m)
H_D	Profundidad del desarenador (m)
H	Profundidad total del tanque (m)
H_u	Profundidad útil del filtro (m)
R	Radio Hidráulico (m)
s	Segundos
W	Separación entre barras (m)
Na	Sodio
S	Solidos a verter en el lecho (mg/L)
SD	Solidos disueltos
SS	Solidos suspendidos
ST	Solidos totales
H₂S	Sulfuro de hidrogeno
Ha	Tamaño del área de estudio (ha)
i	Tasa de crecimiento poblacional (%)
T	Temperatura
TULSMA	Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente
T	Tiempo de digestión (días)
t	Tiempo de recolección de agua
t_R	Tiempo de retención (s)
UFC/100 ml	Unidades formadoras de colonias por cada 100 ml
<i>v_{des}</i>	Velocidad de descarga (m/s)
<i>v_s</i>	Velocidad de sedimentación (cm/s)
<i>v</i>	Velocidad del fluido (m/s)
<i>v_h</i>	Velocidad horizontal (m/s)
<i>v_a</i>	Velocidad limite o velocidad de arrastre (cm/s)
μ	Viscosidad cinemática del agua (cm ² /S)
V	Volumen de agua
V_{cd}	Volumen de la cámara de digestión (m ³)

V_{sed}	Volumen de la cámara de sedimentación (m^3)
V_{le}	Volumen de lodos a extraerse (m^3)
V_D	Volumen del desarenador (m^3)
V_f	Volumen del filtro (m^3)
V_{ld}	Volumen diario de solidos digeridos (L/d)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xxiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxiv
RESUMEN	xxv
SUMARY	xxvi
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
GENERAL.....	4
ESPECÍFICOS.....	4
CAPITULO I	
1 MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Agua Residual	5
1.1.1 Definición	5
1.1.2 Clasificación de las aguas residuales	5
1.2 Características del agua residual	7
1.2.1 Características físicas del agua residual.....	10
1.2.2 Características químicas del agua residual	13

1.2.3	Características Biológicas.....	22
1.3	Muestreo de aguas residuales.....	24
1.3.1	Clasificación de las muestras.....	24
1.4	Caudal.....	26
1.4.1	Mediciones de caudal.....	26
1.5	Tratamiento de aguas residuales.....	28
1.5.1	Pretratamiento.....	29
1.5.2	Tratamiento primario.....	35
1.5.3	Tratamiento secundario.....	39
1.5.4	Tratamiento Terciario.....	46
1.5.5	Filtración.....	49
1.5.6	Tratamiento de lodos.....	56
1.6	Diseño ingenieril del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	60
1.6.1	Caudal de diseño.....	60
1.6.2	Canal.....	65
1.6.3	Cribado.....	68
1.6.4	Desarenador.....	72
1.6.5	Aireación.....	82
1.6.6	Tanque Imhoff.....	82
1.6.7	Filtración.....	88
1.6.8	Tratamiento de lodos.....	91
1.7	Normativa ambiental.....	94
1.7.1	Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce ...	94
 CAPITULO II		
2	PARTE EXPERIMENTAL.....	97
2.1	Diagnóstico del área de estudio.....	97
2.1.1	Ubicación y extensión.....	97

2.1.2	Localización geográfica	97
2.1.3	Tamaño de la población	98
2.2	Metodología	99
2.2.1	Medición del caudal	99
2.2.2	Muestreo de las aguas residuales	99
2.2.3	Caracterización de las aguas residuales	100
2.2.4	Pruebas de tratabilidad.....	117
2.3	Datos experimentales	117
2.3.1	Caudal volumétrico de agua residual.....	117
2.3.2	Determinación de la temperatura de las aguas residuales.....	119
2.3.3	Caracterización del agua residual	119
2.3.4	Diagnóstico	120
2.3.5	Pruebas de tratabilidad.....	121

CAPÍTULO III

3 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA EL BARRIO EL CARMEN DEL CANTÓN CHAMBO 123

3.1	Cálculos.....	123
3.1.1	Proyección de la Población.....	123
3.1.2	Caudal de diseño.....	124
3.1.3	Cribado.....	126
3.1.4	Diseño de Rejillas	128
3.1.5	Diseño del desarenador	131
3.1.6	Diseño de tanque Imhoff.....	143
3.1.7	Dimensionamiento de filtro anaerobio de flujo ascendente.....	147
3.1.8	Dimensionamiento lechos de secado	149
3.2	Resultados	154
3.2.1	Resultados de las Pruebas de Tratabilidad.....	154

3.2.2	Resultado final de las pruebas de caracterización final del agua tratada	160
3.2.3	Resultado del dimensionamiento	161
3.3	PROPUESTA	165
3.4	Análisis de resultados	165
	CONCLUSIONES	170
	RECOMENDACIONES	171

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1. ESCALA DE PH	14
FIGURA 2-1. PRETRATAMIENTO CON REJILLAS	29
FIGURA 3-1. REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL	31
FIGURA 4-1. ESTRUCTURA DE UN DESARENADOR	32
FIGURA 5-1. DESENGRASADOR ESTÁTICO	34
FIGURA 6-1. DESENGRASADOR AIREADO	34
FIGURA 7-1. TANQUE IMHOFF	38
FIGURA 8-1. FILTROS BIOLÓGICOS	40
FIGURA 9-1. LAGUNA FACULTATIVA	41
FIGURA 10-1. PROCESO DE LODOS ACTIVADOS	42
FIGURA 11-1. PROCESO DE LAGUNAS AIREADAS	43
FIGURA 12-1. TANQUE SEDIMENTADOR CIRCULAR	45
FIGURA 13-1. TANQUE SEDIMENTADOR RECTANGULAR	46
FIGURA 20-1. FILTRO LENTO DE GRAVA Y ARENA	52
FIGURA 21-1. FILTRO RÁPIDO DE GRAVA Y ARENA	53
FIGURA 22-1. FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE	54
FIGURA 23-1. TIPO DE UNIDADES MECÁNICAS	57
FIGURA 24-1. TIPO DE UNIDADES MECÁNICAS	57
FIGURA 25-1. LECHOS DE SECADO	58
FIGURA 26-1. CENTRIFUGA	59
FIGURA 27-1. FACTOR B DE FORMA DE BARRAS PARA REJAS	72
FIGURA 1-2. UBICACIÓN DEL CANTÓN CHAMBO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO	97
FIGURA 2-2. UBICACIÓN DEL BARRIO EL CARMEN EN EL CANTÓN CHAMBO	98
FIGURA 3-2. DESCARGA QUEBRADA DE CACHIPATA	121
FIGURA 4-2. ESTADO DE LA DESCARGA	121
FIGURA 1-3. FACTOR B DE FORMA DE BARRAS PARA REJAS	130
FIGURA 2-3. REJILLAS	131
FIGURA 3-3. DESARENADOR	142
FIGURA 4-3. TANQUE DE IMHOFF	147
FIGURA 5-3. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE	149
FIGURA 6-3. LECHO DE SECADO	154

FIGURA 7-3. PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL BARRIO EL CARMEN DEL CANTÓN CHAMBO	165
---	------------

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1: PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES	7
TABLA 2-1: TÍPICOS CONSTITUYENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES	8
TABLA 3-1: RELACIÓN DE BIODEGRADABILIDAD	21
TABLA 4-1: CLASIFICACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS	22
TABLA 5-1: QUÍMICOS MÁS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	47
TABLA 6-1: CLASIFICACIÓN DE FLOCULADORES	49
TABLA 7-1: CLASIFICACIÓN DE FILTROS	51
TABLA 8-1: MECANISMO DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS	55
TABLA 9-1: COEFICIENTE	61
TABLA 10-1: APORTES POR INFILTRACIÓN EN REDES DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	64
TABLA 11-1: CRITERIOS DE DISEÑO DE CANALES	65
TABLA 12-1: TÍPICOS VALORES COEFICIENTE MANNING	65
TABLA 13-1: CARACTERÍSTICAS DE REJILLAS DE BARRAS	69
TABLA 14-1: RELACIÓN ENTRE EL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS Y VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN	72
TABLA 15-1: DATOS ADICIONALES	74
TABLA 16-1: PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATM	74
TABLA 17-1: CRITERIOS DE DISEÑO PARA DESARENADOR RECTANGULAR	76
TABLA 18-1: COEFICIENTE PARA CORRECCIÓN DE LONGITUD	78
TABLA 19-1: CRITERIOS DE DISEÑO DE TANQUE IMHOFF	82
TABLA 20-1: CRITERIOS DE DISEÑO DE FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE	89
TABLA 21-1: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LECHOS DE SECADO	91
TABLA 22-1: LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE	96
TABLA 1-2: DATOS DEL BARRIO EL CARMEN	98
TABLA 2-2: PARÁMETROS DE ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA SEGÚN LA NORMATIVA VIGENTE (TULSMA)	101
TABLA 3-2: MÉTODOS UTILIZADOS PARA CARACTERIZAR LAS AGUAS RESIDUALES DEL BARRIO EL CARMEN.....	102
TABLA 4-2: TÉCNICA POTENCIAL HIDRÓGENO	103
TABLA 5-2: TÉCNICA TURBIDEZ.....	103
TABLA 6-2: TÉCNICA NITRÓGENO TOTAL KJEDAH.....	104

TABLA 7-2: TÉCNICA FÓSFORO TOTAL	107
TABLA 8-2: TÉCNICA SULFATOS	107
TABLA 9-2: TÉCNICA DBO₅ (DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO)	108
TABLA 10-2: TÉCNICA DQO (DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO)	109
TABLA 11-2: TÉCNICA SÓLIDOS TOTALES	110
TABLA 12-2: TÉCNICA SÓLIDOS SUSPENDIDOS	111
TABLA 13-2: TÉCNICA CLORUROS	112
TABLA 14-2: TÉCNICA ACEITES Y GRASAS	112
TABLA 15-2: TÉCNICA TENSOACTIVOS	113
TABLA 16-2: TÉCNICA COLIFORMES FECALES	115
TABLA 17-2: TÉCNICA COLIFORMES TOTALES	116
TABLA 18-2: TÉCNICA AIREACIÓN INDUCIDA	117
TABLA 19-2: VALORES DE CAUDAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL BARRIO EL CARMEN	118
TABLA 20-2: MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA	119
TABLA 21-2: DETERMINACIONES FÍSICAS DEL AGUA RESIDUAL DEL BARRIO EL CARMEN	119
TABLA 22-2: CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL BARRIO EL CARMEN	119
TABLA 23-2: PARÁMETROS FUERA DE NORMA	120
TABLA 1-3: DATOS DEL BARRIO EL CARMEN	123
TABLA 2-3: COEFICIENTE	124
TABLA 3-3: APORTES POR INFILTRACIÓN EN REDES DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	125
TABLA 4-3: CRITERIOS DE DISEÑO DE CANALES	126
TABLA 5-3: TÍPICOS VALORES COEFICIENTE MANNING	126
TABLA 6-3: CARACTERÍSTICAS DE REJILLAS DE BARRAS	128
TABLA 7-3: CARACTERÍSTICAS DE REJILLAS DE BARRAS	129
TABLA 8-3: RELACIÓN ENTRE EL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS Y VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN	132
TABLA 9-3: DATOS ADICIONALES	132
TABLA 10-3: PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATM	132
TABLA 11-3: PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATM	133
TABLA 12-3: RELACIÓN ENTRE DIÁMETRO DE PARTÍCULA Y VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN	133

TABLA 13-3: RELACIÓN ENTRE DIÁMETRO DE PARTÍCULA Y VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN	134
TABLA 14-3: DATOS ADICIONALES.....	134
TABLA 15-3: RELACIÓN ENTRE DIÁMETRO DE PARTÍCULA Y VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN	135
TABLA 16-3: DATOS ADICIONALES.....	135
TABLA 17-3: PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATM	135
TABLA 18-3: CRITERIOS DE DISEÑO PARA DESARENADOR RECTANGULAR	136
TABLA 19-3: CRITERIOS DE DISEÑO PARA DESARENADOR RECTANGULAR	137
TABLA 20-3: CRITERIOS DE DISEÑO PARA DESARENADOR RECTANGULAR	137
TABLA 21-3: COEFICIENTE PARA CORRECCIÓN DE LONGITUD	138
TABLA 22-3: CRITERIOS DE DISEÑO PARA DESARENADOR RECTANGULAR	139
TABLA 23-3: CRITERIOS DE DISEÑO PARA DESARENADOR RECTANGULAR	140
TABLA 24-3: CRITERIOS DE DISEÑO DEL TANQUE IMHOFF.....	143
TABLA 25-3: CRITERIOS DE DISEÑO DE TANQUE IMHOFF	145
TABLA 26-3: CRITERIOS DE DISEÑO DE FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE.....	147
TABLA 27-3: CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL BARRIO EL CARMEN.....	149
TABLA 28-3: VALORES DE CAUDAL DEL BARRIO EL CARMEN	150
TABLA 29-3: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LECHOS DE SECADO.....	151
TABLA 30-3: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LECHOS DE SECADO.....	151
TABLA 31-3: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LECHOS DE SECADO.....	152
TABLA 32-3: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LECHOS DE SECADO.....	152
TABLA 33-3: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LECHOS DE SECADO.....	153
TABLA 34-3: VARIACIÓN DEL DBO₅.....	154
TABLA 35-3: VARIACIÓN DEL DQO	155
TABLA 36-3: VARIACIÓN DE LA TURBIEDAD	156
TABLA 37-3: VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	157
TABLA 38-3: ANÁLISIS FÍSICO FINAL	160
TABLA 39-3: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO FINAL	160
TABLA 40-3: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO FINAL	160
TABLA 41-3: RESULTADOS DE CAUDAL DE DISEÑO	161
TABLA 42-3: RESULTADOS DEL DISEÑO DE CRIBADO.....	162
TABLA 43-3: RESULTADOS DEL DISEÑO DEL DESARENADOR.....	162
TABLA 44-3: RESULTADOS DEL DISEÑO DEL TANQUE IMHOFF.....	163
TABLA 45-3: FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE	164

TABLA 46-3: RESULTADOS DEL DISEÑO DEL LECHO DE SECADO	164
TABLA 47-3: ANÁLISIS DE COSTOS	166
TABLA 48-3: COSTO DE OPERACIÓN MENSUAL	169

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1-1. OXÍGENO DISUELTO CONSUMIDO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	20
GRÁFICO 1-3. VARIACIÓN DEL DBO₅ RESPECTO AL TIEMPO DE AIREACIÓN	155
GRÁFICO 2-3. VARIACIÓN DEL DQO RESPECTO AL TIEMPO DE AIREACIÓN	156
GRÁFICO 3-3. VARIACIÓN DE LA TURBIEDAD	156
GRÁFICO 4-3. VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	157
GRÁFICO 5-3. DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	158
GRÁFICO 6-3. DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	158
GRÁFICO 7-3. REDUCCIÓN DE TENSOACTIVOS	159
GRÁFICO 8-3. DISMINUCIÓN DE COLIFORMES FECALES	159

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. MUESTREO Y MEDICIÓN DE CAUDAL

ANEXO B. CARACTERIZACION INICIAL 1

ANEXO C. CARACTERIZACIÓN INICIAL 2

ANEXO D. CARACTERIZACION INICIAL 3

ANEXO E. PRUEBAS DE TRATABILIDAD

ANEXO F. DIMENSIONAMIENTO DE REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL

ANEXO G. DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR

ANEXO H. TANQUE IMHOFF

ANEXO I. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

ANEXO J. LECHO DE SECADO

ANEXO K. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

ANEXO L. PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA

RESUMEN

Se diseñó un sistema de Planta de Tratamiento para Aguas Residuales para el barrio El Carmen – cantón Chambo, provincia de Chimborazo, el muestreo y la medición de los caudales en la zona de descarga se realizó mediante materiales simples, posteriormente se realizó la caracterización física, química y microbiológica de las muestras tomadas in situ. Los resultados de la caracterización de las aguas residuales determinaron que los parámetros DBO₅ 441 mg/L, DQO 590 mg/L, 1 tensoactivos mg/L y 13066 coliformes fecales UFC/100 ml se encuentran fuera de los límites permisibles según la Norma de calidad ambiental Recurso Agua del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua. En base a estos resultados se realizaron pruebas de tratabilidad en el laboratorio con la finalidad de determinar las operaciones más adecuadas para el tratamiento de las aguas residuales. Se realizó cálculos de dimensionamiento de una planta de tratamiento de agua residual en base a los resultados de las pruebas de tratabilidad y una proyección para 15 años con una población futura de 1969 habitantes con un caudal a tratar de 14.56 L/s, que consta de las siguientes operaciones: pretratamiento con rejillas de limpieza manual, tratamiento primario mediante un desarenador para remover los sólidos sedimentables más pequeños, tratamiento primario con un tanque Imhoff., tratamiento terciario con un filtro anaeróbico de flujo ascendente para la remoción de sólidos en suspensión, DBO y DQO que no se removieron en operaciones anteriores cuya eficiencia en conjunto será del 95.38%. El proceso garantizará obtener agua de mejor calidad que cumpla con la norma y mitigar la contaminación del Río Chambo. Se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Chambo la aplicación de este estudio para mitigar el impacto ambiental generado por la contaminación de las aguas residuales descargadas directamente del río Chambo.

Palabras claves: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <INGENIERIA AMBIENTAL>, <AGUA RESIDUAL>, <DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO>, <DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)>, <DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO EN CINCO DÍAS 5 (DBO5)>, <TEXTO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA)>

SUMMARY

A Treatment Plant for Residual waters for El Carmen Neighborhood, Chambo canton, Chimborazo province was designed; the volume sampling and measurement in the discharge zone were carried out through simple materials; later, the physical, chemical and microbiological characterization of the samples taken in situ was carried out. The characterization results of the residual waters determined that the parameters DBO5 441 mg/L, DQO 590 mg/L, 1 tensoactive mg/L and fecal coliform 13066 CFU/100 ml are out of the permissible limits according to the environmental quality Norm Water Resource of TULSMA, Book VI, Annex I, Table 9 discharge limits to water volume. Based on these results treatability in the lab were carried out to determine the most adequate operations for the residual water treatment. Dimensioning calculi of a residual water treatment plant were conducted, based on the results of the treatability tests and a projection for 15 years with a future population of 1969 people and with a volume to be treated of 14.56 L/s, which consists of the following operations: pretreatment with handy cleaning grills, primary treatment through a de-sanding device to remove smallest sediment solids, primary treatment with an Imhoff tank, tertiary treatment with an ascending anaerobic flow filter for the removal of suspension solids DBO and DQO which were not removed in previous operations whose conjunct operation will be 95.38 %. The process will guarantee obtaining better quality water accomplishing the norm and mitigating the Rio Chambo contamination. The Autonomous Decentralized Municipal Government of the Chambo canton is recommended to apply this study to mitigate the environmental impact generated by the residual water contamination discharged directly from the Rio Chambo

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <RESIDUAL WATER>, <TREATMENT PLANT DESIGN>, <CHEMICAL OXYGEN DEMAND (DQO)>, <BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND IN FIVE DAYS (DBO5)>, <UNIFIED TEXT OF SECONDARY ENVIRONMENTAL LEGISLATION (TULSMA)>

INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento más abundante en el planeta pero a su vez solo el 3 % del agua es agua dulce siendo esta pequeña porción indispensable para el desarrollo de la vida no obstante esta pequeña parte de agua dulce ha sufrido un deterioro considerable en los últimos años.

Las diferentes actividades antropogénicas son la causa de la contaminación del agua, la misma que se ha venido agravando con el pasar de los años ya que se han ido generando mayor cantidad de aguas residuales debido a que existe una mayor demanda del recurso por el crecimiento poblacional. La depuración natural no es suficiente para mitigar los efectos de las aguas residuales que se ha ido generando con el pasar de los años.

Las aguas residuales que son descargadas directamente a un cuerpo de agua dulce sin tratamiento previo consiste en un problema muy grave para un sector, no solo afecta a los seres humanos, si no, también a animales y plantas, debido a que este tipo de aguas poseen una alta concentración de residuos sólidos, materia orgánica, carga bacteriana, elementos tóxicos, entre otras, presentando una gran amenaza para los ecosistemas.

En diferentes ciudades del Ecuador debido a las normativas ambientales vigentes se ha visto la necesidad de implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales previo a la deposición de la red de alcantarillado público o en cuerpos de agua dulce con la finalidad de prevenir enfermedades, el deterioro del ecosistema y la red de alcantarillado público ya que el estado actual del tratamiento de aguas residuales es preocupante salvo en algunos municipios grandes que poseen algún tipo de tecnología para su tratamiento mientras que la mayoría no las posee viniendo a ser un problema ambiental muy severo.

Chambo es un cantón perteneciente a la provincia de Chimborazo este se caracteriza por la producción agrícola pero en los últimos años dentro del mismo se ha incursionado en la producción de ladrillos lo que ha provocado el crecimiento de la cabecera cantonal por lo que suelos agrícolas han pasado a formar áreas urbanas dentro de estas áreas urbanas al norte de Chambo se encuentra el barrio el Carmen.

Dentro de este barrio se generan aguas residuales provenientes de las distintas actividades que se realizan en las viviendas la problemática que tiene el barrio el Carmen del cantón Chambo se debe que no posee un sistema de tratamiento de aguas residuales por lo que estas son enviadas a una quebrada y posteriormente depositadas en el Río Chambo sin previo tratamiento por lo que las aguas residuales no cumplen los requerimientos para descarga de efluentes en cuerpos hídricos

según los límites permisibles descritos en el TULSMA Libro IV, Anexo 1, Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Llegando esto a ser un problema para el sector por esta razón en el presente trabajo se presentara el estudio de las aguas residuales del sector y la propuesta de una planta de tratamiento de las mismas que permita descargar las aguas residuales al Río Chambo cuidando la integridad del ecosistema y cumpliendo con la normativa vigente.

ANTECEDENTES

En el Ecuador el estado actual de tratamiento de aguas residuales es preocupante salvo en algunos municipios grandes que poseen algún tipo de tecnología para su tratamiento mientras que la mayoría no las posee viniendo a ser un problema ambiental muy severo ya que la contaminación de ecosistemas por medio aguas residuales pueden producir enfermedades para los habitantes del sector además del deterioro del medio ambiente.

Debido a la gran problemática del tema en Quito a través de la empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento (EPMAPS), se inicia la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quitumbe dentro del programa de Descontaminación de los Ríos de Quito, estos estudios permitirán determinar la viabilidad técnica, social, económica y ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

También en el Cantón Cuenca existen Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba la misma que trata el 95% de aguas residuales de la ciudad de Cuenca; además de otras plantas pequeñas en diferentes lugares del cantón las cuales se encargan de dar tratamiento a las aguas residuales del sector rural.

La implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales han empezado a tener un incremento a nivel nacional debido a que el gobierno exige por medio de los artículos 14, 71 y 72 de la constitución nacional del Ecuador el continuo cuidado y saneamiento del medio ambiente con la finalidad de garantizar el desarrollo de la población en un ambiente sano y equilibrado garantizando el plan nacional del buen vivir.

JUSTIFICACIÓN

El agua es el elemento que directamente tiene que ver con la posibilidad del desarrollo de distintas formas de vida, es esencial para el ser humano, los vegetales y animales.

El Ministerio del ambiente de acuerdo a los artículos 14, 71 y 72 de la Constitución del Ecuador exige el cuidado y tratamiento estricto de aguas residuales mediante tecnologías acorde a las necesidades del problema con la finalidad de que la población se desarrolle en un ambiente sano y equilibrado garantizando la sostenibilidad y el buen vivir.

El barrio El Carmen del cantón Chambo no cuenta con una planta de tratamiento de agua residual lo que significa un riesgo para la calidad de vida y salud de los habitantes del sector ya que el agua es descargada sin tratamiento previo al Rio Chambo el mismo que es utilizado para actividades agrícolas.

Por esta razón con el presente proyecto se busca realizar un estudio acorde con las necesidades que presentan el barrio el Carmen, donde se realizaran las respectivas pruebas en donde se identifique el tipo de agua que se está generando, proponiendo un sistema de tratamiento adecuado con la mayor factibilidad económica, en donde se buscara cumplir con los requerimientos para descarga a un cuerpo de agua dulce según los límites permisibles descritos en el TULSMA Libro IV, Anexo I, Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Por los motivos mostrados anteriormente justifica proponer un **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA EL BARRIO EL CARMEN EN EL CANTON CHAMBO”**, para cumplir con las exigencias que hacen los organismos de regulación, ajustando los parámetros a las normas exigidas por el TULSMA (texto unificado de legislación secundaria del medio ambiente), Libro VI, Anexo I, Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para el barrio el Carmen en el cantón Chambo.

ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización físico – química de las aguas residuales del barrio el Carmen, basadas en los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce de la norma de calidad ambiental Recurso Agua del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce versión 2015.
- Identificar las variables de proceso para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales y lodos.
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.
- Validar el diseño propuesto mediante la caracterización física – química y microbiológica del agua tratada basadas en los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce de la norma de calidad ambiental Recurso Agua del TULSMA Libro VI Anexo I. Tabla 9 versión 2015.
- Estimar los costos que demanda la implementación del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Agua Residual

1.1.1 Definición

Es el conjunto de agua y sólidos que son generados al emplear el agua natural o de la red de alcantarillado público en distintas actividades humanas en viviendas, establecimientos e industrias además de aguas subterráneas, superficiales y pluviales que se pueden unir a las ya mencionadas. (Marin et. al., 2010a, p. 8-9)

Las características de estas aguas difieren entre sí de acuerdo a su procedencia.

1.1.2 Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales se clasifican según su composición en:

- Aguas Blancas
- Aguas Negras
- Aguas Grises

1.1.2.1 Aguas Blancas

Son las que proceden de lluvias y son las responsables de aumentos drásticos en el caudal de las redes de alcantarillado los principales contaminantes presentes en las aguas blancas son elementos de contaminación atmosférica, deposición húmeda de lluvia acida, restos de actividad humana, basura, aceites, grasas, arena, tierra, residuos vegetales, biocidas (insecticidas y herbicidas), fugas en el drenaje, etc. (Marin et. al., 2010b, p. 8-9)

1.1.2.2 Aguas Negras

Son conocidas como aguas negras o urbanas los principales contaminantes en ellas son compuestos químicos como albúminas, ácido acético, tensoactivos, almidones, aceites, metano, bicarbonatos, sulfatos. Fosfatos, nitritos, nitratos, microorganismos, etc. Las aguas negras resultan de usos sanitarios y son las responsables de la transmisión de enfermedades infecciosas por lo que es conveniente tratarlas en sistemas de bioreactores. (Marin et. al., 2010c, p. 8-9)

1.1.2.3 Aguas Grises

Se generan por la higiene corporal o actividades antropogénicas, por lo que son aguas que contienen altas cantidades de tensoactivos y residuos grasos de cocina. Estas pueden convertirse en aguas negras si se las retiene sin oxigenar un corto tiempo. El tratamiento de este tipo de aguas es sencillo mediante aireación por medio de plantas, en caso de no contar con plantas y un espacio relativamente grande las aguas grises deberán ser sometidas a un tratamiento que reduzca su nivel de grasas y materia orgánica en suspensión para posteriormente se mezcle con las aguas negras y pasar a una planta de tratamiento. (Marin et. al., 2010d, p. 8-9)

También las aguas residuales se clasifican de acuerdo a su procedencia en:

- Aguas residuales de origen doméstico
- Aguas residuales de origen industrial
- Agua residuales de origen agrícola

1.1.2.4 Aguas residuales de origen doméstico

Son aguas que se generan por el metabolismo humano y actividades domésticas (cocina, sanitario, limpieza, etc.). Estas provienen de residencias, edificios, instituciones y locales comerciales se caracterizan por tener gran cantidad de sólidos suspendidos además de materia orgánica proveniente de residuos de heces fecales y alimentos. (Ayala et al., 2008a, p. 25-26)

1.1.2.5 Aguas residuales de origen industrial

Son residuos líquidos que se generan en las diferentes actividades industriales, las características de las mismas varían de acuerdo a la industria a la que pertenecen es decir tienen una gran variedad de acuerdo a la materia prima, insumos y procesos. Por lo general cada empresa realiza una investigación de sus efluentes para tratarlos adecuadamente. (Ayala et al., 2008b, p. 25-26)

1.1.2.6 Aguas residuales de origen agrícola

Son aguas residuales procedentes de actividades agrícolas y ganaderas poseen características similares a las aguas residuales domésticas además de residuos característicos de la actividad agrícola como estiércol, fertilizantes (orgánicos e inorgánicos), etc.

Se tiene especial atención a los fertilizantes de origen inorgánico ya que estos generan graves repercusiones en el medio ambiente. (Ayala et al., 2008c, p. 25-26)

1.2 Características del agua residual

La composición de las aguas residuales es variable ya que depende de muchos factores los principales contaminantes de las aguas residuales de origen urbano son materia orgánica que puede estar en forma coloidal o disuelta este tipo de materia consume el oxígeno dentro del agua. Además pueden poseer materia inorgánica de distinta composición desde nutrientes como el fósforo y el nitrógeno hasta sustancias peligrosas (Osorio et al., 2010, p. 1-2)

De forma general en la siguiente tabla se describen los principales contaminantes que poseen las aguas residuales y los efectos que pueden tener sobre el medio ambiente de no ser removidos adecuadamente. (Castro, 1993a, p. 11, 12, 15-20)

Tabla 1-1: Principales constituyentes de las aguas residuales

Contaminantes	Efectos
Sólidos en suspensiones	Forman lodos y condiciones anaeróbicas cuando no son tratadas adecuadamente y se las vierte a un cuerpo hídrico.

Compuestos orgánicos biodegradables	Cuando son vertidos al medio ambiente directamente estos consumen el oxígeno presente en el agua generando condiciones asépticas.
Metales pesados	Afecta las funciones fisiológicas de los seres humanos y dependiendo del metal estos se acumulan en zonas determinadas del cuerpo
Nutrientes	Provocan la eutrofización del agua es decir el crecimiento de la biomasa (algas) afectando considerablemente la composición del ecosistema.
Contaminantes orgánicos prioritarios	Conocidos como compuestos orgánicos refractarios son compuestos carcinogénicos, mutagénicos o de alta toxicidad por lo general no se los puede eliminar con tratamientos convencionales.
Patógenos	Son los responsables de la transmisión de enfermedades.
Compuestos inorgánicos disueltos	Estos provienen del uso doméstico de las aguas.

Realizado por: Guillermo Niama, 2016

Fuente: CRITES R. and TCHOBANOGLOUS G, Aguas Residuales en pequeñas poblaciones

Los constituyentes presentes en las aguas residuales se clasifican en:

- Físicos
- Químicos
- Biológicos

Estos constituyentes deben ser caracterizados y estudiados previamente para poder elegir el método de remoción que este más acorde con las necesidades del sector. En la siguiente tabla se muestra los típicos constituyentes de las aguas residuales domésticas y su el grado de contaminación. (Castro, 1993b, p. 11, 12, 15-20)

Tabla 2-1: Típicos constituyentes de las aguas residuales

Parámetros	Grados de contaminación (mg/l)		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales	1000	500	200
Sólidos totales fijos	300	150	80
Sólidos totales volátiles	700	350	120

Sólidos en suspensión	500	300	100
Sólidos en suspensión fijos	100	50	30
Sólidos en suspensión volátiles	400	250	70
Sólidos disueltos	500	200	100
Sólidos disueltos fijos	200	100	50
Sólidos disueltos volátiles	300	100	50
Sólidos sedimentables	250	180	40
Sólidos sedimentables fijos	150	108	24
Sólidos sedimentables volátiles	100	72	16
DBO5	400	220	110
DQO	1000	500	250
COT	290	160	80
N _{Total}	86	50	25
N _{Orgánico}	35	20	10
NH ₄ ⁺	50	30	15
NO ₃ ⁻	0.4	0.2	0.1
NO ₂ ⁻	0.1	0.05	0.0
P _{Total}	15	8	4
P _{Orgánico}	5	3	1
P _{Inorgánico}	10	5	3
pH	6-9	6-9	6-9
Grasas	150	100	50

Realizado por: Guillermo Niama, 2016

Fuente: CRITES R. and TCHOBANOGLOUS G, Aguas Residuales en pequeñas poblaciones

1.2.1 Características físicas del agua residual

Dentro de las principales características físicas del agua residual se tiene el contenido de sólidos, distribución de partículas por tamaño, turbiedad, color, olor, temperatura, densidad y conductividad.

1.2.1.1 Sólidos

Las aguas residuales poseen una gran cantidad y variedad de sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. Analíticamente es conocida como la materia que queda de residuo cuando el agua es sometida a evaporación a una temperatura de 103-105°C. (Crites Tchobanoglous, 2000a, p. 33)

Los sólidos pueden estar constituidos por materia orgánica, arena, materia coloidal, disuelta, etc. Es importante determinar la concentración de sólidos en el agua para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento, para factores de diseño de unidades de tratamiento biológico y para establecer la necesidad de tanques de sedimentación. (Romero, 2005a, pp. 105-111.)

Los sólidos presentes en las aguas residuales son los siguientes:

- **Sólidos totales (ST):** Son los sólidos que permanecen como materia después de una evaporación o secado a 103 °C. Los sólidos totales se encuentran formados por material disuelto y material no disuelto (sólidos suspendidos). Se expresa como mg/L
- **Sólidos disueltos (SD):** Los sólidos disueltos también conocidos como residuo filtrable se determinan directamente o por diferencia entre sólidos totales y sólidos suspendidos. Se encuentran principalmente en el agua como sales y gases en forma de coloides que son de tamaño 0.001 a 1µm. Se expresa como mg/l.
- **Sólidos suspendidos (SS):** Estos sólidos se los conoce como residuo no filtrable y se determinan por medio de filtración con la ayuda de un filtro de asbesto o fibra de vidrio. También se los determina directamente por la diferencia entre los sólidos totales y sólidos disueltos. Estos sólidos son los más importantes para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, su tamaño aproximado es de 1.58 µm. Se expresan en mg/l.
- **Sólidos volátiles y fijos:** Se considera su determinación en aguas residuales y lodos como una medida para determinar la materia orgánica presente aunque no es muy recomendable ya que es más preciso el ensayo de DBO₅. Para conocer la cantidad de solidos volátiles se necesita determinar los sólidos totales y someterlos a una temperatura de 550 a 600 °C durante un periodo de 15 a 20 minutos la materia orgánica se oxida formando CO₂ y H₂O que se

volatilizan, la pérdida de peso se considera como los sólidos volátiles y el residuo son los sólidos fijos. Se expresan en mg/l.

- **Sólidos Sedimentables:** Se refiere a los sólidos que se sedimentaran en condiciones tranquilas por acción de la gravedad en el transcurso de una hora. Es por esta razón que los procedimientos para determinar los sólidos sedimentables se hacen en base a métodos gravimétricos como Imhoff. Se expresa en ml/l. (Romero, 2005b, pp. 105-111.)

1.2.1.2 Olor

La presencia de olores se debe a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica.

El agua residual tiene un olor desagradable debido a la presencia de sulfatos a sulfitos que por acción de microorganismos anaerobios se degradan en sulfuro de hidrógeno. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos de olores característicos según sea el caso, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento.

Los olores pueden medirse con métodos sensoriales o instrumentales si se desea conocer la concentración de olores específicos. (Delgadillo et al., 2010a, pp. 53-54.)

1.2.1.3 Temperatura (T)

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, puesto que, muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos y químicos. La temperatura afecta las reacciones químicas porque es un factor que influye en las velocidades de reacciones químicas, el comportamiento de microorganismos, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. Un incremento en la temperatura puede causar cambios en las especies de peces que habitan en un cuerpo hídrico. Además la temperatura interviene en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento del agua (coagulación, sedimentación, etc.) (Trapote, 2013, p. 21.)

Densidad (ρ)

La densidad es una característica física que se define como su masa por unidad de volumen y se expresa en g/L o kg/m³. Es de gran importancia a la hora de establecer la formación potencial de corrientes de densidad en sedimentadores, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento. La densidad del agua residual doméstica que no tiene cantidades significativas de desecho es prácticamente de igual valor a la del agua a una misma temperatura. (Crites Tchobanoglous, 2000b, p. 42-44)

1.2.1.4 *Color*

El color de las aguas residuales se debe a la presencia de sólidos suspendidos, materia coloidal y sustancias en solución. Esta característica esta función del tiempo de existencia o edad del agua residual, por lo general cuando el agua residual es recién toma un color grisáceo y con el pasar del tiempo mientras se transporta en las redes de alcantarillado en condiciones anaerobias se torna a un color gris más oscuro hasta llegar a un color negro que es el característico de aguas sépticas. El oscurecimiento de las aguas residuales se debe a la formación de los sulfuros en especial del sulfuro ferroso. (Bódalo et al., 2002, p. 126)

El color se mide conjuntamente con el pH pues la intensidad del color depende de esta ya que normalmente este aumenta con pH. Dentro de las aguas residuales se conoce dos tipos de color:

El color verdadero es el color del agua una vez que se ha removido la turbidez de la misma y el color aparente que se refiere al color de las sustancias en suspensión y coloidales. (Romero, 2005c, pp. 105-111.)

