

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**



**Evaluación, mejoramiento y rediseño de la planta de tratamiento de agua  
residual Acobamba - Huancavelica 2017**

Tesis para obtener el grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN  
GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**

Presentado por:

**Bach. Alfredo Chate Pareja**

Asesor:

**Dr. Raúl Ricardo Véliz Flores**

Ayacucho - Perú

2024

**Dedicatoria**

A mis padres Marino Chate y Zócima Pareja,  
(en memoria), que siempre me enseñaron a  
luchar por la vida y a salir adelante, a ellos con  
todo mi amor dedico esta tesis.

A mi esposa Karina y a mi hijo Edrick con todo  
mi cariño.

Al Dios de Albert Einstein

## Agradecimientos

A mi ALMA MATER, la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH).

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por haberme dado los estudios de maestría en Ciencias de la Ingeniería mención en Gerencia de Proyectos y Medio Ambiente.

Al Dr. Raúl Ricardo Véliz Flores, asesor de la tesis, por haber sugerido el tema, fuente del saber, su vocación en la orientación y supervisión de la tesis de investigación.

A los docentes de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería mención Gerencia de Proyectos y Medio Ambiente de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Civil de la UNSCH, fuente de energía y generación de conocimientos.

A los doctores Ybar Palomino Malpartida y Jaime L. Bendezú Prado, revisores del plan y jurados evaluadores de la tesis, por sus análisis y observaciones en la mejora del trabajo.

Al Mtro. Freddy Pillpa Aliaga quien me apoyó incondicionalmente, brindándome información y explicación en las visitas a la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Acobamba.

Muchas gracias a toda la familia Chate-Pareja, porque ellos siempre me apoyaron, mi agradecimiento, gratitud y reconocimiento con todo mi amor y cariño a mi padre Marino, a mi madre Zócima y a mis hermanos Jesús, Livaneza, Paulina. porque ellos siempre estaban allí para ayudarme.

A mis amigos-compañeros de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería mención Gerencia de Proyectos y Medio Ambiente de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Civil de la UNSCH, porque estudiar con ellos aprendí a trabajar en grupo y salir adelante como todo estudiante que necesita el Perú. Un abrazo fuerte para todos ellos.

## Índice General

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice General.....	iv
Índice de Tablas.....	xiii
Índice de Figuras .....	xvi
Índice de Anexos .....	xviii
Unidades Y Fórmulas .....	xix
Abreviaturas.....	xx
Resumen .....	21
Summary.....	22
Capítulo I Introducción.....	23
1.1. Justificación .....	23
1.2. Importancia .....	24
1.3. Planteamiento del Problema .....	24
1.3.1. Identificación Del Problema .....	24
1.3.2. Delimitación Del Problema.....	25
1.3.3. Descripción Del Problema .....	26
1.4. Formulación Del Problema .....	26
1.4.1. Problema Principal.....	26
1.4.2. Problemas Específicos .....	27
1.5. Objetivos.....	27
1.5.1. Objetivo principal .....	27
1.5.2. Objetivos específicos .....	27
1.6. Hipótesis .....	28

1.6.1. Hipótesis principal .....	28
1.6.2. Hipótesis específicas .....	28
1.7. Variables .....	29
1.7.1. Variable independiente .....	29
1.7.2. Variable dependiente .....	29
Capítulo II Marco Teórico .....	31
2.1. Antecedentes .....	31
2.2. Fundamento teórico .....	34
2.2.1. Etapas del tratamiento del agua residual.....	34
2.2.2. Operaciones unitarias en el tratamiento del agua residual.....	36
2.2.3. Características del agua residual.....	37
2.2.4. Enfermedades infecciosas del agua .....	38
2.2.5. Microorganismos Patógenos En El Agua Residual Tratada .....	40
2.2.6. Proceso Anaerobio Y Aerobio .....	41
Proceso anaerobio.....	42
Proceso aerobio. ....	42
2.2.7. Composición Promedio En Porcentaje Del Agua Residual Doméstica.....	42
2.2.8. Caudales Para Aguas Residuales .....	43
2.2.9. Población.....	44
2.2.10. Horizonte Del Proyecto.....	44
2.2.11. Selección De Procedimientos Para Una PTAR .....	45
2.2.12. Operaciones Unitarias Y Procesos De Tratamientos .....	46
2.2.13. Tecnologías Aplicadas Para El Diseño De La PTAR .....	47
2.2.14. Tecnologías Utilizadas En El Pre Tratamiento Del Agua Residual .....	47
Rejas o cribas de barras o desbaste.....	47

Desarenadores.....	48
2.2.15. Tecnología Utilizada En El Tratamiento Primario Del Agua Residual.....	48
Tanque Imhoff.....	48
2.2.16. Tecnologías Utilizadas En El Tratamiento Secundario Del Agua Residual	50
Procesos bioquímicos.....	50
Sistemas de lagunas.....	51
Filtro percolador.....	52
Reactor anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente (UASB).....	54
2.2.17. Tecnología utilizada en el tratamiento terciario del agua residual .....	55
Desinfección por cloro.....	55
2.3. Aspectos Normativos Legales.....	57
2.3.1. Marco Legal: Agua, Uso, Contaminación Y Tratamiento.....	57
2.3.2. Normas Legales: Reutilización Del Agua Residual.....	58
2.4. Normas De Calidad Del Agua Para Riego Agrícola.....	59
2.5. Marco Conceptual.....	59
Capítulo III Materiales Y Métodos.....	62
3.1. Tipo de investigación.....	62
3.2. Método de la investigación .....	62
3.3. Metodología para la evaluación de la PTAR de Acobamba .....	63
3.4. Horizonte del proyecto.....	64
3.5. Método para determinar la población futura.....	65
3.6. Método para determinar flujos volumétricos de aguas residuales .....	66
3.6.1. Factor De Retorno (C) .....	66
3.6.2. Caudal De Infiltración $Q_i$ .....	66
3.6.3. Caudales Concentrados, $Q_c$ .....	68

3.6.4. Coeficiente De Flujo Máximo, <b><i>k</i></b> .....	68
3.6.5. Dotación.....	68
3.6.6. Caudal Medio, <b><i>Qmed</i></b> .....	69
3.6.7. Caudal Máximo Horario, <b><i>Qmh</i></b> .....	69
3.6.8. Ecuación De Diseño Para El Caudal, ( <b><i>Qd</i></b> ) .....	70
3.7. Materiales, Aparatos Y Equipos .....	70
3.7.1. Materiales de vidrio: .....	70
3.7.2. Equipos y aparatos .....	70
3.7.3. Reactivos.....	71
3.7.4. Otros materiales .....	71
3.8. Metodología Para Caracterizar El Agua Residual De La Ciudad De Acobamba.	71
3.8.1. Parámetros, Métodos Analíticos Y Procedimientos .....	71
3.8.2. Recogida, Transporte Y Preparación De Muestras.....	73
3.8.3. Calidad del cuerpo receptor .....	73
3.9. Selección De Tecnologías Para Nuevos Diseños De PTAR.....	74
3.10. Metodología para el diseño del proceso .....	76
3.10.1. Procedimiento Para El Diseño Del Canal De Entrada.....	76
3.10.2. Procedimiento Para El Diseño De La Unidad De Desbaste .....	77
3.10.3. Pérdida De Energía Por Fricción A Través De Las Rejas .....	79
3.10.4. Procedimiento Para El Diseño Del Desarenador .....	79
3.10.5. Procedimiento Para El Diseño Del Tanque Imhoff .....	80
3.10.6. Parámetros De Diseño Para La Zona De Sedimentación Del Tanque Imhoff	
82	
3.10.7. Variables De Diseño Para La Zona De Digestión De Lodos.....	83
3.10.8. Superficie Libre De Ventilación .....	84

3.10.9. Carga De Sólidos Que Ingresa A La Unidad De Secado.....	85
3.10.10. Superficie De La Unidad De Secado.....	86
3.10.11. Procedimiento Para El Diseño Del Reactor UASB.....	87
3.10.12. Tiempo De Residencia Hidráulica .....	88
3.10.13. Procedimiento De Diseño Para El Filtro Percolador.....	91
3.10.14. Procedimiento De La Unidad De Desinfección Por Cloro .....	94
Capítulo IV Resultado y discusión de la evaluación de la planta de tratamiento de agua residual de Acobamba .....	95
4.1. Ubicación De La PTAR De Acobamba .....	95
4.2. Descripción De La PTAR De Acobamba .....	96
4.2.1. Descripción de la PTAR1 .....	97
4.2.2. Descripción de la PTAR2 .....	98
4.3. Evaluación Física, Operativa Y Estructural De La PTAR De Acobamba.....	99
4.3.1. Evaluación de la PTAR1 .....	99
4.3.2. Evaluación de la PTAR2.....	101
4.4. Evaluación, Social, Ambiental, Técnica Y Económica De Las Lagunas De La PTAR De Acobamba .....	103
4.4.1. Evaluación Ambiental De Las Lagunas De La PTAR Acobamba .....	103
4.4.2. Evaluación Social De Las Lagunas De La PTAR Acobamba .....	104
4.4.3. Evaluación Técnica De Las Lagunas De La PTAR Acobamba .....	104
4.4.4. Evaluación Económica De Las Lagunas De La PTAR Acobamba .....	105
4.5. Población De Acobamba, Año 2019.....	105
4.6. Área Donde Están Construidas Las Lagunas.....	106
4.7. Parámetros Climáticos Y Topográfico De La Ciudad De Acobamba .....	107
4.7.1. Temperatura .....	107



4.7.2. Precipitación .....	108
4.7.3. Viento.....	109
4.7.4. Energía Solar.....	110
4.7.5. Topografía.....	110
4.8. Análisis Para Validar O Realizar Un Rediseño O Un Nuevo Diseño Con Otra Tecnología Para La PTAR De Acobamba.....	111
4.8.1. Lagunas Primarias Y Secundaria .....	111
Altitud.....	111
Área .....	111
Temperatura.....	112
Profundidad .....	113
Conclusión.....	113
4.8.2. Sedimentador Imhoff Y Lecho De Secado De La PTAR2 .....	113
4.9. Conclusión De La Evaluación De La PTAR De Acobamba .....	114
4.10. Definición del horizonte del proyecto .....	114
4.11. Población De Acobamba, En El Horizonte Del Proyecto .....	115
4.12. Caudales De Diseño, En El Horizonte Del Proyecto .....	115
4.12.1. Caudal de la PTAR1, Año 2049 .....	116
4.12.2. Caudal de la PTAR2, año 2049.....	117
4.13. Resultado De La Caracterización Del Agua Residual De Acobamba.....	118
4.14. Propuesta Para La Nueva PTAR De Acobamba .....	120
Capítulo V Resultados Y Discusiones Del Nuevo Diseño De La PTAR1 De Acobamba .....	121
5.1. Diámetro De Tubería Para La Conexión Entre Unidades.....	121
5.2. Sistema De Pre Tratamiento PTAR1 .....	122

5.2.1. Dimensionamiento Del Canal De Entrada .....	122
5.2.2. Dimensionamiento De La Unidad De Desbaste .....	124
5.2.3. Dimensionamiento del desarenador .....	127
5.3. Sistema De Tratamiento Primario PTAR1 .....	131
5.3.1. Tamaño del Tanque IMHOFF .....	131
Diseño del sedimentador .....	131
Comprobación .....	132
5.3.2. Diseño De La Cámara De Digestión De Lodos .....	134
Volumen de digestión y almacenamiento, <b><i>V<sub>d</sub></i></b> .....	134
Dimensiones para la cámara de digestión.....	135
Altura de la zona inclinada, <b><i>h<sub>4</sub></i></b> .....	136
Volumen del fondo de la cámara, <b><i>V<sub>4</sub></i></b> .....	136
Altura del cuerpo de la cámara, <b><i>h<sub>5</sub></i></b> .....	136
Tiempo para la digestión de lodos.....	136
Retiro de lodos.....	137
Dimensiones de diseño .....	137
Diseño del área de ventilación y cámara de natas .....	137
Diseño de la unidad de secado de lodos .....	138
Medio de Drenaje .....	139
5.4. Tratamiento Secundario De La PTAR1 .....	140
5.4.1. Diseño del reactor UASB.....	140
Carga de DQO del afluente, <b><i>S<sub>0</sub></i></b> .....	140
TRH .....	141
Número de módulos del reactor, <b><i>N</i></b> .....	141
Longitud del reactor, <b><i>L</i></b> .....	142

Volumen correcto .....	142
Número de tubos de distribución del afluente, $N_i$ .....	144
Eficiencia de la DQO en el reactor UASB, $\eta_{DQO}$ .....	144
Eficiencia de remoción de la DBO del reactor UASB, $\eta_{DBO}$ .....	144
Concentraciones de la DBO en el efluente final, <b>CefluenteDBO</b> .....	145
Producción teórica del metano, $Q_{CH_4}$ .....	145
De la ecuación general de los gases: $PV = nRT$ .....	146
Caudal del metano, <b><math>Q_{CH_4}</math></b> .....	146
Producción de biogás, <b><math>Q_{gas}</math></b> .....	146
Dimensionamiento del colector del gas.....	146
Velocidad del flujo de biogás en el colector de gas .....	147
Aberturas en el sedimentador .....	147
Dimensionamiento del compartimento del sedimentador .....	148
5.5. Sistema De Tratamiento Terciario De La PTAR1 .....	151
5.5.1. Diseño De La Cámara De Desinfección Por Cloro Ptar1 .....	151
Capítulo VI Resultados Y Discusiones Del Rediseño De La PTAR2 De Acobamba.....	153
6.1. Sistema De Pre Tratamiento PTAR2 .....	154
6.1.1. Unidad De Desbaste.....	154
6.1.2. Desarenador .....	155
6.2. Sistema De Tratamiento Primario De La PTAR2, Tanque Imhoff .....	155
6.2.1. Sedimentador Del Tanque Imhoff .....	155
6.2.2. Cámara De Digestión Del Tanque Imhoff.....	156
6.2.3. Unidad De Lecho De Secado .....	157
6.3. Sistema De Tratamiento Secundario De La PTAR2 .....	158

6.3.1. Diseño Del Filtro Percolador .....	158
Caudal de diseño.....	158
DBO en el afluente del filtro percolador: .....	158
$DBO_5 = 172,34mg$ $DBOL = 0,1723kg$ $DBO_{m3}$ .....	158
DBO en el efluente del filtro percolador: .....	158
Eficiencia del filtro percolador, $\eta$ .....	159
Factor de recirculación, F .....	159
Carga orgánica que ingresa al filtro percolador, $CO_{fc}$ .....	159
Volumen del filtro percolador, $V_{fc}$ .....	159
Área del filtro percolador, $A_{fp}$ .....	159
Diámetro del filtro percolador, $D_{fp}$ .....	159
Carga orgánica superficial, $COS_{fp}$ .....	160
Carga orgánica volumétrica, $COV_{fp}$ .....	160
Carga hidráulica superficial, $CHS_{fp}$ .....	161
Carga hidráulica volumétrica, $CHV_{fp}$ .....	161
6.4. Unidad De Tratamiento Terciario De La PTAR2.....	162
Conclusiones.....	163
Recomendaciones .....	166
Referencias Bibliográficas.....	167
Anexos .....	173

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Organismos patógenos transmitidos por el agua contaminada.....	39
<b>Tabla 2</b> LMP para PTAR.....	57
<b>Tabla 3</b> Caudales de infiltración ( $V_i$ ) en tuberías, (L/s/km).....	67
<b>Tabla 4</b> Nivel de ingresos y dotación de agua. ....	69
<b>Tabla 5</b> Microorganismos analizados y método utilizado en el análisis bacteriológico del agua residual de Acobamba. ....	72
<b>Tabla 6</b> Parámetros analizados y métodos utilizados para los análisis fisicoquímicos del agua residual de Acobamba. ....	73
<b>Tabla 7</b> Parámetros de calidad según el D.S. 004-2017-MINAM.....	74
<b>Tabla 8</b> Criterios básicos de diseño para el canal de entrada. ....	77
<b>Tabla 9</b> Parámetros de diseño de la unidad de rejillas. ....	78
<b>Tabla 10</b> Valores Kirshmer, para el coeficiente de carga $\beta$ .....	79
<b>Tabla 11</b> Parámetros de diseño para los desarenadores.....	80
<b>Tabla 12</b> Parámetros de diseño, cámara de sedimentación del tanque Imhoff.....	82
<b>Tabla 13</b> Tiempo de digestión en función de la temperatura.....	83
<b>Tabla 14</b> Factor capacidad relativa para otros volúmenes.....	84
<b>Tabla 15</b> Principales criterios hidráulicos para el diseño de reactores UASB que tratan agua residual doméstica.....	88
<b>Tabla 16</b> Criterios para determinar el área de dominio en los repartidores de flujo en un reactor UASB.....	89
<b>Tabla 17</b> Criterios de diseño de reactores UASB para agua residual doméstica.....	90
<b>Tabla 18</b> Parámetros importantes para el diseño de filtros percoladores .....	92
<b>Tabla 19</b> Evaluación ambiental de las lagunas del tratamiento primario y secundario de las PTAR1 y PTAR2 de Acobamba .....	103

<b>Tabla 20</b> Evaluación social de las lagunas del tratamiento primario y secundario de las PTAR1 y PTAR2 de Acobamba .....	104
<b>Tabla 21</b> Evaluación técnica de las lagunas del tratamiento primario y secundario de las PTAR1 PTAR2 de Acobamba .....	104
<b>Tabla 22</b> Evaluación económica de las lagunas del tratamiento primario y secundario de las PTAR1 PTAR2 de Acobamba .....	105
<b>Tabla 23</b> Población de la ciudad de Acobamba, año 2019 .....	106
<b>Tabla 24</b> Caudal futuro para la PTAR2, año 2049 .....	118
<b>Tabla 25</b> Resultado de los análisis físico, químico y bilógico del agua residual de Acobamba .....	119
<b>Tabla 26</b> Propuesta de diseño, rediseño para la PTAR 1 y PTAR2 de Acobamba .....	120
<b>Tabla 27</b> Resumen de las dimensiones calculas para el canal de entrada .....	124
<b>Tabla 28</b> Resumen de las dimensiones calculadas para la unidad de desbaste .....	127
<b>Tabla 29</b> Resumen de las dimensiones calculadas para el desarenador .....	131
<b>Tabla 30</b> Resumen de las dimensiones del sedimentador-tanque Imhoff.....	134
<b>Tabla 31</b> Resumen de las dimensiones del compartimento de la unidad digestión de lodos .....	137
<b>Tabla 32</b> Resumen de las dimensiones del lecho de secado del tanque Imhoff .....	139
<b>Tabla 33</b> Datos para el diseño del reactor UASB de un solo módulo .....	140
<b>Tabla 33</b> Resumen del diseño del reactor UASB de un solo módulo.....	149
<b>Tabla 35</b> Comparación de las dimensiones obtenidas con el rediseño y las dimensiones de la unidad de desbaste construida en la PTAR2 .....	154
<b>Tabla 36</b> Comparación de las dimensiones obtenidas con el rediseño y las dimensiones del desarenador construido en la PTAR2 .....	155

<b>Tabla 37</b> Comparación de las dimensiones obtenidas con el rediseño y las dimensiones del sedimentador del tanque Imhoff construido en la PTAR2.....	155
<b>Tabla 38</b> Comparación de las dimensiones de la cámara de digestión obtenidas con el rediseño y la existente de la PTAR2 .....	156
<b>Tabla 39</b> Comparación de las dimensiones obtenidas con el rediseño y el existente para la unidad de secado de lodos de la PTAR2.....	157
<b>Tabla 40</b> Datos de entrada para el diseño del filtro percolador con medios de piedra.....	159
<b>Tabla 41</b> Resumen de los resultados del filtro percolador con medios de piedra.....	161
<b>Tabla 42</b> Tabla A1.1 Resumen de las dimensiones para el canal de entrada .....	176
<b>Tabla 42</b> Tabla A1.2 Resumen de las dimensiones para el canal de desbaste.....	178
<b>Tabla 44</b> Tabla A1.3 Resumen de las dimensiones para la unidad de desbaste .....	181
<b>Tabla 44</b> Tabla A1.4 Resumen de las dimensiones del desarenador .....	185
<b>Tabla 44</b> Tabla A1.5 Resumen de las dimensiones del sedimentador-tanque Imhoff.....	189
<b>Tabla 47</b> Resumen de las dimensiones de la cámara de digestión de lodos del tanque Imhoff .....	192
<b>Tabla 48</b> Tabla A1.7 Resumen de las dimensiones del lecho de secado del tanque Imhoff .....	195

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Esquema de las etapas de un proceso de PTAR .....	35
<b>Figura 2</b> Esquema de los procesos bioquímicos: (a) Proceso anaerobio, (b) Proceso aerobio. Fuente: (Godoy, 2014) .....	42
<b>Figura 3</b> Porcentaje de agua y sólidos totales en el agua residual doméstica .....	43
<b>Figura 4</b> Procesos unitarios físicos, químicos y biológicos para el tratamiento de aguas..	46
<b>Figura 5</b> Esquema de las etapas de tratamiento y operaciones unitarias en cada etapa de la PTAR.....	47
<b>Figura 6</b> Esquema de un tanque Imhoff. ....	49
<b>Figura 7</b> Lecho de secado con lodos de un tanque Imhoff. ....	49
<b>Figura 8</b> Filtro Colador.....	53
<b>Figura 9</b> Canal de ingreso del agua residual a una PTAR.....	77
<b>Figura 10</b> Vista transversal de un tanque Imhoff, donde se puede observar las tres cámaras. .....	81
<b>Figura 11</b> Dimensiones importantes de un tanque Imhoff. ....	83
<b>Figura 12</b> Vista transversal parte superior de un tanque Imhoff: borde libre.....	85
<b>Figura 13</b> Esquema de una unidad de secado.....	86
<b>Figura 14</b> Esquema de un reactor UASB. ....	87
<b>Figura 15</b> Esquema de un filtro percolador. ....	93
<b>Figura 16</b> Mapa del Perú y región Huancavelica. ....	95
<b>Figura 17</b> Esquema de las pequeñas PTAR1, PTAR2 de Acobamba. ....	96
<b>Figura 18</b> Foto, panorámica google de la PTAR1 y PTAR2, año 2015. El agua que contiene las lagunas es de lluvia. ....	97
<b>Figura 19</b> Foto, del tanque Imhoff parte superior de la PTAR2.....	98
<b>Figura 20</b> Foto, del sistema de rejas y desarenador de la PTAR1.....	99



<b>Figura 21</b> Foto, parte de la laguna primaria de la PTAR1. ....	100
<b>Figura 22</b> Foto, de la laguna secundaria PTAR1.....	100
<b>Figura 23</b> Foto, sistemas de rejas y desarenador PTAR2.....	101
<b>Figura 24</b> Foto, sedimentador Imhoff PTAR2. ....	102
<b>Figura 25</b> Foto, cámara de secado PTAR2.....	102
<b>Figura 26</b> Perímetro y área de la PTAR1 y PTAR2.....	107
<b>Figura 27</b> Línea roja = temperaturas máximas. Línea azul = temperaturas mínimas promedio diario.....	108
<b>Figura 28</b> Precipitación promedio en la ciudad de Acobamba.....	109
<b>Figura 29</b> Vientos promedio en la ciudad de Acobamba. ....	109
<b>Figura 30</b> Energía solar sobre la ciudad de Acobamba. ....	110
<b>Figura 31</b> Longitud del alcantarillado desde la municipalidad de Acobamba a la PTAR. ....	117
<b>Figura 32</b> Unidad de desbaste.....	124
<b>Figura 33</b> Área del desarenador, A.....	128
<b>Figura 34</b> Esquema para las alturas del sedimentador.....	133
<b>Figura 35</b> Dimensiones para la cámara de digestión e inclinación de las paredes. ....	135
<b>Figura 36</b> Esquema de las dimensiones de la cámara de digestión. ....	136
<b>Figura 37</b> Reactor UASB de un solo módulo.....	141
<b>Figura 38</b> Detalles de un filtro percolador.....	160
<b>Figura 39</b> Esquema para las alturas del sedimentador.....	187
<b>Figura 40</b> Dimensiones para la cámara de digestión e inclinación de las paredes. ....	190
<b>Figura 41</b> Esquema de las dimensiones de la cámara de digestión. ....	191

**Índice de Anexos**

<b>Anexo 1</b> Rediseño de la PTAR2 de la ciudad de Acobamba .....	174
<b>Anexo 2</b> Panel fotográfico.....	196
<b>Anexo 3</b> Matriz de consistencia .....	202

### Unidades Y Fórmulas

<b>°C</b>	: Grado centígrado de temperatura.
<b>L/s</b>	: Litros por segundos.
<b>mg/L</b>	: Miligramo por litro.
<b>mg/mL</b>	: Miligramo por mililitro.
<b>NMP/100 mL</b>	: Número más probable por 100 mililitros.
<b><math>\mu g/L</math></b>	: Microgramo por litro.
<b>kg STS</b>	: kg de sólidos totales en suspensión.
<b><math>K_2Cr_2O_7</math></b>	: Dicromato de potasio.
<b><math>Na_2CO_3</math></b>	: Carbonato de sodio anhidro.
<b><math>CaCO_3</math></b>	: Carbonato de calcio.

### Abreviaturas

<b>ECA</b>	: Estándar de calidad ambiental del agua
<b>DBO<sub>5</sub></b>	: Demanda bioquímica de oxígeno de 5 días
<b>Di</b>	: Diámetro interno
<b>DQO</b>	: Demanda química de oxígeno
<b>DS</b>	: Decreto supremo
<b>GEI</b>	: Gases de efecto invernadero
<b>LMP</b>	: Límite máximo permisible
<b>NRC</b>	: National Research Council
<b>OEFA</b>	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
<b>PTAR</b>	: Planta de tratamiento de agua residual
<b>Q</b>	: Caudal
<b>STS</b>	: Sólidos totales en suspensión
<b>SUNASS</b>	: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
<b>TAR</b>	: Tratamiento del agua residual
<b>TR</b>	: Tiempo de residencia
<b>TRH</b>	: Tiempo de retención hidráulica
<b>UASB</b>	: Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)
<b>UNSCH</b>	: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
<b>USA</b>	: Estados Unidos de América.

## Resumen

Las aguas negras de la ciudad de Acobamba sin tratamiento son vertidas a la quebrada de Huilcapuquio, a pesar de que en el 2010 se construyó una PTAR que no entró en funcionamiento, los agricultores reutilizan el agua sin tratamiento para regar sus cultivos, cuyas cosechas probablemente contaminadas, después son vendidas en los mercados de la ciudad, problema que motivó a realizar la investigación. La investigación se inició evaluando la PTAR de Acobamba que tiene dos pequeñas plantas; PTAR1 y PTAR2, cuyos resultados fueron dos importantes conclusiones: realizar un nuevo diseño para la PTAR1 y un rediseño para la PTAR2. Se definió 30 años como horizonte del proyecto, tomando como base el año 2019 y el año 2049 como año horizonte. Los resultados fisicoquímico y bacteriológico promedio del agua residual fueron: pH=7,1, temperatura del agua residual = 18,6 °C, temperatura ambiental 15,5 °C, DQO = 517,3 mg/L, DBO<sub>5</sub> = 246,2 mg/L, STS = 330,3 mg/L y coliformes fecales =  $2,49 \times 10^6$  mg/100 mL. Se realizaron los siguientes diseños para la PTAR1, (1) pre tratamiento: canal de entrada a la planta, unidad de desbaste y desarenador, (2) tratamiento primario: sedimentador, cámara de digestión de lodos y cámara de secado, y (3) tratamiento secundario: reactor UASB, con una producción de metano de 36,40 m<sup>3</sup>/d, 2,02 m<sup>3</sup>/h de biogás y 38,05 kg STS/d de lodos. Los rediseños de verificación de forma y capacidad realizados para la PTAR2 fueron: (1) pre tratamiento: canal de entrada a la planta, unidad de desbaste y desarenador, (2) tratamiento primario: sedimentador, digestión de lodos y lecho de secado del tanque Imhoff, y (3) tratamiento secundario: diseño de un filtro percolador. En conclusión, el trabajo de investigación presenta algunas alternativas de solución para el diseño de PTAR de zonas urbanas y centros poblados del Perú profundo que cuentan con menos de 5000 habitantes.

**Palabras claves:** Acobamba; diseño PTAR; evaluación de PTAR; reactor UASB; filtro percolador; tanque Imhoff.

## Summary

The untreated wastewater from the city of Acobamba is dumped into the Huilcapuquio stream, despite the fact that in 2010 a wastewater treatment plant (WWTP) was built that did not come into operation, the farmers reuse the untreated water for irrigate their crops, whose crops are probably contaminated, then they are sold in the city markets, a problem that prompted the investigation. The investigation began evaluating the Acobamba WWTP, which has two small plants; WWTP1 and WWTP2, the results of which were two important conclusions: a new design for WWTP1 and a redesign for WWTP2, 30 years was defined as the project horizon, based on 2019 and 2049 as the horizon year. The average physicochemical and bacteriological results of the wastewater were: pH = 7.1, wastewater temperature = 18.6 ° C, ambient temperature 15.5 ° C, COD = 517.3 mg/L, BOD<sub>5</sub> = 246.2 mg/L, STS = 330.3 mg/L and fecal coliforms = 2.49x10<sup>6</sup> mg/100 mL The following designs were made for WWTP1, (1) pre-treatment: inlet channel to the plant, roughing unit and desander, (2) primary treatment: settler, sludge digestion chamber and drying chamber, and (3) secondary treatment: UASB reactor, with a methane production of 36.40 m<sup>3</sup>/d, 2.02 m<sup>3</sup>/h of biogas and 38.05 kg STS/d of sludge. The shape and capacity verification redesigns carried out for WWTP2 were: (1) pre-treatment: inlet channel to the plant, roughing unit and desander, (2) primary treatment: settler, sludge digestion and drying bed of the Imhoff tank, and (3) secondary treatment: trickling filter design. In conclusion, the research work presents some alternative solutions for the design of WWTP in urban areas and populated centers of deep Peru that have less than 5000 inhabitants.

Keywords: Acobamba; WWTP design; PTAR evaluation; UASB reactor; trickling filter; Imhoff tank.

## **Capítulo I**

### **Introducción**

#### **1.1. Justificación**

La PTAR de Acobamba construida al 95 % en el distrito del mismo nombre, hace diez años nunca entró en funcionamiento, al no entrar en funcionamiento, el problema de contaminación continúa en los ríos y quebradas por agua residual doméstica, y por consiguiente se sigue también contaminando el ambiente de influencia de la ciudad de Acobamba.

La investigación realizada tuvo como objetivo principal realizar primero la evaluación física, operativa, estructural social, técnica y económica de la PTAR de Acobamba y por los resultados se planteó como alternativa de solución del problema, realizar un nuevo diseño para la PTAR1, y un rediseño para la PTAR2, los cuales responderán a la solución en la disminución de la contaminación hacia al ambiente por agua residual contaminada, reduciendo las enfermedades originadas por el agua residual no tratada y protegiendo la salud de la población y a la madre naturaleza de Acobamba.

La evaluación y diseño de nuevos equipos de la PTAR de Acobamba que contiene el trabajo de investigación contribuirá a la disminución del problema por contaminación hídrica que ha sufrido por mucho tiempo el ambiente y los habitantes de la ciudad de Acobamba, reduciendo la carga contaminante del agua residual que está yendo a quebradas y ríos de la zona y devolviendo a la biosfera un agua limpia en buen estado, defendiendo la salud pública y a la naturaleza.

La investigación realizada, aportará nuevos conocimientos al proceso de descontaminación de aguas residuales domésticas mediante de tecnologías adecuadas, eficientes tan igual como los sistemas convencionales que llenará algunos vacíos teóricos de conocimiento que beneficiará a los ciudadanos de la localidad, región y al estudiante

universitario, con responsabilidad social que servirá como consulta sobre el tratamiento y disminución de la contaminación de los ríos del Perú profundo, donde se podrá utilizar la metodología que contiene la investigación, los resultados y conclusiones.

## **1.2. Importancia**

La investigación es importante porque determina mediante la evaluación física, operativa, estructural, social, técnica y económica los posibles motivos por qué no funcionó la planta y con los resultados se plantea una alternativa de diseño, rediseño o mejora de la planta, respondiendo a la solución en parte del problema planteado, devolviendo a la naturaleza agua limpia y disminuyendo enfermedades originadas por agua contaminada en el pueblo acobambino, defendiendo la salud pública.

La evaluación, diseño y rediseño de la PTAR de Acobamba contribuirá a la disminución de problemas que han permanecido durante mucho tiempo, reduciendo la carga contaminante de las aguas negras que está yendo a quebradas y ríos de la zona.

La investigación aportará la adquisición de conocimiento sobre el tratamiento de aguas servidas, evaluación y diseño que llenará muchos vacíos teóricos y prácticos que beneficiará al ciudadano de la localidad, región y a universidad. La investigación llegará a la comunidad con responsabilidad social que servirá como consulta sobre el tratamiento y disminución de la contaminación del agua que fluye por los ríos del Perú profundo, donde se podrá utilizar la metodología y cálculos que contiene la investigación, los resultados y conclusiones.

## **1.3. Planteamiento del Problema**

### ***1.3.1. Identificación Del Problema***

El OEFA 2014 del Perú, en su informe para el año 2012 indica, que el 68 % del agua residual doméstico descargado por medio de los canales de la alcantarilla a los cuerpos de agua sin ningún proceso, han provocado grandes daños a la naturaleza y a los seres vivos.



El distrito de Acobamba contaba con una PTAR construida en el año 2010 al 95 % que no entró en funcionamiento por desinterés de las autoridades de aquel tiempo. Como el agua es escaza en época de estío en toda la sierra del Perú, los agricultores de la zona desviaron las aguas servidas no tratadas de la ciudad de Acobamba a una quebrada para reutilizarla en riego agrícola.

El agua residual sin tratamiento está contaminada fisicoquímica y microbiológicamente, los agricultores acobambinos sabiendo o no el daño que causan estas aguas, pero por necesidad para regar sus sembríos en tiempos sin lluvia lo reutilizaron para riego de todo tipo en sus cultivos, sobre todo vegetales de tallo corto que están más expuestos a las bacterias patógenas.

Las verduras luego de ser cosechadas se venden en el mercado de la ciudad y algunos consumidos crudos por los pobladores, ponen en peligro a la población, debido a que las aguas contaminadas generan enfermedades como la diarrea, hepatitis, cólera, tifoidea y otras enfermedades originadas por el agua contaminada que va en contra de la salud de la población y animales que la beben.

### ***1.3.2. Delimitación Del Problema***

#### Espacial

- Región : Huancavelica
- Provincia : Acobamba
- Distrito : Acobamba
- Ciudad : Acobamba

#### Temporal

El periodo de ejecución de la investigación en cuanto a la evaluación y diseño de equipos de la PTAR de Acobamba fue realizado con datos, tanto en el tiempo de lluvia como en el tiempo de poco caudal, durante los años 2018 y 2019.

### ***1.3.3. Descripción Del Problema***

Los efluentes de aguas servidas procesadas en el país, para ser vertidas a un cuerpo de agua, hoy en día es una práctica obligatoria que las empresas y municipalidades deben cumplir de acuerdo con el D.S. N° 003-2010-MINAM, el cual norma los LMP de vertidos de una PTAR municipal a fuentes de agua.

El problema de contaminación hídrica al ambiente en el distrito de Acobamba surge principalmente por la descarga directa del agua municipal no tratada a un río que es aprovechada por los agricultores para regar sus cultivos, sin saber que están contaminando sus sembríos principalmente con microorganismos patógenos que generan enfermedades al ser humano, animales, a la flora y fauna de las quebradas y ríos.

En el distrito de Acobamba en el año 2010 se construyó el 95 % de una PTAR, que no operó por deficiencias en el sistema de tuberías de interconexión: tratamiento previo, tratamiento primario y tratamiento secundario y sin el mantenimiento adecuado.

A la fecha parte del sistema de tratamiento se ha malogrado, problema ambiental generado debido a que el agua residual municipal va directamente a una quebrada que es aprovechado por los agricultores para regar sus cultivos, sin saber o sabiendo que están expuestos a contraer enfermedades originadas por el agua, que se enfermen los animales que la beben y contaminen el ambiente.

## **1.4. Formulación Del Problema**

### ***1.4.1. Problema Principal***

¿En qué medida la evaluación de la PTAR de Acobamba permitirá conocer el estado que se encuentra la planta, para luego reformular el diseño de nuevos procesos, diseño de

nuevas unidades, rediseño de unidades existentes y mejora para el funcionamiento de la planta, mitigando la contaminación ambiental en el distrito de Acobamba, provincia de Acobamba, región Huancavelica?

#### **1.4.2. Problemas Específicos**

- a. ¿En qué medida la evaluación del estado físico, operativo, estructural, social, técnica y económica de la PTAR Acobamba, permitirá conocer el estado que se encuentra la planta?
- b. ¿Por qué la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual que se tratará en la PTAR de Acobamba es necesario para el rediseño de un equipo existente o diseño de las otras unidades de procesos?
- c. ¿Cómo el conocimiento de la teoría, práctica y la tecnología ayudaría a realizar los diseños y rediseños de procesos existentes u otros diseños de otros procesos que mejoren el tratamiento del agua residual?

### **1.5. Objetivos**

#### **1.5.1. Objetivo principal**

Evaluar a la PTAR de Acobamba y según los resultados realizar los rediseños necesarios de procesos unitarios existentes o diseño de otros procesos, con el propósito de mejorar el tratamiento del agua residual para reúso en riego agrícola y mitigar la contaminación ambiental en el distrito de Acobamba, provincia de Acobamba, región Huancavelica.

#### **1.5.2. Objetivos específicos**

- a. Evaluar el estado físico, operativo, estructural, social, técnica, ambiental y económica de la PTAR de Acobamba, con la finalidad de conocer en qué estado se encuentra la planta en los procesos de pretratamiento, proceso primario, secundario y terciario.

- b. Realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual que se tratará en la PTAR de Acobamba, necesario para el rediseño de un equipo existente o diseño de las otras unidades de procesos.
- c. Conocer la teoría, práctica y la tecnología de los procesos unitarios existentes de la PTAR de Acobamba a fin de realizar rediseños de procesos existentes u otros diseños de otros procesos que mejoren el tratamiento del agua residual.

## **1.6. Hipótesis**

### ***1.6.1. Hipótesis principal***

Si la evaluación de la PTAR de Acobamba no es favorable entonces se debe mejorar el sistema de tratamiento rediseñando algunos procesos unitarios existentes y diseño de otros procesos a fin de que la planta entre en operación y como consecuencia se mitigue la contaminación ambiental.

### ***1.6.2. Hipótesis específicas***

- a. A mayores resultados negativos en la evaluación del estado físico, operativo, estructural, social, técnico y económico de la PTAR de Acobamba, entonces mayores problemas en el diseño de unidades en los procesos de pretratamiento, proceso primario y secundario en la planta.
- b. Los resultados de la caracterización fisicoquímico y microbiológica del afluente del agua residual de la PTAR de Acobamba es importante, porque con los datos de los resultados se procede a realizar los nuevos diseños para el tratamiento de agua residual a fin de mitigar la contaminación ambiental y reutilizar el agua en riego agrícola.
- c. A mayores conocimientos de los procesos y diseño unitarios de la PTAR de Acobamba se mejorará y analizará las posibles soluciones de tratamiento del agua residual de la ciudad de Acobamba.

## 1.7. Variables

### 1.7.1. *Variable independiente*

Evaluación, del estado físico, operativo, estructural, social, técnica, ambiental y económica de la PTAR de Acobamba- Huancavelica.

Indicadores:

Estado físico, (bueno, regular y malo)

Estado operativo, (funciona y no funciona)

Estado estructural, (bueno, regular y malo)

Evaluación social, (llega a la comunidad, no llega a la comunidad)

Evaluación técnica, (bueno, regular malo)

Evaluación económica, (alto, mediano, bajo)

### 1.7.2. *Variable dependiente*

Nuevo diseño de procesos unitarios y equipos en la PTAR de Acobamba- Huancavelica

Indicadores:

Medidas preventivas de mejoramiento, (medida 1 y medida 2)

Flujo volumétrico de entrada, ( $m^3/s$ )

Flujo volumétrico de salida, ( $m^3/s$ )

Población, (número de habitantes)

Carga contaminante: DBO<sub>5</sub>, SST y nutrientes, (mg/L)

Demanda química de oxígeno, DQO, (mg de O<sub>2</sub>/mL)

Coliformes totales, (NMP/100 mL)

Coliformes termotolerantes, (NMP/100 mL)

Temperatura, (°C)

pH, (indicador de pH)

Tamaño del equipo (grande, mediano y pequeño)

Forma del equipo, (clásico, nuevo)

Capacidad del equipo, (m3).

## Capítulo II

### Marco Teórico

El vertido directo, sin ningún tratamiento del agua municipal hacia los cuerpos receptores como los mares, lagos, lagunas, quebradas y ríos son los principales componentes de contaminación en muchos ecosistemas vivientes de aguas subterráneas y superficiales, amenazando la sostenibilidad de la madre naturaleza y la salud del ser humano. (SUNASS, 2008)

#### 2.1. Antecedentes

De la lectura del trabajo de investigación de **Correa 2008**, titulado “Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia-Colombia, se puede concluir que ha utilizado lagunas de estabilización con procesos biológicos anaerobios para el tratamiento primario, filtros percoladores y humedales naturales para los tratamientos secundarios o la combinación de estos tratamientos como arte de solución del tratamiento del agua doméstica de la municipalidad de Santa Fe. También informa que en Colombia se han implementado muchas lagunas de estabilización en PTAR por ser bastante económicas y que también que algunos procesos con lagunas fueron rechazados por la población aledaña a la planta, debido a que estas generan hedores, por mal funcionamiento de las lagunas o ausencia de mantenimiento.

En el resumen de la tesis doctoral de **Alasino (2009)**, titulado “Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales”, se puede comprender que la tesis contiene lo que menciona el título y que la remoción de nutrientes como el fósforo y nitrógeno se hizo utilizando el proceso biológico de lodos activados a partir de modelos matemáticos y programación para las soluciones rigurosas del problema a base de los conocimientos adquiridos.

La investigación por **Espinoza (2010)**, titulada “Planta de tratamiento de aguas residuales de San Juan de Miraflores”, resume que por el año de 1960 las lagunas de la planta tratamiento fueron diseñadas para tratar aguas servidas de la “Ciudad de Dios y Pamplona del distrito de San Juan de Miraflores de Lima” con un caudal de 160 L/s y construidas en un área de 20 hectáreas. También indica que en el año 1998 el área fue reducida en 5 hectáreas para la “construcción de estanques de acuicultura para la crianza de peces” y que el caudal había crecido a 450 L/s, originando una sobre carga hidráulica por lo cual el efluente de la planta ya no cumplía con la norma de descarga, creando problemas en la salud pública, problema de estudio que tuvo que ser considerado bajo un entorno ecológico dentro de un oasis del desierto de los distritos de San Juan de Miraflores y Villa Salvador.

La tesis de investigación de **Suarez (2010)**, titulada “Tratamiento de aguas residuales municipales en el valle del Cauca”, resume que el objetivo principal fue evaluar a las PTARs municipales del departamento del valle del Cauca, en cuanto al diseño, construcción, operación, mantenimiento y funcionamiento y por objetivos específicos realizar los diagnósticos de la mencionadas plantas en cuanto a identificación, definición de factores críticos que afectan la operación y funcionamiento de la planta, para luego plantear estrategias de optimización de las PTARs evaluadas. El proceso de identificación encontró que las tecnologías más usadas fueron las lagunas de estabilización, reactor UASB y filtro percolador y los puntos críticos fueron la selección inadecuada de variables, las malas configuraciones de unidades de proceso y la utilización de materiales no recomendadas para la operación y mantenimientos de los equipos con operadores con poca experiencia.

Del trabajo de investigación de **Calderón (2016)**, titulado “Diseño de una planta de tratamiento para las aguas residuales provenientes de la cabecera Parroquial de Punín, del Cantón Riobamba, provincia de Chimborazo-Ecuador” se puede resumir, que el problema principal es la descarga del efluente de la planta al recurso hídrico y edáfico generando



contaminación e impactos negativos debido a que los análisis fisicoquímico y microbiológico exceden los LMP de la norma ecuatoriana, por ello el trabajo presenta el diseño de una PTAR con aguas servidas de la Parroquia de Punín, tomando en cuenta las particularidades socioeconómico, demográficas y la caracterización de las aguas servidas para 470 habitantes.

El trabajo de investigación de **Vilaña (2016)**, titulado “Evaluación y rediseño del sistema de tratamientos de aguas residuales para los barrios Villaflora y El Rosario, Parroquia Pinntag, Canto Quito”, muestra el diseño de una estación depuradora de aguas servidas (PTAR) utilizando las normas técnicas del Ex-Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias y las normas técnicas de la Asociación Brasileña. Se considera que estas normas son pertinentes siempre que se ajusten al escenario real que se obtuvo en la investigación de campo. Para identificar el nivel de tratamiento de las aguas residuales necesario para cumplir el requisito, el diseño de la planta comienza con estudios topográficos, un análisis socioeconómico de la población, encuestas a los habitantes de las zonas de Villaflora y El Rosario y una investigación del cuerpo receptor. También se incluye en el proyecto el presupuesto, que incluye un estudio exhaustivo de los precios unitarios de los distintos componentes que forman parte del diseño.

En la introducción de la tesis de Investigación de **Espitia (2017)**, titulado, “Diagnóstico, evaluación y planteamiento de mejora en los componentes de la planta de aguas residuales en el municipio de Buenavista Boyacá”, informa que primero diagnosticó la operación de la planta y segundo plantea alternativas de mejoras para su funcionamiento, teniendo en cuenta la parte hidráulica, calidad del agua operación y mantenimiento de la misma, realizando el estudio con la información y visitas a la planta terminando el proyecto con el levantamiento de planos con la estructura.

Del trabajo de tesis de investigación de **Sánchez (2019)**, titulado “Evaluación y propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la inspección La Victoria del municipio el colegio Cundinamarca”, se puede concluir que primero el autor, recolectó información y luego visitó varias veces la PTAR, para observar su funcionamiento y a donde las aguas del efluente son vertidas, informándose que la planta desde hace un año (2017) no está en funcionamiento y que las aguas sin tratamiento alguno son vertidas a la fuente receptora. La tesis contiene varios parámetros importantes de diseño de PTAR por diferentes autores, mide el caudal de entrada, propone alternativas de solución con tecnologías nuevas y presenta mejoras para el funcionamiento de la planta preservando el medio ambiente y en beneficio de la población que se provee de la quebrada La Campos.

## **2.2. Fundamento teórico**

Los investigadores concluyen que las aguas contaminadas pueden ser de origen natural o por intervención humana. En la actualidad se sabe que casi toda el agua que es contaminada es realizada por el hombre, en tiempos antiguos la naturaleza podía descontaminar las aguas contaminadas, en la edad media todavía la naturaleza podía descontaminarlas, pero hoy día la naturaleza ya no puede descontaminar las aguas residuales por que el volumen es grande debido a la industrialización y porque la población ha crecido enormemente.

### ***2.2.1. Etapas del tratamiento del agua residual***

El pretratamiento, el tratamiento primario, el tratamiento secundario, el tratamiento terciario y el tratamiento terciario avanzado son las cinco etapas diferentes que componen el proceso de tratamiento de las aguas residuales. Estas etapas se muestran en el diagrama que puede verse en la Figura 2.1.

El objetivo principal del proceso fisicoquímico conocido como pretratamiento es salvaguardar la maquinaria necesaria para el tratamiento de las aguas residuales. Una cámara

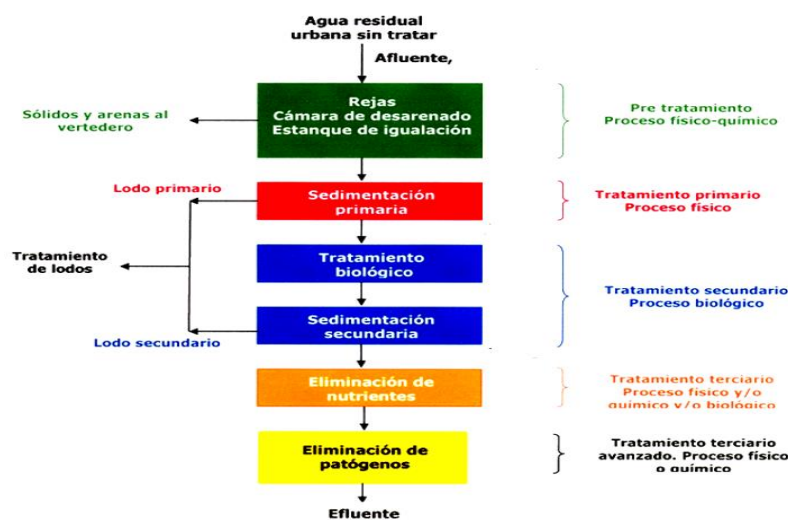
de desarenado y unidades de rejilla son los componentes que forman el pretratamiento. (Davis, 2004)

Durante el primer proceso de tratamiento, que es un procedimiento físico, el objetivo principal es eliminar los contaminantes que flotan y se sedimentan en las aguas residuales. El proceso de tratamiento primario elimina aproximadamente el sesenta por ciento de los sólidos en suspensión (STS) del agua bruta y el treinta y cuatro por ciento de la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Los sólidos separados por sedimentación o decantación del tratamiento primario se llaman lodos primarios que son tratados especialmente para su aprovechamiento en la agricultura. (Mackenzie, 2004)

El proceso secundario es totalmente biológico y tiene por finalidad separar la DBO<sub>5</sub> que viene del tratamiento primario y separar los STS. El segundo tratamiento es la aplicación del proceso biológico que realiza la naturaleza en forma natural, la forma natural es lenta y como el hombre quiere que los procesos sean más rápidos, el proceso secundario que contiene una célula viva está diseñado para que se realice en menos tiempo la biodegradación de los contaminantes orgánicos.

**Figura 1**

*Esquema de las etapas de un proceso de PTAR*



*Fuente: (Véliz, 2014)*

El tratamiento secundario separa más del 85 % de la  $DBO_5$  y los STS, pero no elimina los nutrientes que contienen nitrógeno, fósforo, menos los metales pesados, tampoco elimina totalmente las bacterias y los virus patógenos. (Mackenzie, 2004)

El proceso terciario es un proceso físico y/o químico y/o biológico, la finalidad del proceso es eliminar la materia orgánica no biodegradable, a la materia que no fue retenida en el proceso secundario y a los nutrientes de nitrógeno y fósforo que causan la eutrofización en los flujos lentos de los ríos.

El tratamiento terciario avanzado elimina microorganismos patógenos en su totalidad, mediante cloración o radiación UV, este proceso se realiza cuando se quiere tener agua limpia para usos específicos de producción como es el caso para riego agrícola.

### ***2.2.2. Operaciones unitarias en el tratamiento del agua residual***

Desde la perspectiva de la ingeniería medioambiental, sanitaria y química, los tratamientos de aguas residuales suelen consistir en una secuencia de pasos que se denominan operaciones unitarias. Estas operaciones unitarias son las que constituyen los procesos unitarios de tratamiento. Las operaciones unitarias pueden ser procedimientos químicos, físicos o biológicos que se utilizan en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) para mitigar la eliminación de los contaminantes de las aguas residuales de las áreas metropolitanas. (Mackenzie, 2004)

El tratamiento de las aguas servidas tiene por objetivo, reducir la contaminación hídrica y patógena y la calidad del vertido de las aguas tratadas a fuentes receptoras, cumpliendo la norma definida por la autoridad sanitaria del Perú. La elección la tecnología para el proceso de tratamiento del agua residual debe estar orientada principalmente al reúso del agua especialmente para riego agrícola. (Véliz, 2014)

### 2.2.3. Características del agua residual

Según las normas técnicas relativas del sub Sector de Saneamiento OS-090 de PTAR del Decreto Supremo N°022-2009-MTC, (2009), artículo 4.3.2 indica que con la muestra compuesta para caracterizar el agua residual se debe determinar los siguientes parámetros:

- (DBO)<sub>5</sub> a 20 °C;
- (DQO);
- Coliformes termotolerantes;
- Parásitos intestinales;
- STS que debe incluir los componentes volátiles;
- Nitrógeno amoniacal y orgánico;
- Sólidos sedimentables.

**La (DBO<sub>5</sub>):** Los microorganismos necesitan cierta cantidad de oxígeno para descomponer las materias orgánicas en un periodo de cinco días a una temperatura de veinte grados centígrados.

**La (DQO):** cuando se emplean sales inorgánicas de permanganato o dicromato potásico, se dice que la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica presente en las aguas residuales.

**Coliformes:** Las bacterias que no forman esporas (Gram negativas) y tienen forma alargada, que pueden fermentar la lactosa y producir gas a una temperatura de 35 +/- 0,5 °C en 24 horas, se denominan coliformes totales. Los coliformes que presentan las mismas características que los coliformes totales pero que pueden funcionar a una temperatura superior de 44,5 +/- 0,2 °C en 24 horas se conocen como coliformes fecales o coliformes termotolerantes.

**Parásitos:** Estos organismos, que incluyen protozoos y nematodos, son capaces de causar graves trastornos cuando habitan en el sistema digestivo humano. *Necator*

*americanus*, *Trichuris trichiura*, *Ascaris lumbricoides* y *Ancylostoma duodenale* son los nematodos intestinales más peligrosos cuando se encuentran en aguas residuales que han sido tratadas y luego puestas a disposición para su reutilización. No obstante, estos organismos se utilizan como marcadores de las bacterias nocivas que se encuentran en los sedimentos.

(SST): consiste en los elementos particulados más diminutos que siguen suspendidos en los flujos de aguas superficiales y residuales. Para eliminarlos, es necesario mantenerlos contenidos en el interior de filtros de fibra de vidrio que tienen un tamaño de poro de 0,45 micras.

**Nitrógeno amoniacal y orgánico:** es uno de los compuestos que pueden encontrarse en el agua. El nitrógeno amoniacal que puede encontrarse en las aguas superficiales es un subproducto de la descomposición natural de la materia orgánica en el medio natural. Los microorganismos consumen la materia orgánica, que luego sufre el proceso biológico de convertir el nitrógeno presente en amoníaco.

**Sólidos sedimentables:** es la materia que sedimenta en un líquido, en un determinado tiempo.

#### **2.2.4. Enfermedades infecciosas del agua**

El agua una molécula inorgánica es fuente de vida, también fuente de enfermedades porque puede cobijar microorganismos patógenos si no está bien tratada. La tabla 1 presenta a las bacterias, virus, protozoos y helmintos, microorganismos que producen enfermedades a través de las aguas contaminadas.

En el Perú de hoy, todavía se sigue contaminado los ríos, quebradas y lagunas naturales con desechos líquidos de la zona urbana y de las comunidades.

**Tabla 1***Organismos patógenos transmitidos por el agua contaminada.*

Organismo patógeno	Importancia para la salud	Persistencia en aguas contaminadas	Resistencia al cloro	Fuente animal importante
Bacterias				
<i>Burkholderia pseudomallei</i>	baja	puede proliferar	baja	no
<i>Campylobacter jejuni, C. coli</i>	alta	moderada	baja	sí
<i>Escherichia coli patógena</i>	alta	moderada	baja	sí
<i>E. coli enterohemorrágica</i>	alta	moderada	baja	sí
<i>Legionella spp.</i>	alta	prolifera	baja	no
Micobacterias no tuberculosas				
<i>Pseudomonas aeruginosae</i>	baja	prolifera	alta	no
<i>Salmonella typhi</i>	moderada	puede proliferar	moderada	no
Otras salmonelas	alta	moderada	baja	no
<i>Shigella spp.</i>	alta	puede proliferar	baja	sí
<i>Vibrio cholerae</i>	alta	corta	baja	no
<i>Yersinia enterocolitica</i>	alta	corta	baja	no
Virus				
<i>Adenovirus</i>	alta	corta	baja	si
<i>Enterovirus</i>	alta	larga	moderada	no
<i>Virus de la hepatitis A</i>	alta	larga	moderada	no
<i>Virus de la hepatitis E</i>	alta	larga	moderada	no
<i>Norovirus y sapovirus</i>	alta	larga	moderada	potencialme
<i>Rotavirus</i>	alta	larga	moderada	nte
Protozoos				
<i>Acanthamoeba spp.</i>	alta	larga	moderada	potencialme
<i>Cryptosporidium parvum</i>	alta	larga	alta	nte
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	alta	larga	alta	no
<i>Entamoeba histolytica</i>	alta	larga	alta	sí

Organismo patógeno	Importancia para la salud	Persistencia en aguas contaminadas	Resistencia al cloro	Fuente animal importante
<i>Giardia intestinalis</i>	alta	moderada	alta	no
<i>Naegleria fowleri</i>	alta	moderada	alta	no
<i>Toxoplasma gondii</i>	alta	puede proliferar	alta	sí
Helmintos	alta	larga	alta	no
<i>Dracunculus medinensis</i>				sí
<i>Schistosoma spp.</i>	alta	moderada	moderada	no
	alta	corta	moderada	sí

Fuente: (Avellaneda, 2011)

### 2.2.5. Microorganismos Patógenos En El Agua Residual Tratada

Los organismos patógenos que habitan en el agua y propagan enfermedades incluyen bacterias, virus, protozoos y helmintos. Estos organismos provocan enfermedades en los seres humanos de diversa gravedad, desde gastroenteritis hasta diarrea grave, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. El medio acuático sirve como medio de transmisión, al igual que los alimentos contaminados. La transmisión también puede producirse de un individuo infectado con malas prácticas de higiene a una persona sana, así como de animales a personas. (Prescott, 1966)

**Aliaga (2010)**, Se recomienda aplicar medidas preventivas para mejorar los recursos hídricos. Esto puede lograrse mediante iniciativas de educación ambiental que involucren a todas las instituciones y fomenten la participación ciudadana, incluyendo tanto al sector privado como al Estado. Debe elaborarse una propuesta de solución prioritaria para mejorar la calidad medioambiental de las zonas ribereñas. Esta propuesta debería centrarse en medidas preventivas para el tratamiento y la reutilización del agua:

La creación de estrategias de mejoras con visiones integrales de la ciudad, territorio y sostenibilidad.



- Para garantizar la sostenibilidad del desarrollo de las cuencas hidrográficas, el desarrollo económico, la justicia social y la sostenibilidad medioambiental, es imperativo que los gobiernos locales apliquen estrategias sostenibles de planificación del uso del suelo y de gestión medioambiental. Estas estrategias deben incluir planes, programas e iniciativas integrales.
- Para abordar los problemas de marginación, pobreza y exclusión social, y formular directrices políticas para el desarrollo de las cuencas hidrográficas a través de la gestión medioambiental urbana, es importante considerar las posibles soluciones. (Aliaga, 2010)

#### Microorganismos indicadores

Los microorganismos patógenos son los que dañan la salud de la población, en las aguas servidas se presenta en pequeñas cantidades si se compara con la cantidad de microorganismo que tiene el agua, su aislamiento es muy difícil y también su identificación, es por eso que se emplea a los microorganismos coliformes como microorganismo indicador, por ser fácil y numerosa de identificar.

El sistema intestinal humano o animal alberga multitud de microorganismos coliformes, que son bacterias. Cada día, un individuo expulsa entre 90.000 y 400.000 millones de microorganismos coliformes. Este elevado recuento de coliformes sirve de indicador de la posible presencia de microorganismos nocivos. Por el contrario, la ausencia de coliformes indica que el agua está desprovista de microorganismos patógenos.

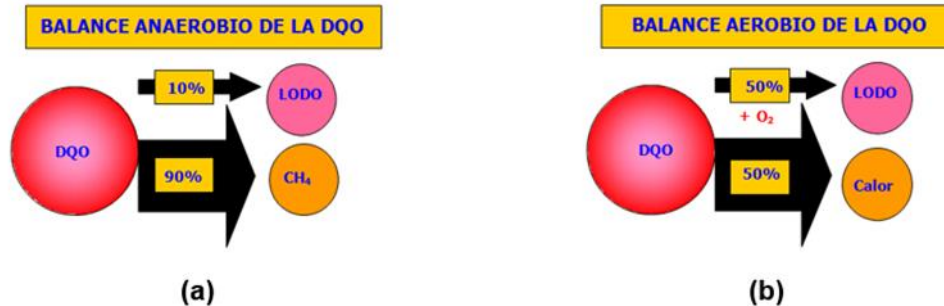
#### **2.2.6. Proceso Anaerobio Y Aerobio**

En el esquema de la figura 2.2, se puede observar la diferencia que existe entre un proceso anaerobio de un proceso aerobio, los dos procesos son utilizados en la descontaminación de aguas negras donde se evalúa la cantidad de materia orgánica mediante la DQO, el proceso anaerobio produce lodo y metano y el proceso aerobio produce lodo y energía. (Godoy, 2014)

**Figura 2**

Esquema de los procesos bioquímicos: (a) Proceso anaerobio, (b) Proceso aerobio.