1.2.1.5 *Conductividad (CE)*

La conductividad eléctrica del agua es la medida de la capacidad de una solución para conducir corriente eléctrica. La corriente eléctrica es transportada por iones de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos presentes en el agua residual, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por tanto, el valor de la medida de la CE es usado como un parámetro sustituto de la concentración de los sólidos disueltos totales (SDT). La CE se expresa

en microohmios por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) en unidades del sistema inglés y como milisiemens por metro (mS/m) en unidades del SI. (Delgadillo et al., 2010b, p. 56)

1.2.1.5.1 Turbidez

Es una medida de las propiedades de dispersión de la luz causada por materiales en suspensión que varían en tamaño desde partículas coloidales hasta partículas gruesas, entre otros como arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica, microorganismos presentes en las aguas, la misma indica la calidad de las aguas naturales y residuales tratadas en relación al material en suspensión coloidal. El material coloidal impide la transmisión de la luz ya que la absorbe o la dispersa.

La medición de la turbiedad se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones, los resultados de las mediciones de la turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad. (Orozco et al., 2011, p. 66)

1.2.2 Características químicas del agua residual

1.2.2.1 Características inorgánicas

1.2.2.1.1 Potencial hidrógeno (pH)

Es un parámetro el mismo que mide la presencia de iones hidronio en el agua es decir la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. La determinación del pH es de suma importancia en aguas residuales que requieren tratamiento biológico o el uso de procesos de coagulación – coagulación que son sensible al pH por lo que es necesario regularlo previo al tratamiento. (Crites Tchobanoglous, 2000c, p. 46 – 90.)

Para análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14. La escala de pH se describe en la siguiente figura:

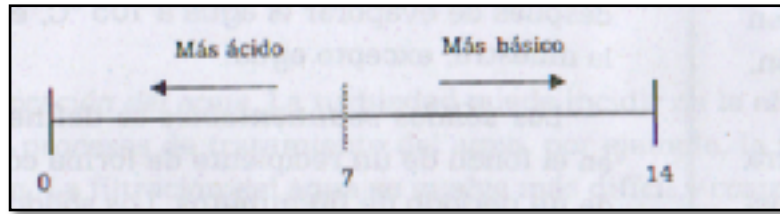


Figura 1-1. Escala de pH

Fuente: SIERRA, C. Características físicas, químicas y biológicas del Agua

1.2.2.1.2 Acidez

Se define como la capacidad para neutralizar los cambios de pH por adición de bases, es decir la capacidad para reaccionar con iones hidróxidos o conocido también como la medida de su contenido total de sustancias ácidas. Es de importancia la medición de la acidez ya que las aguas ácidas son altamente corrosivas y para su tratamiento requieren de gastos adicionales para la regulación del pH.

La acidez en aguas residuales se debe a la presencia de:

- Dióxido de Carbono
- Iones libre H^+
- Acidez mineral (ácidos fuertes como el sulfúrico, nítrico, clorhídrico)
- La hidrolización de sales de ácido fuerte y base débil (Romero, 2005d, pp. 173-186.)

1.2.2.1.3 Alcalinidad

La alcalinidad es la propiedad que tiene el agua para regular los cambios de pH por la adición de ácidos. El agua residual normalmente tiene pH alcalino debido a la presencia de:

- Hidróxidos
- Carbonatos
- Bicarbonatos de calcio, sodio y magnesio
- Amoniaco

Los mismos que proceden de materiales que se adiciona al agua en el uso doméstico. La alcalinidad es una medida de importancia para los procesos de coagulación de aguas residuales, control de corrosión, ablandamiento y evaluación de la capacidad tampón de la solución.

La alcalinidad se determina por titulación empleando un ácido normalizado los resultados de la titulación de expresan en CaCO_3 (Carbonato de Calcio). Es necesario conocer la alcalinidad de aguas residuales en el caso de emplear el tratamiento químico, eliminación biológica de nutrientes y eliminación de amoníaco con arrastre de aire. (Crites Tchobanoglous, 2000d, p. 46 - 90)

1.2.2.1.4 Nitrógeno (N)

El nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas lo que beneficia al crecimiento de protistas y plantas por lo que recibe el nombre de nutriente o bioestimulante. Conocer la cantidad de nitrógeno en las aguas residuales es necesario para conocer si es factible o no el tratamiento biológico de las mismas.

El nitrógeno en las aguas residuales se encuentra en forma de:

- Nitrógeno orgánico
- Nitrógeno amoniacal
- Nitrito
- Nitrato

En el agua residual reciente, el nitrógeno se halla inicialmente combinado con materia proteínica y urea pasando a su forma amoniacal rápidamente después en condiciones aeróbicas las bacterias oxidan el nitrógeno amoniacal en nitratos y nitritos. Su medición se expresa en mg/l. (Metcalf y Eddy, 1995a, p. 48)

1.2.2.1.5 Fósforo (P)

El fósforo también es esencial para el crecimiento de plantas, algas y organismos biológicos. Es por eso que el contenido excesivo de fósforo en el agua produce el desarrollo exorbitado de planta.

El fosforo se encuentra en forma de:

- Fosfato orgánico

- Polifosfato (pirofosfatos, tripolifosfatos y metafosfatos)
- Ortofosfato

Pero raramente se encuentran en el agua en altas concentraciones debido a que las plantas lo absorben rápidamente. Existen varios métodos para determinar la cantidad de fosforo presente en aguas residuales pero el método más aceptada es el fósforo total donde su medición se expresa en mg/l. (Metcalf y Eddy, 1995b, p. 47)

1.2.2.1.6 Cloruros (Cl^-)

El ion cloruro es una de las especies de gran importancia en aguas residuales proceden de la disolución de estos en las superficies de rocas, agua salada o por la adición aguas residuales domésticas, industriales o agrícolas.

El ion cloruro se encuentra en las aguas residuales como:

- Cloro molecular
- Ácido clorhídrico
- Ácido cloroso
- Acido hipocloroso
- Ion hipoclorito
- Dióxido de cloro
- Ion clorato

El ion cloruro es un indicador de la contaminación del agua por manos del hombre, la concentración del ion cloruro en las aguas residuales es muy variable ya que depende de lo que estas atraviesen, de los excrementos humanos principalmente de la orina que contiene cloruros en una concentración equivalente a la presente en el agua y alimentos consumidos.

Los tratamientos convencionales no reducen considerablemente los cloruros por lo que para separarlos de las aguas residuales se emplean filtros de carbón activado e intercambio iónico. Su medición se expresa en mg/l. (Bódalo et al., 2002b, p. 126-129)

1.2.2.1.7 Azufre (S)

La presencia de azufre en aguas residuales se encuentra comúnmente como:

- Ion sulfato
- Sulfuro de hidrogeno
- Ion sulfuro

El ion sulfato es muy común en aguas residuales el mismo que se reduce a ion sulfuro y sulfuro de hidrogeno por acción bacteriana en condiciones anaerobias. Es importante conocer la cantidad de azufre ya que este puede alterar los tratamientos biológicos cuando se hace el tratamiento de fangos este se reduce en sulfuro llegando a convertirse en un problema si su concentración excede los 20mg/l.

El sulfuro de hidrógeno (H_2S) al mezclarse con gases de alcantarilla (CH_4 y CO_2) se vuelve altamente corrosivo provocando daños a las conducciones y equipos (estructuras metálicas y de concreto), además de riesgos a la salud del personal. (Bódalo et al., 2002c, p. 126-129)

1.2.2.1.8 Metales Pesados

Constituyentes importantes de muchas aguas se encuentran a nivel de traza entre estos tenemos al níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, cinc, hierro, cobre y mercurio. Muchos de estos están considerados como contaminantes primarios sin embargo algunos son necesarios para el desarrollo normal biológico tal es el caso que ciertas algas al no disponer de la cantidad suficiente de estos metales no pueden crecer correctamente. Las cantidades excesivas de estos metales en las aguas es una contaminación grave debido a su toxicidad por tal razón se realiza un monitoreo constante de las concentraciones de estos elementos.

Se puede determinar estos compuestos a concentraciones muy bajas con métodos instrumentales como polarografía y espectroscopía de absorción atómica. (Bódalo et al., 2002d, p. 126-129)

1.2.2.1.9 Gases

En las aguas residuales los siguientes gases que con mayor frecuencia se encuentran son: nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2), el sulfuro de hidrogeno (H_2S), el

amoníaco (NH_3), y el metano (CH_4). Los tres primeros proceden del contacto con la atmósfera, mientras que los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales. (Crites Tchobanoglous, 2000e, p. 46 - 90)

1.2.2.2 Características químicas orgánicas

1.2.2.2.1 Detergentes

Son sustancias usadas generalmente para la limpieza y están formados por moléculas de gran tamaño ligeramente solubles en agua y son capaces de alterar la tensión superficial de la misma y son responsables de la formación de espuma o burbujas en la superficie de agua residual (aire-agua). Es muy importante determinar los detergentes ya que causan problemas en sitios de mezcla turbulenta en plantas de tratamiento de aguas residuales.

Para determinar su presencia se toma en cuenta el cambio de coloración en una muestra normalizada de azul de metileno es por eso que también se conoce a los detergentes como sustancias activas al azul de metileno. Su concentración se mide en mg/l. (Metcalf y Eddy, 1995c, p. 50)

1.2.2.2.2 Aceites y Grasas

Cuando se habla de aceites y grasas presentes en aguas residuales se habla de grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes de naturaleza lipídica que son inmiscibles en agua dando lugar a la formación de natas en la superficie de aguas residuales dificultando los tratamientos físicos o químicos en plantas de tratamiento de aguas residuales. Si las grasas y aceites no son eliminadas adecuadamente antes de su disposición final esta interfiere en la vida biológica ya que crea una capa y acumulaciones de materia flotante desagradable que no permite el paso de la luz, entrada de oxígeno y salida dióxido de carbono lo que provoca la acidificación del medio acuático y bajos niveles de oxígeno disuelto. (Romero, 2005e, pp. 105-111)

Las grasas y aceites son químicamente muy parecidos están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno en diferentes proporciones. Las principales fuentes de grasas y aceites son las aguas residuales de origen doméstico, talleres mecánicos, industria de cárnicos, industria de cosméticos, etc.

Para determinar el contenido de grasa de una muestra a nivel de laboratorio se extraen los aceites y grasas mediante un disolvente de los mismos como triclorotrifluoroetano o hexano comúnmente más utilizado. . (Metcalf y Eddy, 1995d, p. 50)

1.2.2.2.3 Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Se refiere a todas las sustancias que su punto de ebullición se encuentra por debajo de los 100°C a presión atmosférica. Este tipo de compuestos son de importancia debido a:

- Al estar en estado gaseoso son más móviles.
- Estos compuestos en la atmósfera consideran un riesgo para la salud.
- Contribuyen a la presencia de hidrocarburos en la atmósfera los que formarían oxidantes fotoquímicos.

Cuando las aguas residuales están contaminadas con compuestos orgánicos volátiles estos se eliminan por medio de arrastre de aire pasando los contaminantes de fase líquida a fase gaseosa, pero no es muy efectiva con sustancias solubles en agua como el caso de los fenoles ya que quedan residuos de estos por lo que es necesario un proceso de oxidación catalítico por medio del paso de aire a una temperatura de 300 a 500°C durante corto periodo de tiempo, además de la absorción por medio de carbón activado. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002a)

1.2.2.2.4 Oxígeno Disuelto (OD)

Representa la concentración de oxígeno medida en el agua que está relacionado a su vez con la cantidad de material procedente de la descomposición de la vegetación, el crecimiento microbiano y su metabolismo, además de la descomposición de compuestos químicos.

La determinación de oxígeno disuelto es muy importante ya que permite determinar si un medio se encuentra en condiciones aeróbicas o anaeróbicas. Este parámetro sirve como base para cuantificar el DBO₅ y el dimensionamiento de tratamientos de aireación.

El oxígeno disuelto se determina en base a la oxidación de ion I⁻ a I₂ molecular en condiciones ácidas, donde la cantidad de I₂ molecular liberado es equivalente a la cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua residual y se representa en mg/l. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002b)

1.2.2.2.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es un parámetro muy empleado cuando se trata de medir el grado de contaminación de las aguas residuales y superficiales. Nos indica el contenido de materia orgánica biodegradable y la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias a una temperatura de 20°C durante un periodo de 5 días.

Los resultados de los análisis de la DBO se emplean para:

- Medir la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar o degradar por medios biológicos la materia orgánica presente.
- Dimensionar plantas de tratamientos de aguas residuales.
- Determinar la eficacia de unos cuantos procesos de tratamiento.
- Constatar que se cumplen con las leyes de vertido de aguas residuales.

Cuando se descargan aguas con un alto DBO a otro cuerpo hídrico, las bacterias poseen una rica cantidad de nutrientes por lo que se reproducen rápidamente consumiendo el oxígeno disuelto del agua, cuando la DBO es muy elevada y el cuerpo receptor no puede diluirla los peces y organismos acuáticos mueren por asfixia. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002c)

La oxidación biológica es relativamente lenta y normalmente no se completa en 5 días de incubación. Los compuestos orgánicos simples, como la glucosa, se oxidan casi completamente en 5 días, pero en un agua residual doméstica solo se llega a oxidar de un 60% a 70% de la materia orgánica. Los compuestos orgánicos complejos pueden oxidarse únicamente en un 40 % en el mismo período. Cuando la descomposición de materia orgánica de una muestra es tan completa como se puede obtener aeróbicamente, el OD así consumido es la DBO total o última (DBOu). Si no se indica nada, se suele aceptar que es DBO₅.

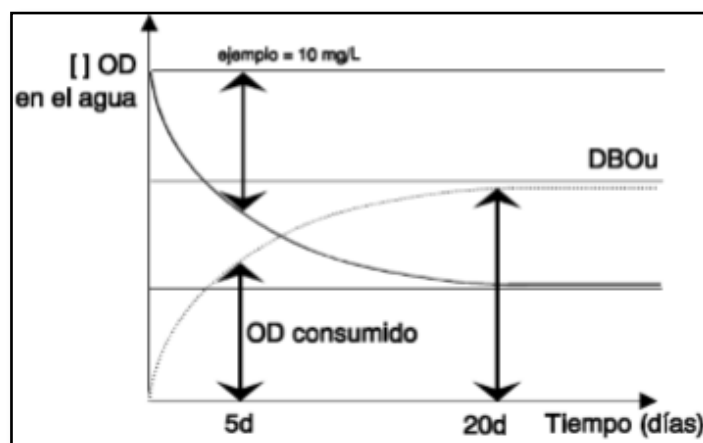


Gráfico 1-1. Oxígeno disuelto consumido en función del tiempo

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

Normalmente, se supone que la DBO es una reacción de primer orden. En una reacción de orden 1, la velocidad de oxidación es proporcional a la concentración presente de materia orgánica oxidable. (Metcalf y Eddy, 1995e, p. 52)

1.2.2.2.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es un parámetro que indica la materia orgánica que es susceptible de oxidación por medios químicos dejando de lado a los microorganismos. Este parámetro es más rápido ya que este ensayo puede completarse en un par de horas y más preciso que la DBO ya que puede determinar fácilmente la concentración de los químicos antes y después del ensayo, pero el empleo de químicos se debe tener extremo cuidado además de que la presencia de ciertas sustancias inorgánicas como cloros y cloruros puede afectar los resultados finales de los datos obtenidos. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002d)

Para el ensayo de la DQO se emplea dicromato de potasio en un medio ácido ya que es el mejor agente oxidante para la determinación de la DQO. Este compuesto contiene la capacidad de oxidar la gran mayoría de sustancias orgánicas incluso las que son difíciles oxidar biológicamente, además, es fácil de determinar su concentración antes y después de la prueba, lo cual hace que se pueda calcular el oxígeno consumido. (Espigares, 1985, p.26)

1.2.2.3 Carbono Orgánico Total (COT)

Es un parámetro que mide el grado de combustión completa de la materia orgánica presente en una muestra de agua está en relación directa con el DBO y DQO se lo determina mediante el uso de un horno donde el dióxido de carbono formado a altas temperaturas se cuantifica mediante un catalizador infrarrojo.

La concentración de COT es una medida del grado de contaminación de una muestra de agua y se relaciona con DBO y DQO mediante la relación de biodegradabilidad: (Romero, 2005f, pp. 105-111, 173-186, 231-266.)

Tabla 3-1: Relación de biodegradabilidad

Relación	Resultados	Interpretación
DBO/DQO	< 0.2	Se refiere a que los contaminantes no son biodegradables

	> 0.4	Se refiere a que los contaminantes no son biodegradables
DQO/DBO	< 2.5	Corresponde a un efluente o compuesto biodegradable donde es recomendable el uso de lodos activados, lagunas de oxidación o lechos bacterianos.
	2.5 < DQO/DBO < 5	Corresponde a un efluente o compuesto biodegradable donde es recomendable el uso de lechos bacterianos.

Realizado por: Guillermo Niama, 2016

Fuente: CRITES R. and TCHOBANOGLOUS G, Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones

1.2.3 Características Biológicas

Son de gran importancia en el estudio de aguas residuales ya que entre estos se encuentran microorganismos patógenos responsables de enfermedades, además existen otros microorganismos que se encargan descomposición y estabilización de la materia orgánica. Los microorganismos presentes en las aguas residuales se clasifican en:

- Eucariotas.
- Eubacterias.
- Archeobacterias. (Crites Tchobanoglous, 2000f, p. 46 - 90)

Tabla 4-1: Clasificación de los microorganismos

Grupo	Estructura Celular	Características	Tamaño típico	Miembros Representativos
Eucariotas	Eucariota	Multicelular con gran diferenciación de células y tejidos	10-100 μm de diámetro	Plantas (plantas de semilla, musgos y helechos). Animales (vertebrados e invertebrados).
		Unicelular con escasa o nula	10-100 μm de diámetro	Algas, hongos y protozoos.

		diferenciación de tejidos		
Eubacterias	Procariota	Química celular parecida a las eucariotas	0.2-2.0 μm de diámetro	La mayoría de las bacterias
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva	0.2-2.0 μm de diámetro	Metanógenos, halófitos, termoacidófilos.

Realizado por: Guillermo Niama, 2016

Fuente: CRITES R. and TCHOBANOGLOUS G, Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones

1.2.3.1 Organismos patógenos

Estos microorganismos presentes en las aguas residuales provienen de los desechos humanos que se encuentren infectados o sean portadores de una enfermedad en específico. Estos microorganismos son los responsables de distintas enfermedades del tracto intestinal como: la fiebre tifoidea, diarrea, cólera, etc.

Los microorganismos patógenos más importantes presentes en el agua residual son: bacterias, protozoos, helmintos y virus.

1.2.3.2 Coliformes

Debido a que los distintos microorganismos presentes en las aguas residuales se encuentran en pequeñas cantidades y por su gran variedad son difíciles de aislar e identificar, por esta razón se emplean los coliformes por su fácil detección y presencia abundante. Cada persona expulsa al día de 100000 a 400000 millones de coliformes. Se encuentran abundantemente en el intestino pero tienen la capacidad de sobrevivir y multiplicarse en aguas potables y residuales. Para la detección de coliformes se utiliza la técnica de filtro de membranas y la técnica de tubos múltiples de fermentación ambas están estandarizadas y sus resultados se expresan en UFC/100 ml.

1.2.3.2.1 Coliformes Totales

Comprenden a todos los bacilos Gram negativos aerobios y anaerobios facultativos como: Enterobacter, Escherichia, Citrobacter y Klebsiella. Son de forma redonda y no forman esporas su temperatura de incubación es de 30 a 37 °C en 48 horas.

1.2.3.2.2 Coliformes Fecales

Son un subgrupo de los coliformes totales, los coliformes fecales reflejan la contaminación de materia fecal en el agua en su gran mayoría son *Escherichia coli* y algunas *Klebsiella*. Es necesario cuantificar los coliformes debido a las distintas enfermedades se transmiten por materia fecal presente en el agua. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002e)

1.3 Muestreo de aguas residuales

Tiene como finalidad obtener una parte representativa del material bajo estudio (volumen de agua residual) es decir que tenga las mismas características de donde se obtuvo la muestra para lo cual es de suma importancia el transporte y almacenamiento a bajas temperaturas con la finalidad de que la muestra se mantenga íntegra para su correspondiente análisis en el laboratorio donde se determinaran sus características físicas, químicas y microbiológicas. (Universidad autónoma de México, 2011)

1.3.1 Clasificación de las muestras

1.3.1.1 Muestras simples o puntuales

Son aquellas que se toman en un día en horas específicas procurando que estas reflejen cuantitativa y cualitativamente todas las actividades que generan la descarga de aguas residuales con la finalidad de obtener el volumen suficiente para realizar las pruebas de laboratorio. (Universidad autónoma de baja California, 2003)

La muestra simple representa las características del agua en el momento que es tomada, se emplea las muestras simples cuando:

- Cuando el caudal de agua residual y su composición se mantienen constantes.
- Flujo de agua residual es intermitente
- Cuando al emplear muestras compuestas estas ocultan condiciones extremas del agua como la temperatura y el pH. (Ramalho, 1996a, p. 77-78.)

1.3.1.2 Muestras compuestas

Son el resultado de mezclar varias muestras simples, las que han sido tomadas en el mismo lugar pero en intervalos de tiempo establecidos previamente. (Universidad autónoma de Baja California, 2003)

Para la recolección de las muestras se lo puede hacer:

- **Sin considerar el flujo:** En este caso para preparar la muestra compuesta se obtiene alícuotas del mismo volumen las cuales se mezclan al final del muestreo o mientras se las va obteniendo
- **Considerando el flujo:** Se lo hace considerando el caudal durante el tiempo de muestreo y volumen necesario de muestra compuesta para los análisis en el laboratorio. En base a estos datos se realizan los cálculos para determinar el volumen de las alícuotas y posteriormente mezclarlas para preparar la muestra compuesta.

Al preparar la muestra compuesta es fundamental conocer la cantidad requerida de cada muestra simple. La frecuencia con la que se realizan los muestreos depende de la variación de caudal y de carga contaminante, en poblados pequeños pueden ser de 2 a 24 horas sin embargo en grandes poblaciones los muestreos pueden realizarse cada 15 minutos. (Ramalho, 1996b, p. 77-78.)

1.3.1.3 Conservación de las muestras

Se requiere preservar adecuadamente las muestras de agua residual en especial cuando estas no van a ser caracterizadas en el laboratorio inmediatamente después de su recolección. Para evitar cambios en su composición física, química y microbiológica.

Es decir la conservación se basa en prevenir la hidrólisis de compuestos químicos, volatilización de compuestos volátiles y la acción de microorganismos. Por lo general para prevenir esto la muestra se conserva en un lugar oscuro y a una temperatura de 4°C, se puede además adicionar químicos conservantes que no interfieran con las características de la muestra. (Ramalho, 1996c, p. 77-78.)

1.4 Caudal

Caudal se define como la cantidad de fluido que en un determinado tiempo circula a través de una sección la cual puede ser una tubería, oleoducto, río, canal, etc.

1.4.1 Mediciones de caudal

La medición de los caudales en las corrientes de aguas residuales depende si la descarga se realiza a través de una tubería o un canal abierto para lo cual existen varios métodos como:

- Método de vertederos o canal Parshall
- Método Volumétrico
- Método de Flotadores
- Método de Molinete (Ramalho, 1996d, p. 77-78.)

1.4.1.1 Método de vertederos

Este método de medición es uno de los más antiguos, simples y confiables si se tiene la caída suficiente y no existen grandes volúmenes de agua es aplicable en plantas de tratamiento de aguas residuales, industrias, etc. Además también depende de la geometría de las instalaciones de descarga y las características del efluente.

Consiste en la interrupción del flujo del canal con vertederos de diferentes formas con la finalidad de que el efluente retroceda y pase a través del mismo, midiendo la altura de la superficie del fluido corriente arriba es posible determinar el flujo si la forma del vertedero es conocida. Este método deja de ser aplicable cuando:

- Las descargas se las realiza por tuberías
- Lograr que un vertedero de geometría conocida coincida con un canal no es muy probable (Universidad nacional abierta y a distancia, 2012a)

1.4.1.2 Método Volumétrico

Este método es aplicable para canales abiertos y tuberías donde exista una caída de fluido en la que es posible interponer un recipiente. Para medir caudales mediante el método volumétrico se

requiere de un recipiente de volumen conocido y un cronómetro, el procedimiento inicia al colocar el recipiente bajo la descarga de tal forma que reciba todo el flujo y simultáneamente se empieza a medir el tiempo con el cronómetro en el momento en el que el recipiente se introduce en la descarga y detiene el tiempo cuando se retira el recipiente de la misma, los datos obtenidos sirven para calcular el caudal en dicho instante mediante la siguiente ecuación:

Ec. 1

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

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

V = Volumen del agua (m^3)

t = Tiempo de recolección de agua (s)

Este procedimiento es muy empleado debido a su simplicidad y confiabilidad, siempre y cuando todo el flujo de la descarga pueda ser introducido dentro del recipiente aunque pueda tener problemas en el momento que el suelo no sea firme lo que no brindara estabilidad al recipiente además de la difícil manipulación de los recipientes por el peso. (Universidad nacional abierta y a distancia, 2012b)

1.4.1.3 Método de flotadores

Este método se emplea en ríos y canales abiertos, para el cálculo emplea valores promedios de variables específicas.

El método requiere de los siguientes materiales:

- Una regla graduada
- Un flexómetro o cinta métrica
- Cronometro
- Un objeto flotante que puede ser una pelota de ping-pong o un trozo de madera uniforme.

Para ejecutar el método de los flotadores de debe seleccionar un tramo recto de una longitud de 10 a 15 metros donde el agua fluya sin turbulencias es decir que no contenga palos y piedras que

interrumpan el flujo normal del agua, se deberá calcular el área transversal promedio para lo cual se medirá el ancho y se dividirá en secciones en las cuales se medirá la altura respectivamente el área. (Ministerio del ambiente, vivienda y desarrollo territorial-república de Colombia, 2007a)

1.4.1.4 Molinete

Al igual que en el método de los flotadores se debe disponer de una sección que no contengan obstáculos que impidan el paso del agua es decir que no provoquen zonas turbulentas, además de que la sección debe ser recta.

Para dar comienzo con el método se tiende una cuerda con la finalidad de medir la sección transversal del canal y determinar los puntos de medición de velocidad por lo que la cuerda debe estar colocada firmemente en ambos extremos. (Ministerio del ambiente, vivienda y desarrollo territorial-república de Colombia, 2007b)

Se debe seleccionar un molinete según el intervalo del caudal, el mismo que se sumergirá en el canal con su punta en dirección de la corriente a una altura del 20% y 80% de profundidad del canal, verificando que la hélice tenga libre movimiento, además se debe poner en ceros el tacómetro y cronometro para iniciar con la medición. (UNAD, 2012a)

1.5 Tratamiento de aguas residuales

Es un conjunto de operaciones físicas, químicas y biológicas organizadas de acuerdo a las características de las descargas con la finalidad de que estas sean depuradas alcanzando los límites legales para que estas puedan ser descargadas y asimiladas por el ecosistema sin sufrir alteraciones. (Instituto tecnológico de Canarias, 2006a, Pp. 41-53)

Para realizar el tratamiento de aguas residuales se debe tener en presente:

- Los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- El orden de remoción de los mismos.

Dentro del tratamiento de aguas residuales están presentes dos líneas de tratamiento:

- Línea de aguas es aquella que consta de todos los procesos que ayudan a reducir la contaminación de aguas residuales.
- Línea de lodos en esta se trata los subproductos que se generan en las distintas operaciones de la línea de aguas.

1.5.1 Pretratamiento

Consiste en una serie de operaciones físicas y mecánicas cuya finalidad es la remoción de la mayor cantidad de materia posible que por su naturaleza y tamaño pueden llegar a ser un problema en etapas posteriores del tratamiento (obstrucción de tuberías, válvulas, bombas y desgaste de equipos, etc.). Es de suma importancia el correcto diseño y mantenimiento de estas ya que la eficiencia del pretratamiento dependen el resto de operaciones. (Instituto tecnológico de Canarias, 2006b, Pp. 41-53)

Las operaciones que comprende el pretratamiento son:

- Cribado
- Desarenado
- Tamizado
- Desengrasado
- Preaireación

1.5.1.1 Cribado



Figura 2-1. Pretratamiento con rejillas

FUENTE: CENTA, 2006.

Consiste en la eliminación de sólidos de tamaño grande y mediano (madera, trapos, raíces, cáscaras de fruta, trozos de papel, etc.) de tamaño superior a 1 – 2 mm con la finalidad de:

- Proteger dispositivos de transporte de aguas residuales (bombas, tuberías, piezas especiales, etc.) de la obstrucción.
- Protección de los equipos de tratamiento y del aspecto estético de los cuerpos receptores.

Consiste en hacer pasar el agua residual a través de rejillas metálicas paralelas del mismo tamaño y espesor. Las rejillas pueden clasificarse por:

Su limpieza:

- Mecánicas (Se las recomienda para caudales superiores a 250 L/s con altos contenidos de sólidos)
- Manuales. (Para caudales inferiores a 250 L/s)

Separación entre barras:

- Fina (separación entre 0.5 y 1.5 cm)
- Media (separación entre 1.5 y 5 cm)
- Gruesa (separación mayor 5 cm)

Inclinación de la barra:

- Verticales (90° respecto a la horizontal)
- Horizontales (inclinación entre 60° y 80° respecto a la horizontal) (UNAD, 2012b.)

En grandes instalaciones de depuración se hacen pasar los residuos extraídos de las rejas por mecanismos de compactación, con objeto de reducir su volumen antes de ser depositados en contenedores. (Instituto tecnológico de Canarias, 2006c, Pp. 41-53)

1.5.1.2 Rejillas de limpieza manual

Son muy utilizadas en pequeñas poblaciones ya que no requieren de un sistema mecánico para su limpieza por lo que no requieren de consumo de energía adicional. Los sólidos removidos por las rejillas se acumulan en bandejas para su deshidratación. (Espín, 2009. Pp. 23-28; 35-40.)

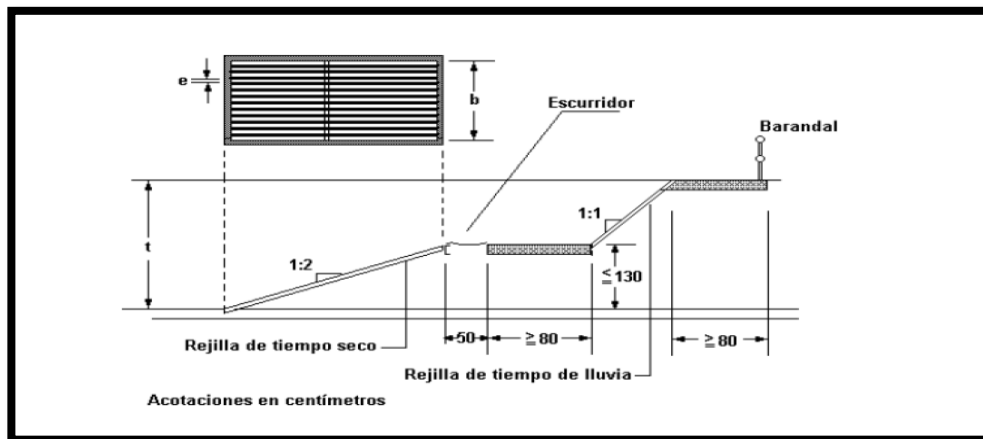


Figura 3-1. Rejillas de limpieza manual

Fuente: VALDEZ E., Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales.

1.5.1.2.1 Ubicación de las rejillas

Las se ubican de forma inclinada con respecto al piso del canal. El canal para el correcto desempeño de las rejillas debe ser recto, horizontal y perpendicular a la reja con la finalidad de repartir uniformemente de los sólidos detenidos por la misma.

1.5.1.3 Tamizado

Es una operación que se utiliza para disminuir el contenido de sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales, para lo cual se emplea soportes delgados que poseen ranuras de paso (tamices) con la finalidad de filtrar.

En el tratamiento de aguas residuales se utiliza tamices con luces de paso comprendidas entre 0.2 y 6 mm. Los tamices se clasifican en:

- **Tamices Rotativos:** Están constituidos por un enrejado cilíndrico con eje horizontal el cual gira lentamente accionado por un motor, la alimentación de este tamiz se lo hace por la parte exterior, los sólidos superiores al diámetro de la luz del tamiz permanecen en la exterior y son eliminados mediante una cuchilla o el giro del tamiz.
- **Tamices Estáticos:** Estos tamices se encuentran formados por un enrejado de barras horizontales configuradas de tal forma que la parte plana está en contacto con el fluido con una

inclinación entre 65° y 45° que disminuye progresivamente de abajo hacia arriba. El agua residual que se va a tratar se introduce por la parte superior, los sólidos son retenidos y ruedan a un contenedor que se encuentra situado en la parte inferior. (Instituto tecnológico de Canarias, 2006d, Pp. 41-53)

1.5.1.4 Desarenado

Esta operación como su nombre lo indica tiene como finalidad la remoción de la mayor cantidad posible de la arena presente en el agua residual. La arena está conformada por diferentes partículas de grava y otras de origen orgánico o mineral. El desarenado previene el desgaste excesivo de equipo y la acumulación de arena en operaciones posteriores la misma que puede ocasionar problemas. (Instituto tecnológico de Canarias, 2006e, Pp. 41-53)

1.5.1.4.1 Desarenador

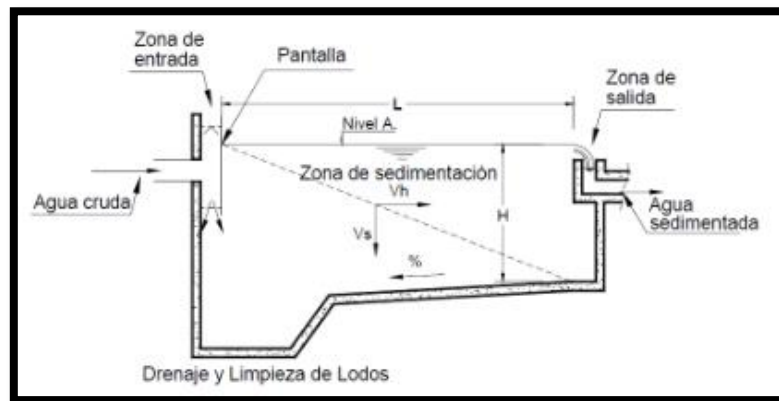


Figura 4-1. Estructura de un desarenador

Fuente: DISEÑO DE PROYECTOS DE AGUA PARA POBLACIONES DE 10000 HABITANTES, 2005

Como su nombre lo indica es una estructura que consiste en el ensanchamiento del canal de pretratamiento donde la velocidad disminuye lo necesario con el objetivo la remoción de partículas de arena y sus similares con diámetros superiores a 0.15 mm por medio de la sedimentación de los mismos previniendo la formación de depósitos pesados en tuberías, conductos y canales que pueden causar daños en tuberías y equipos de la planta depuradora.

Los tipos de desarenadores más comunes son:

- **Convencional:** Es de flujo horizontal, tiene forma rectangular donde los sólidos sedimentaran por acción de la gravedad.

- **Vórtice:** Su funcionamiento se basa en la formación de un remolino inducido provocando que los sólidos se capturen en el centro de una tolva.
- **Vertical:** El flujo se produce desde la parte inferior hasta la parte superior de una estructura que puede ser cuadrada, circular o rectangular donde las partículas van sedimentando a medida que el agua sube. (Universidad nacional de ingeniería de Managua, 2012a)

1.5.1.4.2 Partes del desarenador

- **Zona de entrada:** Tiene la función de conseguir la disipación de la energía reduciendo la velocidad con la que viene el fluido en la captación, además de una distribución uniforme de las líneas de flujo del agua residual reduciendo las turbulencias dentro del desarenador. La zona de entrada consiste en la ampliación del canal por lo general la ampliación se hace a un ángulo de 12.3°.
- **Zona de sedimentación:** Es la zona del desarenador donde el régimen de flujo permite que las partículas se depositen o sedimenten por acción de la gravedad, La velocidad del fluido dentro de la zona de sedimentación debe ser menor a la velocidad de arrastre de las partículas sedimentadas para que exista una correcta remoción de las arenas del fluido.
- **Zona de salida:** Está formada por un vertedero diseñado para que la descarga se realice a una velocidad que no altere el reposo de la arena sedimentada es decir sea una velocidad uniforme que no cause turbulencias dentro del desarenador.
- **Zona de lodos o eliminación de arena:** Constituida por una tolva con una pendiente entre el 5% y el 10% la misma que permite el deslizamiento de la arena hacia la zona de descarga ubicada a un tercio de la longitud de la zona de sedimentación ya que entre un 60 y 90% del total de las partículas sedimentan en dicha zona.
(Universidad nacional de ingeniería de Managua, 2012b)

1.5.1.5 Desengrasado-desaceitado

En el desengrasado se remueve del agua residual grasas, aceites y sustancias de menor densidad que el agua normalmente.

El desaceitado consiste en una separación líquido-líquido y el desengrasado es una separación sólido-líquido. Los principales desengrasadores que se utilizan son:

- **Desengrasador estático:** El paso del agua se realiza a través de un depósito que tiene un tabique que obliga al agua a salir por la parte inferior reteniendo los componentes de menor densidad que el agua en la superficie.

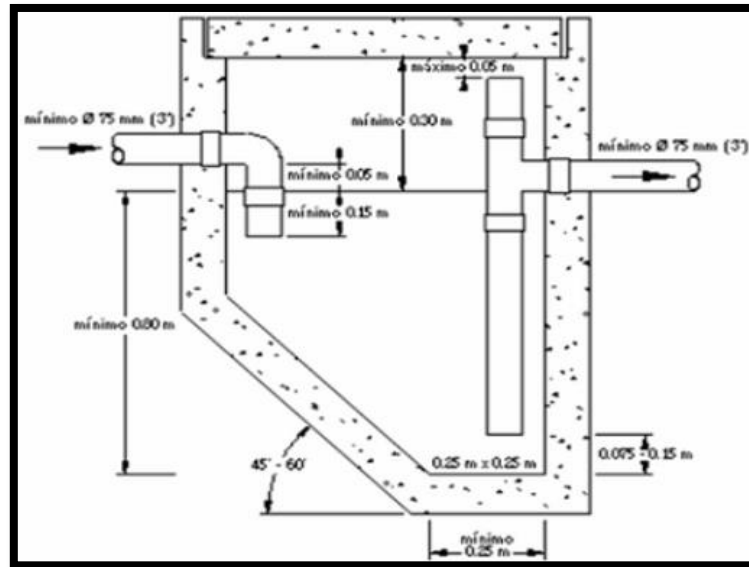


Figura 5-1. Desengrasador estatico

Fuente: UNATSABAR, 2013

- **Desengrasador aireado:** Tiene el mismo principio de funcionamiento que el aireador estático, pero utiliza una aireación adicional cuya función es desemulsionar las grasas mejorando la separación de las mismas.

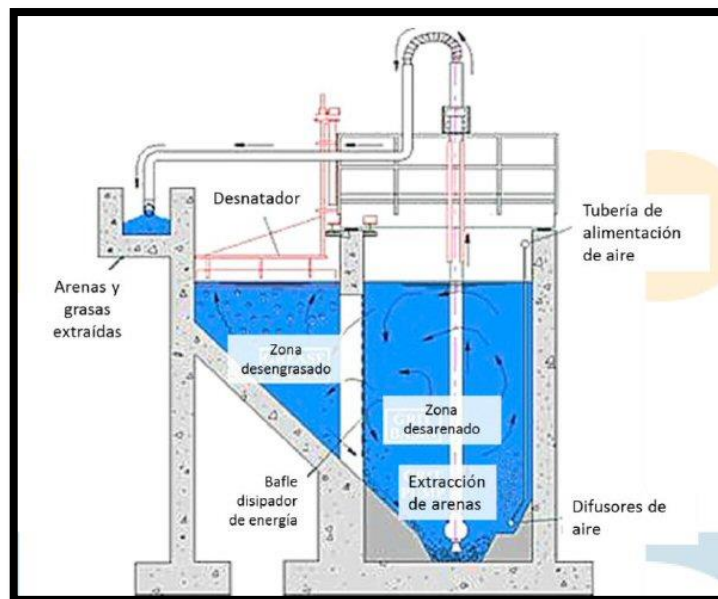


Figura 6-1. Desengrasador aireado

Fuente: LOZANO-RIVAS, 2012

1.5.1.6 Pre aireación

Consiste en la adición de aire u oxígeno en aguas residuales en la etapa preliminar (pretratamiento) mejorando considerablemente el tratamiento posterior de las aguas residuales.

Este tratamiento persigue los siguientes objetivos:

- Reducir los malos olores presentes en el agua por condiciones anaerobias ya que estas condiciones favorecen la multiplicación de bacterias las mismas que producen gases malolientes en su metabolismo las mismas que pueden ser un problema para poblaciones cercanas al ser arrastradas por los vientos.
- Mejorar la separación de las grasas.
- Favorecer la floculación de los sólidos.
- Mantener el oxígeno en la decantación aun a bajos caudales.
- Incrementar la eliminación de DBO₅.
- Evitar los depósitos en las cámaras húmedas (Instituto tecnológico de Canarias, 2006f, Pp. 41-53)

1.5.2 Tratamiento primario

Consiste en un proceso físico o fisicoquímico cuyo objetivo es la reducción de sólidos en suspensión en un 50% y materia biodegradable (materia orgánica) y por consiguiente la reducción de la DBO por lo menos en un 20%. El tratamiento primario se encarga eliminar sólidos en suspensión dentro de los cuales se encuentra material biodegradable ya que los sólidos en suspensión están compuestos en parte por materia orgánica. No remueve microorganismos ni material soluble. Los principales tratamientos primarios son los siguientes:

- Sedimentación o decantación primaria
- Homogenización
- Neutralización
- Tanque Imhoff (Manahan, 2007a, p. 209)

1.5.2.1 Sedimentación primaria

Es un proceso físico que tiene por objetivo eliminar la mayor cantidad de sólidos sedimentables mediante el uso de la gravedad, los mismos que tienen mayor densidad que el agua por lo que no necesitan de la acción de sustancias químicas para sedimentar.

La sedimentación consiste en disminuir la velocidad de flujo del agua residual haciéndola pasar a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Los mismos que son llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primaria, el propósito principal de la sedimentación primaria es producir un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos lodos que serán tratados por separado. Es de suma importancia retirar estos sólidos ya que los mismos generan altos valores de DBO y DQO en las operaciones posteriores, con la sedimentación primaria se elimina entre un 50 – 70 % de sólidos suspendidos y entre un 25 – 40% de DBO₅. (Manahan, 2007b, p. 209)

1.5.2.2 Homogenización

Consiste en una mezcla de corrientes de aguas residuales, ácidas o alcalinas, en un tanque de homogenización cuya finalidad es:

- Reducir las variaciones de caudal
- Proveer un control adecuado de pH para minimizar los requerimientos de dosificación en procesos posteriores de neutralización
- Mejorar el proceso de tratamiento biológico
- Proveer un flujo continuo a plantas de residuos industriales
- Aminorar las variaciones de DBO del efluente a los sistemas de tratamiento

Se usa principalmente para:

- Caudales de tiempo seco
- Caudales de alcantarillados combinados
- Caudales de invierno
- Caudales de plantas industriales

Es necesaria para las aguas residuales que experimentan variaciones entre los máximos y mínimos caudales y cargas contaminantes.

1.5.2.3 Neutralización

Este tratamiento se caracteriza por la adición de reactivos químicos que permiten regular el pH del agua. Este proceso es aplicable cuando:

- Cuando las aguas residuales poseen vertidos industriales que afectarían considerablemente el tratamiento biológico.
- Fuertes variaciones de caudal.
- Se requiere la reducción de fósforo.
- Prevenir de sobrecargas del tratamiento biológico.

Cuando el pH está muy por encima de 7 o muy por debajo es decir cuando se tienen aguas básicas o ácidas, pueden afectar el equilibrio de la vida en el caso de descarga directa a un ecosistema o debido a las necesidades de tratamiento biológico por lo que para el caso de:

1.5.2.4 Aguas ácidas

Para neutralizar aguas ácidas comúnmente se agrega cal, óxido de cal, hidróxido de magnesio, óxido de magnesio, hidróxido de sodio, óxido de calcio y el hidróxido de calcio siendo este último el más utilizado por su bajo costo, pero este a su vez genera una gran cantidad de lodos por lo que su uso es cuestionado.

Mientras que el hidróxido de sodio con un costo más elevado ayuda a neutralizar los residuos ácidos presentes en aguas residuales y no genera una gran cantidad de lodos.

1.5.2.5 Aguas alcalinas

Para neutralizar aguas alcalinas se agrega ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y dióxido de carbono. El ácido sulfúrico es el más barato y más utilizado pero es extremadamente corrosivo al estar diluido comercialmente se encuentra en concentraciones del 60 al 94% para su utilización debe estar libre de metales pesados.

También es muy empleado el ácido clorhídrico que es un líquido de color claro amarillento, fumante e irritante que puede contener hierro o arsénico y se puede conseguir en concentraciones hasta del 35%.(Instituto tecnológico de Canarias, 2006f, Pp. 41-53)

1.5.2.6 Tanque Imhoff

Es una unidad de tratamiento primario también conocida como tanque de doble cámara utilizada para la remoción de sólidos en suspensión. Este tanque es utilizado para poblaciones menores a 5000 habitantes, y dentro del mismo se realizan las operaciones de sedimentación y la digestión de los sólidos sedimentados.

Los tanques Imhoff tienen un funcionamiento simple ya que no requieren de partes móviles pero las aguas requieren de un tratamiento preliminar antes de ingresar al tanque. Normalmente son de forma rectangular y poseen 3 compartimientos:

- Cámara de sedimentación
- Cámara de digestión
- Área de ventilación y acumulación de natas

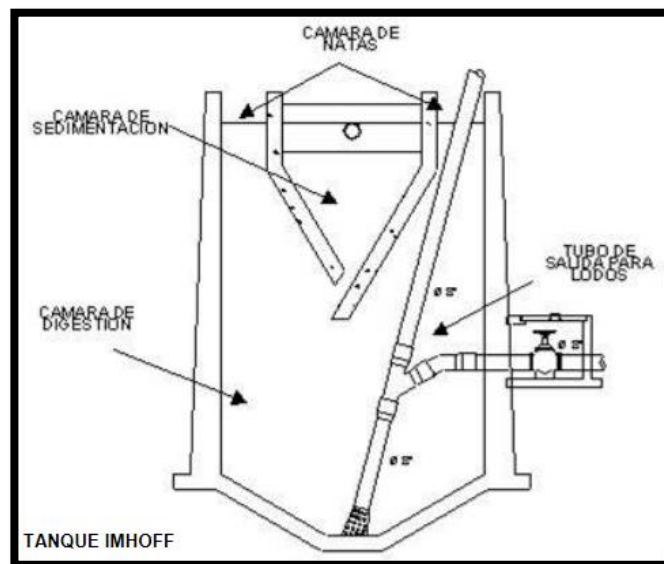


Figura 7-1. Tanque Imhoff

Fuente: Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

Donde las aguas residuales ingresan a la cámara de sedimentación donde se remueven gran parte de los sólidos en suspensión, estos descienden por las paredes inclinadas de la cámara de sedimentación hasta la cámara de digestión donde la materia orgánica se degrada generando gases y partículas ascendentes que son desviados hacia la área de ventilación o acumulación de natas.

Los lodos que se acumulan en la cámara de digestión deben ser extraídos periódicamente y dirigidos periódicamente a un lecho de secado para su disposición final posterior.

El uso de un tanque Imhoff tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Produce un líquido séptico de menores características que un tanque séptico.
- El lodo producido se seca y evacua con mayor facilidad.
- Tienen un menor tiempo de retención que una laguna de oxidación.
- Bajo costo de operación y construcción.
- Se requiere de menor espacio de terreno respecto a las lagunas de oxidación.
- Son ideales para ciudades pequeñas y comunidades que no requieren atención constante para que sus efluentes satisfagan ciertos requisitos para evitar la contaminación ambiental.

Desventajas:

- Tienen profundidades superiores a los 6 m
- Puede causar malos olores (Organización panamericana de la salud, 2005)

1.5.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario tiene por finalidad la reducción de la materia orgánica y sólidos coloidales no decantables presentes en el agua residual que no se eliminaron en tratamientos previos (pretratamiento y tratamiento primario). El tratamiento secundario emplea el tratamiento biológico es decir para el tratamiento se utilizan microorganismos (protozoos y bacterias) cuyo objetivo es oxidar la materia orgánica presente en el agua residual.

Los microorganismos que se emplean en los tratamientos pueden ser aerobios, anaerobios y facultativos de acuerdo a su afinidad con el oxígeno. Los microorganismos aerobios tienen una gran eficiencia ya que reducen el 65% de materia orgánica a biomasa mientras que los anaerobios generan metano y solo reducen un 10% de la materia orgánica en biomasa.

Los procesos comúnmente empleados en tratamiento secundario de aguas residuales:

- Filtración biológica
- Procesos facultativos
- Lodos activos o lodos activados
- Lagunas aireadas (Manahan, 2007c, p. 210)

1.5.3.1 Filtración biológica



Figura 8-1. Filtros biológicos

Fuente: Tratamientos avanzados de aguas residuales, 2006.

También denominados filtros percoladores o lechos bacterianos sirven para remover hierro, amoníaco, manganeso y componentes orgánicos biodegradables presentes en las aguas residuales. La filtración biológica se realiza en condiciones aeróbicas por medio de etapas sucesivas de oxidación biológica usando bacterias especiales sobre distintos lechos filtrantes.

La masa biológica para su metabolismo requiere de aireación la que en la mayoría de los casos es inducida mediante equipos similares a los extractores de olor además de compuestos orgánicos los mismos que son obtenidos de las aguas residuales. El resultado final como en los otros procesos de tratamiento biológico de aguas residuales es la remoción de la materia orgánica. El crecimiento de la materia biológica tiene un límite y cuando lo excede esta se desprende por lo que es necesario de un sedimentador después del proceso.

1.5.3.2 Procesos Facultativos

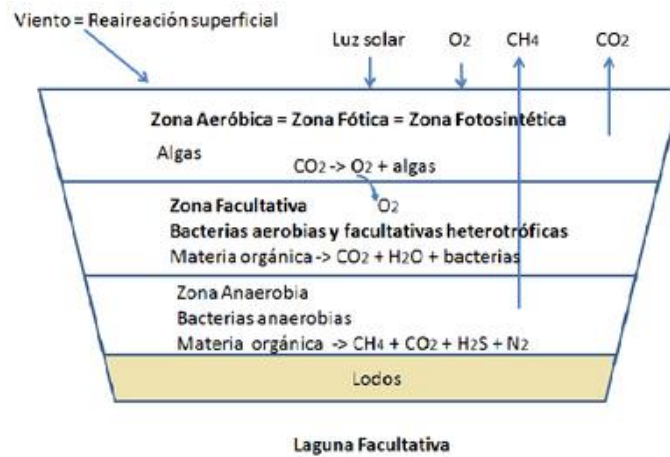


Figura 9-1. Laguna facultativa

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Laguna_facultativa.

Son operaciones de tratamiento de aguas residuales que se realizan en tanques donde se combinan microorganismos aerobios, anaerobios y facultativos. Los estanques de procesos facultativos son excavaciones profundas donde el agua a tratar se introduce por la parte inferior del tanque a cierta altura para evitar la agitación de los fangos sedimentados y el efluente sale por la parte superior del estanque. El estanque se divide en 3 regiones:

- La región inferior es donde se realiza la digestión anaerobia de los lodos es decir en ausencia de oxígeno.
- La zona intermedia donde la digestión es realizada por microorganismos facultativos es decir aquellos que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno
- En la zona superior la digestión es producida por microorganismos aerobios es decir en presencia de oxígeno el mismo que es dotado por algas o aireadores de superficie. (Mendoza, 2000a, pp. 257-262.)

1.5.3.3 Lodos Activados

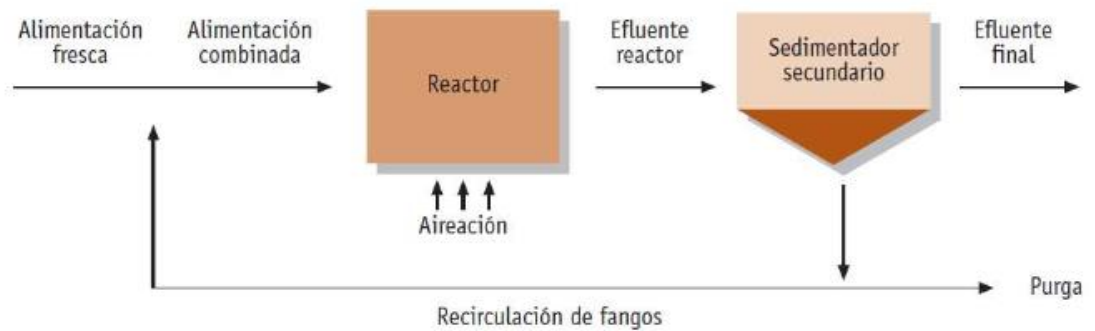


Figura 10-1. Proceso de lodos activados

Fuente: Tratamientos avanzados de aguas residuales, 2006.

Este proceso consiste en poner en contacto el agua residual con un medio aerobio mediante una aireación inducida con la ayuda de difusores en tanques o reactores de gran tamaño. La aireación genera el ambiente propicio para la reproducción de microorganismos los mismos que son los responsables de descomponer los contaminantes presentes en el agua residual a sustancias más simples (oxidación de la materia orgánica), la aireación ayuda a una mejor separación de grasas y floculación de sólidos además de la eliminación del DBO₅.

Después de la aireación se realiza la decantación para separar el agua tratada y los lodos. Una fracción de los lodos regresa al tanque de aireación para mantener una elevada concentración de microorganismos en su interior y el resto es purgado.

1.5.3.4 Lagunas aireadas mecánicamente

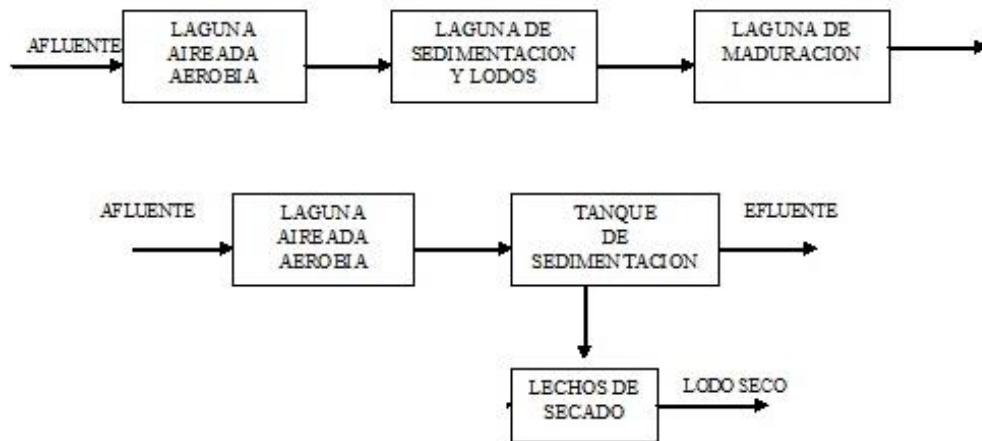


Figura 11-1. Proceso de lagunas aireadas

Fuente: VALDEZ E., Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales.

Son lagunas que se encuentran dotadas de equipos de aireación con la finalidad de introducir oxígeno a la masa líquida. Las aguas residuales reciben un pretratamiento (rejillas y desarenador) para ingresar a la laguna la misma que funciona como un tanque de aireación, la aireación artificial sustituye al oxígeno natural que es producido por algas en las aguas residuales.

El área que ocupan las lagunas aireadas mecánicamente es menor que el ocupado por lagunas de estabilización ya que tienen una mayor profundidad y a que requieren un menor tiempo de retención para la degradación de la materia orgánica. Necesita energía eléctrica cerca ya que para su funcionamiento utiliza aireadores. Las lagunas aireadas mecánicamente se clasifican en:

- Aerobia de mezcla completa
- Facultativa
- Con aireación extendida

Siendo la aerobia de mezcla completa y facultativa las más empleadas ya que la tercera para su funcionamiento requiere demasiada energía.

Laguna aerobia de mezcla completa esta mantiene los sólidos en suspensión por lo que la relación potencia volumen es muy alta. Este sistema funciona como un sistema de lodos activados sin la necesidad del sistema de recirculación. (Mendoza, 2000b, pp. 257-262.)

1.5.3.5 Aireación

La aireación es un proceso físico en el que las moléculas de agua y aire se intercambian entre la interface de ambos elementos. Este intercambio resulta del aumento de la concentración del gas o de los gases en la fase líquida hasta la saturación de la misma en determinadas condiciones de temperatura y presión.

En aguas residuales, la fase gaseosa está representada por el aire atmosférico y el líquido por el agua y sus contaminantes. La transferencia de oxígeno se obtiene introduciendo oxígeno artificialmente en las aguas residuales con equipos de aireación. La introducción de oxígeno debe estar en la cantidad necesaria para que exista autodepuración en las aguas residuales por medio de la oxidación biológica de la materia orgánica. (Mendoza, 2000c, pp. 257-262.)

La aireación es el proceso mediante el cual se añade aire al agua con la finalidad de:

- Proporcionar a los microorganismos presentes el oxígeno necesario para que puedan realizar los procesos transformación y degradación de materia orgánica
- Eliminar malos olores
- Incrementar el rendimiento en el proceso de floculación.
- Remover sustancias volátiles (Espín, 2009b, Pp. 23-28; 35-40.)

1.5.3.6 Sedimentación secundaria

Es el último proceso del tratamiento secundario y su objetivo es eliminar los flóculos biológicos obteniendo agua tratada con poco contenido de materia orgánica en suspensión.

El proceso consiste en la reducción de la velocidad de flujo del agua residual que ingresa a un tanque sedimentador ya sea de forma rectangular o circular con la finalidad de que los sólidos en suspensión que se encuentran en las aguas residuales sedimenten por acción de la diferencia de densidades y acción de la gravedad.

En el tratamiento de lagunas aireadas mecánicamente es muy importante el uso de un sedimentador secundario ya que al estar ubicado después del proceso de aireación remueve gran cantidad de sólidos en suspensión dando como resultado final un agua clarificada con bajo contenido de sólidos en suspensión y DBO. (Berrones, 2009a. Pp. 23-32.)

1.5.3.7 Sedimentador secundario

Es una estructura que tiene por objetivo la remoción de los lodos después del proceso de lagunas aireadas mecánicamente. Los tanques sedimentadores secundarios son los siguientes:

- Tanque circular (alimentación central y alimentación periférica)
- Tanque rectangular

1.5.3.8 Sedimentador Circular Secundario

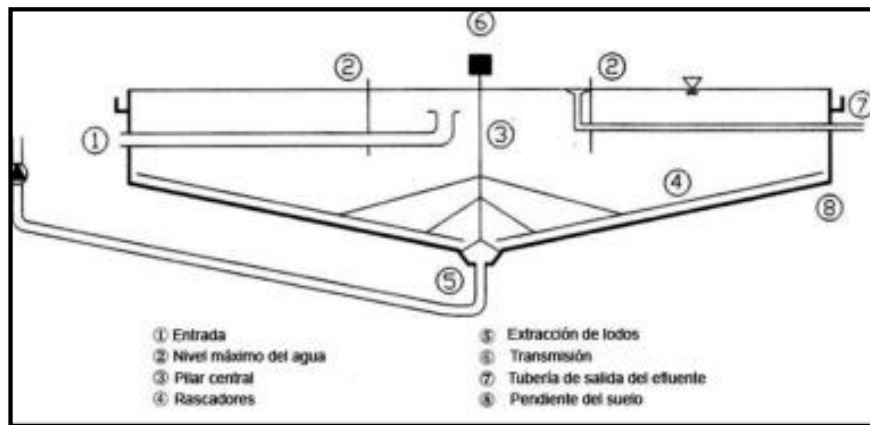


Figura 12-1. Tanque sedimentador circular

Fuente: HORAN, Tratamiento de Aguas Residuales, 2003

Es de uso muy común en pequeñas poblaciones además permite una buena remoción de lodos sin la necesidad de muchas partes móviles, las paredes del sedimentador circular son delgadas. Este sedimentador tiene un flujo radial por lo que el agua se introduce por la periferia o por el centro del tanque.

Comúnmente la alimentación es central en el cual el agua residual es transportada por tubería hacia el centro del tanque, a continuación, el agua pasa por una campana circular la misma que distribuye el flujo uniformemente en todas las direcciones. La campana circular tiene un diámetro entre 15– 20% del diámetro total del tanque y una profundidad entre 1 – 2,5 m.

Los lodos son removidos a rastras en tanques menores a 15 m de diámetro, cuando la cantidad de lodos es grande es necesario implementar el uso de succionadores. (Berrones, 2009b. Pp. 23-32.)

1.5.3.9 Sedimentador Rectangular

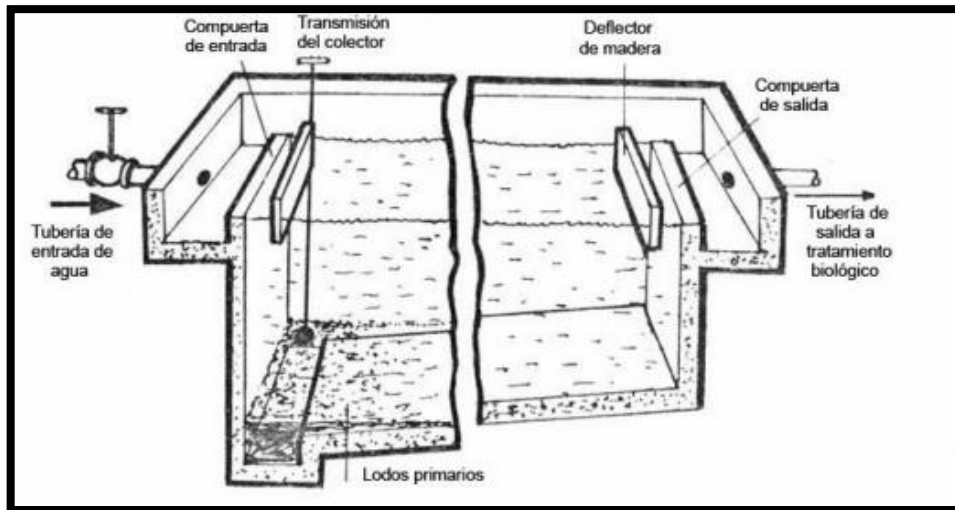


Figura 13-1. Tanque sedimentador rectangular

Fuente: HORAN, Tratamiento de Aguas Residuales, 2003

Son tanques de estructura rectangular hidráulicamente estables y muy recomendados para caudales altos se caracterizan por tener flujo horizontal a baja velocidad. Tienen una longitud que puede ser de 3 a 6 veces su anchura la misma que puede verse afectada por la profundidad, terreno y número de tanques. El fondo tiene una pendiente del 10% para facilitar la remoción de los lodos, también se utiliza rastras o rascadores que hacen recorrer los lodos hasta el fondo del sedimentador y de esta manera el material se desplaza hasta el sitio donde es recolectado ubicado a cierta distancia de la entrada del sedimentador. (Berrones, 2009c. Pp. 23-32.)

1.5.4 Tratamiento Terciario

También conocidos como tratamientos avanzados estos se caracterizan por tener un mejor rendimiento en cuanto a la remoción de materia en suspensión, DBO_5 , otros contaminantes como nutrientes, metales pesados y el desarrollo microbiano. Los efluentes tratados en el tratamiento terciario pueden llegar a ser utilizados nuevamente. El tratamiento terciario consiste en una serie de procesos cuya finalidad es eliminar los contaminantes que no fueron removidos en el tratamiento primario y secundario.

Por la misma razón el tratamiento terciario es el más completo para tratar aguas residuales pero a su vez tiene costos extremadamente altos por lo que su uso es muy limitado. El tratamiento terciario consta de una serie de procesos físico-químicos como la precipitación, filtración y

cloración. Dependiendo de la complejidad del efluente se emplean otros procesos como: intercambio iónico, ultrafiltración, electrodiálisis, oxidación-reducción, desinfección, entre otras. El tratamiento terciario es una etapa final previo a la disposición de las aguas en ríos, lagos, campos, viviendas, etc.

Los principales tratamientos terciarios son:

- Coagulación – Floculación
- Filtración
- Intercambio iónico (Ramalho, 1996e, p.585)

1.5.4.1 Coagulación-Floculación

Son dos procesos dentro de la clarificación de aguas residuales. Consiste en la desestabilización de partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas.

Es decir es un proceso unitario que consiste en la adición de sustancias químicas en el agua de manera uniforme para causar que el material no sedimentable forme partículas de mayor tamaño que sean sedimentables (flocs). Este proceso remueve turbiedad, color, bacterias, algas, fosfatos y otras sustancias que producen olores y sabores. Los químicos que se emplean reciben el nombre de coagulantes o floculantes de acuerdo a su comportamiento en el agua residual, son compuestos de hierro o aluminio. Los químicos más empleados son:

Tabla 5-1: Químicos más empleados en el proceso de Coagulación-Floculación

Característica	Compuesto Químico
Coagulante	Sulfato de aluminio
	Sulfato ferroso
	Sulfato férrico
Floculante	Polímero a base de sales de aluminio
	Polímero a base de sales de hierro

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: <http://datateca.unad.edu.co>

Es necesario realizar previamente la prueba de jarras con la finalidad de determinar cuál es el coagulante o floculante adecuado y su dosificación óptima de acuerdo al pH, la alcalinidad y la turbiedad del agua. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002a)

1.5.4.2 Coagulación

Es considerado un proceso universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso son eliminados al menor costo. La coagulación es un proceso químico en el cual se añaden coagulantes químicos para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua y promover su agregación al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas, es decir la coagulación ayudara a eliminar la repulsión relacionada con la electronegatividad de los coloides.

La coagulación es un tratamiento muy eficaz pero cuando no se lo realiza adecuadamente puede causar la degradación rápida de la calidad del agua o gastos de operación elevados injustificados. Por tal motivo es necesario considerar la dosificación adecuada del coagulante (Romero, 2005g, pp. 231-266.)

1.5.4.3 Floculación

Este proceso se origina con la adición de sustancias denominadas floculantes y a su vez su rendimiento puede mejorar con la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación. Es un proceso químico que se ve favorecido por la mezcla lenta que aumenta el choque de moléculas formando la aglutinación de sustancias coloidales presentes en el agua con la finalidad de formar el floc (formado por sólidos en suspensión, partículas coloidales de diámetros menores a una micra y sólidos disueltos), La floculación es necesaria cuando los flocs formados por la aglomeración de varios coloides no son lo suficientemente grandes como para sedimentar con rapidez deseada o ser removidos mediante filtración, el floculante reúne los flocs en forma de red formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados. (Romero, 2005h, pp. 231-266.)

1.5.4.4 Floculadores

Son estructuras que proveen una agitación adecuada del floculante y el agua residual con la finalidad de que se generen los flocs y estos se conserven y precipiten posteriormente los

floculadores pueden clasificarse de acuerdo al tipo de energía empleada para la agitación y su sentido de flujo los floculadores se clasifican en (UNAD, 2012c):

Tabla 6-1: Clasificación de floculadores

Según su agitación	Según su sentido de flujo	Descripción	Nombre
Hidráulicos	Flujo horizontal	Con tabiques de ida y de regreso	De tabiques
	Flujo vertical	Con tabiques arriba ya abajo del tanque	
		Con codos en el fondo del tanque que proyectan el agua arriba ya bajo	Alabama
		Con entrada lateral al tanque	Cox
Mecánicos	Rotatorios	De paletas de eje horizontal o vertical	De paletas
		De turbinas horizontales o verticales	De turbinas
	Reciprocantes	Rejas o cintas oscilantes	Reciprocantes
Hidromecánicos	Flujo horizontal	De turbina pelton y paletas horizontales	Hidromecánicos

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: <http://dateca.unad.edu.co>

Para el presente proyecto se propone el uso de un floculador hidráulico horizontal el mismo que requiere de un vertedero para mezclar adecuadamente el floculante.

1.5.5 Filtración

Esta operación es de suma importancia para la remoción de material particulado, comúnmente se la realiza empleando un medio granular con determinadas dimensiones y profundidad. El agua

pretratada pasa por el medio filtrante (materiales de diferentes diámetros de poro) donde las partículas en suspensión que tengan mayor diámetro que el medio filtrante son removidas.

La filtración mediante un lecho filtrante se usa cuando se tiene alta cantidad de materia en suspensión y la dimensión de las partículas es relativamente pequeña. Para tener una correcta filtración es necesario que la materia penetre el lecho y no se produzca un bloqueo en la superficie del mismo. El lecho filtrante se atasca debido a la saturación de materia retenida lo que ocasiona un atascamiento excesivo o una calidad de filtrado no aceptable, cuando esto ocurre se debe lavar el lecho filtrante. El tipo de filtro que se va aplicar depende de las etapas primarias de remoción empleadas. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002b)

1.5.5.1 Lecho filtrante

Es un medio poroso el mismo que es el principal componente de un filtro ya que es de gran importancia para la remoción de sólidos en suspensión. El lecho filtrante puede ser simple o doble (un lecho filtrante o dos lechos filtrantes combinados). Comúnmente se utiliza los siguientes lechos filtrantes:

- **Antracita:** Es un material particular del carbón duro. La antracita está formada por carbones que no se encuentran en su forma terminada y tiene opacas cenizas las mismas que deben ser limpiadas previo a su uso como lecho filtrante. Su principal ventaja es que se satura en mayor tiempo por lo que su necesidad de lavado en contra corriente es menos frecuente y puede filtrar mayores volúmenes sin pérdida de cabeza.
- **Sílice:** Conocido como arena de sílice es formado por la reacción de la sílice con la arena se utiliza como lecho filtrante para la retención de flóculos de tamaño muy pequeño
- **Grava:** Es un material proveniente de ríos y canteras está formado por partículas redondeadas, es muy utilizada como soporte es decir para evitar la pérdida de los medios filtrantes, es decir retenerlos dentro del filtro durante la filtración y el lavado en contracorriente.
- **Arena:** El 99% del agua purificada en el mundo utiliza filtros rápidos de arena ya que este material es muy económico y tiene una eficiencia elevada. La capa superior realiza la filtración mientras que la inferior ofrece soporte y asiste en el lavado a contra corriente del lecho filtrante. Este medio debe ser duro y estar libre de partículas sólidas.
- **Carbón Activado:** Es un sólido poroso que se puede encontrar en forma granular o en polvo, es el producto de cualquier materia prima que tenga un alto contenido material carbonoso (madera, cascara de nuez, huesos de animales, cascara de coco, etc.) son expuestos a combustión con baja presencia de aire y se activan con un baño en ácido concentrado para

eliminar los gases presentes. Se utiliza para la remoción de compuestos orgánicos que producen olor, sabor, color o toxicidad además se utiliza para reducir el cloro libre.

Los lechos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales son de grava y arena ya que son económicos y tienen una alta eficiencia es decir un alta tasa de remoción de solidos suspendidos. (Universidad nacional de ingeniería de Managua, 2012c)

1.5.5.2 Filtros

Los filtros son estructuras que utilizan lechos filtrantes donde se retienen los sólidos suspendidos que tienen un diámetro de partícula relativamente pequeño y que no fueron removidos en operaciones anteriores.

1.5.5.3 Tipos de filtros

Los filtros se clasifican de acuerdo a la velocidad con la que se lleva a cabo la filtración, según el tipo del lecho filtrante, según el sentido del flujo que tengan dentro del filtro y según la fuerza que se emplea para la filtración. En el siguiente cuadro se describe la clasificación de los filtros:

Tabla 7-1: Clasificación de filtros

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la fuerza empleada para la filtración
Filtros rápidos (Carga superficial de 120 a 360 m ³ /m ² d)	<ul style="list-style-type: none"> • Monomedio (Arena) • Bimedio (Antracita y arena o grava y arena, etc) • Multimedio (grava, arena, antracita, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ascendente (Flujo de abajo hacia arriba) • Descendente (Flujo de arriba hacia abajo) • Dual (Flujo parte ascendente y parte descendente) 	<ul style="list-style-type: none"> • Por gravedad (usa la fuerza de la gravedad para la filtración son más económicos ya que no requieren de consumo de energía adicional) • Por presión (requiere la fuerza adicional generada por una bomba lo

			que quiere decir que consume energía adicional)
Filtros lentos (7 a 14 m ³ /m ² d)	<ul style="list-style-type: none"> • Monomedio (Arena) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ascendente • Descendente • Horizontal 	Por gravedad

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: ARBOLEDA J., Teoría y práctica de la purificación del agua

1.5.5.3.1 Filtros lentos

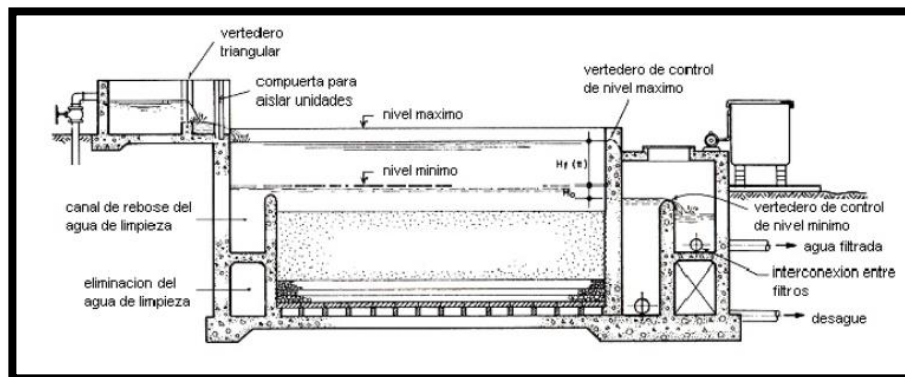


Figura 14-1. Filtro lento de grava y arena

Fuente: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap2.pdf

En el pasado fueron los filtros más utilizados su nombre proviene de su baja velocidad de filtración con la que operan ya que utilizan arena con un tamaño efectivo menor a 0.4 mm por lo general la tasa de filtración con la que operan son valores entre 7 – 14 m³/m²d. Los filtros no son adecuados para filtrar agua con elevada turbiedad ni para filtrar aguas coaguladas con grandes cantidades de floc suspendido, porque se taponaría muy rápido y se emplearía mayor tiempo en limpieza para destaponar el filtro que en el proceso de filtración.

Además que estos procesos requieren de grandes áreas superficiales, por lo que no es conveniente ya que se debe hacer un gasto mayor en el terreno o cuando no se dispone de mucha área para el proyecto sin embargo se pueden utilizar en plantas pequeñas y además de que oxidan materia orgánica y remueven causantes de olores y sabores.