Fuente: (Godoy, 2014)



### Proceso anaerobio.

El tratamiento anaerobio de las aguas servidas es un proceso catabólico fermentativo, donde la materia orgánica se transforma mediante una reacción bioquímica en ausencia de oxígeno (oxidante) en otra sustancia (metano), sin transferencia de electrones. En la figura 2.2 (a) se puede observar que la DQO teórica se transforma en materia orgánica digerida como metano (90 a 97%) y una pequeña parte de la DQO se convierte en lodo (3 a 10%). (Godoy, 2014)

### Proceso aerobio.

La aerobiosis se produce en presencia de oxígeno molecular, lo que la convierte en un proceso catabólico oxidativo. La figura 2.2 (b) ilustra que la mayor parte de la demanda química de oxígeno (DQO) calculada de la materia orgánica se transforma en lodo, que comprende una proporción significativa (50%) de microorganismos responsables de estabilizar la materia orgánica (50 % de calor). (Godoy, 2014)

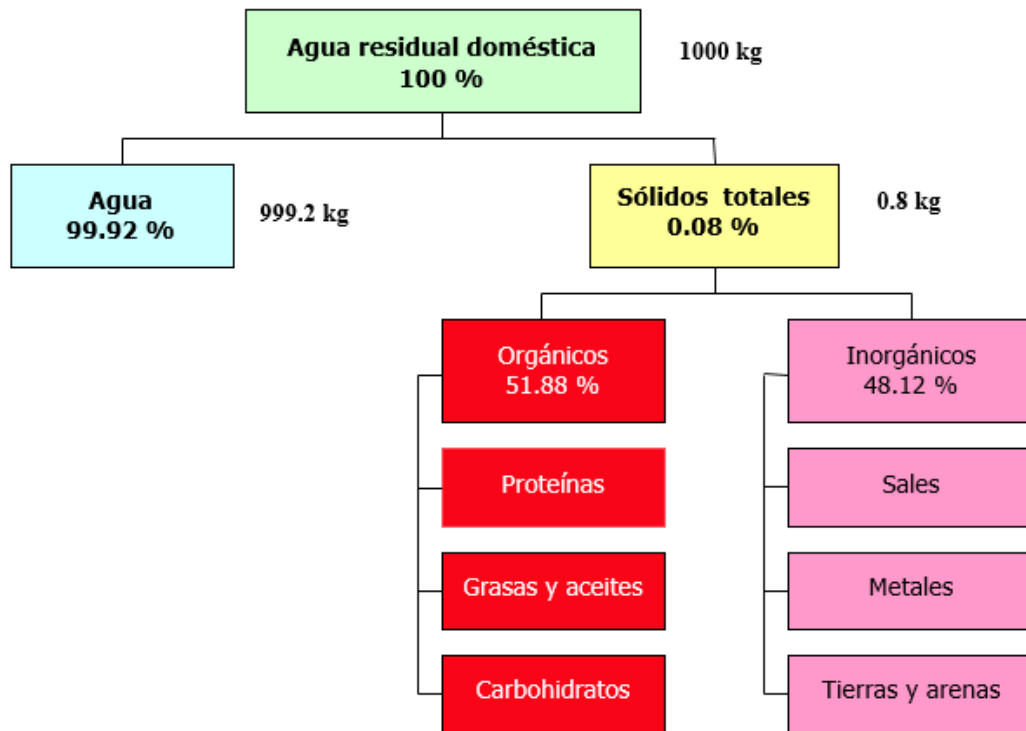
#### 2.2.7. Composición Promedio En Porcentaje Del Agua Residual Doméstica

Las aguas residuales domésticas se producen como resultado de los procesos biológicos relacionados con los desechos humanos y las actividades domésticas cotidianas.

La figura 2.3 muestra la cantidad de agua y la cantidad total de sustancias sólidas presentes en las aguas residuales domésticas.

**Figura 3**

*Porcentaje de agua y sólidos totales en el agua residual doméstica*



*Fuente: (Kiely, 2008 y Véliz 2014)*

### 2.2.8. Caudales Para Aguas Residuales

Los caudales son muy importantes para el diseño de PTAR, debido a que estos están en función de la población, el costo del mantenimiento y operación de la PTAR.

**Caudal promedio de diseño:** Según el artículo 4.3.10, del D.S. 022-2009-OS-090, el caudal promedio de diseño es el caudal promedio en 24 horas resultado que se obtiene a partir de la data de todo el año.

**Caudal máximo diario:** Se obtiene a partir de una data anual y es máximo caudal en 24 horas.

**Caudal máximo horario:** Se obtiene a partir de una data anual y es el caudal pico que se presenta en 24 horas.

**Caudal para diseños nuevos:** Según el artículo 4.3.5, del D.S. 022-2009-OS-090, el caudal medio para diseños nuevos se determina a partir de una población en estudio, consumo humano de agua y otros factores como la contribución de caudales por infiltración y aportes industriales.

### **2.2.9. Población**

Tanto la población a la que se prestan los servicios como la distribución geográfica de esa población influyen en la determinación del volumen de aguas residuales que circulará por el sistema de alcantarillado sanitario de un municipio. Las categorías de población que suelen tenerse en cuenta son las siguientes:

Población actual. La población que había en el momento de elaborar los diseños de ingeniería.

Población al inicio del proyecto. Cuando hablamos de la población al inicio del proyecto, nos referimos a la población que habrá en la región examinada cuando las redes empiecen a funcionar.

Población al final del proyecto. A la conclusión del proyecto, la población que estará contribuyendo a la red de alcantarillado es la población que se considerará al final del plazo del proyecto. Desde 2005 (OPSa).

### **2.2.10. Horizonte Del Proyecto**

El horizonte del proyecto, también conocido como periodo de diseño, es el periodo de tiempo durante el cual una obra o edificio, sin necesidad de ampliación, puede funcionar a su máximo nivel posible.

La fase de diseño ofrece la oportunidad de determinar el alcance del proyecto que se llevará a cabo teniendo en cuenta la población a la que dará servicio el proyecto cuando esté

terminado. Si la duración del diseño es corta, la primera inversión será baja, pero serán necesarios más gastos en función de la expansión de la población. En cambio, si la duración del diseño es prolongada, la inversión inicial será más elevada, pero no será necesario realizar más inversiones durante un tiempo considerable.

El artículo 4.3.9 de la NTP OS-090, señala que el horizonte de diseño debe estar comprendido entre 20 y 30 años.

### ***2.2.11. Selección De Procedimientos Para Una PTAR***

Los procedimientos que se debe seleccionar para una PTAR según Brack 2009, son:

- Determinar la calidad de agua del efluente de la PTAR, examinar el cuerpo receptor donde será vertido el efluente y la reutilización del agua de acuerdo con la necesidad local.
- Indagar el mejor reúso que se dará al agua tratada, con el propósito de obtener el mayor beneficio social, ambiental y económico.
- Los presupuestos deben incluir la participación social, la evaluación y monitoreo de las unidades de la planta, así como también los costos de inversión, operación y mantenimiento.
- Preparar y revisar el expediente técnico y estudio definitivo de la planta con las técnicas y variables de calidad del agua.
- Contar con el área donde se va a construir la PTAR, área que debe ser aceptada por la población, autoridades y sociedad civil.
- Saber las normas legales y técnicas sobre las PTAR peruanas, definir la calidad del efluente con la finalidad del mejor reúso de las aguas.
- Aplicar los LMP sobre microorganismos patógenos de acuerdo a las normas peruanas.

- El personal que labora en las PTAR debe estar capacitado sobre el mantenimiento y operación de la planta.

### 2.2.12. Operaciones Unitarias Y Procesos De Tratamientos

**Figura 4**

*Procesos unitarios físicos, químicos y biológicos para el tratamiento de aguas.*

Tratamientos para la eliminación de materia no disueltas (sólidos en suspensión y coloides) Orgánicos e inorgánicos	Tratamientos para la eliminación de materia disuelta		
	Sustancias orgánicas		Sustancias inorgánicas
	Biodegradables	No biodegradables	
Procesos físicos	Procesos biológicos	Procesos físicos o químicos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desbaste</li> <li>• Flotación</li> <li>• Sedimentación</li> <li>• Filtración</li> <li>• Coagulación-floculación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aerobios</li> <li>• Anaerobios</li> <li>• Anóxicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adsorción</li> <li>• Separación con membranas</li> <li>• Intercambio iónico</li> <li>• Precipitación</li> <li>• Oxidación química</li> <li>• Electroquímicos</li> </ul>	

Son muchas las técnicas tradicionales sobre el tratamiento de las aguas municipales, pero hoy día se ha mejorado grandemente con los conocimientos y diseño de estas.

La presentación de las operaciones unitarias de la figura 2.4, indican que se puede una clasificación desde el punto de vista de cómo los contaminantes están presentes en el agua:

- Tratamiento de los contaminantes en suspensión: procesos físicos
- Tratamiento de la materia coloidal o materia disuelta: procesos químicos-físicos.
- Tratamiento con procesos biológicos.

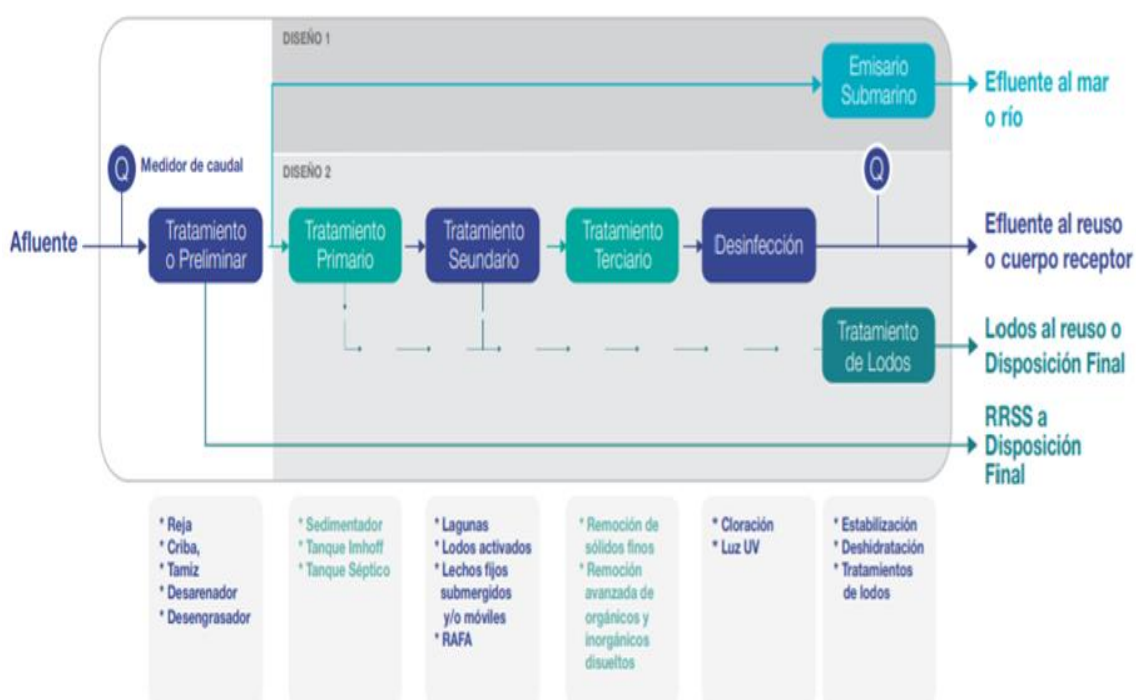
Existen diferentes tipos de operaciones unitarias en el tratamiento del agua para consumo humano y del agua residual, dependiendo de la naturaleza de la transformación realizada se pueden distinguir las operaciones unitarias de físicas, químicas y bioquímicas:

### 2.2.13. Tecnologías Aplicadas Para El Diseño De La PTAR

En la figura 2.5 se presenta las etapas de tratamiento para descontaminar el agua residual en una PTAR y las diferentes operaciones unitarias que se puede aplicar en cada etapa de tratamiento. (SUNASS, 2015). En la siguiente sección, se describe los principales procesos que se van a utilizar en la investigación.

#### Figura 5

Esquema de las etapas de tratamiento y operaciones unitarias en cada etapa de la PTAR.



Fuente: (SUNASS, 2015)

### 2.2.14. Tecnologías Utilizadas En El Pre Tratamiento Del Agua Residual

#### Rejas o cribas de barras o desbaste.

Las aguas residuales que se tratan en la EDAR se separan de los materiales gruesos mediante cribas de barras. Las barras metálicas están dispuestas de tal forma que permiten la limpieza manual con un ángulo de entre 30 y 60 grados respecto a la horizontal. Las distancias entre las barras oscilan entre 1 y 5 centímetros, siendo 2,5 centímetros la más característica. Tras ser separados manual o mecánicamente, los elementos que quedan

atrapados en las rejillas se entierran en vertederos situados en las proximidades de la unidad de rejillas de la estación depuradora de aguas residuales. (Quiroz, 2009)

### **Desarenadores.**

Las arenas, cenizas y gravas, (sólidos inorgánicos) que están presentes en las aguas municipales, en cantidad variable, depende principalmente del flujo del agua que fluye por el alcantarillado solo o combinado con el drenaje pluvial.

Es muy importante la sedimentación de los sólidos inorgánicos con los desarenadores en la etapa de pre tratamiento del agua municipal, con esta operación unitaria se separan las partículas gruesas porque estas aguas arriba pueden deteriorar los equipos mecánicos de la planta, causando dificultades en la operación de los tanques Imhoff, (cámara de la sedimentación y digestión de los lodos), reduciendo su eficiencia, Los materiales separados y retirados de la etapa de pre tratamiento, deben enterrarse a la vez con los desechos retirados de las rejillas. (Quiroz, 2009)

## ***2.2.15. Tecnología Utilizada En El Tratamiento Primario Del Agua Residual***

### **Tanque Imhoff.**

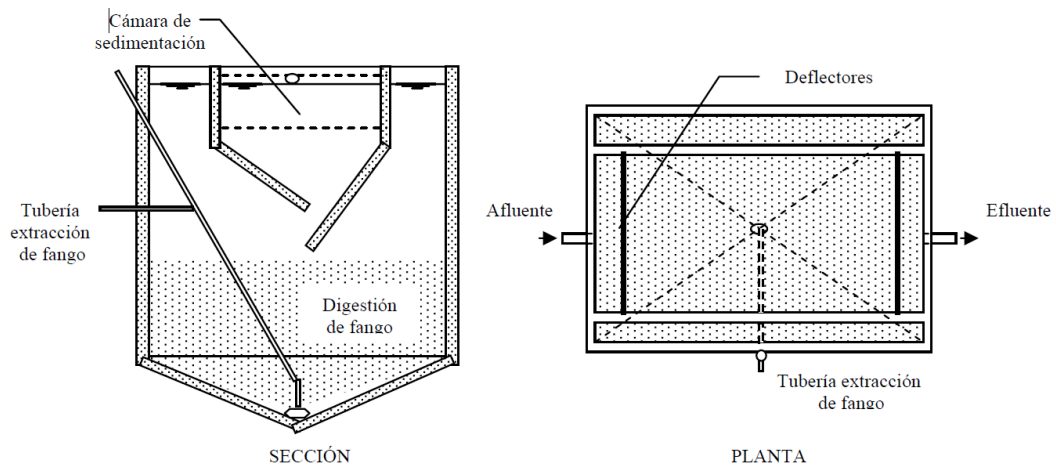
El depósito Imhoff está diseñado para eliminar las partículas en suspensión del agua, que es su función más importante. El uso de este aparato es adecuado en núcleos de población y ciudades pequeñas.

El tanque Imhoff es un equipo esencial para el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas, ya que ofrece una serie de ventajas. Estos tanques se utilizan para sedimentar los materiales en suspensión y digerirlos dentro de la misma unidad, por lo que también se denominan equipos de doble cámara (véase la figura 2.6).



**Figura 6**

*Esquema de un tanque Imhoff.*

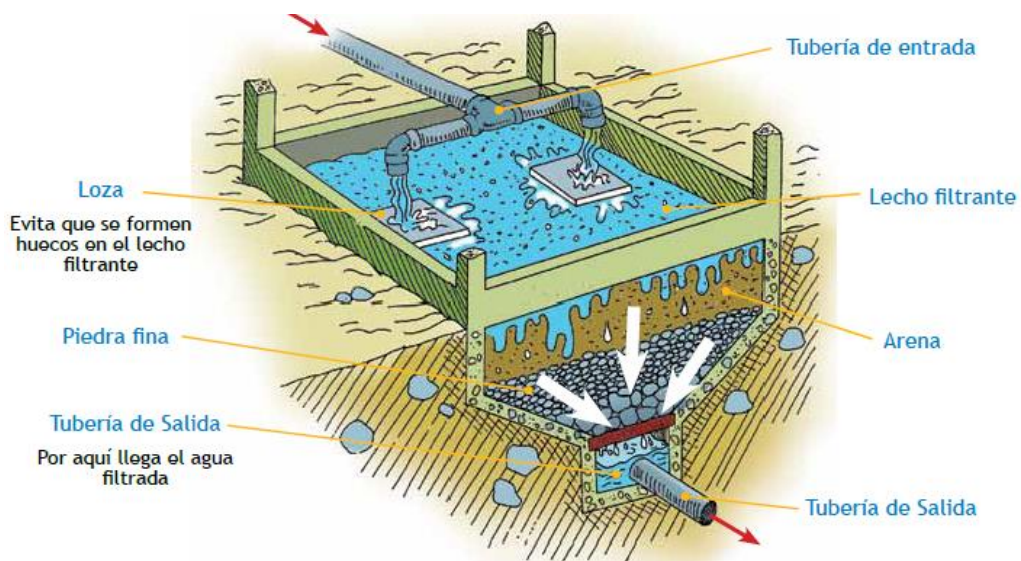


*Fuente: (OPS, 2005b)*

La forma rectangular es característica del tanque Imhoff tradicional, que se subdivide en tres zonas distintas: la zona de sedimentación, la zona de digestión de lodos y la zona de aireación-cámara de hormigón. El tanque Imhoff es capaz de eliminar entre el 40% y el 50% de las partículas en suspensión y la DBO5 puede reducirse del 25% al 35%.

**Figura 7**

*Lecho de secado con lodos de un tanque Imhoff.*



*Fuente: (CALTUR, 2010)*

El desecho del tanque Imhoff es acarreado al lecho de secado que tiene en la base capas de arena y grava, donde se almacena los lodos y los líquidos discurren por el fondo a través de una canaleta, ver figura 2.7. (CALTUR, 2010)

Los lodos transformados por un proceso anaerobio en el digestor, después de un tiempo deben ser transportados a los lechos de secado, donde pierden humedad y pueden ser utilizados como abono en los campos agrícolas, pero antes debe tratarse para eliminar microorganismos.

#### ***Ventajas.***

- Cuidados superiores a los de una fosa séptica.
- Los lodos no se vierten al efluente, sino que se deshidratan en un lecho.
- La duración de retención de los tanques Imhoff es menor en comparación con las lagunas.
- Los gastos de construcción y funcionamiento son mínimos.
- Son ideales para implantar sistemas de tratamiento de aguas en comunidades pequeñas debido a sus bajos requisitos de mantenimiento y funcionamiento.
- Los tanques Imhoff ocupan menos terreno durante la construcción que las lagunas. (OPS, 2005b)

#### ***Desventajas.***

- Pueden llegar hasta 6 m de altura.
- El efluente de descarga del tanque es de mala calidad.
- Causa olores, aunque opere correctamente. (OPS, 2005b)

### ***2.2.16. Tecnologías Utilizadas En El Tratamiento Secundario Del Agua Residual***

#### **Procesos bioquímicos.**

Los procesos bioquímicos para el tratamiento del agua doméstica se pueden clasificar desde tres perspectivas: (CONAGUA, 2015a)

- (1) Reacción bioquímica: estabilización y conversión de materia orgánica insoluble y eliminación de la materia orgánica soluble.
- (2) Entorno bioquímico: los microorganismos son donadores o aceptores de electrones en los procesos aerobios, anóxicos y anaerobios.
- (3) Forma del reactor: los microorganismos pueden crecer adheridos a un soporte sólido o suspendidos en el agua doméstica que pasa por el reactor.

### **Sistemas de lagunas.**

Las lagunas siguen los procesos de depuración que se presenta en la naturaleza, con costos mínimos de operación, como en los ríos y lagos. La depuración de las aguas residuales en una laguna se produce como resultado de la sedimentación de la materia orgánica en suspensión y la aparición de un proceso de oxidación bioquímica facilitado por microbios saprofitos y microalgas, que liberan oxígeno. (Silva, 2004). La de oxidación o de estabilización tiene una configuración simple, donde se embalsa el agua por un tiempo determinado, (TRH).

Clasificación de las lagunas de oxidación:

**Lagunas anaerobias:** Tienen una profundidad entre 3 a 5 m, es la primera laguna que recibe el agua doméstica bruta, luego de un pre tratamiento, aquí se sedimenta la mayor parte de la materia contaminante orgánica que es descompuesta por microorganismos anaerobios. Se usan en tratamientos primarios de una PTAR. (Lozano-Rivas, 2012)

**Lagunas aerobias:** Tienen una profundidad entre 0,7 y 1,1 m, trabajan con procesos aerobios, aquí la actividad fotosintética es alta, con procesos de fotooxidación. Son usadas en los tratamientos terciarios de una PTAR. (Lozano-Rivas, 2012).

**Lagunas facultativas.** Estas lagunas son construidas después de una laguna anaerobia, Tienen una profundidad entre 1,5 y 2,0 m. En estas lagunas se presentan el fenómeno aerobio en la superficie, (proceso de fotosíntesis e intercambio de gases),

facultativo en el centro y el proceso anaerobio en el fondo de las lagunas. Son usadas en los tratamientos secundarios. (Lozano-Rivas, 2012)

Todas las construcciones con lagunas necesitan un área de terreno entre 7 y 10 m<sup>2</sup> por habitante, (Lozano-Rivas, 2012).

Ventajas de los procesos con lagunas. (Lozano-Rivas, 2012).

- La construcción y operación es simple.
- Para su funcionamiento necesita poca energía eléctrica.
- Produce pocos desechos de lodos, a pesar de que trabaja con altos tiempos de retención.
- Cada 3 a 6 años los lodos deben ser evacuados.
- Trabajan en armonía la naturaleza.
- El efluente es bastante bueno para riego agrícola, luego de un análisis biológico.
- Trabaja bien a distintas cargas contaminantes.
- Reduce gran cantidad de microorganismos patógenos.

Desventajas de los procesos con lagunas (Lozano-Rivas, 2012)

Necesitan mucho terreno para su construcción.

- Depende fuertemente del clima, por ello no trabajan bien a gran altura y climas fríos.
- Presentan malos olores (lagunas anaerobias), por esta razón deben ser ubicados lejos de las poblaciones.
- Contiene muchas algas en el efluente.

### **Filtro percolador.**

Como se muestra en la figura 2.8, el filtro percolador es un dispositivo compuesto por un lecho de grava o un medio plástico que sirve de medio filtrante. Sobre este medio filtrante se pulverizan las aguas residuales tratadas anteriormente.

El filtro percolador se caracteriza por la formación de una fina capa biológica, provocada por los microorganismos que se adhieren al lecho de grava. Las bacterias,

alimentadas por las aguas residuales a medida que se filtran por el lecho, se encargan de eliminar parte de los materiales orgánicos. Una unidad de sedimentación secundaria recibe el agua que se vierte desde el fondo del filtro y es arrastrada hacia él. (Brack, 2009)

### **Figura 8**

#### *Filtro Colador*



Las aguas residuales efluentes de una unidad de tratamiento primario se pulverizan sobre la superficie del lecho del filtro percolador mediante un brazo giratorio situado en la parte superior del filtro. El funcionamiento del filtro percolador es sencillo. Para facilitar la oxigenación del agua bruta antes de su entrada en el filtro, el brazo giratorio se sitúa treinta centímetros por encima de la superficie del medio filtrante.

El filtro percolador debe estar diseñado para que utilice al mínimo un equipo mecánico, para ello se recomienda que el filtro colador debe contener, lechos de piedra, uso de un efluente de agua con tratamiento primario.

#### ***Ventajas***

- Requiere áreas menores si se compara con sistemas de lagunas.
- Su funcionamiento es simple.
- No necesita energía eléctrica por ello el costo de inversión es bajo.
- Es bastante baja la generación de olores.

- Si el efluente que va a tratar viene de un tratamiento primario eficiente, el volumen se reduce.

***Desventajas: (Brack, 2009)***

- El tratamiento aguas residuales con altas cargas orgánicas es bajo.
- La eliminación de microorganismos patógenos es baja, por eso se necesita una buena desinfección del efluente si es para uso agrícola.
- Su uso son PTAR para pequeñas y medianas poblaciones.

**Reactor anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente (UASB).**

En el tratamiento de las aguas servidas, la tecnología anaerobia genera la menor cantidad de lodos entre todas otras tecnologías, en los procesos anaeróbicos se obtiene biogás que es un subproducto con alto valor agregado que es aprovechado como combustible.

En el mundo, actualmente el reactor UASB es el más utilizado para descontaminar aguas industriales y ocupa un buen lugar para tratar aguas residuales municipales.

La ventaja de un proceso con un reactor UASB es que puede remover casi toda la sustancia biodegradable del agua a un costo operativo bajo y con poca producción de lodo, lo cual permite una menor generación de gases de efecto invernadero, además que el biogás puede ser aprovechado para generar energía. (Brack, 2009)

Un reactor UASB remueve la DQO con una eficiencia del 65% cuando trata aguas residuales municipales con un tiempo de retención hidráulica de 6 horas. Este proceso se ve limitado cuando la temperatura media del agua es menor de 15°C, a estas temperaturas bajas la actividad microbiana anaerobia baja su rendimiento. Las investigaciones actuales informan que cuando se utiliza en el proceso primario un reactor UASB se logra mejores resultados.

***Ventajas: (Brack, 2009).***

- El proceso de tratamiento con un reactor UASB es continuo, con pequeños tiempos de retención, puede tratar directamente agua de un afluente de un pre tratamiento.
- Reduce el tamaño de unidades de tratamiento de uso posterior, como lagunas y biofiltros ya que el reactor UASB puede tratar agua con alta concentración de materia orgánica.
- El CH<sub>4</sub> que se produce en el reactor, puede servir como energía de alumbrado y calentar el reactor para mejorar la eficiencia del proceso anaeróbico.

***Desventajas: (Brack, 2009).***

- Debe inyectarse un inóculo de bacterias anaeróbicas para iniciar el proceso biológico.
- En lugares con climas muy frío no son recomendable su uso.
- Remueve muy pocos microorganismos patógenos.
- Durante el proceso, la transformación del nitrógeno orgánico en amoníaco, que es una sustancia peligrosa, necesita un tratamiento posterior debido a su naturaleza venenosa.
- El uso de esta sustancia no está indicado para aguas domésticas que tengan una baja concentración de materiales orgánicos.
- Produce olores desagradables, debe ser instalado lejos de la población urbana.

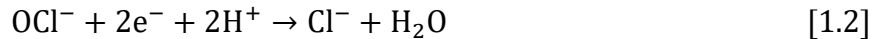
***2.2.17. Tecnología utilizada en el tratamiento terciario del agua residual*****Desinfección por cloro.**

Existen tres formas diferentes de cloro que son químicamente comparables entre sí. El cloro puede utilizarse como desinfectante del agua en forma de gas comprimido a baja presión, soluciones de hipoclorito sódico o hipoclorito cálcico sólido. (Metcalf, 1998).

La ecuación [1.1], indica que una molécula de cloro reacciona con dos electrones para formar el ion cloro inerte,



La ecuación [1.2], indica que una molécula de hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) reacciona con dos electrones para formar el ion cloro más agua,



La importancia de desinfectar agua con cloro es que permite el mantenimiento de un residuo el cual es vital para garantizar la calidad del agua desde la salida del efluente hasta la llegada al consumidor, (Chernicharo, 1999).

Para los efluentes secundarios tratados con cloro, el residuo de cloro deja de ser importante, pues es tóxica para la biota del cuerpo receptor o para los organismos cuando se utiliza en la agricultura. Si se aplica en la irrigación puede afectar al suelo o a los vegetales. (Daniel, 2000)

### ***Ventajas***

- Eliminación de color, olor del agua
- Biocida poderoso.
- El cloro se usa para desinfectar agua, es el método más barato.
- Si se utiliza hipoclorito de sodio y calcio la aplicación es más segura.

### ***Desventajas***

- La desinfección del agua con cloro puede formar subproductos peligrosos.
- Debe utilizarse las dosis recomendadas para eliminar esporas y quistes de algunos virus.
- Tener cuidado con el cloro gaseoso porque es peligroso y corrosivo.
- El hipoclorito de sodio se debe producir en planta porque se degrada con el tiempo y la exposición a la luz.



- La aplicación del cloro como desinfectante se debe realizar a pH altos.

### 2.3. Aspectos Normativos Legales

#### 2.3.1. Marco Legal: Agua, Uso, Contaminación Y Tratamiento

Ley de recursos hídricos N° 29338

Título V, protección del agua

Artículo 79. Vertimiento de agua residual.

- La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento
- Previo estudio técnico favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud
- Cumplimiento de los ECA-Agua y LMP.

Decreto supremo N° 003-2010-MINAM

Artículo 1.- Aprobación de LMP para efluentes de PTAR, ver tabla 2.

**Tabla 2**

*LMP para PTAR.*

Parámetros	Unidad	LMP de efluentes
Aceite y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/L	10 000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	20
pH	unidad	6,5-8,5
STS	mg/L	150
Temperatura	°C	< 35

Reglamento de la ley de recursos hídricos, N° 29338

Capítulo II. Disposiciones generales

Artículo 103°.- Protección del agua

Capítulo VII. Vertimientos de aguas residuales tratadas

Artículo 131. Aguas residuales y vertimiento

Artículo 133°.- Condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales tratadas

Ministerio de salud. DIGESA

Funciones:

- Velar por la preservación del agua.
- Controlar las emisiones contaminantes que dañan al ser humanos y al medio ambiente.
- Suspensión del suministro de agua al infractor.

Ley general del ambiente N° 28611

Norma de protección del ambiente.

- El Estado previene y controla la contaminación ambiental
- Controla la depredación de los recursos naturales.
- Prohíbe descargar sustancias contaminantes al agua.

### ***2.3.2. Normas Legales: Reutilización Del Agua Residual***

Ley de recursos hídricos N° 29338

Título V, Protección del Agua

Artículo 82. Reutilización del agua residual.

- La Autoridad Nacional, autoriza el reúso del agua residual tratada.

Artículo 83. Prohibición de vertimiento de algunas sustancias.

- Prohíbe el vertido de sustancias contaminantes y residuos tóxicos al agua
- La Autoridad Ambiental y la Autoridad Nacional, norman las sustancias prohibidas.

Reglamento de la ley de recursos hídricos, N° 29338

Capítulo VIII. Reúso de aguas residuales tratadas

Artículo 147. Reúso de agua residual

Artículo 148. Autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas.

#### 2.4. Normas De Calidad Del Agua Para Riego Agrícola

1. El uso de aguas tratadas para la agricultura en el Perú está aprobado en el D.S. 004-2017-MINAM.
2. Organización Internacional de Normalización (ISO)
  - Beneficia a los agricultores asociados para el riego agrícola.
3. La ISO 16075-1-2015: proyecto para la reutilización de agua residual tratadas para riego.
  - Parte 1, plantea las bases del proyecto.
  - Parte 2, desarrolla el proyecto.
  - Parte 3, describen los componentes del proyecto.

#### 2.5. Marco Conceptual

**Acidez:** solución acuosa que reacciona con iones básicos hasta un pH de 7.

**Afluente:** líquido que ingresa a un río, a una PTAR, o a una laguna u otra fuente de agua.

**Aguas residuales domésticas:** consiste en los que se obtienen de los sectores de la vivienda y los servicios, y son producidos en su mayoría por el metabolismo humano y las actividades que tienen lugar en el hogar.