La penetración de los sólidos en el filtro es solo superficial pues ahí se forma una película microbial la misma que retiene y oxida la materia orgánica. Con el uso la capa superficial del filtro se tapona, y el agua deja de fluir a una tasa deseada por lo que debe limpiarse removiendo entre 1 – 2 cm de arena superficial con un rastrillo o una pala. El periodo de filtración puede durar entre varios días hasta 3 semanas. Cuando el espesor de la arena ha reducido considerablemente se rellena el filtro con arena nueva conservando la arena antigua para preservar la capa biológica. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002c)

1.5.5.3.2 Filtros Rápidos

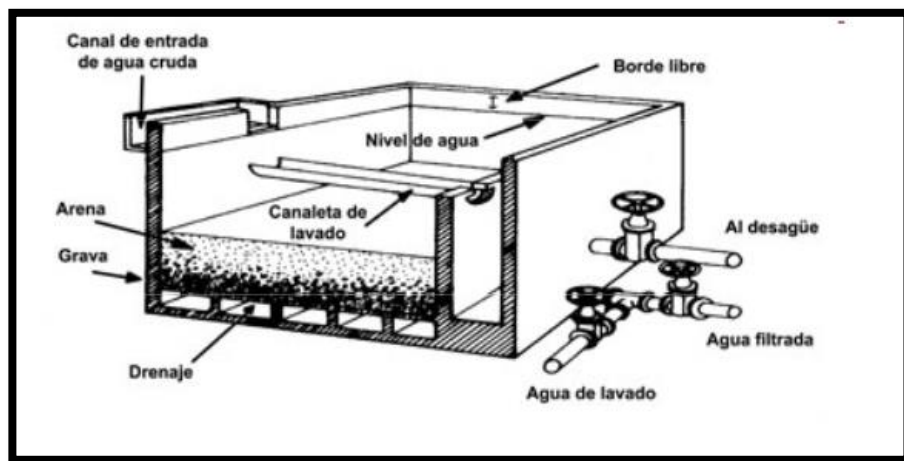


Figura 15-1. Filtro rápido de grava y arena

Fuente: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap2.pdf

Hoy en día son los más usados y constan de dos etapas (filtración y lavado), es utilizado en aguas que han pasado por un proceso de decantación y coagulación.

Para la filtración rápida comúnmente se usa arena como medio filtrante pero esta se diferencia de la filtración lenta en que es más gruesa con un tamaño efectivo del grano entre 0.4 – 1.2 mm y con un soporte de grava además el ritmo de filtración es elevado con valores de 120 – 360 m³/m² día. Debido a que los poros del lecho filtrante son mucho más grandes las impurezas del agua penetran en el fondo del filtro es decir la capacidad de retener impurezas del lecho filtrante es mucho más efectiva por lo que se puede tratar agua altamente turbia.

Un filtro rápido necesita de lavado cuando el efluente aumenta considerablemente su turbidez o la tasa de agua sea considerablemente reducida.

Por lo que en cualquiera de estos casos se debe proceder a lavar el filtro para remover el material suspendido acumulado. El lavado se realiza invirtiendo el flujo a través del filtro es decir

inyectando agua limpia en contra flujo, esto provoca que se fluidice el medio, produciendo un frote entre los granos lo que produce que se remueva material depositado dentro del lecho filtrante desechando material removido fuera de filtro, el lavado del filtro no requiere de mucho tiempo y se lo puede realizar muy a menudo de ser necesario todos los días. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002d)

1.5.5.3.3 Filtro anaerobio de flujo ascendente

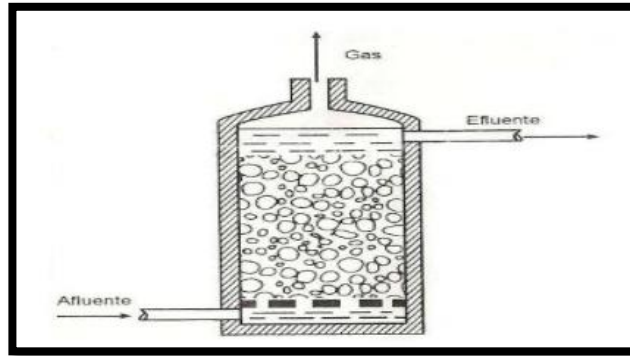


Figura 16-1. Filtro anaeróbico de flujo ascendente

Fuente: Batero Y & Cruz E. Tesis

Son muy utilizados para completar la remoción de DBO y sólidos después de operaciones de sedimentación (sedimentadores, fosas sépticas, tanques Imhoff, etc.). El Filtro anaerobio de flujo ascendente está constituido por un tanque o columna que se encuentra relleno de un medio granular que está conformado por piedras de diámetros de 4 a 7 mm. Este lecho tiene como finalidad:

- Retener sólidos.
- Sirve de superficie sobre la cual proliferan microorganismos anaerobios que oxidan los contaminantes.

Este tipo de filtros son muy utilizados tanto para el tratamiento de aguas residuales como de agua potable ya que su eficiencia es alta ya que permiten una reducción del DBO y el DQO de un 80 % a 90 %, su funcionamiento consiste en hacer circular el agua a tratar a través de un lecho poroso donde se pone en contacto con una fina biopelícula de microorganismos que están adheridos a la superficie del lecho filtrante. El flujo dentro del filtro es ascendente es decir, entra al lecho poroso por el fondo del mismo y se distribuye uniformemente por lo que existe un mínimo de riesgo de taponamiento.

Este proceso genera una mínima cantidad de lodos ya que no utiliza calentamiento o recirculación para la oxidación de la materia orgánica y utiliza como medio microbiano el lecho filtrante donde la biomasa se acumula en los espacios vacíos intersticiales, consiguiendo un efluente clarificado.

Tabla 8-1: Mecanismo de eliminación de sólidos

Mecanismo	Descripción
Retención mecánica	Partículas de diámetro mayor al poro del lecho filtrante son retenidas
Sedimentación	Partículas sedimentan sobre el lecho filtrante
Adhesión	Partículas floculantes se adhieren a la superficie del medio filtrante
Adsorción Química (enlace e interacción química)	Las partículas en contacto con la superficie del lecho filtrante o con otras partículas estos son los medios de retención
Adsorción Física (Fuerzas electrostáticas, electrocinéticas, de Van Der Waals)	
Floculación	Partículas pequeñas que se unen a las más grandes y se eliminan por cualquiera de los mecanismos anteriores
Crecimiento biológico	Biopelícula en la superficie del lecho filtrante contribuye a la eliminación de sólidos en suspensión

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

1.5.5.4 Intercambio iónico

Consiste en el intercambio de iones (contaminante presente en el agua) y iones (resina). Básicamente son reacciones de sustitución entre el electrolito en solución y un electrolito insoluble que está en contacto con la solución.

Las resinas que se emplean en estas operaciones son:

- Catiónicas (estructura con grupos funcionales ácidos-intercambia iones positivos)

- Aniónicas (estructura con grupos funcionales básicos- intercambia iones negativos)

La capacidad de intercambio de las resinas se determina por el número de grupos funcionales, volumen o peso de la resina mientras que la selectividad está definida por el tipo de grupo funcional presente en la estructura de las resinas. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002e)

1.5.6 Tratamiento de lodos

El tratamiento de lodos tiene por objetivos:

- Reducir el volumen y peso
- Eliminar organismos patógenos
- Estabilizar los lodos mediante la degradación de la materia orgánica controlada y eliminando los malos olores.
- Mejorar las propiedades del lodo que provienen de los tratamientos de aguas residuales para su utilización posterior.

Los lodos están formados por los principales constituyentes de las aguas residuales (materia orgánica, basuras, arena, espumas, etc.) al ser eliminados en las distintas operaciones estos lodos suelen ser líquidos o líquidos-semisólidos con gran contenido de sólidos entre 0.25% a 12% en peso. Por esta razón el lodo es el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. (Comisión estatal del agua de Jalisco, 2002f)

Los métodos comúnmente empleados para el tratamiento de lodos son los siguientes:

- Filtración prensa
- Filtración al vacío
- Lechos de secado
- Centrifugado

1.5.6.1 Filtración prensa

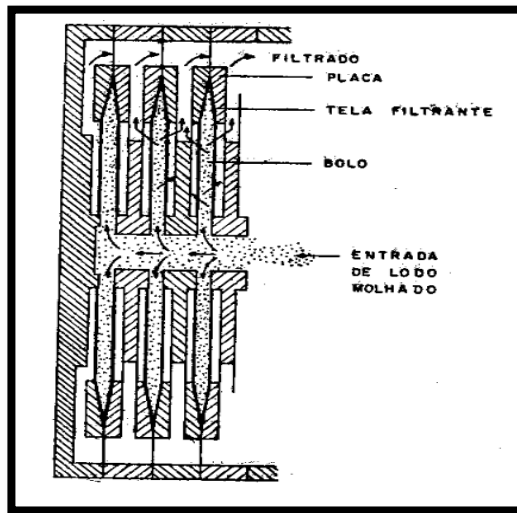


Figura 17-1. Tipo de unidades mecánicas

Fuente: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap2.pdf

Es un método que tiene altos rendimientos en remoción de agua de los lodos ya que produce lodos con un 40% de humedad pero a su vez tiene un gran costo de operación. Este proceso se realiza con un filtro que consta de una serie de placas verticales huecas y cubiertas con una tela filtrante en ambas caras y apretadas una contra otra cada dos placas contiguas se forma una bolsa que es alimentada con lodo a través de un hueco que atraviesa todas las placas por el centro. El líquido atraviesa la tela del filtrante dejando un bollo en la concavidad de las placas. (CENTA, 2008a, pp. 39-43)

1.5.6.2 Filtración al vacío

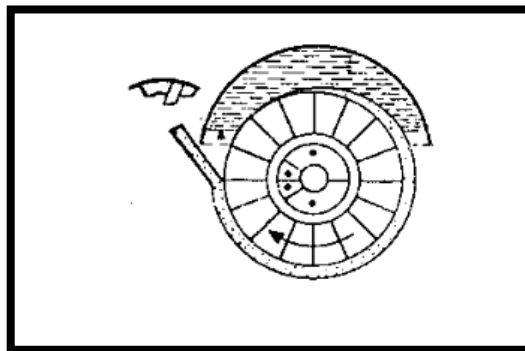


Figura 18-1. Tipo de unidades mecánicas

Fuente: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap2.pdf

Es empleada en el desaguado de lodos crudos o lodos digeridos. Los filtros al vacío son tambores rotativos cilíndricos de eje horizontal, cuya periferia es revestida con una tela filtrante (Algodón, lana hilos plásticos, tamices). El movimiento de rotación del filtro es lento de 1 – 8 revoluciones por minuto. El tambor está dividido en un determinado número de segmentos. El filtro se sumerge en un 25% en los lodos, el vacío se genera en las secciones mediante tuberías, válvulas y bomba. El vacío chupa el líquido y el lodo se queda retenido en la tela formando una capa de 4 a 10 mm antes de completar el giro el loto es removido con la ayuda de un soplador. (CENTA, 2008b, pp. 39-43)

1.5.6.3 Lechos de secado

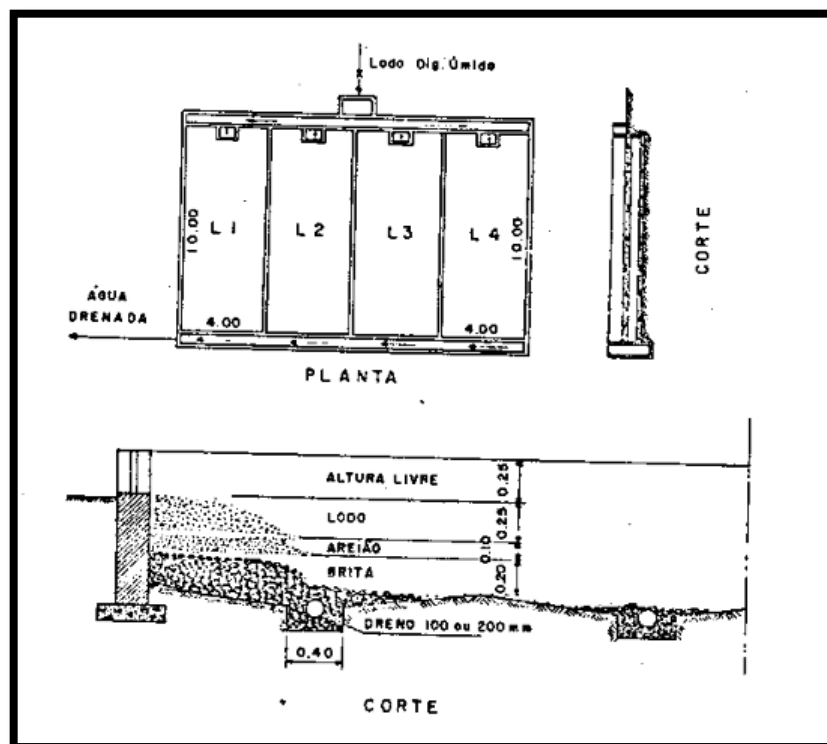


Figura 19-1. Lechos de secado

Fuente: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualIII/ma2_cap2.pdf

Conocidos también como eras de secado son el tratamiento de lodos más utilizado para el tratamiento de lodos el mismo que consiste en deshidratar los lodos con la finalidad de reducir su volumen y estabilizarlos ya sea de forma natural o por irradiación de calor para reducir su tamaño y disponer de ellos ya sea para acondicionamiento del suelo o disponer de ellos a vertederos controlados.

Los lechos de secado son muy empleados debido a que:

- Tienen un bajo costo
- No requiere de consumo de energía
- Alto contenido de sólidos
- No requiere de mantenimiento constante.
- El producto final tiene un elevado contenido de sólidos.

En lechos de secado de arena se extiende el lodo a lo largo formando una capa de lodo de 300 mm. La deshidratación se obtiene por drenaje a través de la masa de lodo y arena, además de evaporación entre la superficie que está expuesta al aire por lo que no es necesario adicionar reactivos o utilizar elementos mecánicos. El sistema de drenaje cuenta con tuberías de drenaje lateral que son de plástico perforadas las mismas que deben ser controladas por el operador. El lecho de arena debe tener de 200 a 300 mm de espesor adicional para facilitar la limpieza. (Guanga, 2009. Pp. 39-44.)

1.5.6.4 Centrifugado

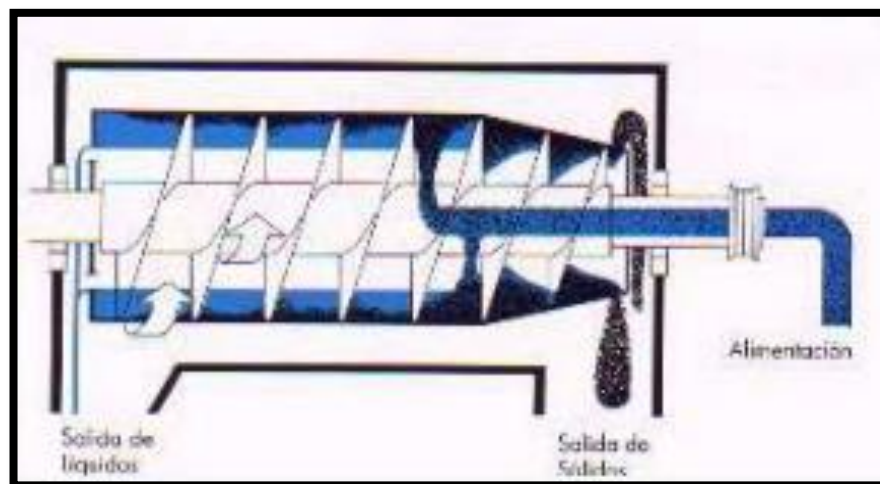


Figura 20-1. Centrifuga

Fuente: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap2.pdf

Se trata de una decantación para lo cual se utiliza un decantador cilíndrico que gira a gran velocidad, originando un campo centrífugo que es mayor a la fuerza de la gravedad logrando separar el lodo del agua el mismo que es depositado en las paredes interiores del cilindro. Existen dos tipos de centrifugas las centrifugas en contra corriente que son las que los sólidos y el agua circulan en sentido contrario dentro del cilindro, también se tiene la centrifuga equicorriente que es aquella en la que los sólidos y el agua circulan en el mismo sentido. (CENTA, 2008c, pp. 39-43)

1.6 Diseño ingenieril del sistema de tratamiento de aguas residuales

1.6.1 Caudal de diseño

El caudal de diseño para una planta de tratamiento está en relación con la población y la aportación que hace cada uno de los individuos a la red de alcantarillado. Por lo que para calcular los caudales de diseño, es necesario conocer la población actual del sector y el crecimiento poblacional de la misma para que el diseño sea válido para un periodo de 15 años además de otros datos que se obtienen mediante el cálculo a partir de datos experimentales.

El caudal de diseño máximo se calcula mediante la siguiente expresión:

Ec. 2

$$Q_{DM} = Q_{med} * F + Q_{inf} + Q_{CE}$$

Dónde:

Q_{DM} = Caudal de diseño máximo (L/s)

Q_{med} = Caudal medio de agua residual (L/s)

F = Factor de mayorización (L/s)

Q_{inf} = Caudal de infiltración (L/s)

Q_{CE} = Caudal de conexiones erradas (L/s)

El caudal de diseño medio se calcula con la siguiente expresión:

Ec. 3

$$Q_D = Q_{med} + Q_{inf} + Q_{CE}$$

Dónde:

Q_D = Caudal de diseño medio (L/s)

Q_{med} = Caudal medio de agua residual (L/s)

Q_{inf} = Caudal de infiltración (L/s)

Q_{CE} = Caudal de conexiones erradas (L/s)

1.6.1.1 Caudal medio diario

El caudal medio diario o caudal diario promedio se emplea para determinar la capacidad de una planta de tratamiento de agua residual durante un periodo de 24 horas, para desarrollar los caudales empleados en el diseño ya que este varía con el tiempo dependiendo de los caudales máximos y mínimos que se generan. Por lo que este caudal es necesario para estimar el caudal máximo. (Municipio de Medellín, 2009)

Tabla 9-1: Coeficiente

Coeficiente	Unidades	Valor
Retorno	%	70-80

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: EPM MEDELLIN, *Guía para el diseño hidráulico de redes de alcantarillado*, 2009

Ec. 4

$$Q_{med} = \frac{P_f * D * C}{86400}$$

Dónde:

Q_{med} = Caudal medio de agua residual L/s

P_f = Población futura (hab)

D = Dotación expresa la cantidad de agua que es destinada para cada habitante al día (L/hab*día)

C = Coeficiente de retorno expresa la cantidad de agua que retorna a la red de alcantarillado después de haber sido ocupada (%) Tabla 9-1

1.6.1.2 Población actual

La población actual representa el número de habitantes de un sector en el presente.

El cálculo de la población actual se realiza mediante:

Ec. 5

$$P_a = P_{fl} + P_e$$

Donde:

P_a = Población actual (hab)

P_{fl} = Población flotante representa a la población que proviene de instituciones grandes que funcionan en el sector (hab)

P_e = Población estable es el número de habitantes que viven en el sector se obtiene mediante censos (hab)

1.6.1.3 Población futura

Mediante el método geométrico se calculará la población futura ya que se recomienda su uso para poblaciones pequeñas. Para lo que se debe tener en cuenta la tasa de crecimiento poblacional anual del sector:

Ec. 6

$$P_f = P_a (1 + i)^n$$

Dónde:

P_f = población futura representa el número de habitantes de un sector en base al crecimiento poblacional en un tiempo determinado (hab)

P_a = población actual (hab)

i = tasa de crecimiento poblacional anual (%)

n = periodo de diseño (años)

1.6.1.4 Dotación

Este dato expresa la cantidad de agua que utiliza cada habitante de un sector. La dotación está en función del caudal máximo en el día y la población estable del sector.

Ec. 7

$$D = \frac{Q_{\text{máximo diario}}}{P_e}$$

Donde:

D = Dotación

$Q_{\text{máximo diario}}$ = Caudal máximo diario (L/d)

P_e = población estable (hab)

1.6.1.5 Factor de mayorización

El factor de mayorización expresa la variación del consumo de una población. Es inversamente proporcional al número de habitantes es decir a mayor población menor será el factor de mayorización y a menor población el factor será mayor. (Municipio de Medellín, 2009)

Este factor es calculable para poblaciones entre 1000 a 100000 habitantes utilizando la siguiente ecuación:

Ec. 8

$$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P_f / 1000}}$$

Dónde:

P_f = población futura (hab)

1.6.1.6 Caudal de infiltración

Se conoce como caudal de infiltración a toda el agua que ingresa a la red de alcantarillado público que proviene del suelo por medio de tuberías o uniones defectuosas, conexiones no controladas o paredes de pozos de inspección. (Municipio de Medellín, 2009)

En el cálculo se debe tener en cuenta el valor de infiltración

Tabla 10-1: Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales

Infiltración alta (L/s.Ha)	Infiltración media (L/s.Ha)	Infiltración baja (L/s.Ha)
0.15 – 0.4	0.1 – 0.3	0.05 – 0.2

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: RAS 2000

Ec. 9

$$Q_{inf} = I * Ha$$

Donde:

Q_{inf} = Caudal de infiltración (L/s)

I = Infiltración (L/s*ha) Tabla 9-1

Ha = Tamaño del área de estudio (ha)

1.6.1.7 Caudal de conexiones erradas

El caudal de conexiones erradas corresponde al aporte de aguas lluvias provenientes de malas conexiones de tejados, patios, etc. (Municipio de Medellín, 2009)

El caudal de conexiones erradas se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ec. 10

$$Q_{CE} = 0,1(Q_{med} * F + Q_{inf})$$

Donde:

Q_{CE} = Caudal de conexiones erradas (L/s)

Q_{med} = Caudal medio de agua residual (L/s)

F = Factor de mayorización (L/s)

Q_{inf} = Caudal de infiltración (L/s)

1.6.2 Canal

1.6.2.1 Ecuaciones de diseño de canales

Es importante el diseño de canales de ingreso de aguas residuales a su proceso de tratamiento. Generalmente se emplean canales de sección rectangular, además que para su diseño se precisa de los siguientes criterios:

Tabla 11-1: Criterios de diseño de canales

Parámetro	Valor o rango
Altura mínima de la lámina de agua	0.3 m
Velocidad de flujo en el canal	0.6-1 m/s
Borde libre	0.3-0.4 m
Altura de seguridad	0.4-1 m
Base del canal	0.3-0.8 m
Pendiente del canal	0.0005-0.05 m/m

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Lozano-Rivas, Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012

Tabla 12-1: Típicos valores coeficiente Manning

Materia	Coefficiente de Manning (n)
Asbesto – Cemento	0.012
Concreto Simple	0.013
Vidrio (laboratorio)	0.011
Madera (duelas)	0.012
Concreto (cimbra madera)	0.015
Plástico (PVC)	0.009
Latón	0.011

Cobre	0.011
Concreto (cimbra metálica)	0.011
Hierro fundido	0.012
Acero Corrugado	0.012

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Computer applications in Hydraulic Engineering, 5thEdition, Haestad Methods

Para calcular el coeficiente de Manning

Ec. 11

$$K = \frac{Q_D * n}{\frac{8}{b^3} * S^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

K = Coeficiente de Manning es una evidencia de la velocidad con la que pasa el fluido por el canal, es un valor adimensional

Q_D = Caudal de diseño medio (L/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning que representa la rugosidad del material y es un valor adimensional Tabla 11-1

b = Base del canal (m) Tabla 10-1

S = Pendiente (m/m) Tabla 10-1

Para calcular la altura del tirante de agua se utiliza la siguiente expresión:

Ec. 12

$$h = 1,6624 * K^{0,74232} * b$$

Donde:

h = Altura del tirante de agua se refiere a la altura del agua dentro del canal (m)

K = Coeficiente de Manning es adimensional

b = Base del canal (m) Tabla 10-1

Para calcular la altura total del canal se utiliza la siguiente expresión:

Ec. 13

$$H = h + h_s$$

Donde:

H = Altura total del canal (m)

h = Altura del tirante de agua (m)

h_s = Altura de seguridad (m) Tabla 10-1

El radio hidráulico es un parámetro muy importante necesario para determinar las pérdidas carga tanto en canales abiertos o cerrados y se calcula mediante la siguiente expresión:

Ec. 14

$$R = \frac{b \cdot H}{b + 2H}$$

Donde:

R = Radio hidráulico (m)

H = Altura total del canal (m)

b = Base del canal (m) se toma de la Tabla 10-1

Es necesario calcular la velocidad a la que se transporta el fluido para lo cual se emplea la siguiente ecuación:

Ec. 15

$$v = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

v = Velocidad del fluido (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning que representa la rugosidad del material y es un valor adimensional se toma de la Tabla 11-1

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente (m/m) Tabla 10-1

1.6.3 Cribado

1.6.3.1 Rejillas de limpieza manual

Es muy común este tipo de rejillas utilizarlas cuando se tienen pequeñas poblaciones ya que no requieren de estructuras mecánicas costosas y la remoción de los sólidos se realiza fácilmente manualmente al no tratarse de grande cantidades. Los sólidos removidos por las rejillas se acumulan en bandejas para su deshidratación.

Para su diseño se debe tener en cuenta que:

- Las rejas de limpieza manual se colocan a una inclinación entre 30 y 60° respecto a la horizontal.
- Las separaciones grandes entre rejillas son de 5 a 10 cm. y las pequeñas de 1 a 4 cm.
- Las rejillas deben limpiarse cuando el nivel del agua llega al máximo en el canal de llegada

Tabla 13-1: Características de rejillas de barras

Características	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de las barras	0,5 – 1,5 cm	0,5 – 1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5 – 7,5 cm	2,5 – 7,5 cm
Abertura o espaciamento	2,5 – 5,0 cm	1,5 – 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1 m/s
Pérdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: ROMERO, J. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño

1.6.3.1.1 Ecuaciones de diseño

Para el diseño de rejillas se calculará:

Para el cálculo del número de barras que se van a colocar en el canal se considera el ancho del canal y el espesor de la barras y se utiliza la siguiente ecuación:

Ec. 16

$$n = \frac{b}{e + W} - 1$$

Donde:

n = Número de barras

W = Separación entre barras (m) se toma de la Tabla 12-1

e = Espesor de las barras (m) se toma de la Tabla 12-1

b = Base del canal (m) se toma de la Tabla 10-1

Es posible calcular la longitud de las barras conociendo la altura del canal aplicando la siguiente ecuación:

Ec. 17

$$L_b = \frac{H}{\text{sen } \emptyset}$$

Donde:

L_b = Longitud de las barra (m)

H = Altura del canal (m)

\emptyset = Grado de inclinación de las barras (°) se toma de la Tabla 12-1

El área entre barras mediante la siguiente ecuación:

Ec. 18

$$A_b = \frac{Q_D}{v}$$

Donde:

A_b = Área entre barras (m²)

v = Velocidad del fluido (m/s)

Q_D = Caudal de diseño medio (m³/s)

Con el área entre barras se puede calcular la sección transversal del flujo:

Ec. 19

$$A_l = \frac{A_b (W + e)}{W}$$

Donde:

A_l = Área de la sección transversal del flujo (m²)

A_b = Área entre barras (m²)

W = Separación entre barras (m) Tabla 12-1

e = Espesor máximo de las barras (m) Tabla 12-1

Para conocer la longitud sumergida de las barras es necesario conocer el nivel máximo de agua el mismo que se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ec. 20

$$d_{max} = \frac{Q_{DM}}{v \cdot b}$$

Donde:

d_{max} = Nivel máximo de agua (m)

Q_{DM} = Caudal de diseño máximo (m³/s)

b = Base del canal (m) Tabla 10-1

v = Velocidad del fluido (m/s)

El valor de nivel máximo de agua se reemplazara en la siguiente expresión para calcular la longitud sumergida de las barras:

Ec. 21

$$L_g = \frac{d_{max}}{\text{sen } \phi}$$

Donde:

L_g = Longitud sumergida de las barras (m)

d_{max} = Nivel máximo de agua (m)

ϕ = Grado de inclinación de las barras (°) Tabla 12-1

Las pérdidas de carga o perdidas hidráulicas están en función de la velocidad de aproximación y la velocidad de flujo a través de los barrotes, se pueden calcular empleando la siguiente ecuación en base a la forma de la barra:

Ec. 22

$$H_f = \beta * \left(\frac{e}{W}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen } \phi$$

Donde:

H_f = Pérdida de carga (m)

β = Factor dependiente de la forma de las barras se toma de la Figura 26-1

e = Espesor máximo de las barras (m) Tabla 12-1

W = Separación entre barras (m) Tabla 12-1

v = Velocidad del fluido (m/s)

g = Gravedad (m/s²)

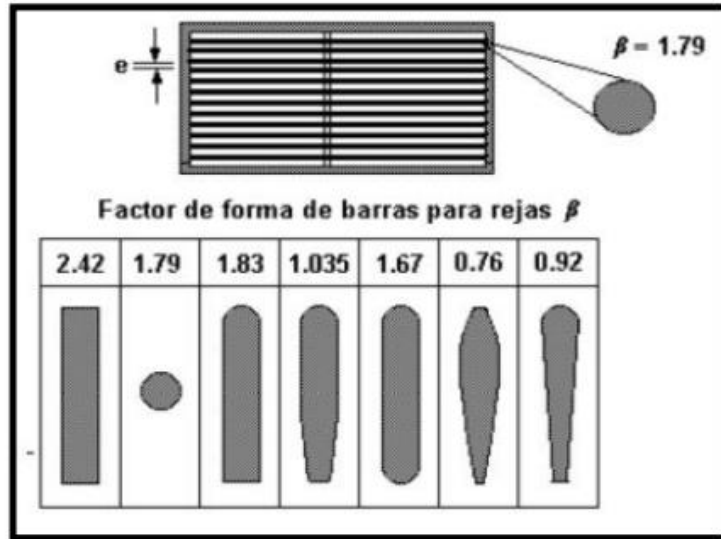


Figura 21-1. Factor β de forma de barras para rejillas

Fuente: VALDEZ, E., Ing. de sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales, 2015

1.6.4 Desarenador

1.6.4.1 Ecuaciones de diseño

Se debe tener en cuenta la relación que existe entre el diámetro de las partículas y la velocidad de sedimentación de las mismas para esto se aplica las siguientes ecuaciones de acuerdo al régimen de flujo:

Tabla 14-1: Relación entre el diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación

Material	\varnothing Límite de partícula (cm)	Número de Reynolds	Vs	Régimen	Ley aplicable
Grava	>1.0	>10000	100	Turbulento	Newton <i>Ec. 23</i> $v_s = 1.82 \sqrt{\varnothing \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$

Arena Gruesa	0.100	1000	10.0	Transición	Allen <i>Ec. 24</i> $v_s = 0.22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\phi}{\left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$
	0.080	600	8.3		
	0.050	180	6.4		
	0.050	27	5.3		
	0.040	17	4.2		
	0.030	10	3.2		
	0.020	4	2.1		
	0.015	2	1.5		
Arena fina	0.010	0.8	0.8	Laminar	Stokes <i>Ec. 25</i> $v_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) \phi^2$
	0.008	0.5	0.6		
	0.006	0.24	0.4		
	0.005	1.0	0.3		
	0.004	1.0	0.2		
	0.003	1.0	0.13		
	0.002	1.0	0.06		
	0.001	1.0	0.015		

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: LINSLEY, E. FRANZINI, J.

Donde:

v_s = Velocidad de sedimentación (cm/s)

ϕ = Diametro de la partícula (cm) Tabla 13-1

ρ_a = Densidad de la arena (g/cm³) Tabla 14-1

ρ = Densidad del agua (g/cm³) Tabla 15-1

g = Gravedad (cm/s²) Tabla 14-1

μ = Viscosidad cinemática del agua este valor da a conocer la viscosidad desechando las fuerzas que generan el movimiento y es calculable dividiendo la viscosidad dinámica para la densidad (cm²/s) Tabla 15-1

Tabla 15-1: Datos adicionales

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad de la arena	g/cm ³	2.65
Gravedad	cm/s ²	980

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: LINSLEY, E. FRANZINI, J.

Tabla 16-1: Propiedades físicas del agua a 1 atm

Temperatura (°C)	Densidad (Kg/m ³)	Viscosidad cinemática (m ² /s)*10 ⁻⁶
5	1000.0	1.519
10	999.7	1.306
15	999.1	1.139
20	998.2	1.003
25	997.0	0.893

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

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

El número de Reynolds es utilizado para determinar el tipo de flujo de un fluido y se calcula con la siguiente expresión:

Ec. 26

$$Re = \frac{v_s \emptyset}{\mu}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

v_s = Velocidad de sedimentación (cm/s)

\emptyset = Diametro de la partícula (cm) Tabla 13-1

μ = Viscosidad cinemática del agua (cm²/s) Tabla 15-1

El coeficiente de arrastre se calcula con la siguiente ecuación:

Ec. 27

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre representa el arrastre de las partículas en función de régimen de flujo de las mismas

Re = Número de Reynolds

En base al número de Reynolds y al coeficiente de arrastre la velocidad de sedimentación crítica de las partículas para nuestro diseño está definida por la siguiente ecuación:

Ec. 28

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} + (\rho_a - 1) * \phi}$$

Donde:

v_s = Velocidad de sedimentación (cm/s)

ϕ = Diametro de la partícula (cm) Tabla 13-1

ρ_a = Densidad de la arena (g/cm³) Tabla 14-1

C_D = Coeficiente de arrastre

La velocidad límite o velocidad de arrastre es la que ocasiona el arrastre de partículas sedimentadas se calcula con la siguiente ecuación:

Ec. 29

$$v_a = 125[(\rho_a - \rho)\phi]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

v_a = Velocidad limite o velocidad de arrastre (cm/s)

ϕ = Diametro de la partícula (cm) Tabla 13-1

ρ_a = Densidad de la arena (g/cm³) Tabla 14-1

ρ = Densidad del agua (g/cm³) Tabla 15-1

El diseño de un desarenador se debe realizar en base al caudal máximo y la geometría del mismo está definida por la siguiente tabla además que la eficiencia de un desarenador está en función de su longitud es decir que mientras mayor sea su longitud mejor será la sedimentación del desarenador:

Tabla 17-1: Criterios de diseño para desarenador rectangular

Parámetro	Unidad	Dimensiones
Tiempo de retención	Min	2-5
Profundidad del desarenador	m	1.5-4
Relación Largo – Ancho	Razón	2.5:1 – 5:1
Relación Ancho – Profundidad	Razón	1:1 – 5:1
Angulo de divergencia	°	12.3
Pendiente del fondo	%	5-10
Ancho de vertedero de descarga	m	< al ancho del desarenador

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: RAS 2000

El área superficial del desarenador se calcula aplicando la siguiente expresión:

Ec. 30

$$A_{SD} = \frac{V_D}{H_D}$$

Donde:

A_{SD} = Área superficial del desarenador (m²)

V_D = Volumen del desarenador (m³)

H_D = Profundidad del desarenador (m) Tabla 16-1

También se define al área superficial también se define con la siguiente ecuación:

Ec. 31

$$A_{SD} = L_D * B_D$$

Donde:

A_{SD} = Área superficial del desarenador (m²)

L_D = Longitud del desarenador (m)

B_D = Ancho del desarenador (m)

El volumen del desarenador se calcula con la siguiente ecuación

Ec. 32

$$V_D = Q_{DM} * T_R$$

Donde:

V_D = Volumen del desarenador (m³)

Q_{DM} = Caudal de diseño máximo (m³/s)

T_R = Tiempo de retención (s) Tabla 16-1

La longitud del desarenador se corrige ya que se debe tomar en cuenta la turbulencia que se da cuando el fluido pasa a través del mismo por lo que es necesario una longitud adicional para asegurarse que se va a precipitar adecuadamente las partículas del diámetro seleccionado

Tabla 18-1: Coeficiente para corrección de longitud

Diámetro de partícula (cm)	Coeficiente para desarenadores de baja velocidad
0.02	1.25
0.03	1.50
0.05	2

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: RAS 2000

Ec. 33

$$L_c = K * L_D$$

Donde:

L_c = Longitud corregida del desarenador (m)

K = Coeficiente para desarenadores de baja velocidad es adimensional Tabla 17-1

L_D = Longitud del desarenador (m)

El área transversal del desarenador se calcula con la siguiente ecuación:

Ec. 34

$$A_{TD} = B_D * H_D$$

Donde:

A_{TD} = Área transversal del desarenador (m²)

B_D = Ancho del desarenador (m)

H_D = Profundidad del desarenador (m)

La velocidad horizontal de desplazamiento del agua se determina mediante la siguiente expresión:

Ec. 35

$$v_h = \frac{Q_{DM}}{A_{TD}}$$

Donde:

v_h = Velocidad horizontal de desplazamiento del agua (m/s)

Q_{DM} = Caudal de diseño máximo (m³/s)

A_{TD} = Área transversal del desarenador (m²)

Si se cumple que $v_a > v_h$ se dice que el desarenador está correctamente diseñado.

La longitud de transición del ingreso del desarenador se determina mediante la siguiente ecuación:

Ec. 36

$$L_g = \frac{B_D - b}{2tg\theta}$$

Donde:

L_g = Longitud de transición (m)

B_D = Ancho del desarenador (m)

b = Ancho del canal (m)

θ = Angulo de divergencia que expresa el ángulo de abertura del canal (°) Tabla 16-1

Para dimensionar la zona de los lodos del desarenador se requiere el uso de las siguientes ecuaciones:

Longitud de la placa de entrada:

Ec. 37

$$L' = \frac{1}{3}L_c$$

Donde:

L' = Longitud de la placa de entrada (m)

L_c = Longitud corregida del desarenador (m)

Altura del desnivel de la placa de entrada:

Ec. 38

$$H' = L' * S$$

Donde:

H' = La altura del desnivel de la placa de entrada (m)

L' = Longitud de la placa de entrada (m)

S = Pendiente del fondo de la placa de entrada (%) Tabla 16-1

Longitud de la placa de salida:

Ec. 39

$$L'' = \frac{2}{3} L_c$$

Donde:

L'' = Longitud de la placa de salida (m)

L_c = Longitud corregida del desarenador (m)

Altura del desnivel de la placa de salida:

Ec. 40

$$H'' = L'' * S'$$

Donde:

H'' = La altura del desnivel de la placa de salida (m)

L'' = Longitud de la placa de salida (m)

S' = Pendiente del fondo de la placa de salida (%) Tabla 16-1

Vertedero de descarga del desarenador

Se debe determinar la carga sobre el vertedero

Ec. 41

$$q = \frac{Q_{DM}}{B_D}$$

Donde:

q = Carga sobre el vertedero (m²/s)

Q_{DM} = Caudal de diseño máximo (m³/s)

B_D = Ancho del desarenador (m)

Altura del vertedero

Ec. 42

$$h_o = \left(\frac{Q_{DM}}{1.84 * b_V} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

h_o = Altura del vertedero (m)

Q_{DM} = Caudal de diseño máximo (m³/s)

b_V = Ancho del vertedero (m) se asume valores inferiores al ancho del desarenador Tabla 16-1

La velocidad de descarga del desarenador se calcula con la siguiente expresión:

Ec. 43

$$v_{des} = \frac{Q_{DM}}{h_o * b_V}$$

Donde:

v_{des} = Velocidad de descarga (m/s)

h_o = Altura del vertedero (m)

Q_{DM} = Caudal de diseño máximo (m³/s)

b_V = Ancho del vertedero (m) se asume valores inferiores al ancho del desarenador Tabla 16-1

Si la velocidad de descarga es inferior a 1 m/s el ancho del desarenador asumido es correcto ya que a estas velocidades no se genera turbulencia dentro del desarenador.

1.6.5 Aireación

1.6.6 Tanque Imhoff

1.6.6.1 Ecuaciones de diseño de tanque Imhoff

Para el diseño de un tanque Imhoff se tomara en cuenta los siguientes criterios de diseño

Tabla 19-1: Criterios de diseño de tanque Imhoff

Parámetro	Valor	Unidad
Cámara de sedimentación		
Borde libre	≥ 0.5	m
Ancho del sedimentador	5	m
Carga superficial	25 – 40	m ³ /m ² *dia
Tiempo de retención	2 - 4	horas
Ángulo de la pendiente de la cámara de sedimentación	50	°
Área de ventilación del gas		

Zona de ventilación	≥ 0.6	m
Cámara de digestión de lodos		
Factor de capacidad relativa (T=15°C)	1	-
Dotación de lodos	70	L/hab*año
Altura de transición		
Pendiente de fondo de la cámara	15 - 30	°
Profundidad debajo de la ranura hasta la superficie superior del lecho de lodos	30 - 90	cm
Profundidad del tanque (desde la superficie del agua hasta el fondo del tanque)	7 a 10	m

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: OPS/CEPIS/2015.

Para el dimensionamiento de la cámara de sedimentación se utilizan las siguientes ecuaciones:

Área superficial:

Ec. 44

$$A_s = \frac{Q_{DM}}{C_s}$$

Donde:

A_s = Área superficial (m²)

Q_{DM} = Caudal de diseño máximo (m³/día)

C_s = Carga superficial (m³/ m².día) Tabla 18-1

También se puede determinar el área superficial con la siguiente ecuación:

Ec. 45

$$A_s = L * b$$

Donde:

A_s = Área superficial (m^2)

b = Ancho de la cámara de sedimentación (m) Tabla 18-1

L = Longitud del tanque (m)

Volumen de la cámara de sedimentación:

Ec. 46

$$V_{sed} = Q_{DM} * t_R$$

Donde:

V_{sed} = Volumen de la cámara de sedimentación (m^3)

Q_{DM} = Caudal de diseño máximo ($m^3/día$)

t_R = Tiempo de retención (días) Tabla 18-1

Área transversal:

Ec. 47

$$A_t = \frac{V_{sed}}{L}$$

Donde:

A_t = Área transversal de la cámara de sedimentación (m^2)

V_{sed} = Volumen de la cámara de sedimentación (m^3)

L = Longitud del tanque (m)

El área transversal está definida también por la siguiente expresión:

Ec. 48

$$A_t = A_{rectangulo} + A_{triangulo}$$

Donde:

A_t = Área transversal de la cámara de sedimentación (m²)

$A_{rectángulo}$ = Área del rectángulo (m²)

$A_{triángulo}$ = Área del triángulo (m²)

Área del rectángulo:

Ec. 49

$$A_{rectángulo} = b * c$$

Donde:

$A_{rectángulo}$ = Área del rectángulo (m²)

b = Ancho de la cámara de sedimentación (m) Tabla 18-1

c = Altura del rectángulo (m)

Área del triángulo:

Ec. 50

$$A_{triángulo} = \frac{b * d}{2}$$

Donde:

$A_{triángulo}$ = Área del triángulo (m²)

b = Ancho de la cámara de sedimentación (m) Tabla 18-1

d = Altura de la base triangular de la cámara de sedimentación (m)

Altura de la base triangular de la cámara de sedimentación:

Ec. 51

$$d = \tan \alpha * \frac{b}{2}$$

Donde:

d = Altura de la base triangular de la cámara de sedimentación (m)

α = Pendiente de fondo de la cámara de sedimentación (°)

b = Ancho de la cámara de sedimentación (m) Tabla 18-1

Profundidad total de la cámara de sedimentación

Ec. 52

$$H_{sed} = c + d$$

Donde:

H_{sed} = Profundidad total de la cámara de sedimentación (m)

c = Profundidad del rectángulo (m)

d = Profundidad de la base triangular de la cámara de sedimentación (m)

Para el dimensionamiento de la cámara de digestión se utilizan las siguientes ecuaciones

Volumen de la cámara de digestión:

Ec. 53

$$V_{cd} = \frac{D * P_f * f_{cr}}{1000}$$

Donde:

V_{cd} = Volumen de la cámara de digestión (m³)

D = Dotación de lodos por habitante (L/hab*año) Tabla 18-1

P_f = Población futura (hab)

f_{cr} = Factor de capacidad relativa Tabla 18-1

Ancho total del tanque

Ec. 54

$$B = b + 2a$$

Donde:

B = Ancho total del tanque (m)

b = Ancho de la cámara de sedimentación (m) Tabla 18-1

a = Distancia de ventilación (m) Tabla 18-1

Altura de la cámara de digestión

Ec. 55

$$f = \frac{V_{cd} - \frac{B^2 * L}{12}}{L * B}$$

Donde:

f = Altura de la cámara de digestión (m)

V_{cd} = Volumen de la cámara de digestión (m³)

B = Ancho total del tanque (m)

L = Longitud del tanque (m)

Altura del depósito de lodos:

Ec. 56

$$g = \frac{B}{2} * \tan \phi$$

Donde:

g = Altura del depósito de lodos (m)

B = Ancho total del tanque (m)

\emptyset = Pendiente del fondo de la cámara (°) Tabla 18-1

Profundidad total del tanque Imhoff:

Ec. 57

$$H = c + d + e + f + g + bl$$

Donde:

H = Profundidad total del tanque Imhoff (m)

c = Altura del rectángulo (m)

d = Altura de la base triangular de la cámara de sedimentación (m)

e = Altura de transición (m) Tabla 18-1

f = Altura de la cámara de digestión (m)

g = Altura del depósito de lodos (m)

bl = Borde libre (m) Tabla 18-1

1.6.7 Filtración

1.6.7.1 Filtro anaeróbico de flujo ascendente

1.6.7.1.1 Criterios de diseño y ecuaciones de diseño

Tabla 20-1: Criterios de diseño de filtro anaerobio de flujo ascendente

Característica	Unidad	Valor
Número de filtros	-	2 - 4
Profundidad útil	m	≥ 1.8
Ancho	m	0.85 - 5.4
Volumen mínimo	m ³	≥ 1.25
Profundidad media soporte	m	≥ 1.2
Salida del efluente	cm	≥ 30 sobre el lecho
Tiempo de retención	h	3 – 36
Carga orgánica	Kg DQO/ m ³ día	1 – 30

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales, 1995

Volumen del filtro:

Ec. 58

$$V_f = \frac{Q_{DM}}{n} * t_R$$

Donde:

V_f = Volumen del filtro (m³)

Q_{DM} = Caudal de diseño máximo (m³/día)

n = Número de filtros (adimensional) Tabla 19-1

t_R = Tiempo de retención (días) Tabla 19-1

Área superficial del filtro:

Ec. 59

$$A_{sf} = \frac{V_f}{H_u}$$

Donde:

A_{sf} = Área superficial del filtro (m²)

V_f = Volumen del filtro (m³)

H_u = Profundidad útil del filtro (m) Tabla 19-1

Longitud del filtro

Ec. 60

$$L = \frac{A_{sf}}{b}$$

Donde:

L = Longitud del filtro (m)

A_{sf} = Área superficial del filtro (m²)

b = Ancho del filtro (m) Tabla 19-1

Altura total del filtro

Ec. 61

$$H_{Tf} = H_u + 0.30$$

Donde:

H_{Tf} = Altura total del filtro (m)

H_u = Profundidad útil del filtro (m) Tabla 19-1

1.6.8 Tratamiento de lodos

1.6.8.1 Lechos de secado

Para el diseño de lechos de secado se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Tabla 21-1: Criterios para el diseño de lechos de secado

PARAMETROS	DATOS	UNIDADES
Densidad de lodos	1010	Kg/m ³
Porcentaje de sólidos contenidos en el lodo	10	%
Tiempo de retención	55	Días
Ancho del lecho de secado	3 – 6	m
Capa de arena (espesor)	200 – 300	mm
Capa de lodo (espesor)	200 – 300	mm
Capa de grava (espesor)	51 – 200	mm
Número de lechos de secado	4-6	adimensional

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Normas OPS/CEPIS, 2015

1.6.8.1.1 Ecuaciones de diseño

Contribución percapita

Ec. 62

$$C_{pc} = \frac{S * Q_{max}}{Pa * 1000}$$

Donde:

C_{pc} = Contribución percapita ((gSS/hab*día)*Kg)

S = Sólidos a verter en el lecho (mg/L)

Q_{max} = Caudal máximo semanal (L/d)

Pa = Población actual (habitantes)

Para el cálculo de los sólidos que ingresan al sedimentador se aplica la siguiente ecuación:

Ec. 63

$$C = \frac{P_f * C_{pc}}{1000}$$

Donde:

C = Carga de sólidos (KgSS/hab*día)

P_f = Población futura (habitantes)

C_{pc} = Contribución per cápita (gSS/hab*día)*Kg

La masa de los sólidos que conforman los lodos se calcula con la siguiente expresión:

Ec. 64

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

Donde:

M_{sd} = Masa de los sólidos que conforman los lodos (KgSS/día)

C = Carga de sólidos (Kgss/día)

Volumen diario de lodos digeridos:

Ec. 65

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} * \left(\frac{\%sólidos}{100}\right)}$$

Donde:

V_{ld} = Volumen diario de solidos digeridos (L/d)

M_{sd} = Masa de los sólidos que conforman los lodos (Kgss/hab*día)

%sólidos = Porcentaje de solidos contenidos en el lodo (%) Tabla 33-1

ρ_{lodo} = Densidad del lodo (Kg/m³) Tabla 33-1

Para calcular el volumen de lodos a extraer:

Ec. 66

$$V_{le} = V_{ld} * T$$

Donde:

V_{le} = Volumen de lodos a extraerse (m³)

V_{ld} = Volumen diario de solidos digeridos (m³/día)

T = Tiempo de digestión (días) Tabla 20-1

Para calcular el área del lecho de secado se usa la siguiente expresión:

Ec. 67

$$A_{ls} = \frac{V_{le}}{H_a}$$

Donde:

A_{ls} = Área del lecho de secado (m²)

V_{le} = Volumen de lodos a extraerse (m³)

H_a = Profundidad de aplicación (m) Tabla 20-1

Área individual de los lechos de secado:

Ec. 68

$$A_{ind} = \frac{A_{ls}}{n}$$

Donde:

A_{ind} = Área individual del lecho de secado (m^2)

A_{ls} = Área del lecho de secado (m^2)

n = Número de lechos de secado Tabla 20-1

El área individual del lecho de secado también se define por la siguiente expresión:

Ec. 69

$$A_{ind} = b * L$$

Donde:

A_{ind} = Área individual del lecho de secado (m^2)

b = Ancho del lecho de secado (m) Tabla 20-1

L = Longitud del lecho de secado (m)

1.7 Normativa ambiental

Para el presente proyecto el ministerio del ambiente exige el cumplimiento de las normas generales para descarga de fluentes a cuerpos de agua dulce que se encuentran en el anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente (TULSMA).

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

- Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras. Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas con los permisos de descarga.

Si el sujeto de control es un municipio, este podrá proponer las cargas máximas permisibles para sus descargas, las cuales deben estar justificadas técnicamente; y serán revisadas y aprobadas por la Autoridad Ambiental Nacional.

- Ante la inaplicabilidad para un caso específico de algún parámetro establecido en la presente norma o ante la ausencia de un parámetro relevante para la descarga bajo estudio, la Autoridad Ambiental Nacional deberá establecer los criterios de calidad en el cuerpo receptor para los caudales mínimos y cargas contaminantes futuras. La carga máxima permisible que deberá cumplir el sujeto de control será determinada mediante balance de masa del parámetro en consideración.

La entidad ambiental de control determinara el método para el muestreo del cuerpo receptor en el área afectada de descarga, esto incluye el tiempo y el espacio para la realización de la toma de muestras.

- Para el caso en el cual el criterio de calidad es la concentración de bacterias la correspondiente modelación bacteriana es de carácter obligatorio, como parte de un Plan Maestro de Control de la Contaminación del Agua.
- En los tramos del cuerpo de agua en donde se asignen usos múltiples, las normas para descargas se establecerán considerando los valores más restrictivos de cada uno de los parámetros fijados para cada uno.
- En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, se utilizarán los valores de la **TABLA 22-1** de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.
- Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con las normas fijadas considerando el criterio de calidad de acuerdo al uso del cuerpo receptor. Adicionalmente, los límites máximos permisibles para descarga de estos lixiviados a cuerpos de agua se registrarán conforme a la normativa ambiental emitida para el efecto.
- Las aguas provenientes de la explotación petrolífera y de gas natural, podrán ser reinyectadas de acuerdo a lo establecido en las leyes, reglamentos y normas específicas, que se encuentran en vigencia, para el sector hidrocarbúfero.
- Las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de descarga establecidos en esta norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia.

Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia cuerpos receptores, canales de conducción de agua embalses, canales de riego o canales de drenaje pluvial, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas (TULSMA., 2015)

Tabla 22-1: 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	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl-	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
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 (5días)	DBO	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro Total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso Total	Mn	mg/l	2,0
Materia Flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio Total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO4	mg/l	1000
Sulfuros	S-2	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural +3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: TULSMA 2015, Libro VI, Anexo I

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Diagnóstico del área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el barrio El Carmen del Cantón Chambo que pertenece a la Provincia de Chimborazo.

2.1.1 Ubicación y extensión

El barrio el Carmen se encuentra en el Cantón Chambo de la provincia de Chimborazo, la altura promedio de 2780 metros sobre el nivel del mar y tiene una temperatura promedio de 14°C que varía de 0°C a 15 °C. Tiene una extensión de 34.39 Hectáreas.

2.1.2 Localización geográfica

Región: Sierra

Provincia: Chimborazo

Cantón: Chambo

Barrio: El Carmen

2.1.2.1 Macrolocalización



Figura 1-2. Ubicación del Cantón Chambo en la Provincia de Chimborazo

Fuente: WIKIPEDIA

2.1.2.2 Microlocalización

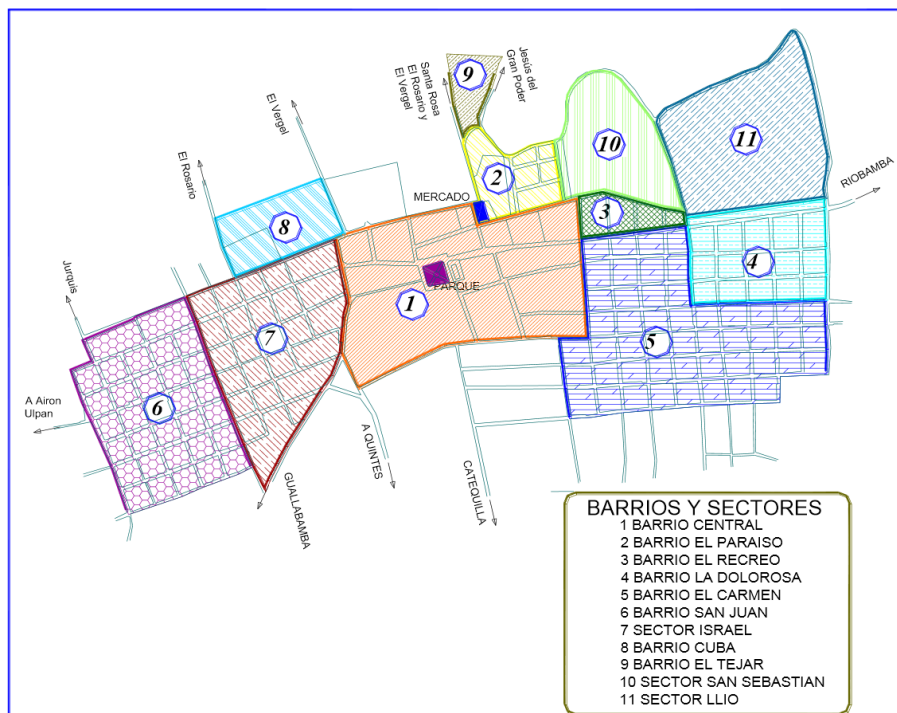


Figura 2-2. Ubicación del barrio el Carmen en el Cantón Chambo

Fuente: GAD CHAMBO

2.1.3 Tamaño de la población

De acuerdo a los datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos INEC, el CENSO 2010 permitió determinar que la población de Chambo dentro del área urbana es de 4459 habitantes. No se dispone de la población específica de cada uno de los barrios que conforman la zona urbana de Chambo por lo que en base a los datos del municipio se obtuvo un valor aproximado el que se encuentra en la presente tabla:

Tabla 1-2: Datos del barrio el Carmen

Predios construidos del barrio El Carmen	Área del barrio El Carmen (Ha)	Habitantes por predio construido	Total	Tasa de crecimiento
323	34.39	5	1615	1.33%

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: GAD Chambo

2.2 Metodología

2.2.1 Medición del caudal

Para determinar el caudal de la descarga de agua residual del barrio El Carmen del cantón Chambo se utilizó el método volumétrico el mismo que es recomendado para caudales relativamente pequeños, además de que la descarga sale por una tubería a la quebrada de Cachipata donde se puede interponer fácilmente un recipiente de volumen conocido (20 litros) y con la ayuda de un cronómetro obtener el tiempo de llenado del cronómetro. Con los datos obtenidos se calcula el caudal de las aguas residuales aplicando la **Ec.1**

Para tener unos datos de caudal más aproximados ya que existe variación de caudal en el transcurso del día se vio la necesidad de realizar las mediciones de caudal durante 7 días (una semana) en intervalos de 30 minutos desde las 7:00 hasta las 18:00.

2.2.1.1 Caudal de diseño

El caudal de diseño se ha sido determinado tomando en cuenta la población proyectada a 15 años que es el tiempo estimado de utilidad de una planta de tratamiento de aguas residuales. Para lo cual se tomó en cuenta el crecimiento poblacional local en base a la información entregada de parte del GAD de Chambo.

2.2.2 Muestreo de las aguas residuales

2.2.2.1 Tipo de muestreo

El muestreo de las aguas residuales realizado en el barrio el Carmen fue un muestreo compuesto el mismo que consiste en la toma de muestras durante un periodo de una semana 3 veces al día en las horas más críticas de consumo. La cantidad de cada muestra individual se añade a la compuesta, para posteriormente realizar su análisis respectivo.

2.2.2.2 *Metodología de muestreo*

El muestreo de la aguas residuales del barrio El Carmen ha sido realizado en base al método APAHA/AWWA/WEF Standard Methods NO 1060 DIN 38402 (serie A11 – A22)

Se han tomado varias alícuotas durante el día en las horas de mayor consumo del sector durante una semana. Las muestras fueron adecuadamente etiquetadas con la fecha y hora del muestreo e inmediatamente trasladadas al Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y al Laboratorio de Servicio Ambientales UNACH.

Las muestras fueron recolectadas en diferentes recipientes teniendo un total de 21 litros de muestra compuesta para efectuar las pruebas de caracterización. Los valores de las alícuotas de la muestra compuesta varía según le necesidad del laboratorio de análisis. Para la recolección de las muestras se utilizó: Botellas limpias de plástico de 1 L, botellas de vidrio ámbar de 1 L para los análisis físico químicos y frascos estériles de 100ml para análisis microbiológicos.

2.2.2.3 *Materiales de muestreo*

- Cuerda
- Embudo de plástico
- Balde de plástico de 20L
- Envase de vidrio color ámbar de 1 L
- Frasco plástico estéril de 100 ml
- Termómetro
- Hielera y hielo
- Cámara fotográfica
- Guantes de látex

2.2.3 *Caracterización de las aguas residuales*

Para efectuar las pruebas de caracterización nos basamos en la normativa vigente de nuestro país, en donde están establecidos los diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de origen doméstico.

Tabla 2-2: Parámetros de análisis del agua residual doméstica según la normativa vigente (TULSMA)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30,0
Cloruros	Cl-	mg/l	1000
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	DBO	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄	mg/l	1000

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: TULSMA 2015, Libro VI, Anexo I

Las pruebas de caracterización se realizaron en el Laboratorio de Análisis Técnicos de La Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.

Las técnicas de análisis aplicadas por el laboratorio a las muestras de agua residual se realizan en base a los Métodos Estandarizados APHA – 2005 (American Public Health Association) y Standard Methods for de Examination of Water and Wastewater.

2.2.3.1 Técnicas

Las técnicas que se aplicaron para la caracterización de las aguas residuales se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 3-2: Métodos utilizados para caracterizar las aguas residuales del barrio El Carmen

Parámetros	Método Procedimiento
pH	4500-B
Turbiedad	2130-B
Nitrógeno Total	4500-N-B
Nitrógeno Amoniacal	4500-NH ₃ -B&C
Fosforo Total	4500-P-E
Sulfatos	4500-SO ₄ -E
DBO ₅	5210-B
DQO	5220-D
Sólidos Totales	PE-LSA-04
Sólidos Suspendidos	2540-D
Cloruros	3500-Cl-E
Aceites y Grasas	EPA 418.1
Tensoactivos	5540-C
Coliformes Totales	9221-C
Coliformes Fecales	9221-C

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

2.2.3.1.1 Parámetros físico-químicos

Tabla 4-2: Técnica Potencial Hidrógeno

Potencial Hidrógeno pH (STANDARD METHODS 4500-B)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
El pH o la actividad del ion hidrógeno indican a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua, tiene un rango de 1 a 14. Si el agua tiene un pH menor a 7 es ácida; si es mayor a 7 es básica, si es igual a 7 es neutro.	<ul style="list-style-type: none"> • pH metro • Buffer 7 • Muestra de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrar el equipo utilizando buffer. • Introducir el electrodo en la muestra, agitar suavemente. • Esperar unos segundos que se estabilice, y tomar la lectura. 	Lectura directa

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 5-2: Técnica Turbidez

Turbidez (MÉTODO HACH 2130 – B)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
La turbidez mide la intensidad de color en el agua que se obtiene en la captación de agua cruda y luego de la filtración (agua tratada), este equipo identifica toda impureza finamente dividida (cualquiera que sea su naturaleza) que pueda ser suspendida.	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidímetro. • Celda. • Piseta. • Muestra de Agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar en la celda el agua recolectada y también el agua obtenida luego del proceso de filtración. • Colocar la celda en el turbidímetro. • Leer directamente el valor según la escala deseada (0-1, 0-10,0-100 NTU). 	Lectura directa

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 6-2: Técnica Nitrógeno Total Kjeldahl

Nitrógeno Total Kjeldahl (STANDARD METHODS 4500-N-B&C)	
Fundamento	Este método sirve para determinar la concentración del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal expresándolos en mg/L.
Materiales y Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> • Digestor Kjeldahl • Matraz 800 ml • Reactivo para digestión • Balanza analítica • Bureta • Piseta • Varilla de agitación • Pipeta de 10 ml • Núcleos de ebullición • Ácido sulfúrico • Peróxido de hidrógeno al 30 o 50’% • Sulfato de potasio • Sulfato de cobre (II) • Agua des ionizada • Hidróxido de sodio • Ácido bórico • Solución de indicadores (azul de metilo y rojo de metilo)
Procedimiento	<p>Nitrógeno amoniacal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocar 500 ml de muestra en el matraz y neutralizar a pH con hidróxido de sodio (12.5 mol/L) o ácido sulfúrico (5 mol/L) • Añadir 25 ml de la disolución amortiguadora de boratos y ajustar el pH a 9.5 con disolución de hidróxido de sodio 6 mol/L • Transferir la disolución a un matraz y añadir los núcleos de ebullición conectar • Conectar el matraz al condensador y empezar a destilar a una temperatura de 29°C • El destilado se recolectara en un recipiente que contenga 50 ml disolución indicadora de ácido bórico, la destilación finalizara cuando se obtenga 300 ml de destilado aproximadamente incluyendo la disolución indicadora de ácido bórico (ácido bórico +solución de indicadores). • Retirar el matraz colector y titular con disolución de ácido sulfúrico 0.006 mol/L hasta que el indicador cambie de verde esmeralda a morado. Anotar el volumen de ácido gastado como volumen A. <p>Nitrógeno orgánico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enfriar el residuo del matraz de Kjeldahl y adicionar 50 ml de reactivo para digestión (134g sulfato de potasio+7.3g sulfato de cobre (II)+800 ml agua+134 ml ácido sulfúrico) y núcleos de ebullición.

	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir la ebullición de la muestra hasta que el volumen de la disolución se reduzca a un volumen de 25 a 50 ml de disolución en el caso de que desprenda vapores oscuros se debe adicionar 50 ml de reactivo de digestión adicional y permitir la ebullición por 30 min adicionales. • Enfriar el matraz Kjeldahl, diluir su contenido con 300 ml de agua y añadir 50 ml de disolución de hidróxido tiosulfato de sodio el mismo que forma una capa alcalina en el fondo la cual se mezcla vigorosamente y se comprueba que el pH sea mayor a 11. • Se conecta el matraz al condensador y se destila cuidando que la temperatura no sea mayor 29 °C. • Recolectar el condensado en un recipiente que contenga 50 ml de disolución indicadora de ácido bórico. <p>Retirar el matraz colector y titular con una disolución de ácido sulfúrico de 0.006 mol/L hasta que la solución tome una coloración verde esmeralda a morado se debe anotar el volumen de ácido sulfúrico consumido que sería el volumen C</p>
<p>Reporte de resultados</p>	<p>Concentración de nitrógeno amoniacal:</p> <p><i>Ec. 70</i></p> $\gamma_{NH_3} = \frac{(V_A - V_B)C_{H_2SO_4}N}{V_m}$ <p>Donde:</p> <p>γ_{NH_3} = Concentración de nitrógeno amoniacal (mg/L)</p> <p>V_A = Volumen de ácido sulfúrico gastado en la titulación de la muestra (ml)</p> <p>V_B = Volumen de ácido sulfúrico gastados en el blanco (ml)</p> <p>$C_{H_2SO_4}$ = Concentración de ácido sulfúrico (mol/L)</p> <p>N = Masa atómica del nitrógeno (mg)</p> <p>V_m = Volumen de la muestra (ml)</p> <p>Concentración de nitrógeno orgánico:</p> <p><i>Ec. 71</i></p> $\gamma_{NOrg} = \frac{(V_C - V_B)C_{H_2SO_4}N}{V_m}$ <p>Donde:</p> <p>γ_{NOrg} = Concentración de nitrógeno orgánico (mg/L)</p> <p>V_C = Volumen de ácido sulfúrico gastado en la titulación de la muestra (ml)</p>

	<p>V_B = Volumen de ácido sulfúrico gastados en el blanco (ml)</p> <p>$C_{H_2SO_4}$ = Concentración de ácido sulfúrico (mol/L)</p> <p>N = Masa atómica del nitrógeno (mg)</p> <p>V_m = Volumen de la muestra (ml)</p> <p>Nitrógeno total:</p> <p><i>Ec. 72</i></p> $\gamma_{NTK} = \gamma_{Norg} + \gamma_{NH_3}$
--	---

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 7-2: Técnica Fósforo Total

Fósforo Total (STANDARD METHODS 4500-P-E)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
<p>El fósforo es uno de los principales nutrientes responsable del crecimiento de algas en el agua lo que genera la eutrofización de las mismas además de DBO por lo que es de suma importancia determinar la cantidad de fósforo presente. El fósforo se encuentra presente en el agua en forma de ortofosfato, polifosfato y fosfatos orgánicos con el presente método se determinará su concentración en el agua en mg/L.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Espectrofotómetro • Pipetas de 1 ml • Celdas de vidrio • Vaso de precipitado de 250 ml • Matraz de Erlenmeyer 50 ml • Solución H₂SO₄ 5N • Fenolftaleína • Reactivo mixto (20 ml de solución de molibdato, 50 ml de ácido sulfúrico, 20 ml ácido ascórbico y 10 ml de solución de tartrato de potasio antimonio) 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar 25 ml de muestra de agua filtrada en un Erlenmeyer. • Adicionar 0.05 ml (una gota) de indicador fenolftaleína, una gota de H₂SO₄ 5N para ajustar el color. • Adicionar 8 ml de reactivo mixto, mezclarlo bien y dejarlo en reposo por 10 minutos • Transferir la muestra a una celda del espectrofotómetro y leer la absorbancia a una longitud de onda de 885 nm. 	<p>El resultado se obtiene al conocer la absorbancia obtenida de la muestra y ubicarla dentro de la curva de calibración.</p>

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 8-2: Técnica Sulfatos

Sulfatos (STANDARD METHODS 4500-SO4-E)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
<p>Los sulfatos se encuentran comúnmente en el agua y su concentración puede variar de unos pocos a unos miles mg/L de acuerdo a su procedencia. Es de suma</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bureta • Pipeta de 1 mL • Celdas de vidrio • Vaso de precipitado de 250 ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Se coloca 10 ml de la muestra de en un matraz Erlenmeyer. • Añadir 1 ml de solución ácida acondicionadora y 0.5 gr de BaCl₂. 	<p>El resultado se obtiene al conocer la absorbancia obtenida de la muestra y</p>

<p>importancia conocer el valor de sulfatos ya que estos en elevadas cantidades pueden corroer equipos y tuberías. Por lo que para altos niveles de sulfato, normalmente se utilizan materiales más resistentes a la corrosión como tubos de plásticos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Matraz Erlenmeyer de 50ml • Espectrofotómetro • Solución sulfatos cloruro de bario • Solución acida acondicionadora 	<ul style="list-style-type: none"> • Agitar bien por lo menos durante un minuto. • Transferir la muestra a una celda del espectrofotómetro y leer la absorbancia a una longitud de onda de 420 nm. 	<p>ubicarla dentro de la curva de calibración.</p>
---	--	--	--

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 9-2: Técnica DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno)

DBO₅ (STANDARD METHODS 5210-B)	
Fundamento	El DBO representa el 65 a 70% de materia orgánica oxidable. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación el ROB se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final después de un periodo de 5 días.
Materiales y Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de DBO • Botellas de incubación • Grasa • Tampones de Copa • Capsula magnética • Probeta graduada • Termómetro • Embudo
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Caliente o enfríe la muestra hasta 2°C de la T de incubación (20°). Usando una probeta graduada, vierta 160 ml de la muestra en una botella oscura. • Coloque una barra magnética para mezclar en cada botella de muestra. • Añada el contenido de un sobre de Buffer nutritivo para DBO a cada botella para el crecimiento óptimo de las bacterias si las características de la muestra original lo requieran. • Aplicar grasa en la boca de cada botella para sellarla con el tampón de copa. • Usando un embudo adicione el contenido de un sobre de LiOH en el tampón de copa de cada muestra, coloque las botellas en el equipo. Coloque el equipo en la incubadora o estufa ajustando la temperatura a 20 ± 2 °C. • Prenda el equipo. • Seleccione la duración de la prueba (5 días)

Reporte de resultados	<p>Cuando no contiene inóculo:</p> <p><i>Ec. 73</i></p> $DBO = \frac{D_1 - D_2}{P}$
	<p>Cuando contiene inóculo:</p> <p><i>Ec. 74</i></p> $DBO = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$ <p>Donde:</p> <p>D_1 = Oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de ser preparada, mg/L</p> <p>D_2 = Oxígeno disuelto de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C, mg/L</p> <p>B_1 = Oxígeno disuelto del blanco (agua de dilución con inóculo) antes de la incubación, mg/L</p> <p>B_2 = Oxígeno disuelto del blanco después de la incubación, mg/L</p> <p>f = Fracción en volumen de agua de dilución con inóculo.</p> <p>P = Fracción en volumen de muestra usada</p>

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 10-2: Técnica DQO (Demanda Química de Oxígeno)

DQO (STANDARD METHODS 5220-C)	
Fundamento	Representa la cantidad de materia orgánica total presente en una muestra para su medición requiere de oxidación química es decir mediante la adición de ácido crómico y sulfúrico (agentes químicos fuertes). Este ensayo tiene ventaja sobre el DBO ya que requiere menor tiempo.
Materiales y Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> • Reactor de DQO • Probeta graduada • Vaso de precipitación • Tubos de reactivos de digestión con tapa • Toallas de papel • Pipetas volumétricas

Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Precalentar a 150°C el digestor de DQO y tomar la muestra Homogeneizada. • Añadir la disolución digestora respectiva. • Colocar agua en el tubo del blanco de reactivos. • Colocar los tubos en el digestor y dejar por 2h. • Retirar los tubos del digestor y dejar enfriar • Medir la absorbancia en el espectrofotómetro previamente calibrado o cuantificar por titulación
Reporte de resultados	<p>El DQO se expresa mg O₂/L:</p> <p><i>Ec. 75</i></p> $DQO = \frac{(V_1 V_2 * 8000)}{V_s}$ <p>Dónde:</p> <p>DQO = Demanda química de oxígeno (mg O₂/L)</p> <p>V₁ = Volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo.</p> <p>V₂ = Volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra.</p> <p>V_s = Volumen de la muestra.</p>

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 11-2: Técnica Sólidos Totales

Sólidos Totales (MÉTODO PE – LSA – 04)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
Son sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en el elemento filtrante.	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba de vacío • Estufa • Balanza analítica • Muestra de Agua • Desecador • Pinza 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar 25 ml de muestra de agua filtrada en un Erlenmeyer. • Adicionar 0.05 ml (una gota) de indicador fenolftaleína, una gota de H₂SO₄ 5N para ajustar el color. 	<p>Para la determinación de los sólidos suspendidos se utiliza:</p> <p><i>Ec. 76</i></p> $mg \frac{ST}{L} = \frac{mg ST}{L - kmg SNS / L}$ <p>Dónde:</p> <p>SS = sólidos sedimentables</p>

		<ul style="list-style-type: none"> • Adicionar 8 ml de reactivo mixto, mezclarlo bien y dejarlo en reposo por 10 minutos • Transferir la muestra a una celda del espectrofotómetro y leer la absorbancia a una longitud de onda de 885 nm. 	<p>STS = sólidos totales en suspensión</p> <p>SNS = sólidos no sedimentables</p>
--	--	--	--

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 12-2: Técnica Sólidos Suspendidos

Sólidos Suspendidos (STANDARD METHODS 2540-D)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas así como los residuos domésticos e industriales pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (ml/l) o de un peso (mg/l).	<ul style="list-style-type: none"> • Cápsulas de Porcelana • Platino • Vaso alto de sílice • Mufla • Baño de vapor • Desecador • Balanza analítica • Varilla 	<p>Volumétrico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Llenar un cono Imhoff hasta la marca con la muestra • Dejar sedimentar durante una hora removiendo constantemente con una varilla. 	Medición directa

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 13-2: Técnica Cloruros

Cloruros (STANDARD METHODS 4500-Cl-F)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
Con este método se conoce como el método DPD colorimétrico ya que el cloro libre al reaccionar con el reactivo DPD forma una colora anaranjada que indica la presencia de cloro libre y este puede ser cuantificado con el equipo de HACH. Cuantificar el cloro presente en aguas residuales es de suma importancia ya que este en elevadas cantidades puede corroer equipos metálicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Vaso de precipitación de 50mL. • HACH 2004. • Pipeta de 1mL • Reactivo DPD, reactivo para cloro libre • Celda 10 ml 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar en 25ml de muestra de agua cruda con el reactivo DPD • Diluir agitando durante el tiempo indicado por el equipo de HACH 2004 • Colocar una celda en blanco para tarar el equipo • Colocar 10 ml en la celda en el equipo HACH • Medir en el equipo HACH 	Medición directa

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 14-2: Técnica Aceites y grasas

Aceites y grasas (EPA 481.1)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
Este método sirve para determinar los aceites y las grasas presentes en aguas residuales mediante el uso del espectro infrarrojo que mide la vibración (estiramiento y ablandamiento) de las moléculas cuando absorben calor.	<ul style="list-style-type: none"> • Embudo de separación 250 ml • Vial • Ácido clorhídrico • Sulfato de sodio anhidro • Pipeta de 10 ml • Solvente horiba S-316 • Embudo • Papel filtro • Celda de cuarzo 	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar que el pH de la muestra sea de 2 o inferior caso contrario se añadirá ácido clorhídrico. • Verter la muestra en un embudo de separación y agregar 6 ml de solvente horiba S-316 	Los resultados se determinan al interpolar los valores de absorbancia en la curva de calibración.