**Aguas residuales industriales:** no se consideran aguas residuales domésticas ni escorrentía de aguas pluviales, sino contaminantes que se liberan de lugares donde se lleva a cabo cualquier tipo de actividad empresarial o industrial.

**Aguas residuales urbanas:** Agua doméstica municipal, combinada o no con efluentes de procesos industriales y escorrentía de aguas pluviales.

**Aireación:** oxígeno del aire disuelto en el agua por medios naturales o artificiales.

**Anaerobio:** organismo que puede vivir sin oxígeno o proceso que se lleva a cabo sin oxígeno del aire.

**Biodegradación:** transformación de la materia orgánica por microorganismos en el medio ambiente.

**Carga máxima permisible.** Carga límite de un volumen de materia dividido entre un área.

**Carga de diseño:** es la carga definida para un proceso de tratamiento en base al flujo de masa.

**Carga superficial:** caudal o masa de una variable por unidad de área y por unidad de tiempo.

**Efluente.** Líquido que sale de un proceso final de tratamiento.

**Concentración:** es la masa de una sustancia dividida por el volumen de este.

**Cuerpo de agua.** Es un río, lago, laguna, u otro sistema de agua, que recibe la descarga de aguas residuales.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se refiere a la cantidad de oxígeno que necesitan las bacterias aerobias para metabolizar las sustancias orgánicas biodegradables.

**Demanda química de oxígeno (DQO):** A una temperatura determinada y durante un tiempo predeterminado, la cantidad de oxígeno que debe estar presente para que el permanganato potásico oxide químicamente la materia orgánica presente en el agua.

**Desarenador:** es un sedimentador que permite separar por gravedad principalmente las arenas y servidas municipales.

**Disposición final:** es el proceso de confinar, principalmente los desechos sólidos peligrosos y tóxicos de algunas unidades de una PTAR.

**Lecho de secado:** es la unidad de secado donde se depositan los desechos sólidos del tratamiento primario y secundario de una PTAR.

**Oxígeno disuelto:** la cantidad de oxígeno del aire capaz de disolverse en el agua hasta el punto de saturación, que viene determinada por la temperatura del entorno y la altitud a la que se encuentra el sistema.

**Planta de tratamiento de agua residual (PTAR):** son establecimientos que se encargan del tratamiento de las aguas residuales para depurarlas y devolverlas al medio natural como agua limpia.

**Sólidos sedimentables:** es la materia sólida del agua residual que puede sedimentar por gravedad en un determinado tiempo.

**SSV:** son los sólidos en suspensión volátiles que contiene el agua municipal.

**Tiempo de retención hidráulica:** es el tiempo que se demora los microorganismos del agua en pasar por un reactor para eliminarlos o partículas contaminadas que es tratada en un equipo de tratamiento para un determinado proceso.

## Capítulo III

### Materiales Y Métodos

Los estudios de investigación se desarrollaron en la PTAR de la ciudad de Acobamba, provincia de Acobamba, región Huancavelica y en los laboratorios de la FIQM de la UNSCH. El capítulo contiene los materiales, métodos, procedimientos de las técnicas utilizadas en la investigación destacando el manejo de datos, evaluación, rediseño y diseño de procesos, generando conocimientos y aplicándolas en algunas innovaciones, profundizando en los temas clásicos y sobre todo en los aportes de autor.

#### 3.1. Tipo de investigación

**Tipo:** aplicada-explicativa, utiliza las herramientas de la ciencias biológicas, ingeniería química e ingeniería ambiental para establecer y responder las causas o fenómenos físicos-químicos en el desarrollo del diseño del proceso para su evaluación, rediseño y diseño de la PTAR Acobamba de la región Huancavelica.

#### 3.2. Método de la investigación

**Método:** cuantitativa-no experimental. Maneja, pero no manipula datos

**Técnicas:** Visitas, observación, evaluación del estado físico, operativo, estructural, social, técnica, ambiental, económica y costos para PTAR. Determinación de caudales. Caracterización del agua residual. Procedimientos de diseño del proceso y equipos.

**Instrumentos y herramientas:** registros gráficos, programas para diseño de equipos y análisis de textos. La investigación emplea el método científico, tipo inductivo porque va de un caso particular a un caso general, evalúa el proceso de la PTAR de Acobamba, determina los parámetros para caracterizar el agua cruda, determina el caudal de diseño y con los resultados estudia el posible proceso de la planta con un nuevo diseño para la PTAR de Acobamba.

### **3.3. Metodología para la evaluación de la PTAR de Acobamba**

La investigación se inició recopilando bibliografía que mencionan procesamientos que se presentan en el entorno natural y procedimientos tecnológicos desarrollados en la práctica del proceso de descontaminación de aguas negras domesticas para poblaciones menores de 3500 habitantes

y ciudades construidas a alturas mayores de 3000 msnm. La investigación tuvo por objetivo principal realizar primero una evaluación a la PTAR de Acobamba construida al 95% en el año 2009 y que no entró en funcionamiento. Dado que la evaluación arrojó un resultado negativo, fue necesario realizar ciertas modificaciones a los procesos unitarios que ya estaban en funcionamiento, así como desarrollar nuevos diseños para una nueva planta, con el fin de mejorar el tratamiento de agua cruda y reducir la cantidad de contaminación ambiental en el distrito de Acobamba, que se encuentra en la provincia de Acobamba, en la zona de Huancavelica.

Se realizaron cinco visitas de reconocimiento a la planta, luego se realizó la revisión de los diferentes métodos de evaluación de PTAR, se recogió bastante información primaria sobre el clima, aspectos hidrológicos del lugar y aspectos relacionados con la construcción de PTAR, luego se estudió el sistema para ajustar el diseño de muestreo para caracterizar el agua residual, posteriormente se realizaron los muestreos de campo y técnicas de laboratorio, finalmente se procedió a rediseñar y diseñar los equipos para la PTAR mejorada de Acobamba.

La metodología planteada para esta parte de la investigación se hizo utilizando los procedimientos más importantes para evaluar los parámetros de operación, estado físico y estructural de la PTAR Acobamba; Todo ello con la intención de determinar el estado actual de la depuradora y facilitar la aportación de una sugerencia para su rediseño, mejora o diseño, todo ello en función de los hallazgos que se vayan consiguiendo.

La teoría y la práctica han demostrado que las soluciones de saneamiento y selección de procesos para PTAR no están basadas solamente en los aspectos del estado físico, operativo y estructural, sino en otros aspectos más importantes como la evaluación social, técnica, ambiental, económica y costos, evaluaciones importantes para comunidades rurales propias de cada localidad. Se establecieron las siguientes etapas para la evaluación de la PTAR de Acobamba:

- Ubicación de la PTAR de Acobamba.
- Descripción de la PTAR de Acobamba.
- Evaluación del estado físico, operativo y estructural.
- Evaluación social, ambiental, técnico y económico.
- Conocimiento de los parámetros climáticos y topográfico.
- Población de la ciudad de Acobamba, año 2019.
- Área donde están construidas las lagunas.
- Análisis para validar o realizar un rediseño o un nuevo diseño utilizando otras tecnologías que mejore el tratamiento del agua residual.
- Resumen de la evaluación.

### **3.4. Horizonte del proyecto**

Durante la fase de diseño, también conocida como horizonte del proyecto, es posible determinar el tamaño de la planta en un plazo determinado en función de la población final del estudio. En situaciones en las que el horizonte temporal es muy corto, es necesario realizar una inversión modesta al principio; no obstante, se realizarán nuevas inversiones en función del crecimiento de la población. El gasto inicial será mayor si el horizonte se prolonga durante más tiempo; sin embargo, la cantidad de inversión necesaria irá disminuyendo a lo largo del proyecto. (OPS, 2005a)



El artículo 4.3.9 de la norma técnica OS-090, indica que el horizonte de diseño (período de diseño) debe estar comprendido entre 20 y 30 años. El D.S. 022-2009-MTC, 2009 indica que se debe determinar los siguientes parámetros para los escenarios actuales, intermedios y futuros del proyecto:

- Población total que atenderá el proyecto;
- Caudales promedios de desagüe de las viviendas, industrias, infiltración del alcantarillado y de las lluvias (pluvial);
- Caudales horarios, diarios máximos y mínimos;
- Contribución per cápita de aguas residuales negras domésticas;
- Contribución per cápita de la DBO, N y STS;
- Flujo de masa de descarga de los contaminantes: DBO, N y STS;
- Concentraciones de contaminantes: DBO, DQO, STS y coliformes termotolerantes del agua negra.

### 3.5. Método para determinar la población futura

Existen varios métodos, para determinar poblaciones futuras. El método geométrico seleccionado parte de una población actual y se proyecta al futuro, es este caso es importante obtener la población en el horizonte del proyecto.

$$P_f = P_a(1 + r)^t \quad [3.1]$$

Donde,

$P_f$  = población futura

$P_a$  = población actual

$r$  = tasa de crecimiento en %

$t$  = tiempo en años

Según, CONAGUA, 2015b, cuando una población es mayor a 2500 habitantes se considera como urbana, cuando la población es menor a 2500 habitantes se considera como rural.

### **3.6. Método para determinar flujos volumétricos de aguas residuales**

Para determinar los flujos volumétricos ( $m^3/s$ ) de aguas de desagües que fluyen por un sistema de alcantarillado y que va a ser tratada en una PTAR, se debe tener en cuenta las siguientes variables:

#### **3.6.1. Factor De Retorno (C)**

Siempre hay pérdidas o usos en el riego de jardines, el riego de animales, la limpieza de viviendas y otras aplicaciones exteriores. El factor de retorno C es la proporción de aguas residuales vertidas al alcantarillado entre la cantidad de agua potable suministrada a las viviendas. Esta proporción debería ser uno, pero siempre hay pérdidas o usos en estas zonas. Se aconseja aproximar el factor de retorno en función de la información disponible localmente; en caso de que no pueda determinarse, debe suponerse que los valores se sitúan entre 0,80 y 0,85. (OPS, 2005a)

#### **3.6.2. Caudal De Infiltración ( $Q_i$ )**

El flujo de infiltración se refiere a la entrada de agua en el canal de alcantarillado a través de la pared exterior, las conexiones y otros equipos defectuosos. La tabla 3 muestra los valores del caudal volumétrico de infiltración en las tuberías, junto con información sobre el tipo de unión y el nivel freático. (OPS, 2005a)

**Tabla 3***Caudales de infiltración ( $V_i$ ) en tuberías, (L/s/km)*

	Tubería de cemento		Tubería de arcilla		Tubería de arcilla vitrificada		Tubería de P.V.C	
	Cemen to	Go ma	Cemen to	Go ma	Cement o	Go ma	Cemen to	Go ma
<b>Unión</b>								
<b>Nivel freático bajo</b>	0,5	0,2	0,5	0,1	0,2	0,1	0,10	0,05
<b>Nivel freático alto</b>	0,8	0,2	0,7	0,1	0,3	0,1	0,15	0,5

*Fuente: (OPS, 2005a)*

Aspectos principales para determinar el caudal de infiltración:

- Altura del nivel freático medido desde el fondo del colector.
- Precipitación anual y permeabilidad del suelo
- Medidas, estado y tipo de alcantarillas.
- Tipo de unión y materiales de construcción de las tuberías.

$$Q_i = V_i L \quad [3.2]$$

Donde,

 $V_i =$  valores de infiltración tabla 3.1, [L/s km] $L =$  Longitud del alcantarillado, [km]**3.6.3 Caudales por conexiones incorrectas,  $Q_e$** 

Al considerar esta categoría, es importante tener en cuenta la afluencia de conexiones conectadas incorrectamente, instalaciones encubiertas en residencias y la lluvia que se suma al sistema. El flujo resultante de conexiones incorrectas podría variar del 5% al 10% del flujo horario máximo de aguas residuales. (OPSa, 2005)

### 3.6.3. *Caudales Concentrados, $Q_c$*

Son los flujos volumétricos que se presenta por encima del consumo superior doméstico, son caudales de descargas de pequeñas industrias y de centros comerciales. (OPS, 2005a)

### 3.6.4. *Coefficiente De Flujo Máximo, ( $k$ )*

Es la relación que se calcula tomando el mayor flujo horario y dividiéndolo por el flujo promedio diario. Este coeficiente fluctúa dependiendo de los flujos de suministro de agua, el clima y los patrones de comportamiento de las personas.

El coeficiente de flujo máximo es igual a,

$$k = k_1 k_2 \quad [3.3]$$

Donde,

$k_1 =$  relación entre el caudal máximo diario y el caudal medio diario,

igual a 1,2

$k_2 =$  relación entre el caudal máximo horario y el caudal medio diario,

igual a 1,5

$k = 1,8$

### 3.6.5. *Dotación*

Los flujos de agua que se consideran municipales provienen de áreas residenciales de la ciudad y a menudo son el uso de agua de las familias. Como resultado, esto es una función de la cantidad de agua que fluirá a través del canal de aguas residuales, y es necesario determinar la cantidad de agua potable que se proporcionará a cada residente individual. A su vez, la asignación se determinará por el clima, el tamaño de la gente, las características económicas, las características culturales y la información sobre las cantidades de consumo que se han medido en la región. (OPS, 2005a)

El grado de riqueza de una población es uno de los elementos que tiene el mayor impacto en la cantidad de agua que esas personas utilizan. La tabla 4 proporciona una referencia para los diversos niveles de ingresos y la cantidad de agua que cada nivel consume proporcionalmente.

**Tabla 4**

*Nivel de ingresos y dotación de agua.*

Ingresos	Dotación per cápita [L/hab/día]
<b>Bajo</b>	80 a 120
<b>Medio</b>	120 a 180
<b>Alto</b>	180 a 250

*Fuente: (OPS, 2005a)*

### 3.6.6. Caudal Medio, $Q_{med}$

$$Q_{med} = \frac{CPDot}{86400} \quad [3.4]$$

Donde,

$Q_{med}$  = caudal medio, [L/s]

$C$  = coeficiente de retorno (0,8)

$P$  = población que puede ser de acuerdo al cálculo del caudal máximo o mínimo, [hab]

$Dot$  = consumo promedio de agua, en litros por persona por día, [L/habxdía]

### 3.6.7. Caudal Máximo Horario, $Q_{mh}$

$$Q_{mh} = kQ_{med} \quad [3.5]$$

Donde,

$Q_{mh}$  = caudal máximo horario, [L/s]

$k$  = coeficiente de flujo máximo, (1.8)

$Q_{med}$  = caudal medio [L/s]

### 3.6.8. Ecuación De Diseño Para El Caudal, ( $Q_d$ )

Cuando se diseña se utilizan los valores máximos de las variables, por ello se diseñará con los máximos caudales de descarga, por consiguiente, el caudal de diseño queda definido por la siguiente expresión:

$$Q_d = Q_{mh} + Q_i + Q_e + Q_c \quad [3.6]$$

Donde,

$Q_{mh}$  = caudal máximo horario, (L/s)

$Q_i$  = caudal de infiltración, (L/s)

$Q_e$  = caudal por conexiones erradas, (L/s)

$Q_c$  = caudal concentrado en un punto de las redes, (L/s)

## 3.7. Materiales, Aparatos Y Equipos

### 3.7.1. Materiales de vidrio:

- Balones de 1000, 500 y 100 mL.
- Embudos.
- Matraz Erlenmeyer de 200 y 100 mL.
- Pipetas de 100, 50 y 25 mL.
- Probetas de 1000 y 500 mL.
- Vasos de precipitado de 50, 100, 250 y 1000 mL.

### 3.7.2. Equipos y aparatos

- Equipo para el análisis de la DBO y DQO
- Equipo para determinar la cantidad de coliformes fecales
- Equipo para determinar sólidos totales en suspensión y volátiles

- Termómetros
- Cronómetro.
- Balanza analítica.
- Medidor de pH.
- Turbidímetro.

### **3.7.3. Reactivos**

- $K_2Cr_2O_7$
- $Na_2CO_3$
- $CaCO_3$  Carbonato de calcio
- Sulfato de hierro y amonio
- Hidróxido de sodio
- Indicadores: fenolftaleína y anaranjado de metilo.

### **3.7.4. Otros materiales**

- Crisoles de porcelana
- Baldes de 5 y 10 L
- Galoneras de 5 y 10 L
- Bidones de 25 y 50 L.

## **3.8. Metodología Para Caracterizar El Agua Residual De La Ciudad De Acobamba**

### **3.8.1. Parámetros, Métodos Analíticos Y Procedimientos**

Para evaluar el agua municipal de Acobamba, se realizaron una serie de visitas de campo para recopilar detalles específicos sobre el sistema de consumo de agua potable, ubicaciones de descarga de aguas residuales, alcantarillado sanitario, características únicas del cuerpo receptor y para determinar el sitio de muestreo más apropiado.

La muestreada de las aguas servidas se realizó en un punto antes del desvío del agua residual al riachuelo Huilcapuquio en cinco etapas en diferentes estaciones del año según el

artículo 4.3.2 de la norma técnica OS-090. Las muestras para el trabajo de investigación fueron tomadas en los siguientes días: domingo 14 de enero, lunes 12 de marzo, martes 15 de mayo, miércoles 22 de agosto y jueves 16 de octubre de 2018.

Los análisis respectivos se realizaron a partir de una muestra compuesta obtenida a partir de las muestras tomadas de hora en hora y preservadas de acuerdo con los métodos estándares. La norma técnica OS-090, recomienda realizar los análisis de la DBO<sub>5</sub> a 20 °C; DQO; coliformes termotolerantes; STS incluido los componentes volátiles; temperatura ambiental y temperatura de las aguas servidas, de acuerdo con los métodos que se presenta en la Tabla 5.

Los parámetros fisicoquímicos determinados in situ, cada hora desde las 6 am hasta 6 am del día siguiente fueron: pH, temperatura ambiental y temperatura del agua, las evaluaciones de los otros parámetros se hicieron en el laboratorio de la FIQM y FCB de la UNSCH. Los métodos analíticos utilizados para determinar los parámetros biológicos y físico-químico son detalladas en las tablas 5 y 6.

### **Tabla 5**

*Microorganismos analizados y método utilizado en el análisis bacteriológico del agua residual de Acobamba.*

MICRO ORGANISMO	MÉTODO ANALÍTICO
Coliformes termotolerantes, [NMP/100 mL]	Tubos múltiples a la entrada y membrana filtrante a la salida



**Tabla 6**

*Parámetros analizados y métodos utilizados para los análisis fisicoquímicos del agua residual de Acobamba.*

<b>PARÁMETRO Y UNIDADES</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO O EQUIPO UTILIZADO</b>
<b>DBO<sub>5</sub>, [mg/mL]</b>	Método o técnica de dilución
<b>DQO, [mg/mL]</b>	Método del dicromato de potasio
<b>pH, [unidades de pH]</b>	Método electrónico. HACH, modelo EC10
<b>STS, [mg/mL]</b>	Método gravimétrico-filtración con membrana de 0,45 µm, temperatura de 102 °C
<b>Temperatura del agua, [°C]</b>	Termómetro de mercurio
<b>Temperatura ambiental, [°C]</b>	Termómetro de mercurio

### **3.8.2. *Recogida, Transporte Y Preparación De Muestras***

Las muestras recogidas para determinar la DQO, DBO<sub>5</sub>, STS, nitrógeno y orgánico y la cantidad de coliformes fecales y totales, fueron realizadas con el mismo procedimiento para las pruebas in situ, luego transportadas y conservadas siguiendo las recomendaciones descritas por la APHA. (APHA, 1998)

Veinticuatro muestras fueron recogidas en envases de polietileno de medio litro, conservadas a 4 ° y transportadas hasta los laboratorios mencionados, donde se realizó una mezcla total y se separó luego en muestras simples dependiendo del parámetro a determinar, luego fueron guardadas y conservadas a 4 °C hasta la realización de las pruebas dentro de los periodos máximos de conservación según recomendación de la APHA. (APHA, 1998)

### **3.8.3. *Calidad del cuerpo receptor***

La norma técnica OS-090 en el artículo 4.2.1, indica que se debe realizar un estudio del cuerpo receptor teniendo en cuenta las condiciones más desfavorables y el estudio debe realizarse antes del diseño preliminar o definitivo de una PTAR.

Uno de los propósitos de la investigación es reutilizar el agua residual tratada para riego agrícola y bebida de animales, debido a que los agricultores del distrito de Acobamba necesitan agua limpia para regar sus cultivos.

Los parámetros usados para la caracterización de efluentes se encuentran en los artículos del **D.S. 004-2017-MINAM**, donde se puede observar los patrones de calidad ambiental para el agua, categoría 3, riego de vegetales y bebidas de animales. La Tabla 2 del capítulo II, marco teórico, contiene las cuantificaciones del agua para riego de vegetales de tallo bajo y alto, así como para animales. La Tabla 7 que se presenta a continuación contiene las medidas de calidad del agua tratada que debe tener los efluentes de la PTAR.

**Tabla 7**

*Parámetros de calidad según el D.S. 004-2017-MINAM.*

Parámetro	Unidad	D1 Riego de vegetales		D2 Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>Fisicoquímico</b>				
DBO <sub>5</sub>	mg/L	12	-	15
DQO	mg/L	40	-	40
pH	Unidad de pH	6,5 a 8,5	-	6,5 a 8,5
Temperatura ambiental	°C	Δ3	-	Δ3
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	-	≥ 5
<b>Microbiológico</b>				
Coliformes fecales	NMP/100mL	1000	2000	1000

*Δ3 es la variación de 3 °C respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.*

### 3.9. Selección De Tecnologías Para Nuevos Diseños De PTAR

El artículo 4.3.12. de la NT OS-090 señala que cuando se ha determinado la clase de tratamiento a utilizar, se debe seleccionar el proceso de tratamiento para la PTAR y lodos.

La tecnología seleccionada debe ser de fácil construcción, mantenimiento y operación, minimizando totalmente la operación de las etapas de tratamiento y considerando al máximo la compra de equipos y repuestos del exterior.

La selección de tecnologías apropiadas para el diseño de PTAR de poblaciones urbanas pequeñas como la ciudad de Acobamba, debe comenzar realizando los estudios completos preliminares del afluente que va a ser tratado, determinando el nivel de calidad y contaminación del agua tratada de acuerdo con el objetivo principal de la investigación.

La elección de un buen sistema de tratamiento define la calidad del efluente, examina el terreno disponible, determina la distancia al centro urbano, la dirección del viento, el olor que puede producir la planta en funcionamiento, el nivel freático de las aguas subterráneas para tomar las medidas necesarias de protección.

El nivel económico de los usuarios es un importante factor para el diseño de PTAR, la cual debe mantener un equilibrio costo-rendimiento, sostenible y eficiente con el tiempo. Los siguientes factores son importantes para el tratamiento a implantar:

- Objetivos del proceso
- Costos de construcción, operación y mantenimiento
- Causas demográficas: población, agua potable y desagüe.
- Disponibilidad del terreno.
- Particularidades del terreno: pendiente, nivel freático.
- Caracterización fisicoquímica e hidráulica del medio receptor
- Caudal del efluente.
- Particularidades del afluente: metales pesados, carga orgánica bacteriana, temperatura y pesticidas.
- Clima: lluvias, vientos, evapotranspiración, temperatura.
- Impacto ambiental.

- Eficiencia del proceso.

### **3.10. Metodología para el diseño del proceso**

Seleccionado el proceso de la PTAR y lodos se procede a diseñar la planta, (artículo 4.3.14, OS-090). Para el diseño se determina el número de unidades en cada etapa del tratamiento que se va a construir, luego se planifica la implementación de la planta, como el tamaño y cantidad de tuberías, canales de conexión entre unidades, consumo de energía, personal que laborará en cada unidad, mantenimiento y operación de la planta, recomendaciones para su funcionamiento. (OS-090, 2009)

En el sistema de tratamiento de aguas servidas con procesos de tratamiento secundario, estos se presentan en estado no estacionario y por aplicación de la ley de conservación de la materia, esto indica que la materia que entra parte de esta se transforma en otra sustancia y otra parte sale del sistema, por esta razón, siempre se producirán lodos y emisiones gaseosas.

La calidad y cantidad de los lodos y gases que se genera depende de las características del agua servida a tratar y de la configuración del sistema de tratamiento.

En la etapa del tratamiento primario los procesos son físicos la aplicación de la ley de balance de materia indica que solo se van a separar las sustancia que contiene el agua residual.

#### ***3.10.1. Procedimiento Para El Diseño Del Canal De Entrada***

El canal de entrada es la primera unidad por donde entra el agua residual a tratar en la PTAR, generalmente es de sección rectangular y debe estar siempre antes de la unidad de rejas. Una forma de diseñar el canal de entrada es aplicando la fórmula de Manning, teniendo en cuenta que el ancho y la profundidad deben ser mínimos, el área vertical útil debe ser igual o mayor al área del colector del agua que conduce el fluido a la planta de tratamiento. Los criterios más importantes de diseño se presentan a continuación, en la tabla 8:

**Figura 9**

*Canal de ingreso del agua residual a una PTAR.*



*Fuente: (Lozano, 2012)*

**Tabla 8**

*Criterios básicos de diseño para el canal de entrada.*

Parámetros de diseño	Rango
Ancho o base del canal, $W_c$	$0,3 \leq W_c$ $\leq 0,7 \text{ m}$
Pendiente del canal	$\geq 0,5 \%$ hasta $5 \%$
Altura máxima útil	$0,7 \text{ m}$
Altura de resguardo	$> 0,4 \text{ m}$
Velocidad media	$> 0,6 \text{ m/s}$
Velocidad de diseño	$< 3,0 \text{ m/s}$

*Fuente: (Hernández et. al., 2004)*

### **3.10.2. Procedimiento Para El Diseño De La Unidad De Desbaste**

La primera unidad de una PTAR es la unidad de desbaste o rejas, esta es una operación unitaria física donde se retiene los sólidos grandes que vienen con el agua residual, si éstas no son removidas aguas arriba pueden dañar a otras unidades o bloquear las tuberías.

Los sólidos grandes removidos pueden ser palos, animales muertos, plumas y muchos otros materiales que personas con poca educación ambiental lo arrojan al desagüe. Los materiales retirados se depositan en contenedores, que luego son transportados a una cámara de incineración.

El criterio de diseño se presenta en la Tabla 9, casi todas ellas están basadas en la velocidad lineal del flujo del agua cruda municipal que transporta a los sólidos grandes.

La velocidad lineal de diseño no debe ser, ni tan baja ni tan alta, si es bastante baja va a inducir a que se produzca una sedimentación de sólidos en el canal de entrada y si es demasiada alta va a empujar a los sólidos retenidos contra la criba y va a promover una fuerza grande contra esta. (Lozano, 2012)

**Tabla 9**

*Parámetros de diseño de la unidad de rejillas.*

<i>Parámetros de diseño</i>	<i>Rango</i>
<i>Barras de sección rectangular</i>	5 - 15 mm de grosor, 30 - 75 mm de ancho, las dimensiones son funciones de la longitud y equipo de limpieza
<i>Espaciamiento entre barras</i>	20 a 50 mm, recomendable 25 mm
<i>Velocidad a través de las cribas limpias</i>	0,6 a 0,75 m/s (a caudal de diseño)
<i>Velocidad antes de las cribas</i>	0,3 a 0,60 m/s, a caudal de diseño, recomendable 0,45 m/s
<i>Pérdida de carga a través de las cribas</i>	A 50 % del área obstruida y a caudal máximo horario
<i>Inclinación del ángulo de las cribas</i>	45 - 60 ° respecto a la horizontal

*Fuente: (OS-090, 2009)*

### 3.10.3. Pérdida De Energía Por Fricción A Través De Las Rejas

Cuando fluye un fluido por una tubería conforme avanza, este va perdiendo energía de presión debido a la fricción de fluido y a viscosidad, el cálculo de estas pérdidas para este caso se realiza a caudal máximo horario y a 50 % de área obstruida de la tubería.

**Tabla 10**

*Valores Kirshmer, para el coeficiente de carga  $\beta$*

$\beta$	Tipo de reja y caras
2,42	Rectangular y caras rectas
1,67	Rectangular y caras circulares y rectas
1,79	Circular y caras circulares

*Fuente: (OS-090, 2009)*

Cuanto se instalan las barras, estas restan área útil al canal, entonces se debe incrementar la velocidad de flujo a través de las rejas y también es necesario aumentar el ancho del canal o la profundidad.

### 3.10.4. Procedimiento Para El Diseño Del Desarenador

El objetivo del desarenador es separar los sólidos que han pasado de la unidad de cribas y principalmente las arenas que tienen una gravedad específica promedio de 2,65 g/cm<sup>3</sup> y diámetros mayores a 0,15 mm.

Estas partículas presentes, en las aguas servidas y algunas veces en el agua residual industrial, sino son retiradas aguas arriba causarán fricción y desgaste en tuberías y equipos de la planta de tratamiento. (Lozano, 2012)

El objetivo de un desarenador es separar las arenas por sedimentación, por eso el ancho de este debe ser más grande que el canal de entrada. Como el ancho es más grande entonces se reduce la velocidad del fluido favoreciendo la sedimentación de las arenas y sólidos grandes, con esta operación unitaria no se alcanza a remover la materia orgánica la

cual debe ser separada en la unidad de tratamiento primario. En una PTAR se debe diseñar y construir dos desarenadores en paralelo uno para que esté operando y el otro para realizar su mantenimiento.

El diseño de un desarenador se fundamenta en la velocidad de sedimentación de las partículas que se quiere separar, para ello se debe utilizar las ecuaciones de Stokes para flujo laminar, la ecuación de Newton para flujo turbulento y Allen para flujo de estado en transición.