	<ul style="list-style-type: none"> • Espectrofotómetro infrarrojo 	<ul style="list-style-type: none"> • Agitar vigorosamente por 2 min y dejar en reposo por 2 min • Esperar que se separen las dos fases y recoger la fase orgánica (fase inferior) en un vial • Filtrar en un embudo con papel filtro que contiene sulfato de sodio anhidro • Recoger el filtrado en una celda de cuarzo limpia y seca • Medir la absorbancia con el espectro infrarrojo 	
--	--	--	--

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 15-2: Técnica Tensoactivos

Tensoactivos (STANDARD METHODS 5530-C)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
Con este método se conoce la cantidad de tensoactivos presentes en el agua residual	<ul style="list-style-type: none"> • Embudo de separación de 500 ml • Matraz de 1 L • Balón de aforación de 100ml • Espectrofotómetro UV • Embudo • Algodón • Celda de vidrio • Disolución de azul de metileno 	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar un volumen de muestra en base a la concentración de sustancias activas al azul de metileno estimada y colocar en un embudo de separación. • Añadir 3 gotas de indicador fenolftaleína y suficiente solución de hidróxido de sodio para generar un color rosa. • Adicionar disolución diluida de ácido sulfúrico en pequeñas cantidades 	Los resultados se determinan al interpolar los valores obtenidos con el espectrofotómetro a 652 nm en la curva de calibración.

	<ul style="list-style-type: none"> • Disolución de ácido sulfúrico • Cloroformo • Agua destilada • Indicador fenolftaleína • Solución de lavado (50 g fosfato de sodio dihidrogenado + 500 ml agua destilada + 50 ml ácido sulfúrico) 	<p>hasta que el color rosa desaparezca.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adicionar 25 ml de disolución de azul de metileno, 10 ml de cloroformo y agitar durante 30 segundos con fuerza. • Liberar cuidadosamente la presión. • Dejar en reposo para que se separen dos fases y drenar el cloroformo dentro de otro embudo de separación. • Repita el proceso dos veces añadiendo 25 ml de cloroformo y combinar todos los extractos de cloroformo en otra embudo de separación. • Añadir 50 ml de solución de lavado de fosfatos, agitar vigorosamente durante 30 segundos y dejar en reposo • Separar el cloroformo con un embudo y algodón en un balón de aforación de 100 ml completar el volumen. • Introducir en el cloroformo en una celda de vidrio y medir con el espectrofotómetro UV en 652 nm. 	
--	---	---	--

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

2.2.3.1.2 Parámetros microbiológicos

Tabla 16-2: Técnica Coliformes Fecales

Coliformes Fecales (STANDARD METHODS 9221 C)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
El agua contiene bacterias cuyas necesidades nutritivas y de T óptima de desarrollo son variables. Los estreptococos fecales son bacterias entéricas que viven en el intestino de los animales de sangre caliente y del hombre.	<ul style="list-style-type: none"> • Pipeta de 1ml estéril • Autoclave • Disco filtrante • Estufa • Cultivo para coliformes fecales • Agua destilada • Pinza estéril • Membranas filtrantes • Bomba al vacío • Mechero 	<ul style="list-style-type: none"> • Esterilizar los discos filtrantes utilizando el mechero • Durante todo el procedimiento los mecheros deben permanecer encendidos • Esperar que éstos se enfríen • Colocar las membranas en la base de los discos filtrantes • Añadir al embudo 10 ml de muestra. • Encender la bomba para que se filtre la muestra. • Mientras se filtra, se debe preparar el medio de cultivo • Colocar en la caja un sachet de cultivo para coliformes fecales (m-fc). • Cuando la muestra esté totalmente filtrada, retirar el embudo. • Tomar la membrana con una pinza estéril. • Ubicar la membrana en la caja. • Codificar la caja • Poner la caja en la estufa que está a 44.5°C, que es la temperatura adecuada para la formación de estos microorganismos. 	Una vez realizado el proceso de filtración, se procede al recuento de las colonias formadas en las membranas expresando el resultado en UFC/100 ml o en millones de microorganismos por litro de agua.

		<ul style="list-style-type: none"> • Dejar incubar por 24 horas 	
--	--	--	--

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

Tabla 17-2: Técnica Coliformes Totales

Coliformes Totales (STANDARD METHODS 9221 C)			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
<p>El grupo de bacterias coliformes totales el cual comprende a todos los bacilos Gram-negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h. a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Este grupo está conformado por 4 géneros principalmente: Enterobacter, Escherichia, Citrobacter y Klebsiella.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pipeta de 1ml estéril • Autoclave • Disco filtrante • Estufa • Cultivo para coliformes fecales • Agua destilada • Pinza estéril • Membranas filtrantes • Bomba al vacío • Mechero 	<ul style="list-style-type: none"> • Esterilizar los discos filtrantes utilizando el mechero • Durante todo el procedimiento los mecheros deben permanecer encendidos • Esperar que éstos se enfríen • Colocar las membranas en la base de los discos filtrantes • Añadir al embudo 10 ml de muestra. • Encender la bomba para que se filtre la muestra. • Mientras se filtra, se debe preparar el medio de cultivo • Colocar en la caja un sachet de cultivo para coliformes fecales (m-fc). • Cuando la muestra esté totalmente filtrada, retirar el embudo. • Tomar la membrana con una pinza estéril. • Ubicar la membrana en la caja. • Codificar la caja • Poner la caja en la estufa que está a 44.5°C, que es la temperatura adecuada 	<p>De igual manera que para los coliformes fecales; una vez realizado el proceso de filtración, se procede al recuento de las colonias formadas en las membranas expresando el resultado en UFC/100 ml o en millones de microorganismos por litro de agua.</p>

		para la formación de estos microorganismos. <ul style="list-style-type: none"> • Dejar incubar por 24 horas. 	
--	--	---	--

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH

2.2.4 Pruebas de tratabilidad

2.2.4.1 Determinación del tiempo de aireación

Tabla 18-2: Técnica Aireación Inducida

Aireación Inducida			
Fundamento	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Reporte de resultados
Este método es aplicado para determinar la eficiencia de la aireación inducida en aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba de aireación • Recipiente de 20 L 	<ul style="list-style-type: none"> • Acondicionar el recipiente de 20 L para que exista una correcta aireación con las bombas • Colocar 15 litros de la muestra de agua a analizar en el recipiente de 20 L • Encender las bombas de aireación • Al transcurso de 24 horas tomar 2 L de muestra del tanque y medir el DBO y DQO (repetir este paso 5 veces) 	Lectura y análisis directo

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos- Facultad de Ciencias- ESPOCH

2.3 Datos experimentales

2.3.1 Caudal volumétrico de agua residual

El caudal de las aguas residuales del barrio El Carmen del Cantón Chambo fue medido durante el periodo de una semana mediante el método volumétrico y los valores obtenidos están tabulados en la siguiente tabla:

Tabla 19-2: Valores de caudal de las aguas residuales del barrio El Carmen

Hora	Caudales (L/s)							Promedio
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
6:30	0,886	1,564	2,012	0,588	0,539	0,613	0,5	0,957
7:00	1,234	2	2,541	1,099	3,451	0,876	3,542	2,106
7:30	1,889	3,39	5	4,878	7,72	1,29	6,67	4,405
8:00	3,87	4,587	4,12	5,21	6,214	0,994	6,345	4,477
8:30	2,654	2,314	3,22	6,217	5,417	0,895	5,214	3,704
9:00	1,887	1,254	1,54	1,1	5,241	1,324	4,235	2,369
9:30	1,462	1,547	1,34	1,176	6,21	0,417	2,314	2,067
10:00	1,324	0,781	1,547	2,475	3,274	1,457	2,117	1,854
10:30	1,247	0,945	1,665	3,14	1,547	1,347	1,875	1,681
11:00	1,324	1,287	1,54	1,247	3,247	1,248	1,645	1,648
11:30	1,211	0,988	1,647	1,54	1,347	1,114	1,22	1,295
12:00	0,996	1,478	2,681	2,12	0,987	1,847	0,945	1,579
12:30	1,457	1,887	2,5	2,4	2,4	1,6	0,84	1,869
13:00	1,554	1,75	1,247	2,325	2,605	2,273	1,429	1,883
13:30	2,14	1,786	1,334	2,547	2,541	2,574	1,538	2,066
14:00	2,117	2,47	1,229	1,245	1,245	1,547	0,965	1,545
14:30	2,41	2,22	3,41	2,471	1,324	1,327	0,887	2,007
15:00	1,641	1,874	1,54	3,781	0,987	1,547	0,77	1,734
15:30	1,335	4,84	2,142	2,541	1,347	2,54	0,662	2,201
16:00	0,567	5,55	1,547	0,871	1,347	2,38	0,998	1,894
16:30	0,764	4,66	4,57	1,247	2,347	1,586	1,015	2,313
17:00	2,457	4,71	2,375	1,957	4,578	4,571	1,254	3,129
17:30	2,14	7,41	8,233	2,547	4,33	2,784	1,142	4,084
18:00	2,941	11,1	4,674	4,571	5,71	5,405	0,998	5,057
18:30	3,273	12,5	6,66	6	4,6	0,345	1,3	4,954
Sumatoria	44,78	84,892	70,314	65,293	80,555	43,901	50,42	
Promedio	1,7912	3,39568	2,81256	2,61172	3,2222	1,75604	2,0168	2,515
Q max	3,87	12,5	8,233	6,217	7,72	5,405	6,67	7,231
Q min	0,567	0,781	1,229	0,588	0,539	0,345	0,5	0,650

Realizado por: Guillermo Niama, 2016

2.3.2 Determinación de la temperatura de las aguas residuales

Para determinar la temperatura se empleó un termómetro industrial de mercurio

Tabla 20-2: Medición de la temperatura

MUESTRA	1	2	3	4	5	Promedio
TEMPERATURA °C	15	16	15	14	14	15

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

2.3.3 Caracterización del agua residual

Las pruebas de caracterización de las aguas residuales del barrio El Carmen del Cantón Chambo se realizaron para determinar las condiciones en las que se encuentran. A continuación se muestra los resultados de la caracterización de los parámetros físicos, físico químicos y microbiológicos del agua residual.

Tabla 21-2: Determinaciones físicas del agua residual del barrio El Carmen

COLOR	La muestra presenta un color café amarillento
OLOR	Totalmente desagradable, característica de las aguas residuales
ASPECTO	Presenta gran cantidad de sólidos en suspensión.

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos- Facultad de Ciencias- ESPOCH

Tabla 22-2: Caracterización de las aguas residuales del barrio El Carmen

Parámetros	Unidad	Resultado			Promedio	Límites Permisibles
		M1	M2	M3	Mn	TULSMA
pH	Und.	6.72	7.32	6.76	6.93	6-9
Turbiedad	UNT	161	89	21.61	90.53	-
Nitrógeno Total	mg/L	7.2	8.62	6.3	7.37	50

Nitrógeno Amoniacal	mg/L	5.3	15.7	4.54	8.51	30
Fosforo Total	mg/L	0.41	0.61	0.56	0.53	10
Sulfatos	mg/L	43	41	19	34.3	1000
DBO ₅	mg/L	99	988	237	441	100
DQO	mg/L	138	1250	382	590	200
Sólidos Suspendidos	mg/L	127,12	133,02	131,58	130	130
Sólidos Totales	mg/L	932	482	298	570.6	1600
Cloruros	mg/L	10.1	16	12.4	12.8	1000
Aceites y Grasas	mg/L	34.4	26	16	25.4	30
Tensoactivos	mg/L	1.9	1.2	0.9	1	0.5
Coliformes Totales	UFC/100ml	12700	24300	9400	15466	-
Coliformes Fecales	UFC/100ml	24700	12200	5300	13066	2000

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH, Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Con la caracterización del agua residual del barrio el Carmen del cantón Chambo se determinó que los parámetros DBO₅, DQO, Coliformes fecales y Tensoactivos están fuera de norma al compararlos con la normativa vigente TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 23-2: Parámetros fuera de norma

Parámetro	Resultado	Límite	Condición
DBO ₅	441.3	200 mg/L	No cumple
DQO	590	100 mg/L	No cumple
Coliformes fecales	13066	2000/100mL	No cumple
Tensoactivos	1	0.5 mg/L	No cumple

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

2.3.4 Diagnóstico

Las aguas residuales generadas dentro del barrio El Carmen donde viven alrededor de 1615 habitantes los mismos que son los responsables de generar aguas residuales en actividades

domésticas las mismas que se mezclan con las aguas de riego que no fueron utilizadas en el sector. Estas aguas no reciben tratamientos y son descargadas en la quebrada de Cachipata hasta llegar al Río Chambo.

Las aguas residuales que se descargan en la quebrada de Cachipata presentan un color amarillento y un olor desagradable ya que contienen materia orgánica, tensoactivos, heces fecales por lo que presentan coliformes totales y fecales además de tierra, piedras, plásticos, pedazos de ladrillos provenientes de las ladrilleras que funcionan en el sector, etc.



Figura 3-2. Descarga quebrada de Cachipata

Realizado: Guillermo Niama, 2016



Figura 4-2. Estado de la descarga

Realizado por: Guillermo Niama, 2016

2.3.5 *Pruebas de tratabilidad*

Para determinar el tratamiento más adecuado en función de los contaminantes presentes en las aguas residuales se realizan las pruebas de tratabilidad. En este caso ya que son aguas de origen

doméstico y agrícola es necesario conocer la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual y su biodegradabilidad.

Para esto es necesario el uso de la relación de biodegradabilidad que establece:

En base a la Tabla 4-1 para la relación DBO_5/DQO se tiene:

- $DBO_5/DQO < 0.2$ Se refiere a que los contaminantes no son biodegradables
- $DBO_5/DQO > 0.4$ Son de naturaleza biodegradable

Para determinar esta relación se utilizarán los valores de DBO_5 y DQO obtenidos en la caracterización de las aguas residuales del barrio El Carmen del Cantón Chambo:

$$DBO_5 = 441$$

$$DQO = 590$$

$$DBO_5/DQO = 441/590 = 0.75 > 0.4 \text{ es de naturaleza biodegradable}$$

Para DQO/DBO_5 :

- $DQO/DBO_5 < 2,5$ Corresponde aun efluente o compuesto biodegradable, pudiéndose utilizar sistemas biológicos como lodos activados, lagunas de oxidación, etc.
- $2,5 < DQO/DBO_5 < 5$ Es biodegradable siendo recomendable el empleo de lechos bacterianos.

Para determinar esta relación se utilizarán los valores de DBO_5 y DQO obtenidos en la caracterización de las aguas residuales del barrio El Carmen del Cantón Chambo:

$$DBO_5 = 441$$

$$DQO = 590$$

$$DQO/DBO_5 = 590/441 = 1.3 < 2.5$$

Análisis de la biodegradabilidad: En base a los valores obtenidos en la relación de biodegradabilidad se puede decir que la materia orgánica presente en las aguas residuales es de biodegradable y se puede utilizar el proceso de lodos activado o lagunas de oxidación.

En base a esto se realizaron pruebas de aireación inducida y la prueba de jarras obtener los la información necesaria para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para el barrio El Carmen del Cantón Chambo.

CAPÍTULO III

3 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA EL BARRIO EL CARMEN DEL CANTÓN CHAMBO

3.1 Cálculos

3.1.1 Proyección de la Población

Tabla 1-3: Datos del barrio El Carmen

Área del barrio El Carmen (Ha)	Predios construidos del barrio El Carmen	Habitantes por predio construido (hab)	Población actual (hab)	Tasa de crecimiento (%)
34.39	323	5	1615	1.33

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: GAD Chambo

- **Población actual**

Utilizando la información dada por el GAD de Chambo de la Tabla 1-3, la población actual se puede calcular, no existe población flotante debido a que en el barrio el Carmen no existe ninguna institución grande. Para el cálculo se utiliza la Ec.5:

$$Pa = P_{fl} + P_e$$

$$Pa = 0 + 1615$$

$$Pa = 1615 \text{ hab.}$$

- **Población futura**

El cálculo de la proyección de la población para un periodo de 15 años teniendo en cuenta que el crecimiento poblacional anual es del 1.33% según la Tabla 1-3 se ha realizado empleando la Ec.6:

$$Pf = Pa (1 + i)^n$$

$$Pf = 1615 (1 + 0,0133)^{15}$$

$$Pf = 1968,99 \text{ hab} = 1969 \text{ hab}$$

3.1.2 Caudal de diseño

- **Dotación de agua**

Según al departamento de planificación la dotación de agua es de 150 L/hab*día para el cantón Chambo pero cabe recalcar que se tendrán valores mayores en la descarga ya que el agua de riego se mezcla con el agua residual.

- **Caudal medio**

Tabla 2-3: Coeficiente

Coeficiente	Unidades	Valor
Retorno	%	80

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: EPM MEDELLIN, *Guía para el diseño hidráulico de redes de alcantarillado*, 2009

En la determinación del caudal medio se usa como coeficiente de retorno un 80% de la Tabla 2-3 se utiliza la Ec.4:

$$Q_{med} = \frac{P_f * D * C}{86400}$$

$$Q_{med} = \frac{1969 \text{ hab} * 150 \frac{L}{\text{hab.día}} * 0.8}{86400 \frac{s}{\text{día}}}$$

$$Q_{med} = 2.73 \frac{L}{s}$$

Factor de mayorización:

Se realiza el cálculo con la Ec.8:

$$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P_f / 1000}}$$

$$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{1969 / 1000}}$$

$$F = 3.59$$

- **Caudal de infiltración**

Tabla 3-3: Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales

Infiltración media (L/s.ha)
0.1

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: RAS 2000

Para el cálculo el área de estudio será el barrio El Carmen que tiene área de 34.39 hectáreas valor tomado de la Tabla 1-3 y un valor de infiltración 0.1 L/s.ha tomado de la Tabla 3-3 datos que se reemplazara en la Ec.9:

$$Q_{inf} = I * Ha$$

$$Q_{inf} = 0.1 \frac{L}{s.ha} * 34.39 ha$$

$$Q_{inf} = 3.44 \frac{L}{s}$$

- **Caudal de conexiones erradas**

Para este cálculo reemplazamos los datos obtenidos previamente en la Ec.10:

$$Q_{CE} = 0.1(Q_{med} * F + Q_{inf})$$

$$Q_{CE} = 0.1 \left(2.73 \frac{L}{s} * 3.59 + 3.44 \frac{L}{s} \right)$$

$$Q_{CE} = 1.32 \frac{L}{s}$$

- **Caudal máximo de diseño**

Se reemplazaran los cálculos previos en la Ec.2:

$$Q_{DM} = Q_{med} * F + Q_{inf} + Q_{CE}$$

$$Q_{DM} = \left(2.73 \frac{L}{s} * 3.59 \right) + 3.44 \frac{L}{s} + 1.32 \frac{L}{s}$$

$$Q_{DM} = 14.56 \frac{L}{s} = 0.01456 \frac{m^3}{s} = 1258 \frac{m^3}{dia} = 52.4 \frac{m^3}{h}$$

- **Caudal medio de diseño**

De igual manera se reemplazaran los valores obtenidos en los cálculos anteriores en la Ec.3:

$$Q_D = Q_{med} + Q_{inf} + Q_{CE}$$

$$Q_D = 2.73 \frac{L}{s} + 3.44 \frac{L}{s} + 1.32 \frac{L}{s}$$

$$Q_D = 7.49 \frac{L}{s} = 0.00749 \frac{m^3}{s}$$

3.1.3 Cribado

Tabla 4-3: Criterios de diseño de canales

Parámetro	Valor
Altura de seguridad	0.4 m
Base del canal	0.3 m
Pendiente del canal	0.0005 m/m

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Lozano-Rivas, Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012

Tabla 5-3: Típicos valores coeficiente Manning

Materia	Coficiente de Manning (n)
Concreto Simple	0.013

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Computer applications in Hydraulic Engineering, 5thEdition, Haestad Methods

3.1.3.1 Canal de Cribado

- **Coeficiente de Manning**

Se toma el valor de n de la Tabla 5-3 y b de la Tabla 4-3 en la Ec.11

$$K = \frac{Q_D * n}{b^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}$$

$$K = \frac{0.00749 \frac{m^3}{s} * 0.013}{(0.3 m)^{\frac{8}{3}} * \left(0.0005 \frac{m}{m}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$K = 0.108$$

- **Altura del tirante de agua**

Se utiliza la Ec.12:

$$h = 1,6624 * K^{0,74232} * b$$

$$h = 1,6624 * 0.108^{0,74232} * 0.3 m$$

$$h = 0.096 m$$

- **Altura Total**

Se toma la altura de seguridad de la Tabla 4-3 y se reemplaza en la Ec.13:

$$H = h + h_s$$

$$H = 0.096 m + 0.4 m$$

$$H = 0.496 m$$

- **Radio hidráulico**

Reemplazamos en la Ec.14:

$$R = \frac{b * H}{b + 2H}$$

$$R = \frac{0.3 m(0.496 m)}{0.3 m + 2(0.496 m)}$$

$$R = 0.115 m$$

- **Velocidad de flujo**

Se usara el coeficiente de rugosidad de Maning $n = 0.013$ (concreto simple) de la Tabla 4-3 y la pendiente 0.0005 sacado de la Tabla 5-3 y se reemplaza en la Ec.15:

$$v = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$v = \frac{1}{0.013} * 0.115^{\frac{2}{3}} * 0.0005^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 0.41 \frac{m}{s}$$

3.1.4 Diseño de Rejillas

Tabla 6-3: Características de rejillas de barras

Características	De limpieza manual
Ancho de las barras	1,5 cm
Abertura o espaciamento	2,5 cm
Pendiente con la vertical	45°

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: ROMERO, J. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño

- **Número de barras**

Se usan los criterios de la Tabla 6-3 donde el espesor de la barra es de 0.015 m y la separación entre barras es de 0.025 m. Para este cálculo se usa la Ec.16:

$$n = \frac{b}{e + W} - 1$$

$$n = \frac{0.3 \text{ m}}{0.015 \text{ m} + 0.025 \text{ m}} - 1$$

$$n = 6.5 = 7 \text{ barras}$$

- **Longitud de la barras**

Se usa el criterio de la Tabla 60-3 que define el grado de inclinación como 45° y se efectúa el cálculo con la Ec.17:

$$L_b = \frac{H}{\text{sen } \emptyset}$$

$$L_b = \frac{0.496 \text{ m}}{\sin 45^\circ}$$

$$L_b = 0.7 \text{ m}$$

- **Área entre barras**

La velocidad de aproximación debe ser de 0.6 m/s según los criterios de diseño de la Tabla 60-3.

Para calcular se usa la Ec.18:

$$A_b = \frac{Q_D}{v}$$

$$A_b = \frac{0.00749 \frac{m^3}{s}}{0.41 \frac{m}{s}}$$

$$A_b = 0.018 \text{ m}^2$$

- **Área de la sección transversal**

Tabla 7-3: Características de rejillas de barras

Características	De limpieza manual
Ancho de las barras	1,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 cm

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: ROMERO, J. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño

Para el cálculo del área de la sección transversal se realiza en base a la Tabla 7-3 donde el espesor de la barra será 0.015 m y la separación entre barras 0.025 m. Estos datos serán reemplazados en la Ec.19:

$$A_l = \frac{A_b (W + e)}{W}$$

$$A_l = \frac{0.018 \text{ m}^2 (0.025 \text{ m} + 0.015 \text{ m})}{0.025 \text{ m}}$$

$$A_l = 0.029 \text{ m}^2$$

- Nivel máximo de agua

Para el cálculo del el nivel máximo de agua en el canal se usa la Ec.20:

$$d_{max} = \frac{Q_{DM}}{v \cdot b}$$

$$d_{max} = \frac{0.01456 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.41 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.3 \text{ m}}$$

$$d_{max} = 0.118 \text{ m}$$

- Longitud sumergida de las barras

Se usa la Ec.21:

$$L_g = \frac{d_{max}}{\text{sen } \phi}$$

$$L_g = \frac{0.118 \text{ m}}{\text{sen } 45^\circ}$$

$$L_g = 0.17 \text{ m}$$

- Pérdida de hidráulicas (Hf)

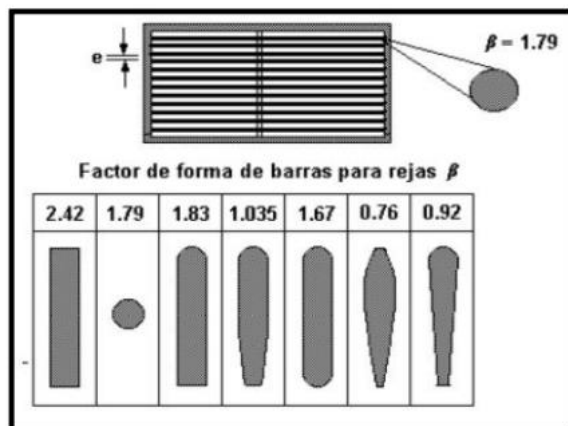


Figura 1-3. Factor β de forma de barras para rejias

Fuente: VALDEZ, E., Ing. de sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales, 2015

En la Figura 1-3 se puede ver el valor constante $\beta = 1.79$. Con la Ec.22 según Kichner se calcula:

$$H_f = \beta * \left(\frac{e}{W}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen } \phi$$

$$H_f = 1.79 * \left(\frac{0.015 \text{ m}}{0.025 \text{ m}}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{\left(0.41 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} * \text{sen } 45^\circ$$

$$H_f = 0.005 \text{ m}$$

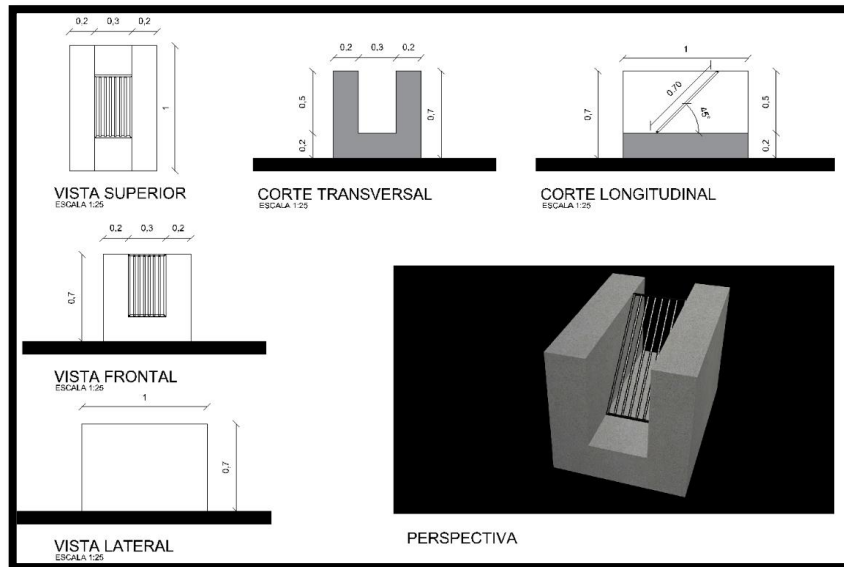


Figura 2-3. Rejillas

Realizado por: Guillermo Niama, 2016

3.1.5 Diseño del desarenador

- Determinación de la velocidad de sedimentación

Tabla 8-3: Relación entre el diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación

Material	Ø Límite de partícula (cm)	Régimen
Arena Gruesa	0.020	Transición

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: LINSLEY, E. FRANZINI, J.

Tabla 9-3: Datos adicionales

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad de la arena	g/cm ³	2.65
Gravedad	cm/s ²	980

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: LINSLEY, E. FRANZINI, J.

Tabla 10-3: Propiedades físicas del agua a 1 atm

Temperatura (°C)	Densidad (Kg/m ³)	Viscosidad cinemática (m ² /s)*10 ⁻⁶
15	999.1	1.139

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

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

Los valores de 2.65 g/cm³ densidad de la arena y 980 cm/s² gravedad se toman de la Tabla 9-3 mientras que la viscosidad cinemática del agua a una temperatura de 15° de la Tabla 10-3 obteniendo un valor de 0.01139 cm²/s y densidad del agua 0.9991 g/cm³ y el diámetro de la partícula es de 0.02 cm un valor de la Tabla 8-3. Se usara la ley de Allen expresada en la Ec.24 ya que el agua residual presenta tierra proveniente de las actividades agrícolas del sector:

$$v_s = 0.22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\phi}{\left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$$

$$v_s = 0.22 \left(\frac{2.65 \frac{g}{cm^3} - 0.9991 \frac{g}{cm^3}}{0.9991 \frac{g}{cm^3}} 980 \frac{cm}{s^2} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{0.02 \text{ cm}}{\left(\frac{0.01139 \frac{cm^2}{s}}{0.9991 \frac{g}{cm^3}} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$$

$$v_s = 2.73 \frac{cm}{s} = 0.0273 \frac{m}{s}$$

- **Número de Reynolds**

Tabla 11-3: Propiedades físicas del agua a 1 atm

Temperatura (°C)	Viscosidad cinemática (m ² /s)*10 ⁻⁶
15	1.139

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

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

Tabla 12-3: Relación entre diámetro de partícula y velocidad de sedimentación

Material	Ø Límite de partícula (cm)	Régimen
Arena Gruesa	0.020	Transición

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: LINSLEY, E. FRANZINI, J.

Se utiliza la viscosidad cinemática del agua a una temperatura de 15° de la Tabla 11-3 obteniendo un valor de 0.01139 cm²/s y el diámetro de la partícula se tomo es de 0.02 cm un valor tomado de la Tabla 12-3. Para el cálculo del número de Reynolds se utiliza la Ec.26:

$$Re = \frac{v_s \phi}{\mu}$$

$$Re = \frac{2.73 \frac{cm}{s} * 0.02 cm}{0.01139 \frac{cm^2}{s}}$$

$$Re = 4.79$$

- **Coefficiente de Arrastre**

Se utiliza la Ec.27:

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

$$C_D = \frac{24}{4.79} + \frac{3}{\sqrt{4.79}} + 0.34$$

$$C_D = 6.72$$

- **Velocidad de sedimentación**

Tabla 13-3: Relación entre diámetro de partícula y velocidad de sedimentación

Material	Ø Límite de partícula (cm)	Régimen
Arena Gruesa	0.020	Transición

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: LINSLEY, E. FRANZINI, J.

Tabla 14-3: Datos adicionales

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad de la arena	g/cm ³	2.65
Gravedad	cm/s ²	980

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: LINSLEY, E. FRANZINI, J.

Se utiliza el diámetro de la partícula de 0.02 cm de la Tabla 13-3, la densidad de la arena 2.65 g/cm³ y la gravedad de 980 cm/s² de la Tabla 14-3. Se usa la Ec.28:

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} + (\rho_a - 1) * \phi}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{980 \frac{cm}{s^2}}{6.72} * \left(2.65 \frac{g}{cm^3} - 1\right) * 0.02 \text{ cm}}$$

$$v_s = 2.53 \frac{cm}{s} = 0.0253 \frac{m}{s}$$

- **Velocidad de desplazamiento**

Tabla 15-3: Relación entre diámetro de partícula y velocidad de sedimentación

Material	Ø Límite de partícula (cm)	Régimen
Arena Gruesa	0.020	Transición

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: LINSLEY, E. FRANZINI, J.

Tabla 16-3: Datos adicionales

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad de la arena	g/cm ³	2.65

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: LINSLEY, E. FRANZINI, J.

Tabla 17-3: Propiedades físicas del agua a 1 atm

Temperatura (°C)	Densidad (Kg/m ³)
15	999.1

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

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

Se utiliza el diámetro de la partícula de 0.02 cm de la Tabla 15-3, la densidad de la arena 2.65 g/cm³ de la Tabla 16-3 y la densidad del agua 0.9991 g/cm³ de la Tabla 17-3. Para determinar la velocidad de desplazamiento que ocasionara que las partículas sedimentadas sean arrastradas nuevamente por el agua se utiliza la Ec.29:

$$v_a = 125[(\rho_a - \rho)\phi]^{\frac{1}{2}}$$

$$v_a = 125 \left[\left(2.65 \frac{g}{cm^3} - 0.9991 \frac{g}{cm^3} \right) 0.02 \text{ cm} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$v_a = 22.7 \frac{cm}{s} = 0.227 \frac{m}{s}$$

- **Volumen del desarenador**

Tabla 18-3: Criterios de diseño para desarenador rectangular

Parámetro	Unidad	Dimensiones
Tiempo de retención	Min	5

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: RAS 2000

El valor de tiempo de retención 300 segundos recomendados en la Tabla 18-3 se reemplazara en la Ec.32:

$$V_D = Q_{DM} * T_R$$

$$V_D = 0.01456 \frac{m^3}{s} * 300 s$$

$$V_D = 4.4 m^3$$

- **Área superficial**

Tabla 19-3: Criterios de diseño para desarenador rectangular

Parámetro	Unidad	Dimensiones
Profundidad del desarenador	m	1.5

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: RAS 2000

Se utiliza el valor de profundidad de la Tabla 19-3 y utiliza Ec.30

$$As_D = \frac{V_D}{H_D}$$

$$As_D = \frac{4.4 \text{ m}^3}{1.5 \text{ m}}$$

$$As_D = 2.93 \text{ m}^2$$

- **Dimensiones del desarenador**

Tabla 20-3: Criterios de diseño para desarenador rectangular

Parámetro	Unidad	Dimensiones
Relación Largo – Ancho	Razón	5:1

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: RAS 2000

Se utiliza la relación largo – ancho 5:1 de la Tabla 20-3:

$$\frac{B_D}{L_D} = \frac{1}{5}$$

$$5B_D = L_D$$

Reemplazando en la Ec.31:

$$As_D = L_D * B_D$$

$$A_{SD} = 5B_D^2$$

Despejando el ancho queda:

$$B_D = \sqrt{\frac{A_{SD}}{5}}$$

$$B_D = \sqrt{\frac{2.93 \text{ m}^2}{5}}$$

$$B_D = 0.76 \text{ m}$$

$$5(0.76 \text{ m}) = L$$

$$L_D = 3.8 \text{ m}$$

- **Corrección longitudinal**

Tabla 21-3: Coeficiente para corrección de longitud

Diámetro de partícula (cm)	Coeficiente para desarenadores de baja velocidad
0.02	1.25

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: RAS 2000

Se utiliza el coeficiente 1.25 de la Tabla 21-3 y se usa la Ec.33:

$$L_c = K * L_D$$

$$L_c = 1.25 * 3.8 \text{ m}$$

$$L_c = 4.75 \text{ m}$$

- **Área transversal**

Se utiliza la Ec.34:

$$A_{TD} = B_D * H_D$$

$$A_{TD} = 0.76 \text{ m} * 1.5 \text{ m}$$

$$A_{TD} = 1.14 \text{ m}^2$$

- **Velocidad horizontal del fluido en el desarenador**

La velocidad horizontal del agua dentro del desarenador se calcula con la Ec.35:

$$v_h = \frac{Q_{DM}}{A_{TD}}$$

$$v_h = \frac{0.01426 \frac{m^3}{s}}{1.14 m^2}$$

$$v_h = 0.012 \frac{m}{s}$$

El desarenador está correctamente diseñado ya que al realizar los cálculos se determinó que:

$$v_a > v_h = 0.227 \frac{m}{s} > 0.012 \frac{m}{s}$$

- **Longitud de transición de ingreso al desarenador**

Tabla 22-3: Criterios de diseño para desarenador rectangular

Parámetro	Unidad	Dimensiones
Angulo de divergencia	°	12.3

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: RAS 2000

Se utiliza el ángulo de divergencia $\theta = 12.3^\circ$ de la Tabla 22-3y se reemplaza en la Ec.36:

$$L_g = \frac{B_D - b}{2 \operatorname{tg} \theta}$$

$$L_g = \frac{0.76 m - 0.3 m}{2 * \operatorname{tg} 12.3}$$

$$L_g = 1.05 m$$

Zona de lodos

Placa de entrada

- Longitud placa de entrada

Se usa la Ec.37:

$$L' = \frac{1}{3}L_c$$

$$L' = \frac{1}{3} * 4.75 \text{ m}$$

$$L' = 1.58 \text{ m}$$

- Altura del desnivel de entrada

Tabla 23-3: Criterios de diseño para desarenador rectangular

Parámetro	Unidad	Dimensiones
Pendiente del fondo	%	5-10
Ancho del vertedero	m	< al ancho del desarenador

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: RAS 2000

Se utiliza el valor de pendiente de 10% de la Tabla 23-3 el mismo que se reemplaza en la Ec.38:

$$H' = L' * S$$

$$H' = 1.58 \text{ m} * 0.1$$

$$H' = 0.16 \text{ m}$$

Placa de salida

- Longitud placa de salida

Se usa la Ec.39:

$$L'' = \frac{2}{3}L_c$$

$$L'' = \frac{2}{3} * 4.75 \text{ m}$$

$$L'' = 3.17 \text{ m}$$

- **Pendiente de la placa de salida**

Para el calcula se usa la Ec.40:

$$S' = \frac{H'}{L''}$$

$$S' = \frac{0.16 \text{ m}}{3.17 \text{ m}}$$

$$S' = 0.05 = 5 \%$$

Vertedero de descarga del desarenador

- **Carga sobre el vertedero**

Se utiliza la Ec.41:

$$q = \frac{Q_{DM}}{B_D}$$

$$q = \frac{0.01456 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.76 \text{ m}}$$

$$q = 0.019 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

- **Altura lamina del agua sobre el vertedero**

Se asume un valor de ancho fuente del vertedero menor al ancho del desarenador según la Tabla 23-3 y se reemplaza en la Ec.42:

$$h_o = \left(\frac{Q_{DM}}{1.84 * b_V} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$h_o = \left(\frac{0.01456 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.84 * 0.2 \text{ m}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$h_o = 0.12 \text{ m}$$

- **Velocidad de descarga**

Se usa la Ec.43:

$$v_{des} = \frac{Q_{DM}}{h_o * b_V}$$

$$v_{des} = \frac{0.01456 \frac{m^3}{s}}{0.12 \text{ m} * 0.2 \text{ m}}$$

$$v_{des} = 0.61 \frac{m}{s}$$

Cumple que la descarga no debe realizarse a una velocidad mayor a 1 m/s para no generar turbulencia dentro del desarenador.