Los desarenadores se deben diseñar con el caudal máximo horario; los parámetros de diseño se presentan en la tabla 11. La experiencia de profesionales expertos en la materia, indican que los desarenadores pueden separar entre 5 a 40 mL/m<sup>3</sup> de agua servida tratada, con valores promedios de 20 mL/m<sup>3</sup>, pero siempre teniendo cuidado que en los inviernos estos valores pueden llegar hasta 190 mL/m<sup>3</sup>. (Lozano, 2012)

**Tabla 11**

*Parámetros de diseño para los desarenadores*

<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>
<i>Carga superficial</i>	45 a 70 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h, a caudal máximo horario
<i>TRH</i>	80 a 300 s, a caudal máximo de horario Más frecuentemente=120 s
<i>Velocidad horizontal</i>	0,20 s 0,40 m/s, a caudal de máximo horario
<i>Longitud de la unidad</i>	10 a 25 veces la altura de la capa de agua
<i>Altura de la unidad</i>	0,2 a 2,5 m

*Fuente: (Lozano, 2012) y (OS-090, 2009)*

### **3.10.5. Procedimiento Para El Diseño Del Tanque Imhoff**

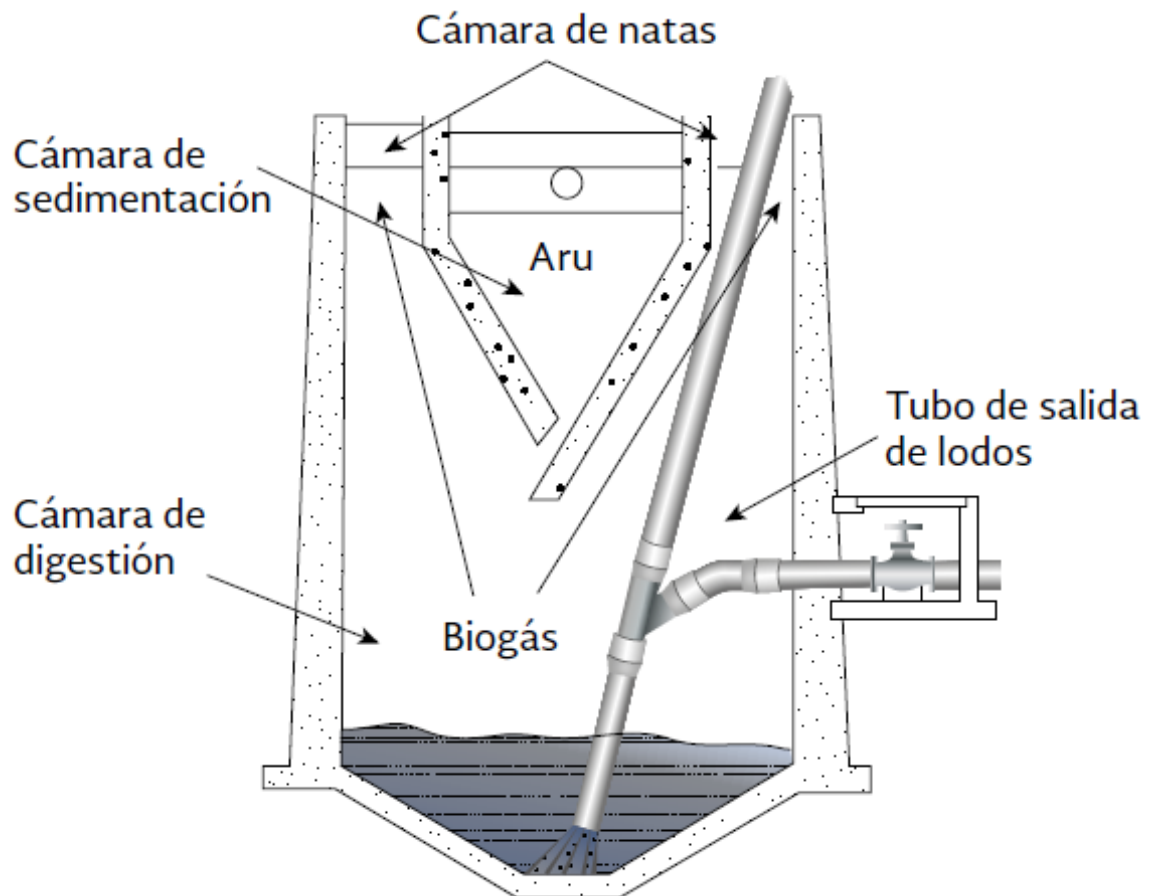
El objetivo del tanque Imhoff es separar por sedimentación los sólidos sedimentables que pasaron por los desarenadores y transformar la materia orgánica mediante un proceso



anaerobio. La aplicación y uso del tanque Imhoff es recomendable en comunidades que tienen entre 500 y 5000 habitantes. El interior del tanque Imhoff tiene dos compartimentos separados donde se lleva a cabo en uno la sedimentación y en el otro la digestión de lodos.

**Figura 10**

*Vista transversal de un tanque Imhoff, donde se puede observar las tres cámaras.*



*Fuente: (CONAGUA, 2015c)*

El tanque Imhoff está constituida por tres cámaras: (1) de sedimentación, (2) de digestión de lodos y (3) de ventilación y natas, (figura3.2). El proceso comienza en la cámara de sedimentación donde el agua cruda que ingresa permanece entre 2 a 4 horas; los sólidos sedimentables caen por el fondo del sedimentador que pasan por una abertura hacia la cámara de digestión, donde los lodos formados por la acción microbiana anaerobia se descomponen durante un tiempo de 2 a 3 meses, produciendo biogás. (CONAGUA, 2015b)

### 3.10.6. Parámetros De Diseño Para La Zona De Sedimentación Del Tanque Imhoff

**Tabla 12**

*Parámetros de diseño, cámara de sedimentación del tanque Imhoff*

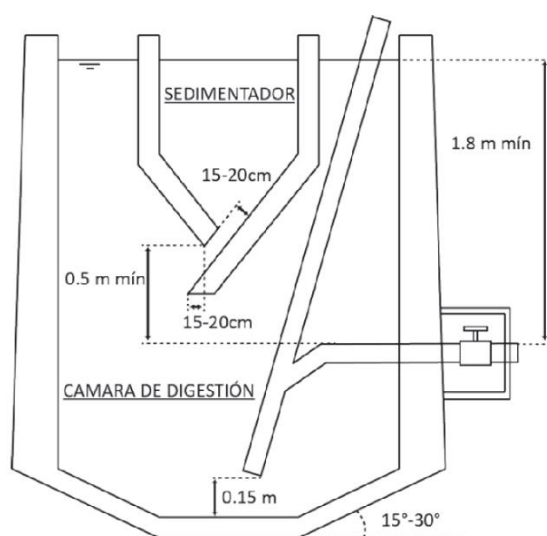
Parámetros	Valores
Carga superficial	1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
TRH	1,5 a 2,5 h
Pendiente área transversal en V (fondo del tanque)	50 a 60° respecto a la horizontal
Abertura para paso de sólidos	0,15 a 0,20 m
Valor mínimo del borde libre	0,30 m

*Fuente: (OS-090, 2009)*

La sección transversal del fondo del tanque tiene forma de V y pendiente respecto a la horizontal entre 50° a 60°, la arista central tiene una abertura entre 15 a 20 cm esta permite dejar pasar los sólidos removidos hacia a la cámara de digestión, ver figura correspondiente. Un lado del sedimentador del tanque Imhoff debe impedir el paso de los gases producidos en el digestor, por eso un lado de este debe ser prolongado entre 15 a 20 cm. El sedimentador Imhoff debe construirse con concreto armado con forma rectangular o cuadrada abierto a la atmosfera. La relación de diseño entre el largo y ancho debe estar comprendida entre 3:1 a 5:1, la profundidad debe estar comprendida entre 1,5 a 4 m, si el terreno es apropiado un tanque Imhoff puede construirse has 7 m de altura. (CONAGUA, 2015b)

**Figura 11**

*Dimensiones importantes de un tanque Imhoff.*



*Fuente: (Quijía, 2015)*

### **3.10.7. Variables De Diseño Para La Zona De Digestión De Lodos**

Los siguientes criterios son importantes para el diseño de la cámara de digestión de lodos: (OS-090, 2009). La reacción bioquímica que se produce en el digestor reduce el 50 % de los sólidos volátiles, parámetro útil para calcular el volumen de los lodos que presentan una densidad de 1,05 kg/L, con un promedio en sólidos de 12,5 en peso. El tiempo de digestión está en función de la temperatura, ver tabla 13.

**Tabla 13**

*Tiempo de digestión en función de la temperatura*

Tiempo de digestión (días)	Temperatura (°C)
110	5
76	10
55	15
40	20
30	25

*Fuente: (OS-090, 2009)*

Una alternativa de diseño para el cálculo del volumen del digestor de lodos es considerando un volumen de 70 L/hab a una temperatura de 15 °C. Para otras temperaturas se debe multiplicar al volumen unidad por un factor de capacidad relativa como indica la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Factor capacidad relativa para otros volúmenes*

Temperatura (°C)	Factor capacidad relativa, [ $f_{cr}$ ]
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
25	0,5

*Fuente: (OS-090, 2009)*

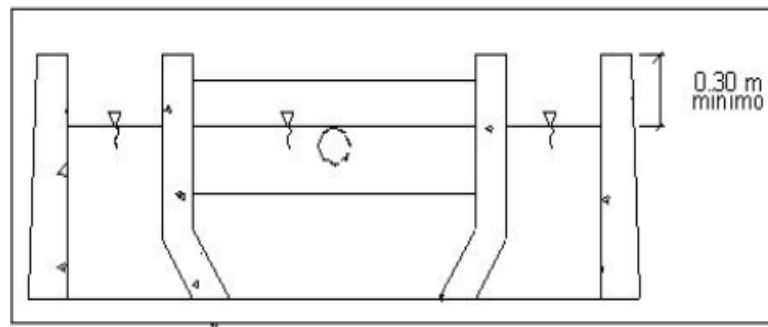
El lodo formado no deberá pasar los 0,50 m de altura, medido desde el fondo del sedimentador, este deberá tener forma de tronco de pirámide con paredes inclinadas con 15 a 30° respecto a la horizontal.

### **3.10.8. Superficie Libre De Ventilación**

Esta superficie está referida a la cámara de natas donde se forman espumas, esta está formada entre las paredes del digestor y el sedimentador. A continuación, se presenta algunos criterios de diseño.

**Figura 12**

*Vista transversal parte superior de un tanque Imhoff: borde libre.*



*Fuente: (OPS, 2005b)*

- Longitud libre = 1,0 m mínimo.
- Área libre total = 30 % mínimo del área total del tanque.
- Borde libre = 0,30 mínimo.

Retiro de lodos

La técnica para utilizar para el retiro de los lodos digeridos hacia la unidad de secado debe ser similar a la técnica aplicada a los sedimentadores primarios. A continuación, se presenta la revisión de algunos los criterios:

- Diámetro de tuberías de remoción de lodos = 200 mm mínimo.
- Altura tubería de remoción de lodos = 15 cm por arriba del fondo del tanque.
- Carga hidráulica de remoción =  $1,80 \text{ m}^3/\text{m}^2$  mínimo.

Procedimiento para el diseño de la unidad de secado de lodos

El uso de lechos de secado en esta unidad es preferible debido a su naturaleza sencilla y rentable, lo que los convierte en una opción óptima para deshidratar los lodos digeridos, sobre todo en ciudades pequeñas. (OPS, 2005b)

### ***3.10.9. Carga De Sólidos Que Ingresa A La Unidad De Secado***

Se utiliza para su construcción, concreto, masa de tierra con piedra con 50 a 60 cm de profundidad para la carga de sólidos a secar. A nivel de proyecto, la carga puede evaluarse

considerando el aporte per cápita de sólidos en suspensión, como indica la OPS (2005b). En las zonas donde hay acceso al servicio de alcantarillado, la cantidad que aporta cada persona se calcula analizando las características del efluente. En las zonas sin sistema de alcantarillado, se utiliza un aporte per cápita estándar de 90 gramos de sólidos totales en suspensión por día y por habitante. Para determinar el área de secado se debe considerar:

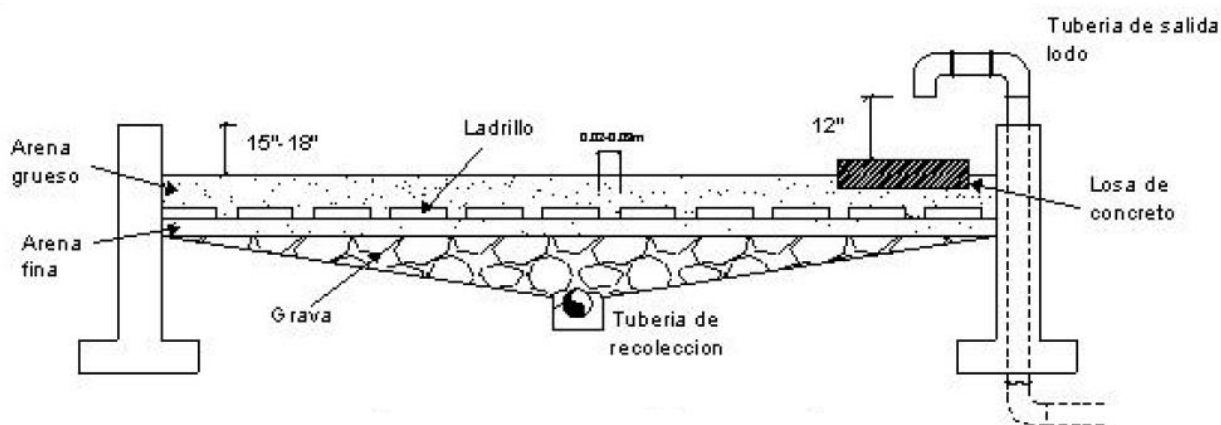
- Masa de lodos
- Volumen de lodos digeridos por día
- Volumen de lodos a eliminar.

### 3.10.10. Superficie De La Unidad De Secado

Para unidades de secado grandes, los anchos de las áreas son mayores a 10 m, para otras unidades generalmente los anchos están entre 3 a 6 m. Si solo se tiene una aplicación al año la carga superficial de sólidos está entre 120 a 200 kg de sólidos/(m<sup>2</sup> año). Los diseñadores recomiendan construir 2 ó más lechos de secado.

#### Figura 13

*Esquema de una unidad de secado.*



*Fuente: (OPS, 2005c)*

#### Medio de Drenaje

El flujo de drenaje suele tener un espesor de 0,30 metros y consta de los siguientes componentes: La referencia es OPS, 2005c.

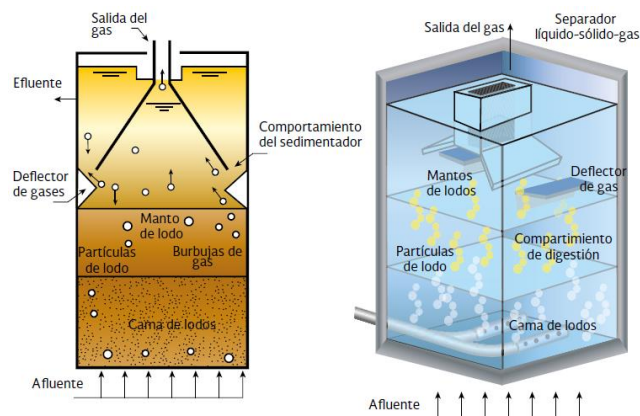
- El medio de soporte consiste en una capa de 15 cm de ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3 cm de arena.
- La arena sirve de medio filtrante, con un diámetro medio que oscila entre 0,3 y 1,3 mm y un factor de uniformidad que oscila entre 2 y 5.
- Debajo de la capa de arena se coloca grava con diámetros comprendidos entre 1,6 y 51 mm y un espesor de 0,20 m.

### 3.10.11. Procedimiento Para El Diseño Del Reactor UASB

El reactor UASB es nombrado por su acrónimo en inglés, que se traduce por "Upflow Anaerobic Sludge Blanket", y su abreviatura en español, que es RAFA. (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente). El reactor UASB comienza con la introducción de aguas residuales desde arriba, que descienden rápidamente hacia abajo a través de tuberías. Posteriormente, el influente se eleva a través de lodo que contiene microbios anaeróbicos, por lo tanto iniciando el proceso como se ve en la Figura 3.6. (CONAGUA, 2015c). El biogás generado por procesos bioquímicos anaeróbicos consiste en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El biogás, el lodo y el líquido tratado suben a la parte superior del reactor, donde el lodo se segrega por sedimentación y los agujeros dirigen el biogás.

**Figura 14**

*Esquema de un reactor UASB.*



*Fuente: (CONAGUA, 2015c)*

El biogás separado se recoge en una campana que está en la parte superior del reactor y el líquido tratado (efluente) también. La temperatura de operación está entre 15 y 25 °C y también a un intervalo más alto de 30 a 40 °C. El proceso anaerobio también puede ser aplicado a temperaturas más bajas comprendidas entre 10 a 20 °C en un reactor UASB, solamente que la velocidad de reacción disminuye, la carga orgánica es más baja y el TR de sólidos y el volumen del reactor aumentan. El volumen de lodos producido en un reactor UASB es menor si se compara con el volumen formado con un proceso aerobio. Cuando los lodos ocupan un volumen mayor a 1/3 de la capacidad del reactor es tiempo de removerlo. (CONAGUA, 2015c)

Los procesos anaerobios trabajan a un pH óptimo de 7. Se debe tener cuidado cuando el pH está fuera de rango de 6,5 a 7,5 esto ocasiona la eliminación de bacterias metanogénicas. (CONAGUA, 2015b)

### 3.10.12. *Tiempo De Residencia Hidráulica*

El TRH se define como el tiempo que permanece un volumen de agua residual dentro del reactor. En la tabla 15, también se puede observar los TRH en función del flujo.

**Tabla 15**

*Principales criterios hidráulicos para el diseño de reactores UASB que tratan agua residual doméstica*

<i>Criterio/parámetro</i>	<i>Rango de valores, en función de flujo</i>			
	$Q_{med}$	$Q_{mh}$	$Q_{pico}$ (*)	<i>Unidades</i>
<i>Carga volumétrica hidráulica</i>	< 4	< 6	< 7	m <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> d)
<i>TRH (**)</i>	6-9	4-6	> 3,5-4	h
<i>Velocidad lineal ascendente</i>	0,5-0,7	< 0,9-1,1	<1,5	m/h



Criterio/parámetro	Rango de valores, en función de flujo			Unidades
	$Q_{med}$	$Q_{mh}$	$Q_{pico}$ (*)	
Velocidad lineal en la abertura	< 2-2,3	< 4-4,2	< 5,5-6	m/h
Velocidad en la superficie del sedimentador	0,6-0,8	< 1,2	< 1,6	m/h
TRH en el sedimentador	1,5-2	> 1	> 0,6	h

(\*) Caudal pico con duración de 2 y 4 horas

(\*\*) Temperatura del agua negra entre 20 y 26 °C

Fuente: (Chernicharo, 2007) y (Metcalf, 2003)

**Tabla 16**

Criterios para determinar el área de dominio en los repartidores de flujo en un reactor

UASB

Clase de lodo	Carga orgánica volumétrica (kg de DQO/m <sup>3</sup> d)	Área de dominio en cada repartidor (m <sup>2</sup> )
Lodo denso y floculento (concentración > 40 kg SST/m <sup>3</sup> )	< 1,0	0,5 - 1
	1 - 2	1 - 2
	> 2	2 - 3
Lodo medio floculento (concentración 20 a 40 kg SST/m <sup>3</sup> )	< 1 - 2	1 - 2
	> 3	2 - 5
Lodo granular	1 - 2	0,5 - 1
	2 - 4	0,5 - 2
	> 4	> 2

Fuente: (Metcalf, 2003)

**Tabla 17***Criterios de diseño de reactores UASB para agua residual doméstica*

<i>Criterio</i>	<i>Parámetros y unidades</i>	<i>Rango de valores</i>
<i>Distribución del afluente</i>	Diámetro del tubo de repartición del afluente, (mm)	
	Diámetro de la desembocadura del tubo de repartición, (mm)	75-100 40-50
	Distancia entre la parte superior del tubo de repartición y el nivel del agua en el sedimentador, (m)	0,2-0,3
	Distancia entre la desembocadura y la parte inferior del reactor, (m)	0,1-0,15
	Área de predominio de cada tubo de distribución, (m <sup>2</sup> )	2-3
<i>Colector de biogás</i>	Carga mínima de biogás, (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)	1
	Carga máxima de biogás, (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)	3-5
	Concentración de metano en el biogás, (%)	70-80
<i>Compartimiento de sedimentación</i>	Deflectores de gas de acuerdo con la abertura del compartimiento del sedimentador, (m)	
	Pendiente de las paredes del sedimentador mínima, (°)	0,1-0,15 45
	Pendiente de las paredes del sedimentador óptima, (°)	50-60
	Profundidad del compartimiento del sedimentador, (m)	1,5-2
<i>Colector del efluente</i>	Parte mojada del deflector de nata o el orificio del tubo del recolector, (m)	0,2-0,3
	Número de vertedores triangulares, (unidades/m <sup>2</sup> del reactor)	1-2

<i>Criterio</i>	<i>Parámetros y unidades</i>	<i>Rango de valores</i>
<i>Producción y muestreo del lodo</i>	Rendimiento en la producción de sólidos, (kg SST/kg DQO aplicado)	0,1-0,2
	Rendimiento de la producción de sólidos, en unidades de DQO, (kg DQO lodo/kg DQO aplicado)	0,11-0,23
	Concentración de sólidos en el lodo en exceso, (%)	2-5
	Densidad del lodo, (kg/m <sup>3</sup> )	1020-1040
	Diámetro del tubo de descarga del lodo, (mm)	100-150
	Diámetro del tubo de muestreo del lodo, (mm)	25-50
	<i>Altura</i>	Reactor
Compartimento del sedimentador		1.5 - 2m
Compartimento del digester		2,5 – 3,5 m
<i>Remoción de DQO esperada</i>	Eliminación de agua residual diluida	60 – 70%
	Eliminación de agua residual concentrada	80 – 90%

*Fuente: (Chernicharo, 2007) y (Metcalf, 2003)*

### **3.10.13. Procedimiento De Diseño Para El Filtro Percolador**

Los parámetros importantes para el diseño de un filtro colador son: composición del agua residual, tratamiento previo y tratamiento primario sometido al agua residual, tipo de soporte del filtro percolador, profundidad, recirculación de lodos, cargas hidráulicas, velocidad de giro de los brazos repartidores, ventilación y temperatura. La tabla 18 presenta otras características importantes para el diseño. (CONAGUA, 2015a)

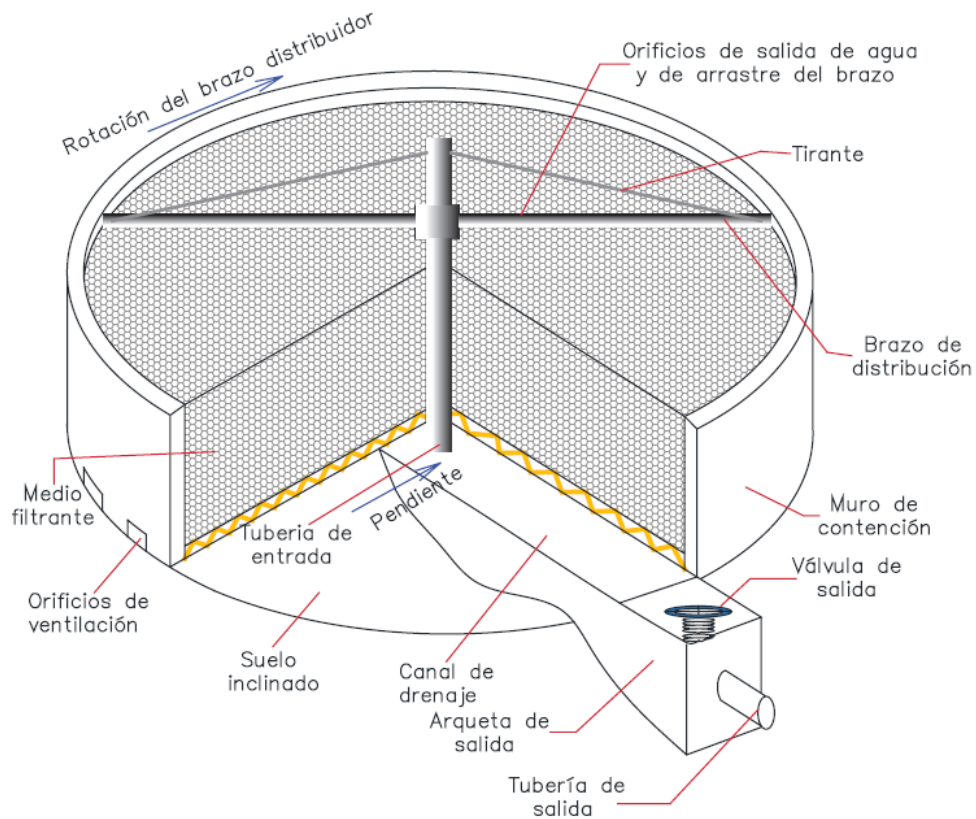
**Tabla 18***Parámetros importantes para el diseño de filtros percoladores*

<i>Característica</i>	<i>Carga</i>				<i>Filtro de desbaste</i>	<i>Filtro de dos etapas</i>
	Baja	Intermedia	Alta	Super alta		
<i>Sustancia de soporte</i>	Escoria, roca	Escoria, roca	Plástico roca	Plástico	Plástico	Plástico, roca
<i>Carga hidráulica, m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> d)</i>	1 - 4	4 - 10	4 - 10	40 - 200	160 - 533	10 - 40
<i>Carga orgánica, kg DBO/(m<sup>3</sup> d)</i>	0,08 - 0,32	0,24 - 2,4	0,32 - 10	0,8 - 0,6	2,67 - 10,67	0,32 - 1,10
<i>Profundidad, m</i>	1,8 - 2,4	1,8 - 2,4	0,90 - 1,80	3 - 12	4,50 - 16	1,80 - 2,40
<i>Relación de circulación</i>	0	0 - 1	1 - 2	0 - 2	1 - 4	0,5 - 3
<i>Presencia de moscas</i>	Muchas	Varias	Pocas	Pocas o ninguna	Pocas o ninguna	Pocas o ninguna
<i>Desprendimiento de biomasa</i>	Discontinuo	Discontinuo	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
<i>Eliminación de DBO</i>	80 - 90	50 - 70	65 - 85	65 - 85	40 - 65	85 - 95
<i>Efluente</i>	Bien nitrificado	Parcialmente nitrificado	Poca nitrificación	Poca nitrificación	No hay nitrificación	Bien nitrificado

*Fuente: (CONAGUA, 2015a)*

**Figura 15**

*Esquema de un filtro percolador.*



*Fuente: (CONAGUA, 2015a)*

Algunas definiciones de la Tabla 18 se presenta a continuación para un filtro percolador. La carga hidráulica es el caudal dividido por el área de flujo, ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ ). La carga orgánica es el peso de la materia orgánica biodegradable, expresada como la  $\text{DBO}_5$  a  $20^\circ\text{C}$ , dividida por el volumen de medio de soporte por día, ( $\text{kg DBO}/\text{m}^3 \text{ d}$ ). La figura 3.6 presenta las partes más importantes de un filtro percolador.

Un filtro percolador es un sistema biológico de lecho fijo que contiene a los microorganismos aerobios, el agua residual que ingresa se distribuye mediante un rociador que cae sobre el lecho del filtro. El agua contaminada fluye a través de poros del lecho del filtro, si el lecho es de piedra este contiene una película de masa orgánica compuesta por microorganismos que degradan los contaminantes del agua.

### **3.10.14. Procedimiento De La Unidad De Desinfección Por Cloro**

El efluente clarificado del tratamiento secundario debe ser desinfectado, para ello debe ser descargado a la cámara de desinfección por cloro. El control para la dosificación de cloro se hace mediante la medición de dos parámetros importantes, (1) medición del flujo del agua tratada a desinfectar y (2) concentración del cloro residual en el efluente final de la planta. La desinfección es un tratamiento terciario que tiene por objetivo la reducción de los microorganismos patógenos y los coliformes fecales y totales en este caso por un proceso químico agregando cloro al agua. En el tanque de contacto de cloro es adicionada agua con cloro. El afluente desinfectado debe de cumplir con los LMP del D.S. 004-2017-MINAM: Agua categoría 3, riego de vegetales no restringidos y bebida de animales.

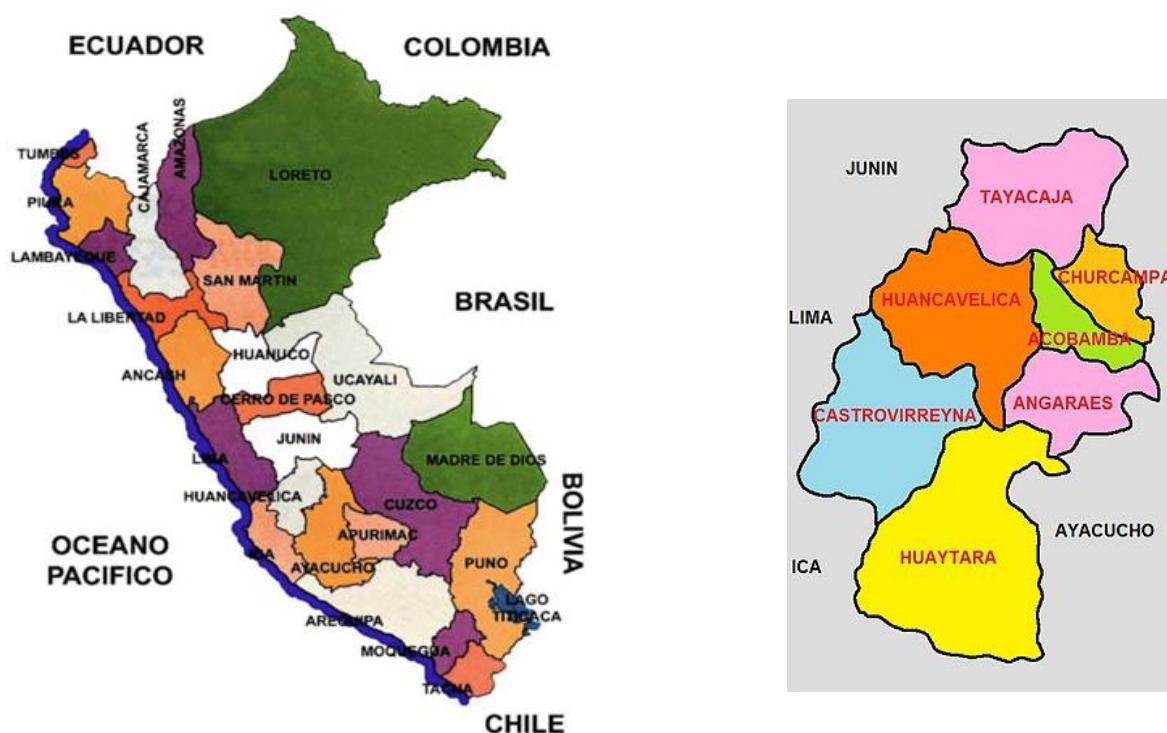
## Capítulo IV

### Resultado y discusión de la evaluación de la planta de tratamiento de agua residual de Acobamba

#### 4.1. Ubicación De La PTAR De Acobamba

Figura 16

Mapa del Perú y región Huancavelica.



La ciudad de Acobamba es la capital del distrito y provincia de Acobamba, región Huancavelica-Perú, (Figura 4.1). Acobamba está ubicado en la parte **este** de la ciudad de Huancavelica, sus coordenadas geográficas son: **latitud sur:** 12° 50' 27" y **longitud oeste:** 74° 34' 14".

La PTAR Acobamba está ubicada en el distrito de Acobamba a 2,5 km de la carretera Acobamba-Chupas.

Ubicación política y geográfica

Región : Huancavelica

Provincia : Acobamba

Distrito : Acobamba

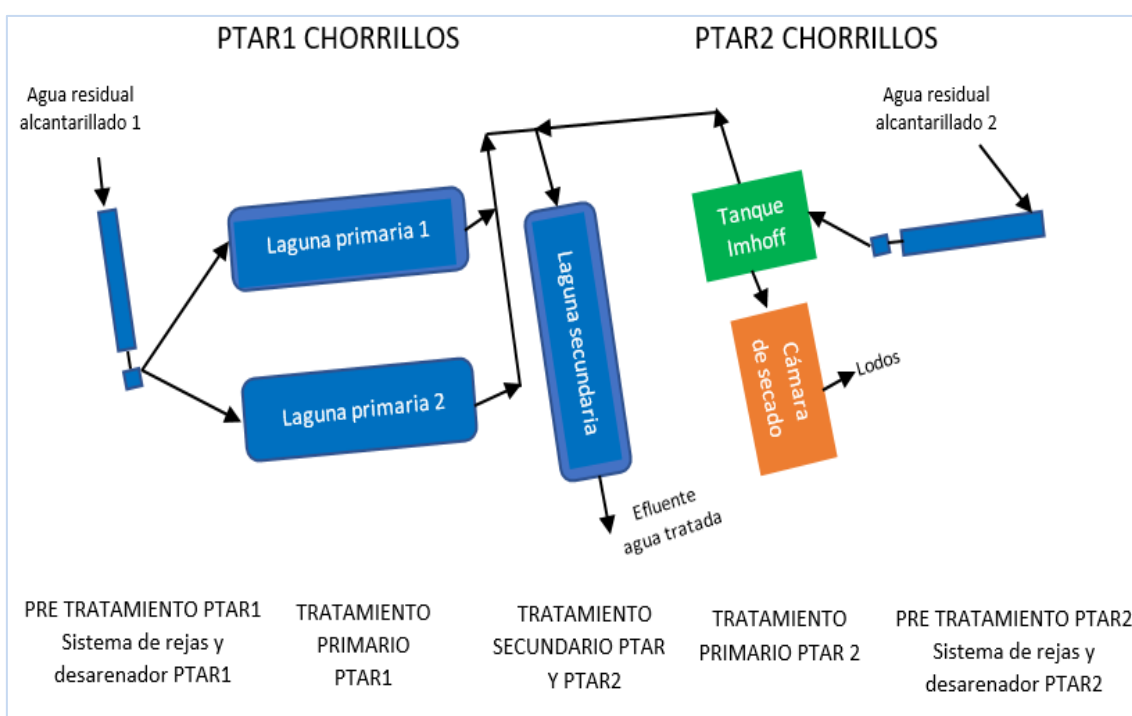
Localidad : Acobamba

#### 4.2. Descripción De La PTAR De Acobamba

De las varias visitas que se realizó a la planta de agua residual se puede decir que la PTAR de Acobamba está bastante deteriorada y está formada por dos pequeñas plantas de tratamiento. La figura 4.2 muestra el esquema de estas pequeñas plantas, PTAR1, PTAR2, las cuales fueron diseñadas para procesar las aguas del alcantarillado **Chorrillos** que drenan el 97 % del agua cruda doméstica de Acobamba.

**Figura 17**

*Esquema de las pequeñas PTAR1, PTAR2 de Acobamba.*



La PTAR de Acobamba en su conjunto fue construida al 90 % el año 2009. Las dos pequeñas plantas, nunca entraron en funcionamiento por no estar terminadas, por deficiencias en el sistema de tuberías de conexión entre las etapas y desinterés de las autoridades.



Al no entrar en funcionamiento las plantas, las aguas crudas del alcantarillado Chorrillos fueron desviadas 370 m antes de llegar a las PTAR1 y PTAR2 al riachuelo Huilcapuquio, estas derivaciones lo hicieron los agricultores de la zona para reutilizarlas en riego agrícola.

#### **4.2.1. Descripción de la PTAR1**

La PTAR1 está ubicada en las coordenadas: **E:** 547229.664; **N:** 8579256.401 y a una altura de 3332,00 msnm. Está formada por tres etapas:

#### **Figura 18**

*Foto, panorámica google de la PTAR1 y PTAR2, año 2015. El agua que contiene las lagunas es de lluvia.*



**Pre tratamiento:** formado por un sistema de rejillas y un desarenador, con dimensiones externas de: 3,95 x 1,1 x 1,0 m y ancho de muro 0,15 m.

**Tratamiento primario:** formado por dos lagunas primarias de igual tamaño, de longitud y ancho de los bordes de 48,35 y 24,64 m respectivamente y de longitud y ancho de las bases de 41,31 y 17,24 m respectivamente. En la figura 4.3, las dos lagunas pequeñas son las lagunas primarias.

**Tratamiento secundario:** formado por una laguna secundaria facultativa de longitud y ancho del borde de 58,19 y 27,58 m respectivamente y de longitud y ancho de la base de 51,68 y 20,21 m respectivamente: En la figura 4.3, la laguna más grande es la laguna secundaria.

#### **4.2.2. Descripción de la PTAR2**

La PTAR2 está ubicada muy cerca de la PTAR, cuyas coordenadas son: **E:** 547229.664; **N:** 8579256.401 y a una altura de 3332,00 msnm.

La PTAR2 está formada por dos etapas:

**Pre tratamiento**, formado por los sistemas de rejillas de desbaste y desarenador.

**Tratamiento primario**, formado por un tanque Imhoff y una unidad de secado, figura 19.

#### **Figura 19**

*Foto, del tanque Imhoff parte superior de la PTAR2.*



El tanque Imhoff, es de concreto armado, cuyas dimensiones internas son 11,4 x 6,3 x 8,14 m y los muros tienen un espesor de 0,30 m.

El lecho de secado es de concreto armado, cuyas dimensiones internas son 8,5 x 16,0 x 1,0 m y los muros tienen un espesor de 0,30 m. El lecho de secado tiene cuatro tubos de PVC de 200 mm de Di, las cuales están unidas al sedimentador Imhoff.

**Tratamiento secundario**, la PTAR2, fue diseñada para que utilice la laguna secundaria facultativa del tratamiento secundario de la PTAR1, figura 4.3, en la foto la laguna más grande.

#### 4.3. Evaluación Física, Operativa Y Estructural De La PTAR De Acobamba

##### 4.3.1. Evaluación de la PTAR1

##### Figura 20

*Foto, del sistema de rejas y desarenador de la PTAR1.*



Pre tratamiento: Sistema de rejas y desarenador

Estado físico : Deteriorado. No tiene rejas.

Estado operativo: Deteriorado. Nunca entró en funcionamiento. Parte de la estructura está dañada y parte del cimiento está en el aire, figura 4.5.

Estado estructural: Malas condiciones.

Tratamiento primario: Lagunas primarias

Estado físico: Malas condiciones, las geos membranas están deterioradas y han sido cortadas, figura 4.6. Mal diseñado, solamente tienen una profundidad de 1,0 m, cuando deben tener como mínimo 3,0 m.

### **Figura 21**

*Foto, parte de la laguna primaria de la PTARI.*



Estado operativo: Nunca entró en funcionamiento.

Estado estructural: Malas condiciones. Deteriorada totalmente, las geos membranas están en muy malas condiciones, la estructura presenta grietas.

Tratamiento secundario: Laguna secundaria facultativa

### **Figura 22**

*Foto, de la laguna secundaria PTARI.*



**Estado físico:** Malas condiciones. La geo membrada se encuentra en muy mal estado, ha sido mal tratada, cortada y deteriorada por el tiempo. Mal diseñada, solamente tiene una profundidad de 1,0 m, cuando deben tener como mínimo 1,5 m, figura 4.7.

**Estado operativo:** Nunca entró en funcionamiento.

**Estado estructural:** Malas condiciones, la geo membrana ha sido cortada en muchas partes.

#### 4.3.2. *Evaluación de la PTAR2*

Pre tratamiento: Sistema de rejás y desarenador

#### **Figura 23**

*Foto, sistemas de rejás y desarenador PTAR2.*



**Estado físico:** Regular estado, el concreto armado está bastante bien, el sistema de rejás tiene rejás finas en regular condición, figura 4.8.

**Estado operativo:** Nunca entró en funcionamiento

**Estado estructural:** Regular condiciones.

Tratamiento primario: Tanque Imhoff

## Figura 24

*Foto, sedimentador Imhoff PTAR2.*



**Estado físico:** Regular condiciones, del sedimentador Imhoff y tanque regulador, figura 4.9.

**Estado operativo:** Nunca entró en funcionamiento.

**Estado estructural:** Regular condiciones, estructura de concreto bien compacta.

Lecho de secado

## Figura 25

*Foto, cámara de secado PTAR2.*



**Estado físico:** Regular condiciones.

**Estado operativo:** Nunca entró en funcionamiento.

**Estado estructural:** Regular condiciones, no presenta fisuras ni roturas, figura 4.10.

#### 4.4. Evaluación, Social, Ambiental, Técnica Y Económica De Las Lagunas De La PTAR De Acobamba

Para una evaluación completa de una PTAR, tanto la evaluación física, operativa y estructural no son suficientes, en consecuencia, se debe incorporar otros criterios como la evaluación, ambiental, social, técnica y económica que son muy importantes para las comunidades rurales. (Ruz, 2019). Las lagunas primarias anaerobias y la laguna secundaria aerobia de la PTAR de Acobamba que nunca funcionaron, además de la evaluación física, operativa y estructural que ya se ha realizado, fue necesario realizar una evaluación con los criterios planteados líneas arriba, lo cual permitió según los resultados a decidir si se hace un nuevo rediseño o se hace un nuevo diseño utilizando otras tecnologías, teniendo como referencia que existe un gran porcentaje de PTAR en el Perú que están funcionando mal o no funcionan.

##### 4.4.1. Evaluación Ambiental De Las Lagunas De La PTAR Acobamba

**Tabla 19**

*Evaluación ambiental de las lagunas del tratamiento primario y secundario de las PTAR1 y PTAR2 de Acobamba*

Componente ambiental	Lagunas primarias (anaerobia)	Laguna secundaria (aerobia)
Generación de olores	Produce olores	Poco olor
Proliferación de roedores e insectos	Si y mosquitos	Si y mosquitos
Producción de lodos	Poco biosólidos	Biosólidos
Impacto sobre el paisaje habitad	Positivo, hábitat para aves	Positivo, hábitat para aves

Emisiones de GEI	Emisiones altas	Poca emisión.
------------------	-----------------	---------------

#### 4.4.2. Evaluación Social De Las Lagunas De La PTAR Acobamba

**Tabla 20**

*Evaluación social de las lagunas del tratamiento primario y secundario de las PTAR1 y PTAR2 de Acobamba*

Componente social	Lagunas primarias anaerobias	Laguna secundaria aerobia
Aceptación comunitaria	Aceptación favorable	Aceptación favorable
Requisito de personal	Mediano perfil	Mediano perfil

El beneficio social del proyecto está asociada a mejorar y disminuir el problema de la contaminación ambiental que rodea a la ciudad de Acobamba, sobre todo a que PTAR haga su trabajo de purificar el agua residual doméstica, funcionando bien, sin originar malos olores y los desechos de biosólidos sean también bien tratados sin generar basuras.

Si se baja la contaminación por aguas servidas esta incidirá en la mejora de la salud del poblador de la ciudad de Acobamba, dado que la presencia de aguas contaminadas, son un hábitat natural para mosquitos y roedores que transmiten diversas enfermedades.

#### 4.4.3. Evaluación Técnica De Las Lagunas De La PTAR Acobamba

**Tabla 21**

*Evaluación técnica de las lagunas del tratamiento primario y secundario de las PTAR1 y PTAR2 de Acobamba*

Componente técnico	Laguna primaria (anaerobia)	Laguna secundaria (aerobia)
Requerimiento de equipo	No requiere mecánico o eléctrico	Requiere un oxigenador



<i>Componente técnico</i>	<i>Laguna primaria (anaerobia)</i>	<i>Laguna secundaria (aerobia)</i>
<i>Operación y mantenimiento</i>	Cada año	Cada cinco años
<i>Calidad del efluente</i>	Elimina hasta el 80% DBO	Elimina hasta el 70% DBO
<i>Requerimiento de área</i>	7 a 10 m <sup>2</sup> /hab (Lozano-Rivas, 2012)	6 a 9 m <sup>2</sup> /hab (Lozano-Rivas, 2012)
<i>Temperatura del agua cruda</i>	Mayor de 20 °C	Mayor de 20 °C**
<i>Temperatura ambiental de diseño</i>	Temperatura promedio mayor de 18 °C	Temperatura promedio mayor de 20 °C***

#### 4.4.4. Evaluación Económica De Las Lagunas De La PTAR Acobamba

**Tabla 22**

*Evaluación económica de las lagunas del tratamiento primario y secundario de las PTAR1 PTAR2 de Acobamba*

<i>Componente económico</i>	<i>Laguna primaria (anaerobia)</i>	<i>Laguna secundaria (aerobia)</i>
<i>Inversión inicial</i>	Inversión inicial \$ 300000 incluyendo terreno (Ruz, 2019)	Inversión inicial \$ 300000 incluyendo terreno (Ruz, 2019)
<i>Costo de operación y mantenimiento</i>	0,59 \$/m <sup>3</sup> (Ruz, 2019)	0,59 \$/m <sup>3</sup> (Ruz, 2019)

#### 4.5. Población De Acobamba, Año 2019

De los registros de vivienda de la dirección de catastro de la municipalidad de Acobamba se obtuvo el número de viviendas existentes con o sin conexión de agua y alcantarillado que permitieron obtener aproximadamente el número de habitantes. Para los

cálculos del número de pobladores se tomó como densidad de población 3.39 y una tasa de crecimiento poblacional de 1,14, tomado del plan de desarrollo provincial concertado y participativo de Acobamba–Huancavelica 2003-2015 y del Censo Nacional INEI-2017.

Tomando en cuenta los documentos mencionados, la población de la ciudad de Acobamba para el año 2019 que descargaron agua residual doméstica al alcantarillado Chorrillos y que debieron ser tratadas por la PTAR1 fueron de 2401 habitantes.

También tomando en cuenta los documentos mencionados líneas arriba, la población de la ciudad de Acobamba para el año 2019 que descargaron agua residual doméstica al alcantarillado Chorrillos y que debieron ser tratadas por la PTAR2 fueron de 1601 habitantes. Un resumen de la población de Acobamba para el año 2019 se muestra en la tabla 23.

**Tabla 23**

*Población de la ciudad de Acobamba, año 2019*

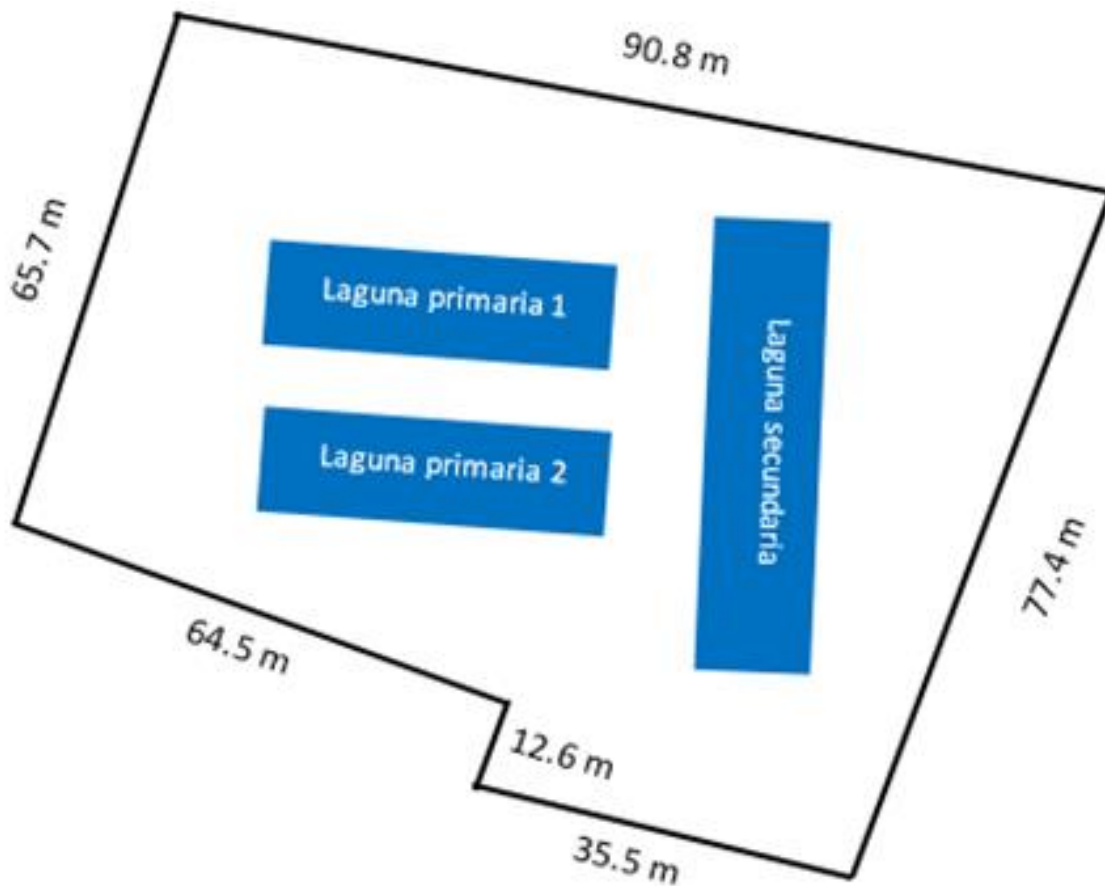
<i>PTAR</i>	<i>Población [habitantes]</i>	<i>Año</i>
<i>PTAR1 alcantarillado Chorrillos</i>	2401	2019
<i>PTAR2 alcantarillado Chorrillos</i>	1573	2019

#### **4.6. Área Donde Están Construidas Las Lagunas**

Para obtener el área donde fueron construida las lagunas de las PTAR1 y PTAR2 se tuvo que medir el perímetro del área de la mencionada planta. La figura 4.11 muestra un esquema de este.

**Figura 26**

*Perímetro y área de la PTAR1 y PTAR2.*



*Área construida para las lagunas,  $A_c = 6930.3 \text{ m}^2$*

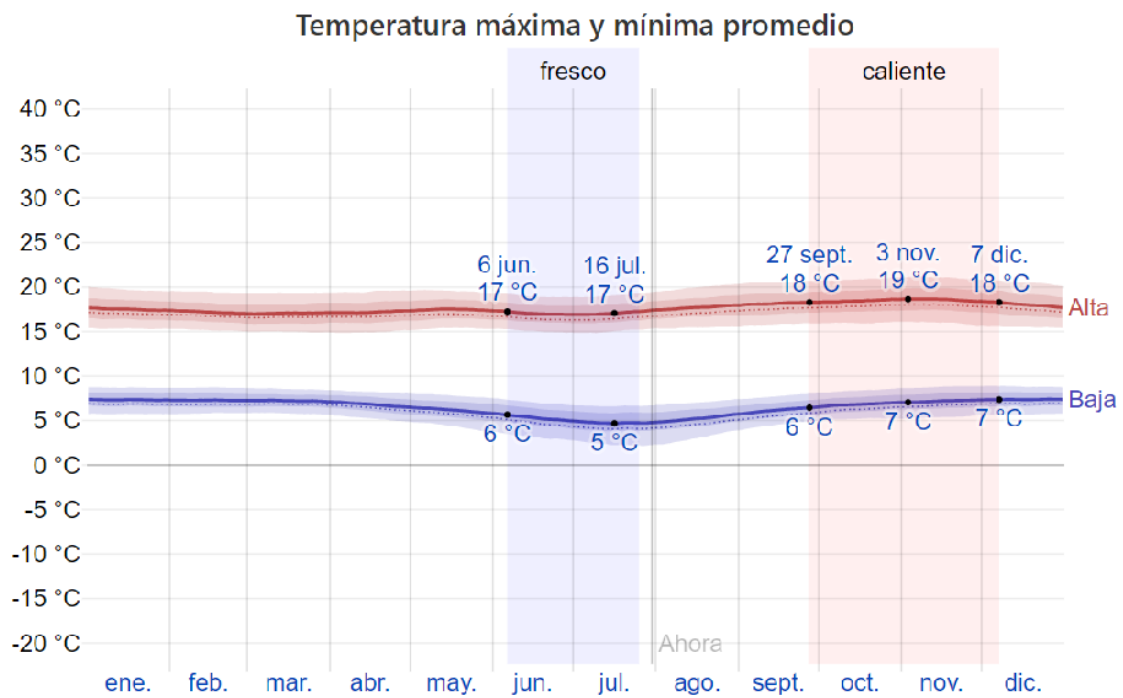
#### **4.7. Parámetros Climáticos Y Topográfico De La Ciudad De Acobamba**

##### **4.7.1. Temperatura**

La temporada de temperaturas templadas en la ciudad de Acobamba se presenta por el espacio de casi 2,4 meses, del 27-09 al 7-12, y según información del SENAMHI la temperatura de 18 °C es la máxima promedio diario. La temporada fría se presenta por 1,6 meses, del 6-06 al 25-07, y 17 °C fue la temperatura máxima promedio de la estación mencionada. (SENAMHI, 2018)

**Figura 27**

*Línea roja = temperaturas máximas. Línea azul = temperaturas mínimas promedio diario.*



*Fuente: (SENAMHI, 2018)*

De la figura 4.12, podemos tomar 7 °C como temperatura mínima y 18 °C como temperatura máxima para la ciudad de Acobamba, datos muy importantes para la evaluación técnica y para los diseños de las unidades de tratamiento del agua residual en las cuales se utiliza microorganismos.

#### **4.7.2. Precipitación**

**Figura 28**

*Precipitación promedio en la ciudad de Acobamba.*



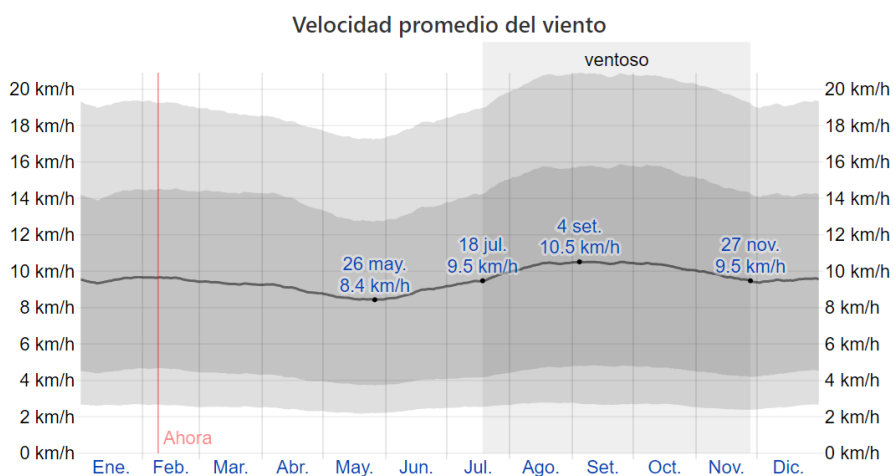
*Fuente: (SENAMHI, 2018)*

En meteorología 1 mm de líquido o una lluvia o precipitación de 1 mm es un día mojado. En la figura 4.13 se puede observar los meses de lluvia y estío. (SENAMHI, 2018). Entre los días se considera los que presentan solamente lluvia, nieve o una combinación de estos y en base al análisis anterior solamente vamos a considerar a la lluvia como precipitación. (SENAMHI, 2018)

#### 4.7.3. Viento

**Figura 29**

*Vientos promedio en la ciudad de Acobamba.*



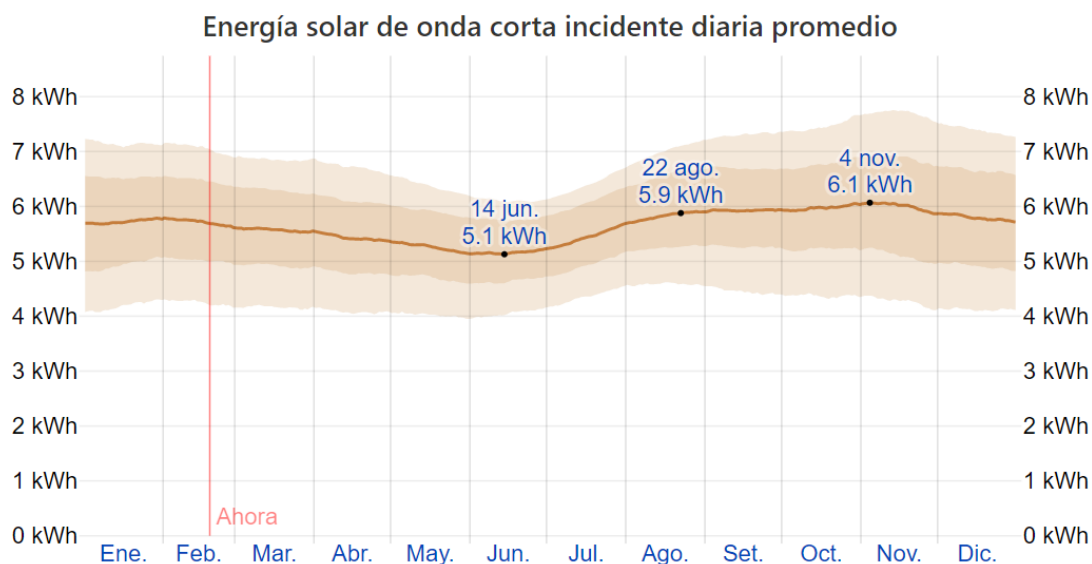
*Fuente: (SENAMHI, 2018)*

La velocidad promedio y dirección del viento medido a 10 m por encima del suelo, está representada en la figura 4.14 por el área ancha de color gris oscuro. SENAMHI informa que las velocidades del viento promedio en Acobamba varían levemente según las estaciones del año. La dirección del viento que predomina en Acobamba es del norte alcanzando una velocidad máxima de 9,5 km/h. (SENAMHI, 2018)

#### 4.7.4. Energía Solar

**Figura 30**

*Energía solar sobre la ciudad de Acobamba.*



*Fuente: (SENAMHI, 2018)*

El sol envía energía electromagnética por radiación, la radiación incidente diario UV de poca energía y luz visible, llega a toda la superficie de la Tierra. La figura 4.15 del SENAMHI indica la variación de la energía solar de onda corta/m<sup>2</sup> que llega a Acobamba con un promedio de 5,6 kW-h.

#### 4.7.5. Topografía

El estudio de SENAMHI presenta que la topografía de Acobamba en un radio 3 km presenta variaciones grandes de altitudes de 984 m y una altitud promedio de 6345 msnm. (SENAMHI, 2018)

Si observamos a la ciudad de Acobamba con un radio de 3 km, el área del círculo estaría cubierta por 59 % de arbustos y tierra de cultivo por un 29 %, si aumentamos el radio a 16 km el área estaría cubierta por 41 % de arbustos y pradera por un 25% y si aumentamos más el radio a 80 km, el área estaría cubierta por 35 % de arbustos y por 24 % de pradera. (SENAMHI, 2018)

#### **4.8. Análisis Para Validar O Realizar Un Rediseño O Un Nuevo Diseño Con Otra Tecnología Para La PTAR De Acobamba**

##### **4.8.1. *Lagunas Primarias Y Secundaria***

###### **Altitud**

La ciudad de Acobamba se encuentra a una altura de 3350 msnm según la sección 4.5.3 de la investigación y las plantas de tratamiento están construidas a una altura de 3332 msnm, a esta altura la temperatura mínima promedio ambiental es 7 °C y 18 °C como temperatura máxima según la sección 4.5.1.

Como las lagunas operan a cielo abierto estas temperaturas influyen en el proceso de las lagunas facultativas bajando el rendimiento y necesitando más área para la laguna secundaria a pesar de que el viento es favorable en cuanto a olores, energía solar que es fuerte y las precipitaciones con lluvias. Si se tiene en cuenta la temperatura promedio ambiental de Acobamba de 15 °C, el desarrollo de los microorganismos es bastante limitado sobre todo en el proceso aerobio (laguna secundaria) que necesita una temperatura ambiental mayor de 18 °C y una temperatura mayor de 20 °C para el agua residual (Tabla 21, sección 4.4.3).

###### **Área**

Determinación del área que necesitan ( $A_n$ ) las lagunas para el año 2019:

De la evaluación técnica de las lagunas de la PTAR de Acobamba sección 4.4.3, la relación de requerimiento de área es de 7 a 10 m<sup>2</sup>/hab, y según Black 4 m<sup>2</sup>/hab, para el

cálculo tomaremos  $4 \text{ m}^2/\text{hab}$ . De la sección 4.6 la población de la ciudad de Acobamba con alcantarillado para la PTAR1 es 2401 habitantes, entonces el área que se necesita es ( $A_n$ ),

$$A_n = 4 \frac{\text{m}^2}{\text{hab}} 2401 \text{ hab} = 9604 \text{ m}^2$$

Como se cuenta con solamente  $6930.3 \text{ m}^2$  de área disponible y para el proceso de tratamiento del agua municipal de Acobamba en la PTAR1 se necesitan  $9604 \text{ m}^2$ , este cálculo indica que existe una diferencia de  $2673,7 \text{ m}^2$ , metros cuadrados que se necesita para un buen diseño en cuanto a tamaño y funcionamiento de las lagunas es por ello que para este caso no es posible mejorar el sistema, tampoco rediseñar las lagunas para el año 2019.

Entonces se concluye que el área que se tiene para la PTAR1 es menor de la que se necesita, un rediseño para las lagunas para el año 2019 no sería posible porque los tamaños de las lagunas son muy pequeñas, entonces se debe buscar otra tecnología que necesiten menor área para el tratamiento primario como los sedimentadores Imhoff y tratamiento secundario con reactores UASB.

### **Temperatura**

Además de los datos de diseño que se tiene en la tabla 21 de la sección 4.4.3 sobre temperatura para el proceso de operación con lagunas primaria y secundaria, analizaremos las recomendaciones de otros autores:

La experiencia de Romero 2008, en el PTAR con tratamientos primarios y secundarios en lagunas de estabilización se debe considerar los factores siguientes para el diseño de lagunas: temperatura ambiental y del agua, pH del agua, sedimentación de lodos, TR, infiltración- evaporación, STS en el agua, geometría de la laguna, profundidad, velocidad y dirección del viento, radiación solar, fotosíntesis, nutrientes, DBO, oxígeno disuelto. Además, explica que la actividad bacteriana, a temperaturas menores que la óptima de  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  aumenta con el incremento de temperatura y se retarda a temperaturas mayores.



En general la velocidad de crecimiento microbial se duplica para incrementos de 10 °C en temperatura, hasta una temperatura máxima de 35 a 38 °C. Como Acobamba tiene una temperatura ambiental media de 15 °C y una temperatura de 18 °C para las aguas residuales, entonces las bacterias van a tener una baja velocidad de crecimiento por lo tanto el proceso va a ser deficiente.

La experiencia de Brack 2009, recomienda no utilizar lagunas, cuando consigue de un terreno grande para su construcción, las aguas residuales municipales contienen altas concentraciones de contaminantes, es necesario utilizar una laguna para el tratamiento primario, la altitud es mayor a los 3000 msnm y la temperatura promedio del agua es inferior a 15 °C.

### **Profundidad**

Muchos investigadores además de Lozano, Brack y la norma técnica OS-090, indican que la profundidad de las lagunas anaerobias debe tener como mínimo 3 m, la laguna primaria de la PTAR1 solamente tiene 1 m y en cuanto a la laguna secundaria la profundidad mínima debe ser 1,5 m, la PTAR1 solo tiene 1 m., datos que nos indica a decir que el diseño estuvo mal y que el proceso de tratamiento del agua se presentará con deficiencias.