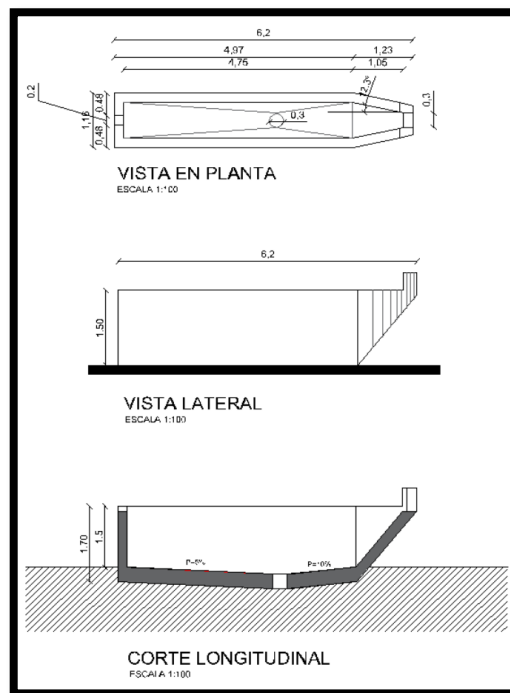


Figura 3-3. Desarenador

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

3.1.6 Diseño de tanque Imhoff

Tabla 24-3: Criterios de diseño del tanque Imhoff

Parámetro	Valor	Unidad
Cámara de sedimentación		
Borde libre	0.5	m
Ancho del sedimentador	5	m
Carga superficial	30	m ³ /m ² *dia
Tiempo de retención	2	horas
Ángulo de la pendiente de la cámara de sedimentación	50	°

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: OPS/CEPIS/2015.

- **Área superficial:**

Se usa el valor de carga superficial de la Tabla 24-3 y se reemplaza en la Ec.44:

$$A_s = \frac{Q_{DM}}{C_s}$$

$$A_s = \frac{1258 \frac{m^3}{dia}}{30 \frac{m^3}{m^2 * dia}}$$

$$A_s = 41.93 m^2$$

- **Longitud del tanque**

Se utiliza la Ec.45:

$$A_s = L * b$$

Despejando la longitud:

$$L = \frac{A_s}{b}$$

Se usa el valor de ancho de la Tabla 24-3 y se reemplaza en la Ec.45:

$$L = \frac{41.93 \text{ m}^2}{5 \text{ m}}$$

$$L = 8.3 \text{ m}$$

- **Volumen de la cámara de sedimentación**

Se utiliza el tiempo de retención de la Tabla 24-3 y se reemplaza en la Ec.46:

$$V_{sed} = Q_{DM} * t_R$$

$$V_{sed} = 1258 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 0.0833 \text{ dia}$$

$$V_{sed} = 104.79 \text{ m}^3$$

- **Área transversal de la cámara de sedimentación:**

Se utiliza la Ec.47:

$$A_t = \frac{V_{sed}}{L}$$

$$A_t = \frac{104.79 \text{ m}^3}{8.3 \text{ m}}$$

$$A_t = 12.62 \text{ m}^2$$

- **Profundidad de la base triangular de la cámara de sedimentación**

Se usa los datos de ancho y la pendiente de la cámara de sedimentación de la Tabla 24-3 calcula con la Ec.51:

$$d = \tan \alpha * \frac{b}{2}$$

$$d = \tan 50 * \frac{5}{2}$$

$$d = 2.98 \text{ m}$$

- **Profundidad de la base rectangular**

Se utiliza la Ec.48 que define el área transversal de la cámara de sedimentación:

$$A_t = A_{\text{rectangulo}} + A_{\text{triangulo}}$$

Donde se reemplazaran las Ec.49 y Ec.50:

$$A_t = (b * c) + \left(\frac{b * d}{2}\right)$$

Reemplazando datos:

$$12.62 \text{ m}^2 = (5 \text{ m} * c) + \left(\frac{5 \text{ m} * 2.98 \text{ m}}{2}\right)$$

$$c = 1.03 \text{ m}$$

- **Profundidad de la cámara de sedimentación**

Para el cálculo se utiliza la Ec.52:

$$H_{sed} = c + d$$

$$H_{sed} = 1.03 \text{ m} + 2.98 \text{ m}$$

$$H_{sed} = 4.01 \text{ m}$$

Tabla 25-3: Criterios de diseño de tanque Imhoff

Área de ventilación del gas		
Zona de ventilación	0.6	m
Cámara de digestión de lodos		
Factor de capacidad relativa (T=15°C)	1	-
Dotación de lodos	70	L/hab*año
Altura de transición		
Pendiente de fondo de la cámara	30	°
Profundidad debajo de la ranura hasta la superficie superior del lecho de lodos	30 - 90	cm

Profundidad del tanque (desde la superficie del agua hasta el fondo del tanque)	7 a 10	m
---	--------	---

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: OPS/CEPIS/2015.

- **Volumen de la cámara de digestión**

Se utiliza la dosificación de la Tabla 25-3 que se reemplazan en la Ec.53:

$$V_{cd} = \frac{D * P_f * f_{cr}}{1000}$$

$$V_{cd} = \frac{70 \frac{L}{hab * año} * 1969 hab * 1}{1000}$$

$$V_{cd} = 137.8 m^3$$

- **Ancho total del tanque**

Se utiliza el valor de la zona de ventilación de la Tabla 25-3 y se reemplaza en la Ec.54:

$$B = b + 2a$$

$$B = 5 m + 2(0.6 m)$$

$$B = 6.2 m$$

- **Altura de la cámara de digestión**

Se utiliza para el cálculo la Ec.55:

$$f = \frac{V_{cd} - \frac{B^2 * L}{12}}{L * B}$$

$$f = \frac{137.8 m^3 - \frac{(6.2 m)^2 * 8.3 m}{12}}{8.3 m * 6.2 m}$$

$$f = 2.16 m$$

- **Altura del depósito de lodos**

Se usa el valor de pendiente del fondo de la cámara de la Tabla 25-3 y se calcula con la Ec.56:

$$g = \frac{B}{2} * \tan \phi$$

$$g = \frac{6.2 \text{ m}}{2} * \tan 30$$

$$g = 1.79 \text{ m}$$

- **Profundidad total del tanque Imhoff**

Se usan los valores de la altura de transición de la Tabla 24-3 y el borde libre de la Tabla 25-3 y se calcula con la Ec.57:

$$H = c + d + e + f + g + bl$$

$$H = 1.03 \text{ m} + 2.98 \text{ m} + 0.3 \text{ m} + 2.16 \text{ m} + 1.79 \text{ m} + 0.5 \text{ m}$$

$$H = 8.76 \text{ m}$$

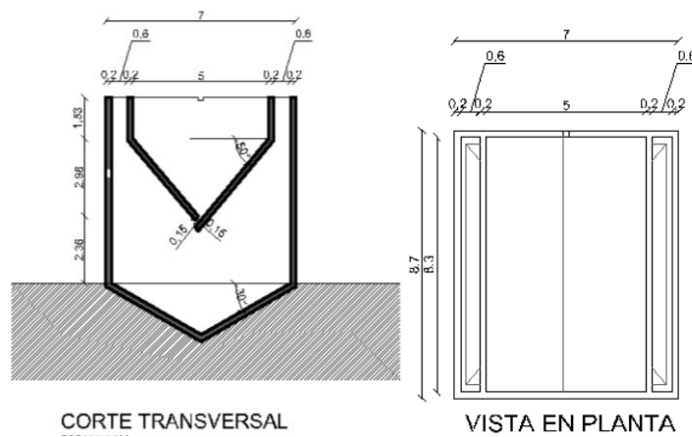


Figura 4-3. Tanque de Imhoff

Realizado por: Guillermo Niamá. 2016

3.1.7 Dimensionamiento de filtro anaerobio de flujo ascendente

Tabla 26-3: Criterios de diseño de filtro anaerobio de flujo ascendente

Característica	Unidad	Valor
Número de filtros	-	2

Profundidad útil	m	1.8
Ancho	m	5.4
Volumen mínimo	m ³	≥ 1.25
Profundidad media soporte	m	≥ 1.2
Salida del efluente	cm	≥ 30 sobre el lecho
Tiempo de retención	h	3 – 36
Carga orgánica	Kg DQO/ m ³ día	1 – 30

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales, 1995

- **Volumen del filtro**

Se usa el número de filtros y el tiempo de retención de la Tabla 26-3 y se calcula con la Ec.58:

$$V_f = \frac{Q_{DM}}{n} * t_R$$

$$V_f = \frac{52.4 \frac{m^3}{h}}{2} * 3 h$$

$$V_f = 78.6 m^3$$

- **Área superficial del filtro**

Se utiliza la profundidad útil de la Tabla 26-3 y se calcula con la Ec.59:

$$A_{sf} = \frac{V_f}{H_u}$$

$$A_{sf} = \frac{78.6 m^3}{1.8 m}$$

$$A_{sf} = 43.7 m^2$$

- **Longitud del filtro**

Se usa el valor de ancho del filtro de la Tabla 26-3 y se calcula con la Ec.60:

$$L = \frac{A_{sf}}{b}$$

$$L = \frac{43.7 \text{ m}^2}{5.4 \text{ m}}$$

$$L = 8.1 \text{ m}$$

- **Altura total del filtro**

Se toma la profundidad útil del filtro de la Tabla 26-3 y se calcula con la Ec.61:

$$H_{Tf} = H_u + 0.30$$

$$H_{Tf} = 1.8 \text{ m} + 0.30$$

$$H_{Tf} = 2.1 \text{ m}$$

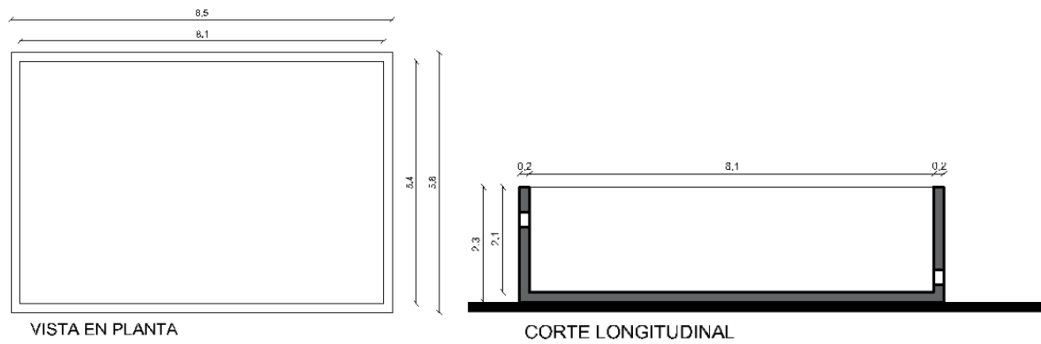


Figura 5-3. Filtro anaerobio de flujo ascendente

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

3.1.8 Dimensionamiento lechos de secado

Tabla 27-3: Caracterización de las aguas residuales del barrio El Carmen

Parámetros	Unidad	Promedio
Sólidos Totales	mg/L	570.6

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH, Métodos Normalizados. APHA 17 ed.

Tabla 28-3: Valores de caudal del barrio El Carmen

Q max	7,231
Qmin	0,650

Realizado por: Guillermo Niama, 2016

- **Producción percapita**

Se toma los valores de solidos totales y caudal máximo de las Tablas 27-3 y 28-3 respectivamente y se realiza el cálculo con la Ec.62:

$$C_{pc} = \frac{S * Q_{max}}{Pa * 1000}$$
$$C_{pc} = \frac{570.6 \frac{mg}{L} * 624758.4 \frac{L}{d}}{1615 \text{ hab} * 1000}$$
$$C_{pc} = 220.7 \frac{gSS}{\text{hab} * \text{dia}}$$

- **Sólidos que ingresan al sedimentador**

El cálculo se realiza con la Ec.63:

$$C = \frac{P_f * C_{pc}}{1000}$$
$$C = \frac{1969 \text{ hab} * 220.7 \frac{gSS}{\text{hab} * \text{dia}}}{1000}$$
$$C = 434.55 \frac{KgSS}{\text{dia}}$$

- **Masa de los sólidos que conforman los lodos**

Para el cálculo se necesita de la Ec.64:

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$
$$M_{sd} = \left(0,5 * 0,7 * 0,5 * 434.55 \frac{KgSS}{\text{dia}}\right) + \left(0,5 * 0,3 * 434.55 \frac{KgSS}{\text{dia}}\right)$$
$$M_{sd} = 141.23 \frac{KgSS}{\text{dia}}$$

- **Volumen diario de lodos digeridos**

Tabla 29-3: Criterios para el diseño de lechos de secado

PARAMETROS	DATOS	UNIDADES
Densidad de lodos	1010	Kg/m ³
Porcentaje de sólidos contenidos en el lodo	10	%

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Normas OPS/CEPIS, 2015

Se utilizan los criterios de la Tabla 29-3 donde la densidad de los lodos es de 1010 Kg/m³ y el porcentaje de sólidos será del 10% estos datos se utilizan en la Ec.65:

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} * \left(\frac{\%sólidos}{100}\right)}$$

$$V_{ld} = \frac{141.23 \frac{KgSS}{dia}}{1010 \frac{Kg}{m^3} * \left(\frac{10}{100}\right)}$$

$$V_{ld} = 1.39 \frac{m^3}{dia}$$

- **Volumen de lodos a extraer**

Tabla 30-3: Criterios para el diseño de lechos de secado

PARAMETROS	DATOS	UNIDADES
Tiempo de retención	55	días

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Normas OPS/CEPIS, 2015

Se utiliza el tiempo de retención de 55 días de la Tabla 30-3 para reemplazar en la Ec.66:

$$V_{le} = V_{ld} * T$$

$$V_{le} = 1.39 \frac{m^3}{dia} * 55 dias$$

$$V_{le} = 76.45 m^3$$

- **Área del lecho de secado**

Tabla 31-3: Criterios para el diseño de lechos de secado

PARAMETROS	DATOS	UNIDADES
Capa de arena (espesor)	200 – 400	mm
Capa de lodo (espesor)	200 – 400	mm
Capa de grava (espesor)	51 – 200	mm
Profundidad	1	m

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Normas OPS/CEPIS, 2015

Se utiliza la profundidad de 1m de la Tabla 31-3 y se usa la Ec.67:

$$A_{ls} = \frac{V_{le}}{H_a}$$

$$A_{ls} = \frac{76.45 m^3}{1 m}$$

$$A_{ls} = 76.45 m^2$$

Tabla 32-3: Criterios para el diseño de lechos de secado

PARAMETROS	DATOS	UNIDADES
Número de lechos de secado	4	adimensional

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Normas OPS/CEPIS, 2015

Se va considerar 4 lechos de secado individuales según la Tabla 32-3 para esta área y se utiliza la Ec.68:

$$A_{ind} = \frac{A_{ls}}{n}$$

$$A_{ind} = \frac{76.45 \text{ m}^2}{4}$$

$$A_{ind} = 19.11 \text{ m}^2$$

Tabla 33-3: Criterios para el diseño de lechos de secado

PARAMETROS	DATOS	UNIDADES
Ancho del lecho de secado	4	m

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Normas OPS/CEPIS, 2015

Para el cálculo de las dimensiones para el área del lecho de secado individual se utiliza los criterios de la Tabla 33-3 y se usa la Ec.69:

$$A_{ind} = b * L$$

Despejando la longitud tenemos:

$$L = \frac{A_{ind}}{b}$$

$$L = \frac{19.11 \text{ m}^2}{4 \text{ m}}$$

$$L = 4.78 \text{ m}$$

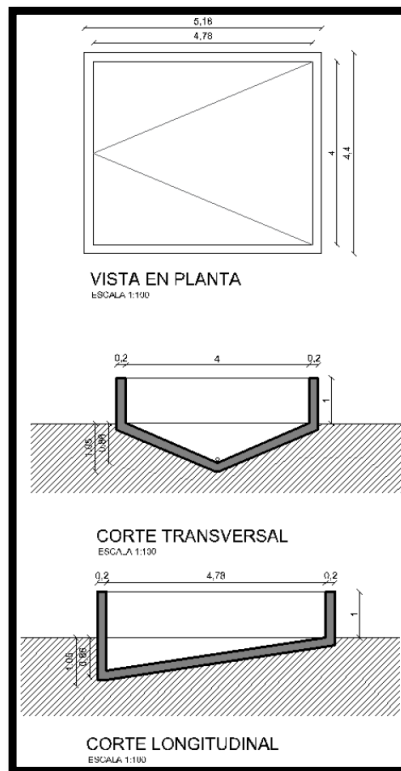


Figura 6-3. Lecho de secado

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

3.2 Resultados

3.2.1 Resultados de las Pruebas de Tratabilidad

Tabla 34-3: Variación del DBO₅

DBO₅ (mg/L)	34	25	17	13	9
Aireación (día)	1	2	3	4	5

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH, Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

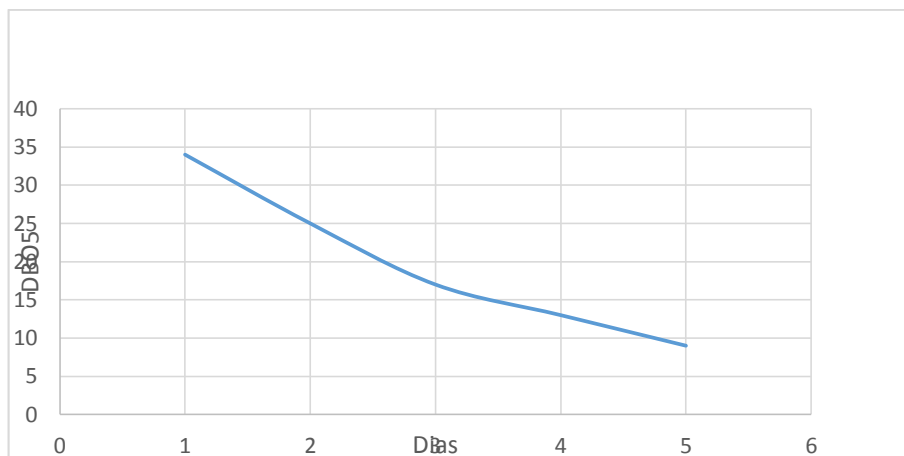


Gráfico 1-3. Variación del DBO₅ respecto al tiempo de aireación

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Al realizar las pruebas de tratabilidad en este caso aireación inducida se determinó que el DBO₅ reduce en el transcurso de 5 días de 35 mg/L a 9 mg/L. Datos que se encuentran representados en la Tabla 34-3 y la Grafica 1-3

Tabla 35-3: Variación del DQO

DQO (mg/L)	61	47	40	29	23
Aireación (día)	1	2	3	4	5

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales- UNACH, Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

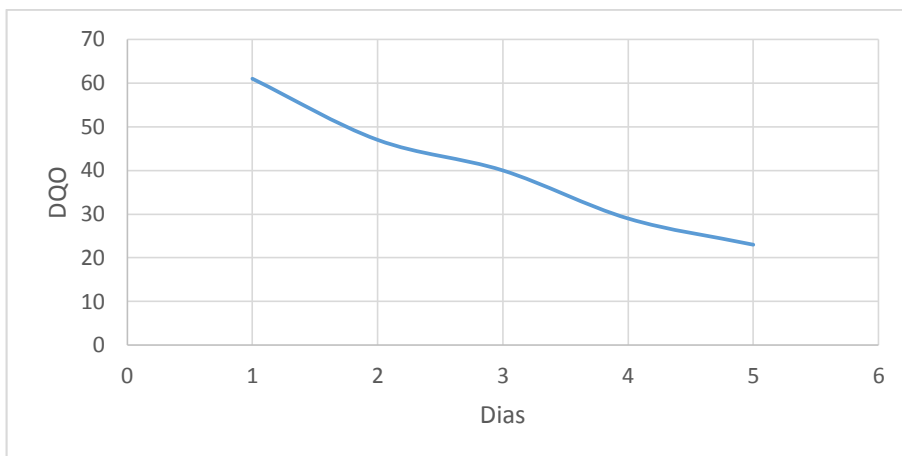


Gráfico 2-3. Variación del DQO respecto al tiempo de aireación

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Al realizar las pruebas de tratabilidad en este caso aireación inducida se determinó que el DQO reduce en el transcurso de 5 días de 61 mg/L a 23 mg/L. Datos que se encuentran representados en la Tabla 35-3 y la Grafica 2-3

Tabla 36-3: Variación de la turbiedad

Turbiedad (NTU)	28.9	21.3	4.1	3.6	3.5
Aireación (día)	1	2	3	4	5

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos- Facultad de Ciencias- ESPOCH

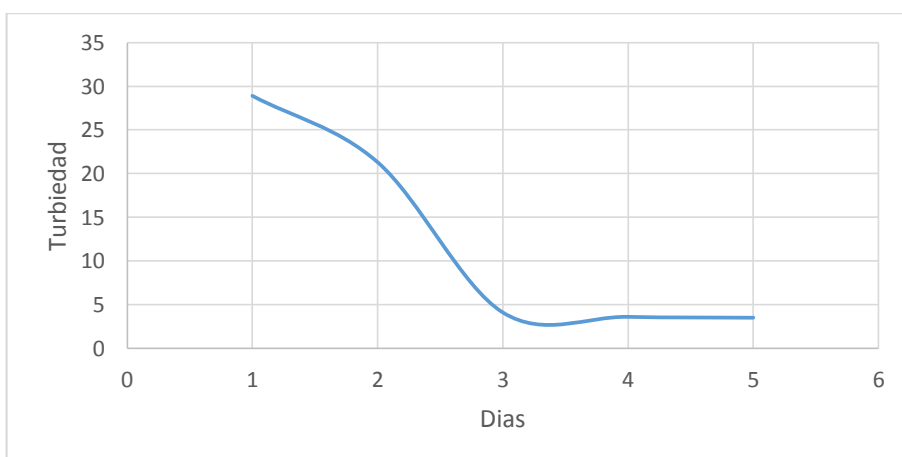


Gráfico 3-3. Variación de la turbiedad

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

La variación de turbiedad en el agua después de realizarse las pruebas de aireación se encuentra representado en la Tabla 36-3 y la Gráfica 3-3. Donde la reducción de la turbiedad es más representativa al tercer día.

Tabla 37-3: Variación de la conductividad eléctrica

C.E. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	25.6	10.5	3.5	0.5	0.2
Aireación (día)	1	2	3	4	5

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos- Facultad de Ciencias- ESPOCH

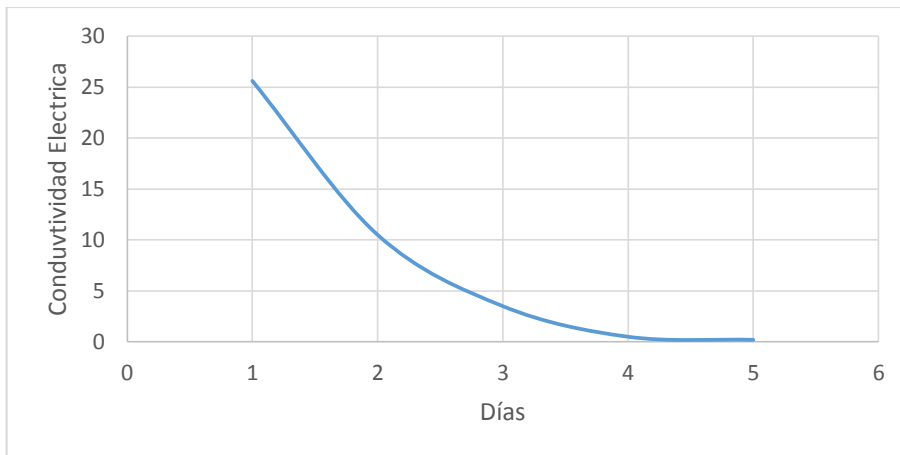


Gráfico 4-3. Variación de la conductividad eléctrica

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

La variación de la conductividad eléctrica por medio de la aireación está representada en la Tabla 37-3 y la Gráfica 4-3. Esta variación nos que indica la remoción de material particulado ya que este se va oxidando y sedimenta dando como resultado la disminución de conductividad eléctrica más representativa en el transcurso de 5 días de aireación.

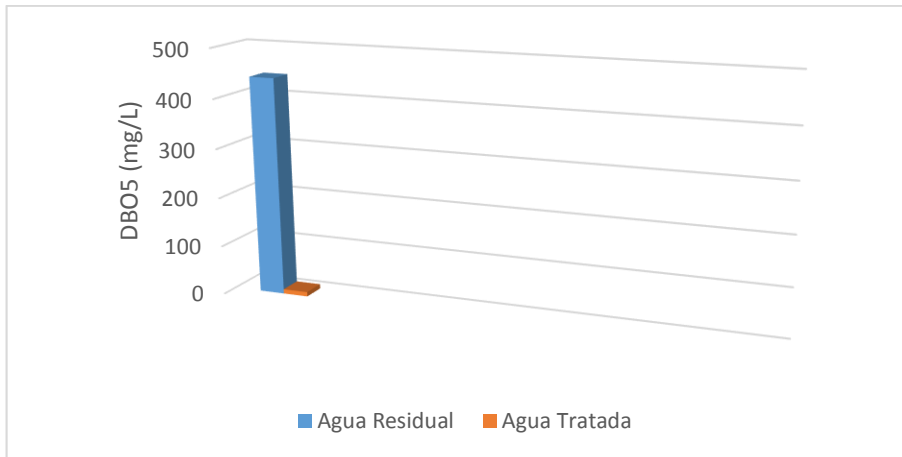


Gráfico 5-3. Disminución de la demanda biológica de oxígeno

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

En la Gráfica 5-3 se compara el DBO_5 que se obtiene en la caracterización de las aguas residuales del barrio El Carmen con un valor de DBO_5 de 441 mg/L y después de recibir el tratamiento se obtiene un agua tratada con valor de DBO_5 de 9 mg/L con lo que se demuestra que la remoción es eficiente para estas aguas.

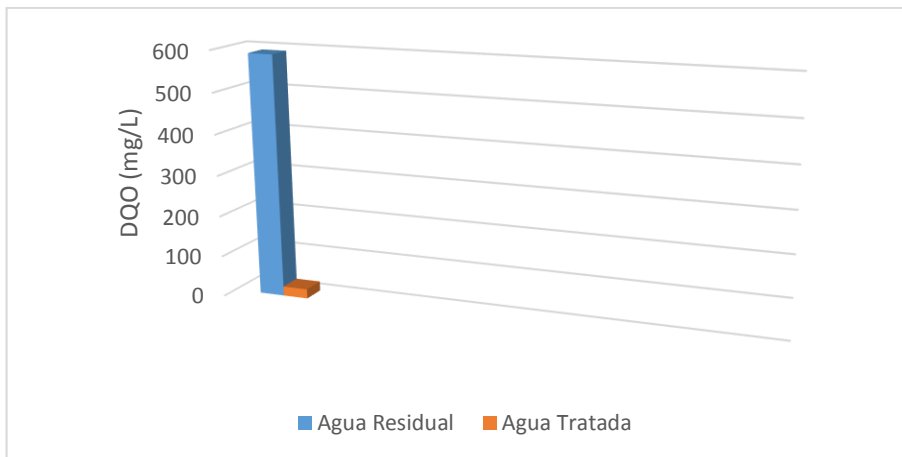


Gráfico 6-3. Disminución de la demanda química de oxígeno

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

La Gráfica 6-3 representa los valores de DQO de 590 mg/L y de 23 mg/L obtenidos en la caracterización de las aguas residuales del barrio El Carmen y la caracterización de las aguas tratadas respectivamente logrando constatar que existe una gran remoción del DQO en el proceso.

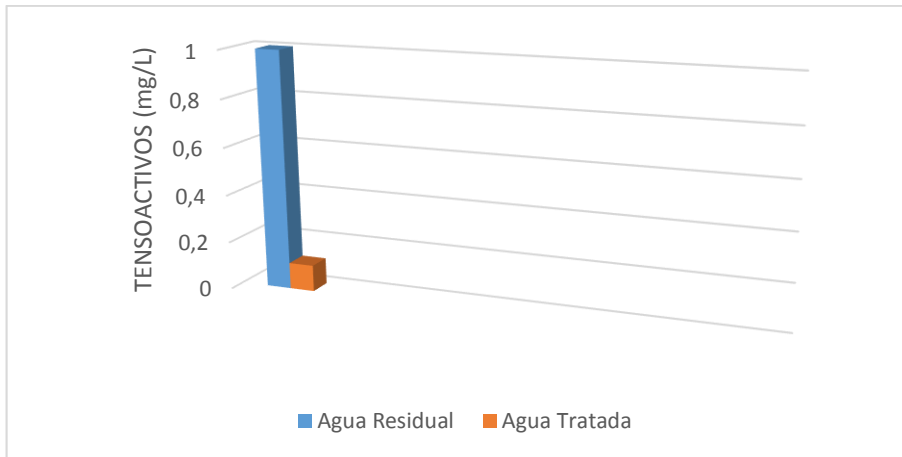


Gráfico 7-3. Reducción de tensoactivos

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

La Gráfica 7-3 representa los valores de tensoactivos comparándolos en la caracterización inicial de las aguas residuales y la caracterización de las aguas tratadas obteniendo los valores de 1 mg/L y 0.11 mg/L demostrando que el tratamiento es eficiente.

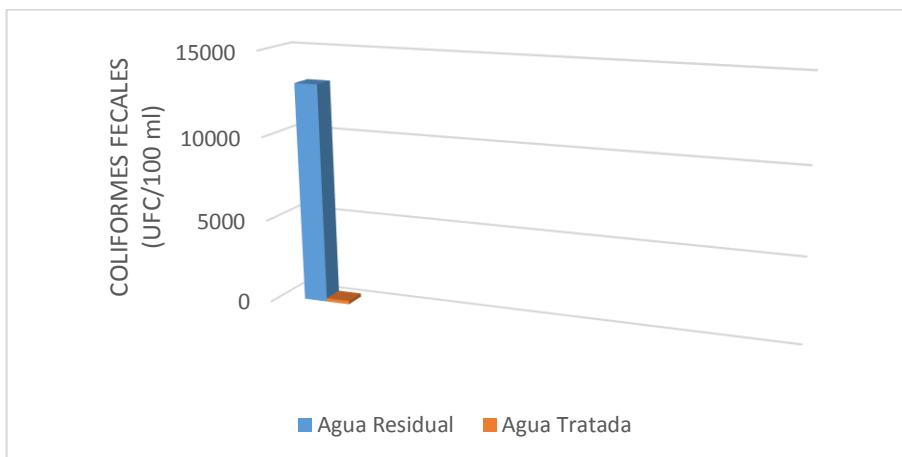


Gráfico 8-3. Disminución de coliformes fecales

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

La disminución de los coliformes fecales se representa en la Gráfica 8-3 donde se tiene un valor de 13066 UFC/100 ml que corresponde a la caracterización inicial de las aguas residuales del barrio El Carmen y un valor de 200 UFC/100 ml de la caracterización de las aguas tratadas lo que demuestra que es eficaz el tratamiento que recibieron las aguas.

3.2.2 Resultado final de las pruebas de caracterización final del agua tratada

Al culminar las pruebas de tratabilidad se determinó que la aireación es eficiente para que el agua tratada cumpla con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 38-3: Análisis físico final

Color	Transparente
Olor	No tiene olor
Turbidez	1.5 NTU

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos- Facultad de Ciencias- ESPOCH

Tabla 39-3: Análisis microbiológico final

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	LÍMITES	CONDICIÓN
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	Método estándar 9221C	200	2000	Cumple

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales, UNACH

Tabla 40-3: Análisis físico químico final

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	LIMITE	CONDICIÓN
pH		PE-LSA-01	6.8	6-9	Cumple
DQO	mg/L	STANDARD METHODS 5220-D	23	200	Cumple
DBO	mg/L	STANDARD METHODS 5210-B	9	100	Cumple

Tensoactivos	mg/L	STANDARD METHODS 5540-C	0,11	0.5	Cumple
--------------	------	-------------------------------	------	-----	--------

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH

3.2.3 *Resultado del dimensionamiento*

- **Caudal de diseño**

Tomando en cuenta algunos parámetros como la población actual, población futura y la vida de la planta estimada para 15 años, se han obtenido los siguientes datos, detallados a continuación en la tabla:

Tabla 41-3: Resultados de caudal de diseño

PARÁMETROS	RESULTADO
Población actual	1615 hab
Población futura	1969 hab
Dotación de agua	150 L/hab. día
Caudal medio	2.73 L/s
Caudal infiltración	3.44 L/s
Caudal de conexiones erradas	1.32 L/s
Caudal de diseño máximo	14.56 L/s
Caudal de diseño medio	7.49 L/s

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

- **Cribado**

El objetivo de las rejillas es retener los sólidos de mayor tamaño; tales como piedras, ladrillos, plásticos, entre otros; las cuales son de limpieza manual y los resultados de sus dimensiones son:

Tabla 42-3: Resultados del diseño de cribado

DETALLES	DIMENSIONES
Separación entre barras	0.025 m
Espesor de las barras	0.015 m
Altura del canal	0.496 m
Ancho del canal	0.3 m
Largo del canal	1 m
Inclinación de la rejilla	45 °
Número de barras	7
Longitud de barras	0.7 m

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

- **Desarenador**

Con el fin de eliminar los sólidos con diámetros mayores 0.02 mm se diseñó un desarenador que consta de las siguientes dimensiones:

Tabla 43-3: Resultados del diseño del desarenador

DETALLES	DIMENSIONES
Área Superficial	2.93 m ²
Ancho	0.76 m
Longitud der la zona de sedimentación	4.75 m
Altura	1.5 m
Volumen	4.4 m ³
Tiempo de retención	300 s
Velocidad horizontal	0,012 m/s
Longitud de transición de ingreso al desarenador	1.05 m
Longitud de la placa de entrada	1.58 m
Pendiente de entrada	10%

Longitud de la placa de salida	3.17
Pendiente de salida	5%
Ancho del vertedero de salida	0.2 m
Altura del vertedero de salida	0.12 m

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

- **Tanque Imhoff**

La finalidad de esta estructura es la oxidación de la materia orgánica y la remoción de la materia presente en el agua residual. Consta con las siguientes dimensiones:

Tabla 44-3: Resultados del diseño del tanque Imhoff

DETALLES	DIMENSIONES
Área superficial	41.93 m ²
Ancho de la cámara de sedimentación	5 m
Longitud del tanque Imhoff	8.3 m
Tiempo de retención hidráulico	2 h
Volumen cámara de sedimentación	104.79 m ³
Profundidad de la cámara de sedimentación	4.01 m
Volumen de la cámara de digestión	137.8 m ³
Altura de la cámara de digestión	2.16 m
Profundidad total del Tanque	8.76 m
Ancho de la zona de ventilación	0.6 m
Ancho total del tanque	6.2 m

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

- **Filtro anaerobio de flujo ascendente**

Esta estructura sirve para remover la materia en suspensión y oxidar la materia orgánica presente que no se eliminó en operaciones anteriores, de acuerdo a los cálculos sus dimensiones son las siguientes:

Tabla 45-3: Filtro anaerobio de flujo ascendente

DETALLES	DIMENSIONES
Volumen del filtro	78.6 m ³
Área Superficial	43.7 m ²
Ancho	5.4 m
Longitud	8.1 m
Altura	2.1 m

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

- **Lecho de secado**

Sirven para estabilizar los lodos deshidratándolos a temperatura ambiente sin consumo de energía, sus dimensiones son:

Tabla 46-3: Resultados del diseño del lecho de secado

DETALLES	DIMENSIONES
Sólidos que ingresan al sedimentador	434.55 KgSS/día
Masa de los sólidos que conforman el lodo	141.23 KgSS/día
Volumen diario de lodos	1.39 m ³ /día
Volumen de lodos a extraer	76.45 m ³
Área del lecho de secado	76.45 m ²
Número de lechos de secado	4
Área individual de lechos de secado	19.11 m ²
Ancho	4 m
Largo	4.78 m
Profundidad	1 m

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

3.3 PROPUESTA

En base a los resultados obtenidos de la caracterización y pruebas de laboratorio con las aguas residuales del barrio el Carmen se propone el siguiente sistema de tratamiento para dichas aguas residuales:

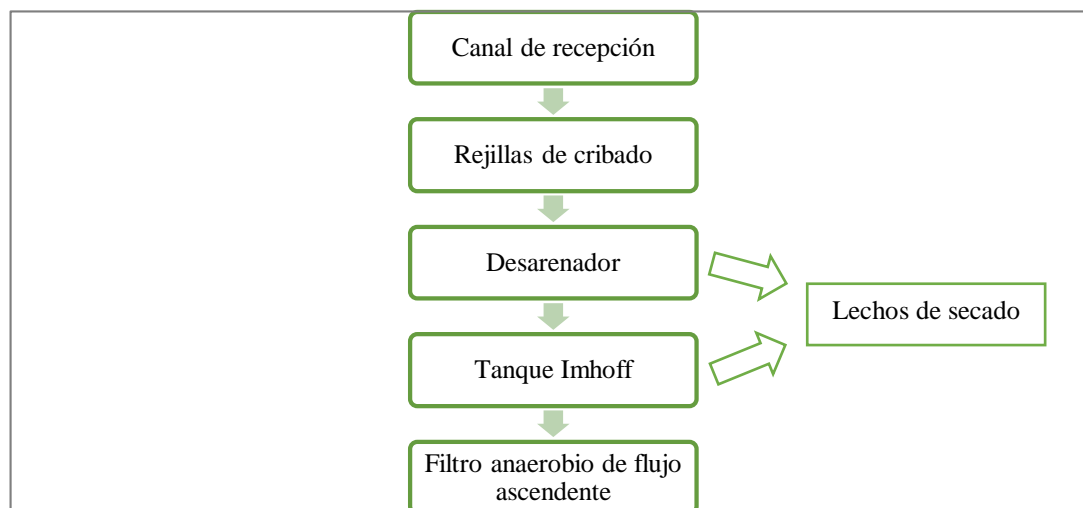


Figura 7-3. Propuesta del sistema de tratamiento de agua residual del barrio el Carmen del cantón Chambo

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

3.4 Análisis de resultados

Las aguas residuales del barrio El Carmen del Cantón Chambo son generadas de las distintas actividades en los domicilios de los moradores del sector las mismas que son descargadas en la quebrada de Cachipata y posteriormente llegan al río Chambo sin previo tratamiento, al realizar la caracterización física – química y microbiológica de las aguas residuales se determinó que estas contienen DBO y DQO debido a la materia orgánica que proviene de alimentos y heces fecales, tensoactivos debido al uso de detergentes dentro de las distintas actividades de limpieza en el sector y coliformes fecales por la presencia de heces fecales. Es decir no cumplen con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce de la norma de calidad ambiental Recurso Agua del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

La ley exige que el agua debe tener un tratamiento previo para que no afecte el ecosistema ni la salud de los moradores del sector por este motivo el agua que es descargada en la quebrada de

Cachipata ingresará a una planta de tratamiento de agua residual la misma que está diseñada para funcionar con una proyección de 15 años para lo cual se toma en cuenta a los caudales medidos en el sector, la población y su crecimiento poblacional anual.