### **Conclusión**

Del estudio realizado se concluye realizar otro diseño con otra tecnología para la PTAR1.

#### ***4.8.2. Sedimentador Imhoff Y Lecho De Secado De La PTAR2***

La evaluación realizada para PTAR2, indica que la estructura y estado físico del sedimentador Imhoff y la cámara de secado están en condiciones regulares, se puede decidir que debemos realizar un nuevo rediseño para el horizonte del proyecto y comprobar con los resultados que el tanque Imhoff se queda o se rediseña y construye uno nuevo.

#### **4.9. Conclusión De La Evaluación De La PTAR De Acobamba**

De los análisis de la evaluación de las etapas de tratamiento de la PTAR1 podemos concluir que el sistema de rejas y desarenador están en malas condiciones física y estructuralmente, lo mismo pasa con las lagunas primarias y laguna secundaria que se encuentran también en malas condiciones físicas y estructuralmente y otros parámetros de diseño, además las lagunas fueron construidas con un mal diseño, principalmente la profundidad que es muy pequeña.

De los análisis de la evaluación de las etapas de tratamiento de la PTAR2 podemos concluir que el sistema de rejas y desarenador se encuentran en condiciones regulares física y estructuralmente, lo mismo pasa con el sedimentador Imhoff y el lecho de secado que se encuentran también en condiciones regulares físicas y estructuralmente, por lo que se decide recomendar su conservación previo un rediseño para la nueva PTAR de Acobamba, realizando el reparo de su construcción y mantenimiento adecuadamente con sus respectivos accesorios.

Luego de la evaluación se llegó a las siguientes conclusiones:

Realizar un nuevo diseño para la PTAR1 porque está bastante deteriorada, a partir de datos actuales y proyectando el diseño en el horizonte del proyecto.

1. Realizar un rediseño a la PTAR2, a partir de datos actuales y rediseño en el horizonte del proyecto y concluir si la planta podrá operar sin problemas con algunas existentes.

#### **4.10. Definición del horizonte del proyecto**

La norma técnica peruana OS-090 en el artículo 4.3.9, indica que el horizonte de un proyecto de diseño para el tratamiento de aguas negras municipales debe estar comprendido entre 20 y 30 años, entonces en base a la norma, definimos 30 años para el horizonte del proyecto.

Horizonte del proyecto: 30 años

Año base: 2019

Año del horizonte del proyecto: 2049

Para realizar un rediseño y un nuevo diseño se debe determinar para las condiciones actuales y otras para el futuro los siguientes parámetros según el (D.S. 022-2009-MTC, 2009: población total que usará el sistema; caudales medios domésticos, caudal de infiltración; caudal máximo horario; DBO per cápita, STS y concentraciones de contaminantes con determinaciones de la DQO, STS y coliformes totales, fecales y termo tolerantes del agua residual.

#### 4.11. Población De Acobamba, En El Horizonte Del Proyecto

Utilizando la ecuación [3.1], calculamos la población para el año 2049, cuyas aguas residuales van a la PTAR1

$$P_f = P_{2049}$$

$$P_a = P_{2019} = 2401 \text{ hab.}$$

$$r = 0,0117$$

$$t = 30 \text{ años}$$

$$P_f = P_a(1 + r)^t \text{ (ecuación 3.1)}$$

$$P_{2049} = P_{2019}(1 + 0,0117)^{30} = 2401(1 + 0,0117)^{30} = \mathbf{3404 \text{ hab.}}$$

#### 4.12. Caudales De Diseño, En El Horizonte Del Proyecto

El artículo 5.1.1 de la norma OS-090, indica que, para ciudades con desagües con alcantarillado, el diseño de la PTAR se calcula con el caudal de diseño que es función del caudal máximo horario sin el aporte de lluvias, más el caudal de infiltración, más el caudal errado y más el caudal de concentrados.

#### 4.12.1. Caudal de la PTARI, Año 2049

Entonces con la ecuación [3.6], planta en la sección 3.7.9 determinamos el caudal de diseño:

$$Q_d = Q_{mh} + Q_i + Q_e + Q_c$$

El caudal máximo horario depende del caudal medio  $Q_{med}$ , utilizando la ecuación [3.4] determinamos el caudal medio;

$$Q_{med} = \frac{CPDot}{86400} \text{ (ecuación 3.4)}$$

$$Q_{med} = \text{caudal medio, [L/s]}$$

$$C = 0,8 \text{ (sección 3.7.1)}$$

$$P = P_{2049} = 3404 \text{ hab}$$

$$Dot = 150 \text{ L/hab día, (tabla 3.2)}$$

$$Q_{med} = \frac{CPDot}{86400} = \frac{0,8 \times 3404 \times 150}{86400} = 4,73 \frac{L}{s}$$

Utilizando la ecuación [3.5], determinamos el caudal máximo horario:

$$Q_{mh} = kQ_{med} \text{ (ecuación 3.5)}$$

$$Q_{mh} = \text{caudal máximo horario, [L/s]}$$

$$k = 1,8 \text{ (sección 3.5.7)}$$

$$Q_{med} = \text{caudal medio} = 4,73 \text{ [L/s]}$$

$$Q_{mh} = kQ_{med} = 1,8 \times 4,73 = 8,51 \frac{L}{s}$$

Con la ecuación [3.2], determinamos el caudal de infiltración,

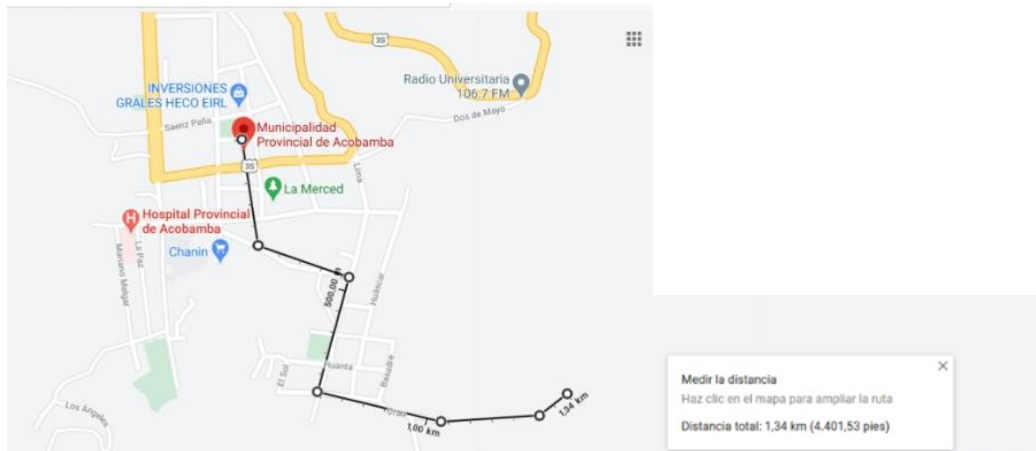
$$Q_i = V_i L \text{ (ecuación 3.2)}$$

$$V_1 = 0,10 \text{ L/s km, tabla 3.1}$$

$$L = 1,34 \text{ km (figura 5.1)}$$

**Figura 31**

*Longitud del alcantarillado desde la municipalidad de Acobamba a la PTAR.*



De la Figura 31, la longitud del alcantarillado es 1,34 km.

$$Q_i = V_i L = 0,10 \frac{L}{s \text{ km}} 1,34 \text{ km} = 0,13 \frac{L}{s}$$

Según la sección 3.7.3 el caudal de flujos errados es el 5 % del  $Q_{mh}$ , entonces,

$$Q_e = 0,05 \times 8,51 = 0,43 \frac{L}{s}$$

Para este caso el caudal centrado en un lugar de las redes:  $Q_c = 0$

Finalmente determinamos el caudal de diseño para la PTAR1 año 2049,  $Q_{d1}$ :

$$Q_{mh} = 8,51 \text{ L/s}$$

$$Q_i = 0,13 \text{ L/s}$$

$$Q_e = 0,43 \text{ L/s}$$

$$Q_c = 0$$

$$Q_{d1} = Q_{mh} + Q_i + Q_e + Q_c = 8,51 + 0,13 + 0,43 + 0 = 9,07 \frac{L}{s}$$

$$= 0,00907 \frac{m^3}{s}$$

#### **4.12.2. Caudal de la PTAR2, año 2049**

Siguiendo el mismo procedimiento para determinar el caudal para la PTAR1 en el horizonte del proyecto, la tabla 24 presenta el resultado para la PTAR2.

**Tabla 24***Caudal futuro para la PTAR2, año 2049*

<i>Parámetro</i>	<i>Resultado de cálculos</i>
<i>Población año 2019</i>	1573 hab
<i>Población año 2049</i>	2230 hab
<i>Caudal medio</i>	3,10 L/s
$Q_{mh}$	5,58 L/s
<i>Caudal de infiltración</i>	0,13 L/s
<i>Caudal de flujos errados</i>	0,28 L/s
<i>Caudal en redes</i>	0
<i>Caudal de diseño, <math>Q_{d2}</math></i>	$Q_{d2} = 5,99 \text{ L/s}$ ó $0,00599 \text{ m}^3/\text{s}$

#### 4.13. Resultado De La Caracterización Del Agua Residual De Acobamba

La tabla 26, muestra los hallazgos de los análisis de los parámetros fisicoquímico y biológico de la caracterización del agua residual de Acobamba durante el año 2019.

Cada valor de la tabla es el resultado del análisis realizado a cada mezcla compuesta, obtenida a partir de las 24 muestras tomadas en las fechas señaladas en la tabla.

En cuanto a los resultados del agua residual a ser tratada en la PTAR de Acobamba presentada en la **tabla 4.7**, esta presenta un pH promedio de 7,1 unidades de pH, valor cercano a muchas PTAR de la región. La temperatura promedio de 18,6 °C del agua residual determina la velocidad del proceso de tratamiento biológico y se puede afirmar que se puede seleccionar sedimentadores Imhoff para el tratamiento primario (proceso anaerobio), reactor UASB (proceso anaerobio) y filtro percolador (proceso aerobio) para el segundo tratamiento y una laguna de maduración (proceso aerobio) para el tercer tratamiento.

**Tabla 25***Resultado de los análisis físico, químico y biológico del agua residual de Acobamba*

Parámetro	Resultado de los análisis según las fechas de las muestras tomadas					
	14-01-18	12-03-18	15-05-18	22-08-18	16-08-18	Promedio
pH, [unidades de pH]	6,9	7,5	7,0	7,3	6,8	7,1
Temperatura agua residual, [°C]	18,2	16,9	16,9	19,7	21,3	18,6
Temperatura ambiental, [°C]	15,7	15,4	14,4	16,8	15,1	15,5
DQO, [mg/L]	502,5	548,6	489,2	503,4	542,8	517,3
DBO <sub>5</sub> , [mg/L]	243,7	253,1	249,1	237,5	246,7	246,2
STS, [mg/L]	330,7	347,9	299,6	340,6	332,4	330,3
Coliformes fecales [mg/100 mL]	5,4x10 <sup>6</sup>	3,6x10 <sup>6</sup>	1,7x10 <sup>6</sup>	7,9x10 <sup>5</sup>	9,6x10 <sup>5</sup>	2,49x10 <sup>6</sup>

Una sustancia biodegradable tiene una relación DBO<sub>5</sub>/COD de 0,4 a 0,5. Los procesos biológicos pueden emplearse en las operaciones de aguas residuales de Acobamba porque la relación DBO/COD es de 0,48, es decir, 246,2/517,3.

La temperatura de las aguas residuales desempeña un papel crucial en diversos aspectos, como la eficacia de los procesos biológicos, las velocidades de reacción, las tasas de transferencia de masa de sustancias y la eficiencia de la operación de separación sólido-líquido, según CONAGUA 2015a, esto no es problema para el PTAR de Acobamba porque a la temperatura promedio del agua residual de Acobamba de 18,6 °C permite trabajar a los sistemas biológicos satisfactoriamente, a pesar que la temperatura ambiental es de 15,5 °C, solamente que se va a necesitar más superficie y volumen para la unidad de tratamiento. (Salazar, 2009). El sentido del viento dominante en la ciudad de Acobamba es del norte con una velocidad de 9,5 km/h, ésta es favorable para los procesos de tratamientos y la ubicación de la PTAR.

La temperatura típica de las aguas residuales es de 18,6 °C, permite usar un reactor UASB porque este necesita para funcionamiento una temperatura de mayor de 18 °C. (López, 2018)

#### 4.14. Propuesta Para La Nueva PTAR De Acobamba

Una vez evaluada la PTAR de Acobamba, determinado el horizonte del proyecto, determinados los caudales y caracterizadas las aguas residuales, se desarrolla un plan alternativo para una PTAR2 rediseñada y un nuevo diseño para la PTAR1. La Tabla 26 muestra el número total de unidades adicionales que conformarían las fases de la futura planta de tratamiento.

**Tabla 26**

*Propuesta de diseño, rediseño para la PTAR 1 y PTAR2 de Acobamba*

TRATAMIENTO	PTAR1	PTAR2
Pre tratamiento	Diseño del canal de entrada.	Rediseño del canal de entrada, existente.
	Diseño de la unidad de desbaste.	Rediseño de la unidad de desbaste, existente.
	Diseño del desarenador.	Rediseño del desarenador Existente.
Tratamiento primario	Diseño del tanque Imhoff.	Rediseño del tanque Imhoff, existente.
	Diseño de la cámara de secado.	Rediseño de la cámara de secado, existente.
Tratamiento secundario	Diseño del reactor UASB.	Diseño del filtro percolador.
Tratamiento terciario	Diseño de la unidad de desinfección por cloro.	Diseño de la unidad de desinfección por cloro.



## Capítulo V

### Resultados Y Discusiones Del Nuevo Diseño De La PTAR1 De Acobamba

Del estudio de la evaluación de la PTAR1 de Acobamba se llegó a la conclusión que esta planta está totalmente deteriorada, y que se debe realizar un nuevo diseño. A continuación, se presenta las unidades de la nueva planta:

#### Pre tratamiento

- Diseño de la unidad de entrada.
- Diseño de la unidad de desbaste.
- Diseño del desarenador.

#### Tratamiento primario

- Diseño del tanque Imhoff.
- Diseño de la cámara de secado.

#### Tratamiento secundario

- Diseño del reactor UASB.
- Tratamiento terciario

Propuesta de diseño de la unidad de desinfección por cloro.

### 5.1. Diámetro De Tubería Para La Conexión Entre Unidades

Para establecer el tamaño del tubo por el que fluirá el agua residual entre las unidades de la PTAR, significa que se debe calcular el diámetro interno de la misma. Determinaremos el diámetro de la tubería que va a unir el canal de entrada con la unidad de desbaste, para el cálculo de la velocidad de flujo se hará con las ecuaciones para de orificios sumergidos. La ecuación [5.1] se utilizará para determinar la velocidad del fluido de cresta ancha:

$$v = C_v \sqrt{2gH} \quad [5.1]$$

$C_v$  = coeficiente para orificios sumergido de cresta ancha = 0,82

H = lámina de agua sobre el orificio = 0,2 m

$$g = \text{aceleración de la gravedad} = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$v = 0,82 \sqrt{2 \times 9,81 m/s^2 \times 0,2 m} = 1,62 \frac{m}{s}$$

El caudal es igual la velocidad por el área de flujo, entonces el área es,

$$A_c = \frac{Q_{d1}}{v} = \frac{0,00907 m^3/s}{1,62 m/s} = 0,00559877 m^2 \quad [5.2]$$

Área de flujo de una tubería,  $A_c$ ,

$$A_c = \frac{\pi}{4} D^2 \quad [5.3]$$

Diámetro interno de la tubería,  $D$

$$D = \sqrt{\frac{4A_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,00559877}{\pi}} = 0,0845 m$$

$$D = 0,0845 m = 8,45 cm = 3,33 pulg$$

Por consiguiente, la tubería que unirá a las unidades de la PTAR1 por donde fluirá el agua residual tratada será de **4 pulgadas** de concreto.

## 5.2. Sistema De Pre Tratamiento PTAR1

### 5.2.1. Dimensionamiento Del Canal De Entrada

Los datos de diseño que se usan a continuación fueron tomados de la tabla 8. El agua residual entra a la PTAR por un canal rectangular con pendiente de 2,5%, construido con concreto armado que tiene un coeficiente de rugosidad absoluta ( $\varepsilon$ ) de 0,013. Se trabajó con un canal de 0,40 m de ancho.

El canal rectangular debe construirse para un caudal medio con una velocidad de las aguas residuales superior a 0,6 m/s, y para un caudal máximo horario con una velocidad inferior a 2,5 m/s, de acuerdo con los requisitos de diseño (Hernández et. At., 2004).

Comprobación de la velocidad para el caudal de diseño,  $v_{d1}$

Para verificar la velocidad se emplea la ecuación de Manning:

$$k = \frac{Q_{d1}\epsilon}{b^{8/3}S^{1/2}} \quad [5.4]$$

$k$  = Factor de Manning para el tirante del agua

$Q_{d1}$  = Caudal = 0,00907 m<sup>3</sup>/s (sección 5.3.1)

$\epsilon$  = Factor de rugosidad absoluta de Manning = 0,013

$b$  = Ancho del canal = 0,4 m (Tabla 8)

$S$  = Pendiente del canal = 0,025 (Tabla 8)

$$k = \frac{0,00907 \times 0,013}{0,4^{8/3} 0,025^{1/2}} = 0,00859$$

Tirante del agua,  $d$

Tirante del agua es la profundidad del fluido que está fluyendo, es la longitud vertical desde la parte más baja del canal a la superficie libre del agua.

$$\frac{d}{b} = 1,6624k^{0,74232} \quad [5.5]$$

$$d = 1,6624 \times 0,00859^{0,74232} \times 0,40 \text{ m} = 0,019 \text{ m}$$

Con la ecuación de Manning, ecuación [5.6] y el tirante de agua se comprueba la velocidad:

$$v_{d1} = \frac{1}{\epsilon} R^{2/3} S^{1/2} \quad [5.6]$$

$$R = \text{radio hidráulico} = \frac{b d}{b + 2d}$$

$$v_{d1} = \frac{1}{0,013} \left( \frac{(0,40)(0,019)}{0,40 + 2(0,019)} \right)^{2/3} (0,025)^{1/2} = 0,82 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Comparando el valor obtenido de 0,82 m/s con los datos de diseño de la **tabla 8**, (velocidad de diseño menor que 3 m/s), la velocidad hallada se encuentra dentro de los valores recomendados de diseño. También por los valores recomendados por la **tabla 8**, se debe utilizar por seguridad una altura  $\geq 0,40$  m. La tabla 27 simplifica las dimensiones para el canal.

**Tabla 27**

*Resumen de las dimensiones calculas para el canal de entrada*

<b>Variables</b>	<b>Valores y unidades</b>
Ancho del canal	0,40 m
Tirante del agua a caudal máximo	0,02 m
Altura del canal	0,40 m
Longitud del canal (Dato de diseño)	2,00 m

### **5.2.2. Dimensionamiento De La Unidad De Desbaste**

Los parámetros de diseño para las rejillas gruesas se obtuvieron de la **Tabla 9**. Estos parámetros incluyen rejillas rectangulares de 8 mm de grosor, con una anchura de 30 mm (a), una separación entre barras de 25 mm (e) y una inclinación de 45°. Además, las rejillas se manipulan manualmente.

**Figura 32**

*Unidad de desbaste*



Ancho del canal donde se colocan rejas,  $b$

$$b = \left(\frac{c}{e} - 1\right)(e + a) + e \quad [5.7]$$

$c$  = ancho del canal de entrada recomendado = 30 cm

$$b = \left(\frac{30 \text{ cm}}{2,5 \text{ cm}} - 1\right)(2,5 \text{ cm} + 3 \text{ cm}) + 2,5 \text{ cm} = 63 \text{ cm}$$

Número de barras (n) gruesas,  $N_g$

$$N_g = \frac{b - e}{a + e} = \frac{63 \text{ cm} - 2,5 \text{ cm}}{3 \text{ cm} + 2,5 \text{ cm}} = 11 \text{ barras}$$

Número de barras delgadas,  $N_d$

15 mm de ancho =  $a$ , espaciamento entre barras 15 mm =  $e$

$$N_d = \frac{b - e}{a + e} = \frac{63 - 1,5}{1,5 + 1,5} = 20,5 = 21 \text{ barras}$$

Velocidad para caudal de diseño,  $v$

comprobación de la velocidad

$$k = \frac{Q_{d1} \varepsilon}{b^{8/3} S^{1/2}} \quad [5.8]$$

$$k = \frac{Q_{d1} \varepsilon}{b^{8/3} S^{1/2}} = \frac{0,00907 \times 0,013}{0,63^{8/3} 0,025^{1/2}} = 0,0026$$

Tirante del agua

$$\frac{d}{b} = 1,6624 k^{0,74232}$$

$$d = 1,6624 \times 0,0026^{0,74232} \times 0,63 = 0,013$$

Aplicando la ecuación [5.6]

$$v = \frac{1}{0,013} \left( \frac{(0,63)(0,013)}{0,63 + 2(0,013)} \right)^{2/3} (0,025)^{1/2} = 0,65 \frac{m}{s}$$

La velocidad a través de las rejillas es de 0,6 a 0,75 m/s; el valor obtenido de 0,65 m/s está dentro de las características de diseño.

Pérdida de energía por fricción a través de las rejillas,  $\sum F_f$

Pérdida de energía por fricción mediante las rejillas a caudal máximo horario,

$$\sum F_f = \beta \left( \frac{a}{s} \right)^{4/3} H_v \text{sen} \theta \quad [5.9]$$

$\beta = \text{coeficiente de Kirshmer} = 2,42$  (Tabla 3.8)

$$H_v = \text{carga de velocidad} = \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \text{velocidad a caudal diseño, } \frac{m}{s}$$

$$g = \text{aceleración de la gravedad, } 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$\sum F_f = 2,42 \left( \frac{0,3}{0,025} \right)^{4/3} \frac{0,65^2}{2 \times 9,81} \text{sen}(45) = 1,01 \text{ m. c. a.}$$

Área de flujo por las rejillas, A

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,00907}{0,65} = 0,014 \text{ m}^2$$

Tirante del agua, d

$$d = \frac{A}{b} = \frac{0,014 \text{ m}^2}{0,63 \text{ m}} = 0,022 \text{ m}$$

Para este caso aplicando el margen de seguridad es 0,35 m.

**Altura de las rejillas:**  $H = 0,35 + 0,022 = 0,372 \text{ m}$

Longitud de las rejillas, L

$$L = \frac{H}{\text{sen}(45)} = \frac{0,372 \text{ m}}{\text{sen}(45)} = 0,53 \text{ m}$$

Con un margen de seguridad de 0,4 m, la longitud de la reja es  $L=0,93$  m.

**Tabla 28**

*Resumen de las dimensiones calculadas para la unidad de desbaste*

DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN
ANCHO DE LAS REJAS	0,03 m
LONGITUD DE LAS REJAS	0,93 m
SEPARACIÓN ENTRE REJAS GRUESAS	0,025 m
NÚMERO DE REJAS GRUESAS	11 rejas
NÚMERO DE REJAS DELGADAS	21 rejas
ANCHO DEL CANAL DE REJAS	0,63 m
ALTURA DEL CANAL DE REJAS	0,372 m

### 5.2.3. Dimensionamiento del desarenador

La construcción del desarenador en las PTAR es obligatoria, sobre todo cuando hay unidades como sedimentadores y reactores en los tratamientos primarios y secundarios. El desarenador es capaz de eliminar granos de arena de 0,20 mm de diámetro o más.

En la investigación se diseña un desarenador de flujo horizontal, que consta de dos canales de forma rectangular con flujo horizontal del agua calculado con el  $Q_{mh}$  y con velocidad 0,30 m/s de acuerdo con la tabla 9 (OS-090, 2009)

**Figura 33**

Área del desarenador,  $A$ .



El área se determinar mediante la ecuación [5.10]

$$A = \frac{Q_d}{v} \quad [5.10]$$

$$A = \frac{Q_d}{v} = \frac{0,00907 \text{ m}^3/\text{s}}{0,30 \text{ m/s}} = 0,030023 \text{ m}^2$$

Como el desarenador está formado por canales rectangulares tomaremos como ancho de la base  $b = 0,40 \text{ m}$ .

Tirante de agua,  $h$

$$h = \frac{A}{b} = \frac{0,030023 \text{ m}^2}{0,40 \text{ m}} = 0,075 \text{ m}$$

Por seguridad se toma:  $h = 0,10 \text{ m}$

**Comprobación:** el manual de URALITA recomienda  $1 < \frac{b}{h} < 5$ , (Hernández, 2000)

$$\frac{b}{h} = \frac{0,40}{0,10} = 4$$



El valor de 4 está dentro de los límites que presenta el manual de depuración de aguas URALITA. (Hernández, 2000)

Altura del canal

Como el tirante de agua es 0,10 m y según los criterios de la tabla 10 se toma el valor de 0,40 m como altura del canal.

Volumen de agua que pasa por el desarenador, V

Tomando como referencia la tabla 10, tomamos 100 segundos como tiempo de retención hidráulico, (TRH). La limpieza manual se hace cada 15 días. Los desarenadores operarán en forma alternada. Como el caudal es igual al volumen entre el tiempo, entonces el volumen es,

$$V = Q_{d1} t_{limpieza} = 0,00907 \frac{m^3}{s} 15 d \frac{24h}{1 d} \frac{60 min}{1h} \frac{60s}{1 min} = 11754,72 m^3$$

Cantidad de arena sedimentada en el desarenador

Según los datos recogidos, la cantidad de arena recogida en un desarenador para caudales pequeños puede oscilar entre 7,5 y 90 L de arena por 1000 m<sup>3</sup> de aguas residuales. (OMS, 1981) Para el diseño tomaremos 40 L por cada 1000 m<sup>3</sup> y la limpieza manual se realizará cada 15 días.

$$\begin{aligned} \text{Volumen de arena} &= V \times \text{cantidad de arena} = 11754,72 m^3 \frac{40L}{1000m^3} \frac{1 m^3}{1000L} \\ &= 0,47m^3 \text{ arena} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de arena} = 0,50 m^3 \text{ de arena}$$

Longitud del desarenador,  $L_{desarenador}$

$$L_{desarenador} = \frac{\text{volumen}_{desarenador}}{\text{altura}_{desarenador} \text{ ancho}_{desarenador}} = \frac{0,5 m^3}{0,4 m \times 0,4 m} = 3,13 m$$

La **tabla** 10 recomienda para el desarenador que a cada lado de la entrada y salida se deje, aunque sea una longitud igual a 25 % de la longitud total del desarenador. (OS-090, 2009)

Longitud adicional para cada lado del desarenador:  $3,13 \text{ m} \times 0,25 = 0,78 \text{ m}$

$$L_{desareandor} = 3,13 + 0,78 + 0,78 = 4,69 \text{ m}$$

Por factor seguridad, finalmente el desarenador tendrá una longitud de 5 m

$$L_{desareandor} = 5 \text{ m}$$

### Comprobación

La hipótesis de que la relación entre la longitud del flujo de agua y su altura debe ser al menos 25 debe verificarse para  $Q_{mh}$  de acuerdo con la tabla 10 (OS-090, 2009)

$$\frac{L_{desarenador}}{h_{tirante \text{ del agua}}} = \frac{5 \text{ m}}{0,1 \text{ m}} = 50$$

Del cálculo anterior se comprueba que la relación entre el largo y altura del agua que fluye por el desarenador es 50, valor superior a 25 que indica norma OS-090.

Comprobación para el tiempo de retención hidráulico, TRH

$$V_{\text{útil}} = L_{desareandor} h_{desareandor} b_{desareandor} = 5 \times 0,4 \times 0,4 = 0,80 \text{ m}^3$$

Determinación del tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{V_{\text{útil}}}{Q_{d1}} = \frac{0,8 \text{ m}^3}{0,00907 \text{ m}^3/\text{s}} = 88,20 \text{ s}$$

Según la norma OS-090 el tiempo de retención hidráulica (TRH) debe estar entre 80 a 300 s a caudal máximo horario, como el TRH de la investigación es 88,2 s , entonces se verifica que está dentro de los límites.

**Tabla 29***Resumen de las dimensiones calculadas para el desarenador*

<b>Descripción</b>	<b>Dimensión</b>
Ancho del desarenador	0,40 m
Altura del desarenador	0,40 m
Tirante del agua	0,10 m
Longitud del desarenador	5,00 m
TRH	88,20 s

**5.3. Sistema De Tratamiento Primario PTAR1****5.3.1. Tamaño del Tanque IMHOFF****Diseño del sedimentador*****Volumen de la cámara de sedimentación,  $V_s$*** 

Dato de entrada

Caudal de diseño,

$$Q_{d1} = 0,00907 \frac{m^3}{s} = 32,65 \frac{m^3}{h} = 783,60 \frac{m^3}{d}$$

***Área del sedimentador,***

$$A_s = \frac{Q_d}{C_s} = \frac{32,65 m^3/h}{1 m^3/m^2 h} = 32,65 m^2 \quad [5.11]$$

$$C_s = \text{carga superficial} = 1 \frac{m^3}{m^2 h} \quad [\text{Tabla 3.10}]$$

***Volumen de la cámara de sedimentación***

$$V_s = Q_d TRH = \frac{32,65 m^3}{h} 2h = 65,3 m^3 \quad [5.12]$$

TRH es el tiempo de retención hidráulica, 2 h. (Tabla 12)

**Ancho del sedimentador,  $W$** 

Según CONAGUA, 2015a, la relación del largo y ancho para el sedimentador de un tanque Imhoff varía de 3:1 a 5:1, tomando la relación de 4:1, para un sedimentador rectangular.

$$A_s = 4W \times W = 4W^2$$

$$W = \sqrt{\frac{A_s}{4}} \quad [5.13]$$

$$W = \sqrt{\frac{32,65 \text{ m}^2}{4}} = 2,90 \text{ m}$$

**Longitud del sedimentador,  $L$** 

$$L = \frac{A_s}{W} = \frac{32,65 \text{ m}^2}{2,90 \text{ m}} = 11,30 \text{ m} \quad [5.14]$$

**Comprobación**

$$\text{Relacion: } \frac{L}{W} = \frac{11,3}{2,90} = 3,90$$

El resultado de la relación de  $L/W=3,9$  está comprendido dentro los criterios de diseño mencionado por CONAGUA 2015a.