La planta de tratamiento cuenta con un pretratamiento de cribado cuyas dimensiones están descritas en la Tabla 42-3, el cribado se realiza con la finalidad de remover los sólidos más grandes presentes en el agua (ladrillos, piedras y plásticos) y un desarenador cuyas dimensiones se encuentran en la Tabla 43-3, el desarenador tiene la finalidad de eliminar la tierra y arena (partículas de diámetro mayor a 0.02 mm) que en su mayoría se encuentra en las aguas de riego que se suman a la descarga.

Después se dirige a un tanque Imhoff cuyas dimensiones están descritas en la Tabla 44-3, esta estructura cuenta con dos cámaras una de sedimentación y una de digestión cuyo objetivo es sedimentar los sólidos que no se eliminaron en operaciones anteriores y oxidar la materia orgánica respectivamente y una zona de ventilación por donde se eliminaran los gases generados en la digestión y se acumularan las natas (grasas y tensoactivos). Con este proceso se logra reducir el DBO, DQO y tensoactivos presentes en el agua residual.

Posteriormente el agua es dirigida a filtros anaeróbicos de flujo ascendente con la finalidad de remover sólidos, DBO y DQO que no se removieron en operaciones anteriores para obtener un agua que cumple con los requerimientos que exige la ley para ser depositadas en el Río Chambo sin inconvenientes. Las dimensiones de los filtros rápidos de arena están en la Tabla 45-3.

Finalmente se tienen lechos de secado con un área de 76.45 m² cuya función es reducir el volumen de todos los lodos generados durante el proceso de tratamiento del agua residual para que estos sean dispuestos para acondicionamiento de la tierra o puedan ser arrojados en un relleno sanitario y no causen ningún impacto ambiental. Las dimensiones de los lechos de secado se encuentran en la Tabla 46 -3.

3.4.1.1 Costos aproximados de la propuesta

Tabla 47-3: Análisis de costos

Cantidad	Unidad	Detalle	Costo unitario	Costo (\$)
Canal				

1	m ³	Excavación	1.69	1.69
4	m ²	Enlucido interior con impermeabilizante	7.91	31.64
2	m ³	Hormigón simple fc=210kg/cm ² y encofrado	190.42	380.84
10	Kg	Acero de refuerzo	2.10	21.00
Subtotal				435.17
Rejillas				
1		Rejillas manuales con 7 barras de acero inoxidable		80.00
Subtotal				80.00
Desarenador				
4.3	m ³	Excavación	1.69	7.27
5.2	m ²	Enlucido interior con impermeabilizante	7.91	41.13
8.4	m ³	Hormigón simple fc=210kg/cm ² y encofrado	190.42	761.88
25	Kg	Acero de refuerzo	2.10	52.50
Subtotal				862.78
Tanque de Imhoff				
8	m ³	Excavación	1.69	13.52
162.6	m ²	Enlucido interior con impermeabilizante	7.91	1286.17
22	m ³	Hormigón simple fc=210kg/cm ² y encofrado	190.42	4189.24
1000	Kg	Acero de refuerzo f y=4200 Kg/cm ²	2.10	2100
Subtotal				7588.93
Filtro anaeróbico de flujo ascendente				

2	volqueta	Grava	40	80.00
144.18	m ²	Enlucido e impermeabilizante	7.91	1140.46
7.67	m ³	Hormigón simple de fc=210Kg/cm ²	190.42	1460.52
200	Kg	Acero de refuerzo	2.10	420.00
Subtotal				3100.98
Lechos de secado				
1	volqueta	Grava	40	40.00
1	volqueta	Arena	40	40.00
14.05	m ³	Hormigón simple de fc=210Kg/cm ² y encofrado	190.42	2675.40
100	Kg	Acero de refuerzo	2.10	210.00
76.45	m ²	Enlucido interior con impermeabilizante	7.91	604.72
Subtotal				3570.12
Accesorios				
1		Válvula de compuerta		80.00
		Tubería PVC, Codos, válvulas de globo, uniones		1200.00
Subtotal				1280.00
Mano de obra				
320	m ²	Limpieza del terreno	0.84	268.8
	m ²	Construcción de la Planta		6000.00
1		Gastos varios		2000.00
Subtotal				8268.8
Total				25186.78

Realizado por: Guillermo Níama. 2016

Tabla 48-3: Costo de operación mensual

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo
Trabajadores	1	366.00	366.00
Mantenimiento	-	-	300.00
Gastos varios	-	-	200.00
Total			866.40

Realizado por: Guillermo Niama. 2016

CONCLUSIONES

- Se diseñó una planta de tratamiento de agua residual para el barrio el Carmen del Cantón Chambo la misma que cuenta con un sistema de rejillas, un desarenador, un tanque Imhoff, y filtros anaerobios de flujo ascendente y finalmente lechos de secado. Todas las estructuras están diseñadas con un caudal de proyección a 15 años para eliminar los principales contaminantes presentes en el agua residual.
- Con la caracterización físico – química y microbiológica inicial de las aguas residuales del barrio El Carmen y comparar con la NORMA de calidad ambiental Recurso Agua del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce se determinó que los parámetro DBO₅, DQO, tensoactivos y coliformes fecales se encuentran fuera de norma.
- Al realizar los cálculos de dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del barrio El Carmen del Cantón Chambo se determinó que las variables de diseño están en relación a las características de las aguas residuales y estas son: Caudal 14.56 L/s, DBO₅ 441 mg/L, 590 DQO mg/L, 1 tensoactivos mg/L y 13066 coliformes fecales UFC/100 ml.
- Para el dimensionamiento de cada uno de los equipos que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales se realizaron los cálculos ingenieriles tomando en cuenta los criterios de diseño para cada uno de los equipo diseñados
- Después de realizar las pruebas de tratabilidad (aireación inducida) en las aguas residuales del barrio El Carmen del Cantón Chambo se obtuvo un agua de mejor calidad ya que al realizar la caracterización de las misma se determinó que los parámetros: DBO₅ 9 mg/L, DQO 23 mg/L , tensoactivos 0.11 mg/L y coliformes fecales 200 UFC/ml al compararlos con Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce se encontraban dentro de NORMA de calidad ambiental Recurso Agua del TULSMA por lo que se puede decir que el diseño esta validado.
- El costo que demanda la implementación de la planta de tratamiento de agua residual para el barrio El Carmen es de 25186.78 dólares este costo se encuentra justificado Tabla 48-3 del presente trabajo.

RECOMENDACIONES

- El mantenimiento pertinente de cada una de las estructuras que conforman la planta de tratamiento de agua residual debe realizarse continuamente con la finalidad de que operen correctamente.
- Es importante realizar una limpieza periódica de la planta de tratamiento descrito en el Anexo O con la finalidad de prevenir la acumulación de materia que puede provocar obstrucciones o taponamientos de tuberías y equipos.
- El mantenimiento de la planta es adecuado realizarlo cuando los caudales son los mínimos.
- Los lodos que salen de los lechos de secado pueden ser dispuestos directamente para relleno sanitario o utilizados para acondicionamiento de suelo.
- Se debe realizar las caracterizaciones de las aguas que salen de la planta para verificar que la misma esté operando adecuadamente y se cumpla con la normativa vigente.
- Anualmente debe efectuarse una inspección total de la planta de tratamiento con la finalidad de encontrar desperfectos y repararlos.

BIBLIOGRAFÍA

AYALA DURAN, Carlos Antonio, & DIAZ CASTILLO, Eli. *Manual para el diseño de unidades de tipo biológico en plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas en el Salvador* (Tesis) (Pregrado). Universidad del Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil, San Salvador. 2008. pp.25-26. [Consulta: 25 abril 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/259926649/Manual-Para-El-Diseno-de-Unidades-de-Tipo-Biologico-en-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Domesticas-en-El-Salvador>

BERRONES ZÚÑIGA, DEYSI MARIELA, *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia Sibambe* (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2009. Pp. 23-32. [Consulta: 25 abril 2016]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3200/1/96T00234.pdf>

BÓDALO, Antonio; et al. *Química en Murcia. 50 Aniversario de los colegios de químicos de España.* Murcia-España : Universidad de Murcia, 2002, p. 126-129.

CASTRO, L., Parámetros físico-químicos para la calidad del agua, CEPIS, Lima-Perú, 1993. Pp. 11, 12,15-20.

CENTA. *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas.* Andalucía-España : Ideasmares, 2008, pp. 39-43.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. *Tratamiento de agua para consumo humano.* [en línea]. Lima-Perú: Organización panamericana de la salud, 2006. [Consulta: 25 abril 2016]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/filtrarapmanual2.html>

COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE JALISCO. *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con lodos activados* [en línea] Jalisco-México: Arturo Nelson Villareal, 2002. [Consulta: 08 febrero 2016]. Disponible en: http://www.ceajalisco.gob.mx/publicaciones/pdf/plantas_tratam_tomo1.pdf

CRITES, Ron & TCHOBANOGLIOUS, George. *Tratamientos de aguas residuales en pequeñas poblaciones.* Bogotá - Colombia, McGraw Hill, 2000. Pp. 33, 42-44, 46 - 90, 247-337, 636-640.

DELGADILLO, Oscar; et al. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Cochabamba-Bolivia : COV-AGUA, 2010, pp. 53-54, 56.

ESPIGARES, M. *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas.* 2ª ed. Granada-España : Universidad de Granada, 1985, p. 26.

ESPÍN SALTOS, ALEJANDRA CECILIA, *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el camal municipal del cantón Alausi* (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2009. Pp. 23-28; 35-40. [Consulta: 25 abril 2016]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3204/1/96T00238.pdf>

GUANGA INCA, ULISES RIGOBERTO, *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas servidas de los pozos de captación en la parroquia rural Matus del cantón Penipe* (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2009. Pp. 39-44. [Consulta: 25 abril 2016].

INSTITUTO TECNOLOGICO DE CANARIAS S.A. *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población.* Canarias- España: Daute Diseño, 2006. pp. 41-53

MANAHAN, Stanley. *Introducción a la Química Ambiental.* México D.F.- México : Reverté S.A., 2007, pp. 209-210.

MARIN MONTOYA, Jhoan Pablo, & CORREA RAMIRES, Juan Carlos. *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales con humedales artificiales utilizando la *guadua angustifolia kunth** (Tesis) (Maestría). Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad Tecnología, Escuela de Tecnología Química. Pereira, Colombia. 2010. pp. 8-9. [Consulta: 25 abril 2016]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1801/6283M337.pdf?sequence=1>

MENDONÇA, S., *Sistemas de lagunas de estabilización.* Bogota-Colombia: Nomo S. A., 2000, pp. 257-262.

METCALF Y EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales.* 3ª ed. Madrid-España : McGraw Hill, 1995, pp. 47-52.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL- REPUBLICA DE COLOMBIA. *Instructivo para la toma de muestras aguas residuales* [en línea]. Colombia: IDEAM, 2007. [Consulta: 07 marzo 2016]. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

MUNICIPIO DE MEDELLIN EPM. *Guía para el diseño hidráulico de redes de alcantarillado* [en línea]. Medellin-Colombia: Anonimo, 2009. [Consulta: 25 abril 2016]. Disponible en: https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/GuiaDisenoHidraulicoRedesAlcantarillado.pdf

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, *Guía para la operación y mantenimiento de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización* [en línea]. Lima: CEPIS, 2005. [Consulta: 25 abril 2016]. Disponible en:

http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/055_O&M_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/O&M_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf

OROZCO, Carmen; et al. *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química*. Madrid-España : Paraninfo S.A., 2011, p. 66.

OSORIO ROBLES, Francisco; TORRES ROJO, Juan; SANCHEZ BAS, Mercedes. *Tretamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes*. España: Díaz de Santos, 2010, pp. 1-2.

RAMALHO, R. S. *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona-España: Reverté, 1996, pp. 77-78.

ROMERO ROJAS, JAIRO ALBERTO, *Calidad del Agua*. 2ª ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005, pp. 105-111, 173-186, 231-266.

ROMERO, J., *Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de Diseño*, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Edición, Pp. 17-25,37,38,80,288

SAVARICHE SIERRA, Carlo Alberto; CASTILLO BERTEL, Marlon Enrique; et al. *Sapiens: Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas* [en línea]. Cartagena de Indias-Colombia: Fundación Universitaria Inca Andaluza, 2013. [Consulta: 10 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>

TRAPOTE, Arturo. *Depuración de aguas resicuales urbanas*. Alicante-España : Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2013, pp. 15,21.

TULSMA 2015. *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.*

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA. *El agua en el medio ambiente muestreo y análisis* [en línea]. Baja California-México: Plaza y Valdes, 2003. [Consulta: 08 febrero 2016]. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=b81-xhcHPEYC&oi=fnd&pg=PA11&dq=definicion+de+muestreo+simple+y+compuesto&ots=Ttq5PF5GBe&sig=_oHHLY2h6bxI4tQ9Tv6S5kQnefM#v=onepage&q&f=false

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO. *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* [en línea]. 2ª ed. México: Francisco Bautista Zúñiga, 2011. [Consulta: 08 febrero 2016]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Bautista/publication/279175617_2011-Tecnicas_de_muestreo/links/558bcd6d08ae08a56ed1d1c4.pdf

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD. *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales* [en línea]. Bogotá: Diana Marcela Fuquene, 2012. [Consulta: 25 abril 2016]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_8_desbaste.html

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales* [en línea]. Bogota-Colombia: Diana Marcela Fuquene, 2012. [Consulta: 07 marzo 2016]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contenido_en_linea/leccin_17_medicin_de_caudales_de_descarga.html

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA DE MANAGUA. *Desarenadores convencionales* [en línea]. Managua: Mario Castellon, 2012. [Consulta: 25 abril 2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/ingmariocastellon/desaarenadores-convencionales>

ANEXOS

ANEXO A. MUESTREO Y MEDICIÓN DE CAUDAL



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Niama</p>	MUESTREO Y ZONA DE DESCARGA		
a) Tubería de descarga b) Quebrada Cachipata c) Muestreo y medición de caudal d) Materiales	<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		Lámina	Escala	Fecha
			1	A4	25/05/2016

ANEXO B. CARACTERIZACION INICIAL 1

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Sr. Guillermo Niama **INFORME N°:** 091 - 15
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 091 - 15
DIRECCIÓN: España 21-56 y 10 de Agosto
TELÉFONO: 0999820065 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 28 - 10 - 15
FECHA DE INFORME: 04 - 11 - 15
NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Doméstica, **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 222 -15 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 222-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	6,72	+/- 0,08	28 - 10 - 15
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	932	+/- 6 %	28 - 10 - 15
* Sólidos Suspendedos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	120	N/A	28 - 10 - 15
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO ₄ -E	43	N/A	28 - 10 - 15
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	3,82	N/A	28 - 10 - 15
* Nitratos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 NO ₃ - E mod.	126,2	N/A	28 - 10 - 15
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	34,3	N/A	28 - 10 - 15
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	1,9	N/A	28 - 10 - 15
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	161	N/A	28 - 10 - 15
* DBO5	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	99	N/A	28 - 10 - 15
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	138	+/- 10 %	28 - 10 - 15
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	12700	N/A	28 - 10 - 15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	24700	N/A	28 - 10 - 15

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		COMPARACIÓN DE RESULTADOS			
	Lámina	Escala	Fecha			
Caracterización 1 de las aguas residuales	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por eliminar	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Niama	2	A4	25/05/2016
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por aprobar				
	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para información				

ANEXO C. CARACTERIZACIÓN INICIAL 2

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Sr. Guillermo Niama **INFORME N°:** 119 - 15
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 119 - 15
DIRECCIÓN: España 21-56 y 10 de Agosto
TELÉFONO: 0999820065 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 08 - 12 - 15
FECHA DE INFORME: 15 - 12 - 15
NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Doméstica, **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 336 -15 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 336-15

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7.32	+/- 0.08	08 - 12 - 15
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	482	+/- 6 %	08 - 12 - 15
* Sólidos Suspendedos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	125	N/A	08 - 12 - 15
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO ₄ -E	41	N/A	08 - 12 - 15
* Dureza Total	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2340 - C	192	N/A	08 - 12 - 15
* Cloruros	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cl E mod	16	N/A	08 - 12 - 15
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH ₃ B&C - mod	15,7	N/A	08 - 12 - 15
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	8,62	N/A	08 - 12 - 15
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	0,56	N/A	08 - 12 - 15
* Dureza Magnésica	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2340 - C	54	N/A	08 - 12 - 15
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	26	N/A	08 - 12 - 15
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	1,2	N/A	08 - 12 - 15
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	89	N/A	08 - 12 - 15
* DBO ₅	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	988	N/A	08 - 12 - 15
DOO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	1260	+/- 10 %	08 - 12 - 15
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	24300	N/A	08 - 12 - 15
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	12200	N/A	08 - 12 - 15

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Niama	COMPARACIÓN DE RESULTADOS		
Caracterización 2 de las aguas residuales	<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		Lámina	Escala	Fecha
				3	A4

ANEXO D. CARACTERIZACION INICIAL 3

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Sr. Guillermo Niama **INFORME N°:** 010 - 16
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 010 - 16
DIRECCIÓN: España 21-56 y 10 de Agosto
TELÉFONO: 0999820065 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 08 - 03 - 16
FECHA DE INFORME: 15 - 03 - 16

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual Doméstica, Chambo **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 336 -15 El Carmen Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 010-16

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	6,76	+/- 0,08	08 - 03 - 16
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	298	+/- 6 %	08 - 03 - 16
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	51	N/A	08 - 03 - 16
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO ₄ -E	19	N/A	08 - 03 - 16
* Dureza Total	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2340 - C	182	N/A	08 - 03 - 16
* Cloruros	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cl E mod	12,4	N/A	08 - 03 - 16
* Nitrogeno Amomiacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH ₃ B&C - mod	4,54	N/A	08 - 03 - 16
* Nitrogeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	6,30	N/A	08 - 03 - 16
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	0,61	N/A	08 - 03 - 16
* Dureza Magnésica	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2340 - C	44	N/A	08 - 03 - 16
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	16	N/A	08 - 03 - 16
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0,9	N/A	08 - 03 - 16
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	21,61	N/A	08 - 03 - 16
* DBO5	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	237	N/A	08 - 03 - 16
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 6220 - D mod	382	+/- 10 %	08 - 03 - 16
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	9400	N/A	08 - 03 - 16
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	5300	N/A	08 - 03 - 16

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Niama	COMPARACIÓN DE RESULTADOS		
Caracterización 3 de las aguas residuales	<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		Lámina	Escala	Fecha
				4	A4

ANEXO E. PRUEBAS DE TRATABILIDAD

a)

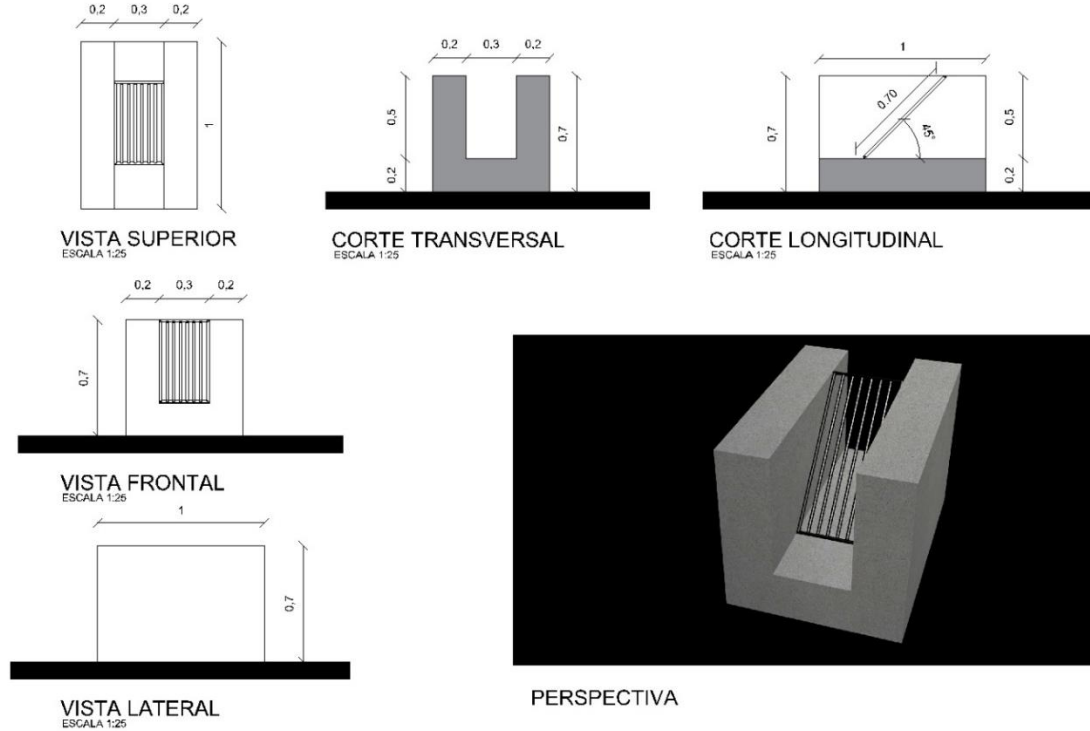


b)



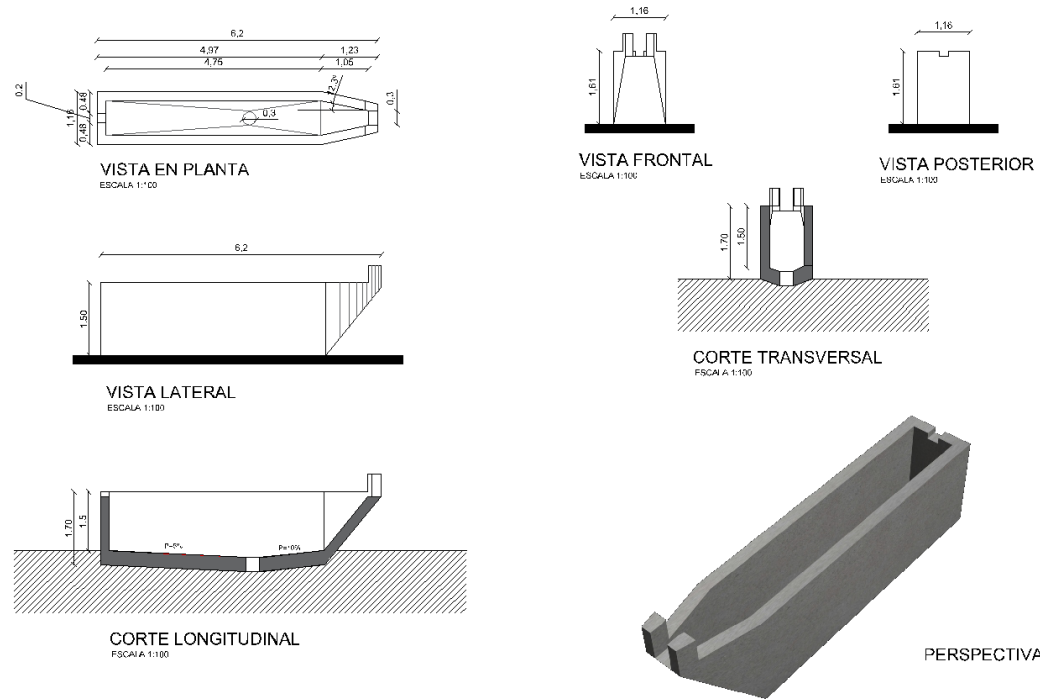
NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Niama	PRUEBAS DE TRATABILIDAD		
a) Aireación inducida b) Bombas y recipiente para aireación inducida		<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por eliminar		Lámina	Escala	Fecha
		<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		5	A4	25/05/2016
		<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para información				

ANEXO F. DIMENSIONAMIENTO DE REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL



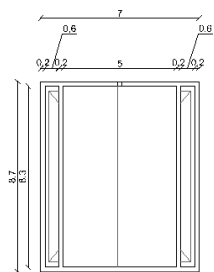
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Níama	CRIBADO		
Rejillas de limpieza manual	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		Lámina	Escala	Fecha
				6	A4

ANEXO G. DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR

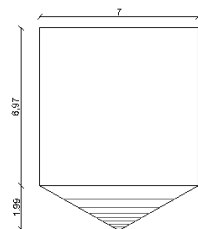


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Níama	SEDIMENTACIÓN PRIMARIA		
Desarenador	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información		Lámina	Escala	Fecha
				7	A4

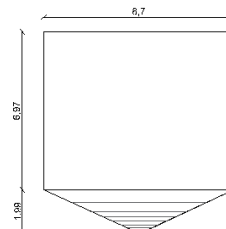
ANEXO H. TANQUE IMHOFF



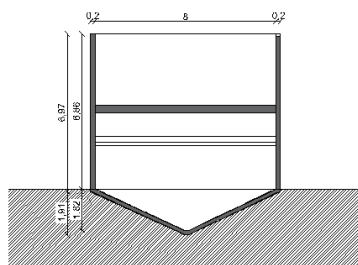
VISTA EN PLANTA
ESCALA 1:200



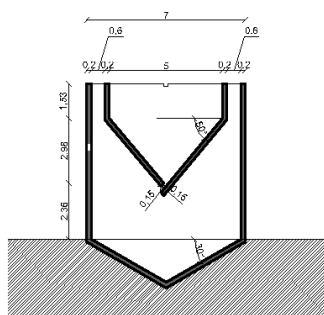
VISTA EN PLANTA
ESCALA 1:200



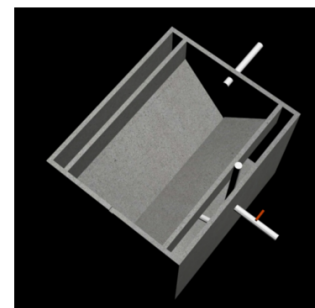
VISTA EN PLANTA
ESCALA 1:200



CORTE LONGITUDINAL
ESCALA 1:200



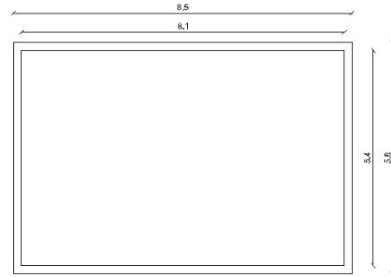
CORTE TRANSVERSAL
ESCALA 1:200



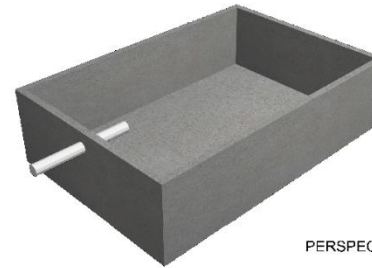
PERSPECTIVA

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Níama	SEDIMENTACIÓN PRIMARIA		
Tanque Imhoff	<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		Lámina	Escala	Fecha
				8	A4

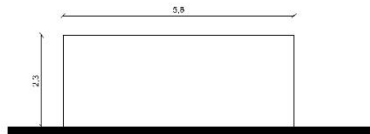
ANEXO I. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE



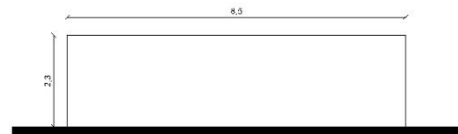
VISTA EN PLANTA
ESCALA 1:100



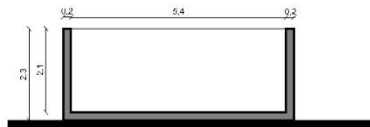
PERSPECTIVA



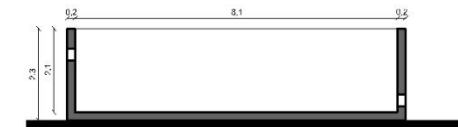
VISTA FRONTAL
ESCALA 1:100



VISTA LATERAL
ESCALA 1:100



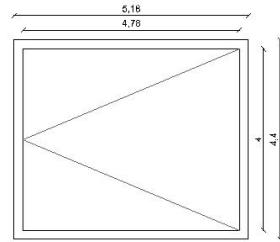
CORTE TRANSVERSAL
ESCALA 1:100



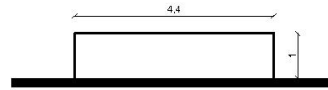
CORTE LONGITUDINAL
ESCALA 1:100

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Niama	FILTRACIÓN		
Filtro anaerobio de flujo ascendente	<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		Lámina	Escala	Fecha
				9	A4

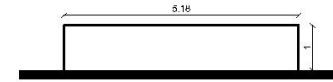
ANEXO J. LECHO DE SECADO



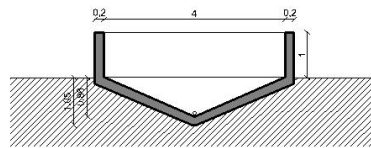
VISTA EN PLANTA
ESCALA 1:100



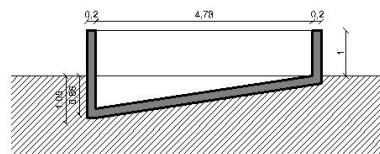
VISTA FRONTAL
ESCALA 1:100



VISTA LATERAL
ESCALA 1:100



CORTE TRANSVERSAL
ESCALA 1:100



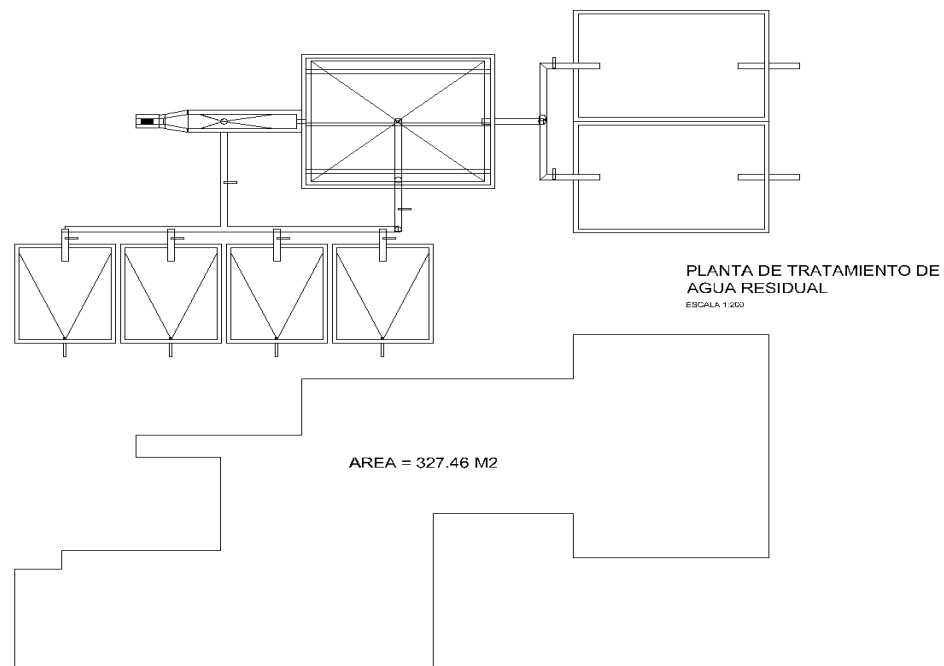
CORTE LONGITUDINAL
ESCALA 1:100



PERSPECTIVA

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Niama	TRATAMIENTO DE LODOS		
Lecho 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		Lámina	Escala	Fecha
				10	A4

ANEXO K. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Guillermo Níama	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Sistema de tratamiento de aguas residuales para el barrio El Carmen	<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		Lámina	Escala	Fecha
				11	A4

ANEXO L. PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA

Rejillas

La limpieza de las rejillas se debe realizar 2 veces por semana o cada 3 días

Procedimiento

- Limpiar la rejilla con agua a presión y con la ayuda de un rastrillo metálico
- Asegurarse que la rejilla se mantenga libre de sólidos que podrían ocasionar un reflujo.
- Revisar la rejilla cada mes buscando puntos de corrosión de encontrarlos limpiar y pintar con pintura anticorrosiva.

Desarenador

De acuerdo a la cantidad de agua que ingresa el mantenimiento del desarenador se debe realizar una vez por semana o en el caso de encontrarse agua demasiado turbia puede realizarse más seguido.

Procedimiento:

- Abrir la válvula de desfogue de las arenas.
- Limpiar el canal desarenador de sentido final a inicio con la ayuda de una pala y desprender el material adherido a las paredes internas y al fondo con la ayuda de una escobilla.
- Enjuagar todo el tanque con agua.
- Disponer manualmente toda la arena, gravillas y agua retenida a la tubería de evacuación.
- Cerrar la válvula de desfogue.

Tanque Imhoff

El mantenimiento del tanque Imhoff se debe realizar periódicamente:

Procedimiento de limpieza de la zona de sedimentación:

- Vigilar la zona de sedimentación y verificar si existe o no una acumulación sólidos y otros materiales asociados a las aguas residuales en su superficie y adherido a las paredes de concreto.

- En el caso de tener la presencia de estos es recomendable eliminarla mediante el uso de un rastrillo o pala para los sólidos presentes en la zona de sedimentación.
- Para los sólidos adheridos a las paredes deben ser desprendidos con un raspador.
- Disponer estos materiales en los lechos de secado.

Procedimiento de limpieza de natas:

- Vigilar constantemente la zona de ventilación y verificar si existe o no una acumulación de natas o sólidos flotantes.
- En el caso de existir una abundante acumulación de natas es recomendable eliminarla mediante el uso de un rastrillo o pala.
- Disponer las natas en los lechos de secado.

Procedimiento descarga de lodos:

- Los lodos deben ser descargados una vez cada 55 días o cuando exista fuga de material flotante por la superficie de la cámara de sedimentación.
- Para la descarga se abre lentamente la válvula de descarga de lodos.
- Los lodos deben escurrirse lentamente con la finalidad que estos se escurran uniformemente sobre la superficie de los lechos de secado.

Filtro anaerobio de flujo ascendente

El lavado del filtro debe realizarse periódicamente una vez al mes por un lapso de 10 minutos para asegurar la calidad del agua filtrada.

Procedimiento:

- Observar si existe presencia de bolas de lodo en la superficie y si la turbiedad del efluente incrementa.
- En el caso de presentarse estos casos cerrar la válvula de ingreso de agua al filtro.
- Realizar un lavado del filtro con agua a presión de la superficie.
- Abrir la válvula de entrada de agua al filtro
- En el caso de continuar con problemas debe sacarse el lecho filtrante y lavarlo.
- Si el funcionamiento del filtro no mejora entonces el material filtrante debe ser reemplazado por uno nuevo.

Lechos de secado de lodos

El mantenimiento consiste en reemplazar la arena perdida durante el proceso se realiza cada 30 o 55 días

Procedimiento:

- Una vez que el lodo está seco se procede a la remoción del mismo mediante un rastrillo y una pala
- El lodo removido se dispone para el uso en acondicionamiento del suelo o rellenos sanitarios.
- Al remover los lodos parte de la arena de los lechos de secado también es removida, esta arena debe ser reemplazada por arena nueva con las mismas características granulométricas solo en el caso de que la arena muestre señales de colmatación esta será reemplazada en su totalidad por otra de una granulometría mayor.

Consideraciones generales:

- No se debe realizar el mantenimiento cuando los caudales sean altos.
- Se debe realizar una inspección anual con la finalidad de restaurar los deterioros en la estructura, reparación o cambio de válvulas.
- Pintar con pintura anticorrosiva las partes metálicas para prevenir la corrosión realizar una inspección de estas cada 6 meses y volver a pintar si es necesario.
- El nivel del lecho filtrante debe ser revisado cada año con la finalidad de determinar si se encuentra en el nivel mínimo caso contrario deberá ser reemplazado por uno nuevo o realizar cada 6 meses la inspección del mismo para verificar su estado.