Dimensiones para la altura del sedimentador,

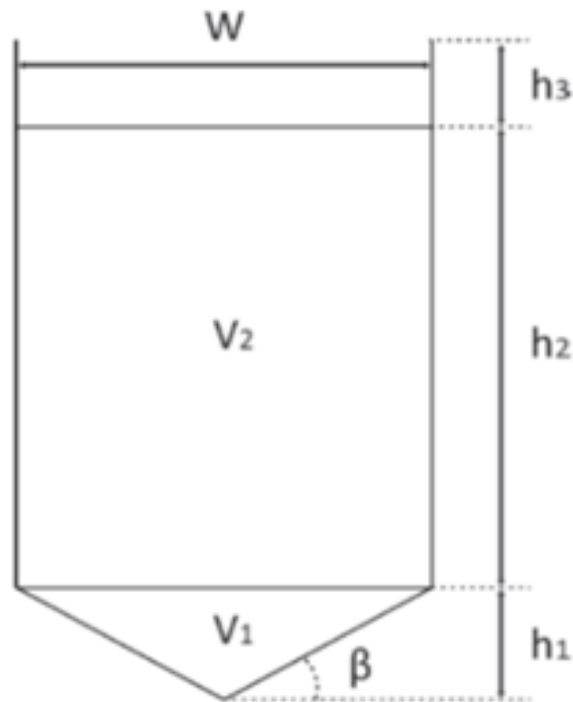
$h_1$  = altura de la pared inclinada

$h_2$  = altura del cuerpo del sedimentador

$h_3$  = altura del borde libre

**Figura 34**

*Esquema para las alturas del sedimentador.*



*Altura de la pared inclinada,  $h_1$*

$$h_1 = \frac{W}{2} \operatorname{tg}(\beta) = \frac{2,90 \text{ m}}{2} \operatorname{tg}(55) = 2,10 \text{ m} \quad [5.15]$$

De la tabla 12, se tomó para el ángulo beta igual a  $55^\circ$

*Volumen del fondo del sedimentador,  $V_1$*

$$V_1 = \frac{W}{2} L h_1 = \frac{2,90 \text{ m}}{2} 11,3 \times 2,1 = 34,41 \text{ m}^3 \quad [5.16]$$

*Altura del cuerpo del sedimentador,  $h_2$*

$$h_2 = \frac{V_s - V_1}{WL} = \frac{65,3 - 34,41}{2,9 \times 11,3} = 0,94 \text{ m} \quad [5.17]$$

El tanque de tratamiento de aguas residuales tendrá un espacio libre de 0,30 m desde la parte superior de la pared del tanque hasta la superficie libre de las aguas residuales tratadas ( $h_3$ ). (Tabla 12)

$$\text{Altura total: } \mathbf{H} = h_1 + h_2 + h_3 = 2,10 + 0,94 + 0,30 = \mathbf{3,34 \text{ m}}$$

Según la OPS, 2005c, la profundidad debe tener el valor entre 2 y 3,5 m (recomendable 3 m), y según la CONAGUA 2015c los valores deben estar comprendidos entre 1,5 a 4, el valor obtenido para la altura total del sedimentador del tanque Imhoff  $H = 3,34$  m, está dentro de los criterios mencionados.

**Tabla 30**

*Resumen de las dimensiones del sedimentador-tanque Imhoff*

Descripción	Dimensión
Volumen de la cámara de sedimentación	65,30 $m^3$
Tiempo de retención hidráulica	2 h
Ancho del sedimentador	2,90 m
Longitud del sedimentador	11,30 m
Altura de la pared inclinada	2,10 m
Altura del cuerpo del sedimentador	0,94 m
Altura total	3,34 m

### 5.3.2. Diseño De La Cámara De Digestión De Lodos

#### Volumen de digestión y almacenamiento, $V_d$

$$V_d = \frac{70 P f_{cr}}{1000} \quad [5.18]$$

$P =$  Población en el horizonte, 3404 hab [sección 5.2]

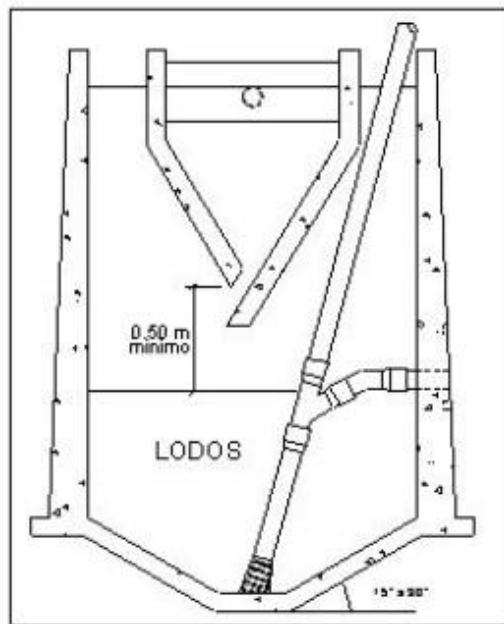
$T_{\text{agua residual}} = 18,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

$f_{cr}^{18,6 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0,784$  [interpolación con datos de la tabla [3.12]

$$V_d = 70 \frac{L}{\text{hab}} \times 3404 \text{ hab} \times 0,784 \frac{m^3}{1000L} = 186,80 m^3$$

**Figura 35**

*Dimensiones para la cámara de digestión e inclinación de las paredes.*



*Fuente: (OPS, 2005b)*

### **Dimensiones para la cámara de digestión**

El artículo 5.4.2.4 de la norma OS-090 2009, indica para la unidad de espumas:

- Espaciamiento libre, mínimo = 1 m
- Superficie libre total del tanque, mínimo = 30 %.

Si  $W_c$  es el ancho de la cámara de digestión.

Tomando como base el artículo 5.4.2.4, definimos 1,30 m para el espaciamiento libre para cada lado, entonces en ancho de la cámara de digestión es:

$$W_c = W + 2 \times 1,30 = 2,90 + 2,60 = 5,50 \text{ m}$$

Se requiere una pirámide truncada con lados inclinados con una inclinación de 15 a 30° para el fondo del compartimento de la cámara de digestión de acuerdo con el artículo 5.4.2.3.d del manual OS-090 2009.

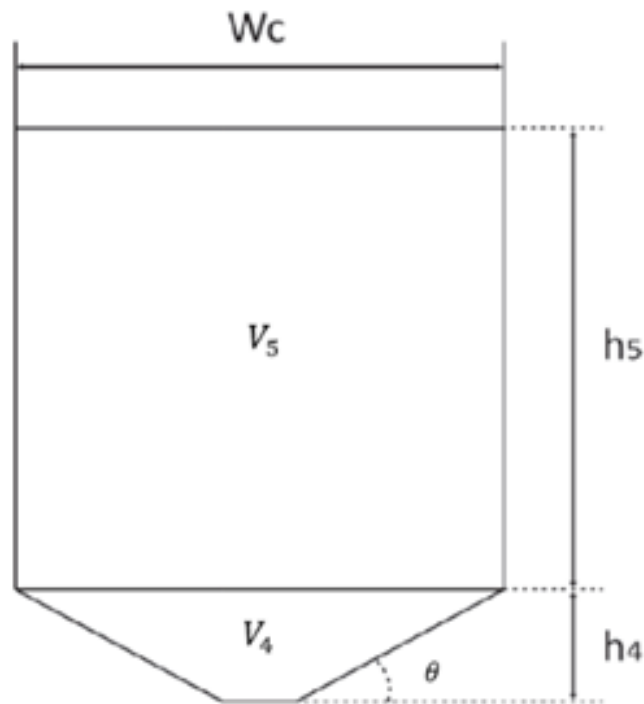
Para la investigación se tomó un ángulo de 30°.

**Altura de la zona inclinada,  $h_4$**

$$h_4 = \frac{W_c}{2} \operatorname{tg}(\theta) = \frac{5,5}{2} \operatorname{tg}(30) = 1,59 \text{ m} \quad [5.19]$$

**Figura 36**

*Esquema de las dimensiones de la cámara de digestión.*



**Volumen del fondo de la cámara,  $V_4$**

$$V_4 = \frac{1}{3} h_4 W_c L = \frac{1}{3} 1,59 \text{ m } 5,5 \text{ m } 11,3 \text{ m} = 32,94 \text{ m}^3 \quad [5.20]$$

La altura máxima del debe ser 0,50 m por abajo del fondo del sedimentador.

**Altura del cuerpo de la cámara,  $h_5$**

$$h_5 = \frac{V_d - V_4}{W_c L} = \frac{(186,8 - 32,94) \text{ m}^3}{(5,5 \times 11,3) \text{ m}^2} = 2,48 \approx 2,50 \text{ m} \quad [5.21]$$

**Tiempo para la digestión de lodos**

Se prevé que la digestión de los lodos tarde más o menos tiempo en función de la temperatura. Utilizando la información de la Tabla 10 como interpolación, el resultado es de 44,2 días.

Tiempo necesitado para digestión de lodos = 44,2 días



**Tabla 31**

*Resumen de las dimensiones del compartimento de la unidad digestión de lodos*

<b>Descripción</b>	<b>Dimensión</b>
Volumen de almacenamiento y digestor	186,80 m <sup>3</sup>
Ancho de la cámara de digestión	5,50 m
Altura de la zona inclinada	1,59 m
Volumen del fondo de la cámara	32,94 m <sup>3</sup>
Altura del cuerpo de la cámara	2,50 m
Tiempo digestión de lodos	44,2 d

### **Retiro de lodos**

Los lodos transformados deben retirarse frecuentemente. Para calcular el periodo de retiro de lodos se tomó valores referenciales de la tabla 13. (OPS, 2005b). El primer retiro de lodos debe esperar un tiempo doble del que se necesita para la digestión de lodos, para extracciones posteriores solo se debe esperar un tiempo igual al de digestión de lodos. (OPS, 2005b)

### **Dimensiones de diseño**

Los lodos necesitan una carga hidráulica de 1,8 como mínimo para poder retirarlos, el diámetro del tubo de remoción de lodos es de 200 mm mínimo y está colocado 15 cm sobre el fondo del tanque. (OPS, 2005b)

### **Diseño del área de ventilación y cámara de natas**

Las dimensiones de referencia del área de ventilación y de la cámara de nata se muestran en las figuras 3.1 y 3.3 (OPS, 2005c y 2005b). Al menos 1,0 m debe quedar libre. La mitad del volumen de la cámara de digestión. Superficie LIBRE 30% del área del tanque. Libre a la atmósfera, la superficie espumante debe ser el 30% del saliente superior de la cámara de digestión. Borde libre igual 0,30 cm. (OPS, 2005b)

## Diseño de la unidad de secado de lodos

### *Carga que ingresa al sedimentador (C)*

Como la ciudad de Acobamba cuenta con una red de alcantarillado, la carga per cápita se puede establecer empezando de los resultados de la caracterización del agua residual.

$$C = Q_{d1} STS \quad [5.22]$$

$C$  = Carga de sólidos, [kg de STS/d]

STS= 330,3 mg/L=0,3303 kg/m<sup>3</sup> (Tabla 30)

$Q_{d1}$ = Caudal de diseño del agua residual=0,00907 m<sup>3</sup>/s (Sección 5.3.1)

$$C = Q_{d1} STS = 0,00907 \frac{m^3}{s} \frac{3600s}{1h} \frac{24h}{1d} 0,3303 \frac{kg STS}{m^3} = 258,84 \frac{kg de STS}{d}$$

Masa de sólidos de los lodos,  $M_{sd}$ , (OPS, 2005b)

$$M_{sd} = (0,5 \times 0,7 \times 0,5 \times C) + (0,5 \times 0,3 \times C) \quad [5.23]$$

$$\begin{aligned} M_{sd} &= \left( 0,5 \times 0,7 \times 0,5 \times 258,84 \frac{kg de STS}{d} \right) + \left( 0,5 \times 0,3 \times 258,84 \frac{kg de STS}{d} \right) \\ &= 84,12 \frac{kg de STS}{d} \end{aligned}$$

Volumen diario de lodos digeridos,  $V_{ld}$ , (OPS, 2005b)

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left( \frac{\% \text{ sólido}}{100} \right)} \quad [5.24]$$

$$\rho_{lodo} = \text{densidad de los lodos} = 1,04 \frac{kg}{L} = 1040 \frac{kg de STS}{m^3}$$

% de sólidos = % de solidos en el lodo, varía de 9 a 12 %

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left( \frac{\% \text{ sólido}}{100} \right)} = \frac{84,12 \frac{kg de STS}{d}}{1040 \frac{kg de STS}{m^3} \frac{10}{100}} = 0,81 \frac{m^3}{d}$$

Volumen de lodos extraídos  $V_{el}$ , (OPS, 2005b)

$$V_{el} = V_{ld} T_d \quad [5.25]$$

$$T_d = \text{tiempo de digestión} = 44,20 \text{ d (Tabla 3.11)}$$

$$V_{el} = 0,81 \frac{m^3}{d} 44,20 \text{ d} = 35,8m^3$$

Área del lecho de secado  $A_{ls}$ , [ $m^2$ ]

$$A_{ls} = \frac{V_{el}}{H_a} \quad [5.26]$$

$$H_a = \text{profundidad del lecho} = 0,40 \text{ m (CONAGUA, 2005c)}$$

$$A_{ls} = \frac{35,8m^3}{0,4 \text{ m}} = 89,50 \text{ m}^2$$

El ancho del lecho de secado debe estar comprendido entre 3 a 6 m, para infraestructuras grandes puede superar los 10 m. (OPS, 2005c). Deben haber 2 o más lechos de secado. (OPS, 2005c)

### Tabla 32

*Resumen de las dimensiones del lecho de secado del tanque Imhoff*

Descripción	Dimensión
Carga	258,84 (kg de STS)/d
Masa de lodos	84,12 (kg de STS)/d
Volumen digerido de lodos	0,81 $m^3/d$
Volumen de lodos extraídos	35,8 $m^3$
Área de secado	89,50 $m^2$

### Medio de Drenaje

Debe construirse con un espesor de 0,30 m y con los elementos que menciona la referencia bibliográfica OPS, 2005c.

## 5.4. Tratamiento Secundario De La PTAR1

### 5.4.1. Diseño del reactor UASB

**Tabla 33**

*Datos para el diseño del reactor UASB de un solo módulo*

Parámetro/nomenclatura	Valor/unidad	
Caudal del afluente medio: $Q_{med}$	$17,03 \frac{m^3}{h}$	$408,67 \frac{m^3}{d}$
Caudal del afluente máximo horario: $Q_{mh}$	$30,64 \frac{m^3}{h}$	$735,27 \frac{m^3}{d}$
DQO afluente promedio: $S_0$	$517,3 \frac{g}{m^3}$	$0,5173 \frac{kg DQO}{m^3}$
DBO afluente promedio: $L_0$	$246,2 \frac{g}{m^3}$	$0,2462 \frac{kg DBO}{m^3}$
Temperatura agua cruda: T	18,6 °C (Tabla 27)	
Factor rendimiento de sólidos: Y	$0,18 \frac{kg STS}{kg DQO_{aplicada}}$	Intervalos de valores tomados de la Tabla 16
Factor rendimiento de sólidos, en DQO: $Y_{obs}$	$0,21 \frac{kg DQO_{lodo}}{kg DQO_{aplicada}}$	
Concentración de lodos en la descarga: C	4,00 %	
Densidad del lodo: $\rho$	$1020 \frac{kg STS}{m^3}$	

### Carga de DQO del afluente, $S_0$

Para reactores anaeróbicos y principalmente el reactor UASB, se diseña con el caudal medio.

$$S_0 = S_{0i} Q_{med} \quad [5.27]$$

$$S_{0i} = 0,5173 \frac{kg DQO}{m^3} \quad [Tabla 5.10]$$

$$Q_{med} = 408,67 \frac{m^3}{d} \quad [Tabla 5.10]$$

$$S_0 = 0,5173 \frac{kg DQO}{m^3} 408,67 \frac{m^3}{d} = 211,41 \frac{kg DQO}{d}$$

$$S_0 = 211,41 \frac{kg DQO}{d}$$

### TRH

Tomamos un TRH de 0,333 días conforme la Tabla 14.

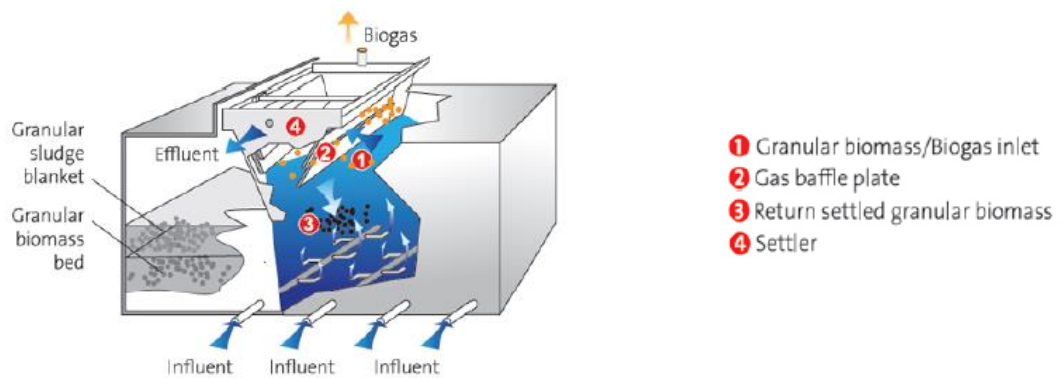
Volumen del reactor, V

$$V = Q_{med} TRH \quad [5.28]$$

$$V = 408,67 \frac{m^3}{d} 0,333d = 136,21m^3$$

### Figura 37

Reactor UASB de un solo módulo.



Fuente: (Veiga, 2015)

### Número de módulos del reactor, N

Chernicharo 2007, indica que, para plantas pequeñas se puede usar un solo módulo, siempre en cuando los volúmenes no pasen de 400 - 500 m<sup>3</sup>.

Se establece que, N=1

Volumen del reactor, Vu

$$V_u = \frac{V}{N} \quad [5.29]$$

$$V_u = \frac{136,21m^3}{1} = 136,21 m^3$$

Altura del reactor, H

Según la Tabla 13, tomamos 4 m = H

Área para el módulo, A

$$A = \frac{V_u}{H} \quad [5.30]$$

$$A = \frac{136,21 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} = 34,05 \text{ m}^2$$

Para una configuración rectangular para el reactor y tomando el ancho ( $W_{UASB}$ ) del reactor igual a 4 m, se tiene para la longitud,

**Longitud del reactor, L**

$$L = \frac{A}{W_{UASB}} \quad [5.31]$$

$$L = \frac{34,05 \text{ m}^2}{4 \text{ m}} = 8,51 \text{ m} \approx 8,5 \text{ m}$$

Longitud del reactor de 8,5 m para aumentar la velocidad de ascensión.

Verificación del área, volumen y TRH

Área:

$$A_t = NA = 1 \times (4 \times 8,5) = 34,0 \text{ m}^2$$

**Volumen correcto**

$$V_t = A_t H = 34,0 \times 4 = 136 \text{ m}^3$$

Tiempo de residencia hidráulica verificado, TRH

$$TRH = \frac{V_t}{Q_t} = \frac{136,0 \text{ m}^3}{408,67 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 0,333 \text{ d} = 8,0 \text{ h}$$

$$TRH = 8,0 \text{ h}$$

El TRH de 8,0 h está dentro del rango del TRH de la Tabla 11, para  $Q_{med}$

Comprobación de las cargas aplicadas

Carga hidráulica volumétrica, CHV

$$CHV = \frac{Q_{med}}{V_t} \quad [5.32]$$

$$CHV = \frac{408,67 \frac{m^3}{d}}{136,0 m^3} = 3,0 \frac{m^3}{m^3 d}$$

El valor de la CHV de  $3,0 m^3/m^3$  está de acuerdo con el valor de la Tabla 11

Carga orgánica volumétrica, **COV**

$$COV = \frac{Q_{med} S_0}{V_t} \quad [5.33]$$

$$COV = \frac{408,67 \frac{m^3}{d} \times 0,5173 \frac{kg DQO}{m^3}}{136,0 m^3} = 1,56 \frac{kg DQO}{m^3 d}$$

El resultado de la COV de  $1,56 kg DQO/m^3 d$ , está de acuerdo con el valor de la carga de diseño comprendida entre  $1,5$  a  $2,0 kg DQO/(m^3 d)$ , según el artículo 5.6.3.4 de la norma técnica OS-090, 2009.

Comprobación de las velocidades de flujo ascendente,  $v_{med}$ ,  $v_{mh}$

Para el caudal medio

$$v_{med} = \frac{Q_{med}}{A_t} \quad [5.34]$$

$$v_{med} = \frac{408,67 \frac{m^3}{d}}{34,0 m^2} = 12,02 \frac{m}{d}$$

$$v_{med} = 0,5 \frac{m}{h}$$

Para el caudal máximo horario

$$Q_{mh} = 735,27 \frac{m^3}{d} \text{ (Tabla 5.10)}$$

$$v_{mh} = \frac{Q_{mh}}{A_t} \quad [5.35]$$

$$v_{mh} = \frac{735,27 \frac{m^3}{d}}{34,0 m^2} = 21,63 \frac{m}{d}$$

$$v_{mh} = 0,90 \frac{m}{h}$$

Los resultados para la velocidad media y velocidad máxima para el flujo ascendente del reactor UASB, se encuentra dentro de la referencia de la Tabla 11.

### **Número de tubos de distribución del afluente, $N_i$**

De acuerdo con la Tabla 12: definimos el área de influencia  $A_i = 2,125 \text{ m}^2$  por tubería de repartición, considerando un lodo floculento medio y COV comprendida entre 1 - 2 kg de DQO  $\text{m}^3/\text{d}$ , calculamos el número de tubos  $N_{\text{tubos}}$ :

$$N_{\text{tubos}} = \frac{A_t}{A_i} \quad [5.36]$$

$$N_i = \frac{34 \text{ m}^2}{2,125 \frac{\text{m}^2}{\text{Tubo}}} = 16 \text{ tubos de distribución}$$

Como se está trabajando con un sólo módulo, entonces el reactor tiene 16 tubos de distribución, como la base del reactor es un rectángulo de 4 m de ancho y 8,5 m de largo, entonces, en cada lado menor colocaremos 3 tubos de distribución y en cada mayor 5 tubos de distribución.

### **Eficiencia de la DQO en el reactor UASB, $\eta_{DQO}$**

Para este tema se utiliza la ecuación de eficiencia de remoción de la DQO, ( $\eta_{DQO}$ ), para un reactor UASB, del libro de Chernicharo, 2007.

$$\eta_{DQO} = 100(1 - 0,68xTRH^{-0,35}) \quad [5.37]$$

$$\eta_{DQO} = 100(1 - 0,68x8,0^{-0,35}) = 67,16 \%$$

$$\eta_{DQO} = 67,16 \%$$

La  $\eta_{DQO}$  calculada, 67,16 % está dentro de los límites (70 a 80 %) que presenta (Chernicharo, 2007) y (Metcalf, 2003). Tabla 12.

### **Eficiencia de remoción de la DBO del reactor UASB, $\eta_{DBO}$**

Se emplea la ecuación que presentó Chernicharo en el 2007



$$\eta_{DBO} = 100(1 - 0,70xTRH^{-0,50}) \quad [5.38]$$

$$\eta_{DBO} = 100(1 - 0,70x8,0^{-0,50}) = 75,25 \%$$

$$\eta_{DQO} = 75,25 \%$$

**Concentración de la DQO,  $C_{efluente_{DQO}}$**

$$C_{efluente_{DQO}} = S_0 - \frac{(\eta_{DQO}S_0)}{100} \quad [5.39]$$

$$C_{efluente_{DQO}} = 0,5173 \frac{kg \ DQO}{m^3} - \frac{67,16 \% x 0,5173 \frac{kg \ DQO}{m^3}}{100 \%} = 0,17 \frac{kg \ DQO}{m^3}$$

$$C_{efluente_{DQO}} = 0,17 \frac{kg \ DQO}{m^3}$$

**Concentraciones de la DBO en el efluente final,  $C_{efluente_{DBO}}$**

$$C_{efluente_{DBO}} = L_0 - \frac{(\eta_{DBO}L_0)}{100} \quad [5.39]$$

$$C_{efluente_{DBO}} = 0,2462 \frac{kg \ DBO}{m^3} - \frac{75,25 \% x 0,2462 \frac{kg \ DBO}{m^3}}{100 \%} = 0,061 \frac{kg \ DBO}{m^3}$$

$$C_{efluente_{DBO}} = 0,061 \frac{kg \ DBO}{m^3}$$

**Producción teórica del metano,  $Q_{CH_4}$**

$$DQO_{CH_4} = Q_{med} \left[ (S_0 - C_{efluente_{DQO}}) - Y_{obs}S_0 \right] \quad [5.40]$$

$Y_{obs}$  = coeficinet de rendimiento de sólidos en términos de DQO

$$Y_{obs} = 0,21 \frac{kg \ DQO_{LODO}}{kg \ DQO_{aplicada}} \quad (Tabla \ 5.10)$$

$$DQO_{CH_4} = 408,67 \frac{m^3}{d} \left[ \left( 0,5173 \frac{kg \ DQO}{m^3} - 0,17 \frac{kg \ DQO}{m^3} \right) - 0,21 x 0,5173 \frac{kg \ DQO}{m^3} \right]$$

$$DQO_{CH_4} = 97,54 \frac{kg \ DQO}{d}$$

**De la ecuación general de los gases:**  $PV = nRT$

$$\rho_{DQO} = \frac{P M_{DQO}}{R T_{abs}} \quad [5.41]$$

$P = \text{presión} = 1 \text{ atm}$

$M_{DQO} = 64 \frac{\text{g DQO}}{\text{mol}}$  (DQO correspondiente a un mol de CH<sub>4</sub>)

$R = \text{constante universal de los gases} = 0,08206 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}}$

$T_{abs} = \text{temperatura absoluta} = 18,6 + 273 = 291,6 \text{ K}$

$$\rho_{DQO} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 64 \frac{\text{g DQO}}{\text{mol}} \cdot \frac{1 \text{ kg DQO}}{1000 \text{ g DQO}}}{0,08206 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 291,6 \text{ K} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}} = 2,68 \frac{\text{kg DQO}}{\text{m}^3}$$

**Caudal del metano,  $Q_{CH_4}$**

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{\rho_{DQO}} \quad [5.42]$$

$$Q_{CH_4} = \frac{97,54 \frac{\text{kg DQO}}{\text{d}}}{2,68 \frac{\text{kg DQO}}{\text{m}^3}} = 36,40 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$Q_{CH_4} = 36,40 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

**Producción de biogás,  $Q_{gas}$**

El biogás contiene metano y dióxido de carbono. Para determinar la cantidad de biogás consideramos 75 % de metano en el biogás, (Tabla 12).

$$Q_{gas} = \frac{Q_{CH_4}}{0,75} \quad [5.43]$$

$$Q_{gas} = \frac{36,40 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{0,75} = 48,53 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 2,02 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

**Dimensionamiento del colector del gas**

Como se tiene 1 solo módulos, entonces el número de colectores de gas = 1

Longitud de cada colector:  $L_{colector} = 8,5 \text{ m}$  (longitud del reactor)

Ancho superior del colector:  $Ancho_{colector} = 0,25 \text{ m}$

Dimensiones del colector:

$$L_{colector} = 8,5 \text{ m}$$

$$W_{colector} = 0,25 \text{ m}$$

Área total del colector:  $A_{colector} = 8,5 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 2,125 \text{ m}^2$

### Velocidad del flujo de biogás en el colector de gas

$$v_{biogás} = \frac{Q_{gas}}{A_{colector}} \quad [5.44]$$

$$v_{biogás} = \frac{Q_{gas}}{A_{colector}} = \frac{2,125 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{2 \text{ m}^2} = 1,06 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ h}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

El resultado de la carga del flujo de biogás de  $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  producido, concuerda con el valor del artículo 5.6.3.4. de la norma OS-090 de  $1 \text{ m}^3$  de biogás/ $(\text{m}^2\text{h})$ , para aguas residuales domésticas.

### Aberturas en el sedimentador

Tomaremos un separador de tres fases para el módulo.

4 aberturas simples

2 en cada pared

Longitud de cada abertura,  $L_a = 8,5 \text{ m}$

Ancho de cada abertura,  $W_a = 0,30 \text{ m}$  (valor de diseño configurado)

$$\text{Área de cada abertura: } A_a = 8,5 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} = 2,554 \frac{\text{m}^2}{\text{abertura}}$$

$$\text{Área total de las aberturas: } A_t = 4 \text{ aberturas } 2,55 \frac{\text{m}^2}{\text{abertura}} = 10,2 \text{ m}^2$$

Comprobación de las velocidades a través de cada abertura, con el caudal medio,

$v_{abertura}$

$$v_{abertura} = \frac{Q_{med}}{A_t} \quad [5.45]$$

$$v_{abertura} = \frac{Q_{med}}{A_t} = \frac{17,03 \frac{m^3}{h}}{10,2 m^2} = 1,67 \frac{m}{h}$$

El resultado de 1,67 m/h está de acuerdo con el valor de la tabla 12 que menciona que la velocidad en la abertura debe mínimo 1 m/h, para el caudal medio.

Comprobación de las velocidades a través de cada abertura, con el caudal máximo

$$v_{abertura} = \frac{Q_{mh}}{A_t} \quad [5.46]$$

$$v_{abertura} = \frac{Q_{mh}}{A_t} = \frac{30,64 \frac{m^3}{h}}{10,2 m^2} = 3,0 \frac{m}{h}$$

El resultado de 3,0 m/h, está de acuerdo con el valor de la tabla 12 que menciona que la velocidad en la abertura para el caudal máximo horario está comprendida entre 3 a 5 m/h.

### **Dimensionamiento del compartimento del sedimentador**

El sedimentador del reactor UASB solo tiene un compartimento

Longitud del sedimentador,  $L_s$

$$L_s = 8,5 m \text{ (es la largo del reactor)}$$

Ancho del colector,  $W_c$

$$W_c = 0,25 + 0,05 \text{ espesor de la pared} = 0,3 m$$

Ancho del compartimento del sedimentador,  $W_s$

$$W_s = 4 m$$

Ancho efectivo del sedimentador,  $W_e$

$$W_e = W_s - W_c = 4 - 0,3 = 3,7 m$$

Área del sedimentador,  $A_s$

$$A_s = 8,5 \times 3,7 = 31,45 \text{ m}^2$$

Comprobación de las velocidades de carga superficial del sedimentador,  $V_{sQmedio}$

Para el caudal medio

$$V_{sQmedio} = \frac{Q_{med}}{A_s} \quad [5.47]$$

$$V_{sQmedio} = \frac{Q_{med}}{A_s} = \frac{408,67 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{31,45 \text{ m}^2} = 14,45 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{d}} = 0,60 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{h}}$$

Para el caudal máximo horario

$$V_{sQmh} = \frac{Q_{mh}}{A_s} \quad [5.48]$$

$$V_{sQmh} = \frac{Q_{mh}}{A_s} = \frac{735,27 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{31,45 \text{ m}^2} = 23,38 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{d}} = 0,98 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{h}}$$

La carga superficial obtenida para el caudal medio de  $0,60 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  y  $0,98 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ , para el  $Q_{mh}$ , está dentro de los valores de diseño de la tabla 11 para el caudal medio de  $0,6$  a  $0,80 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  y  $< 1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ .

Producción de lodos,  $P_{lodos}$

$$P_{lodos} = Y DQO_{aplicada} \quad [5.49]$$

$$Y = \text{Coeficiente del rendimiento de sólidos} = 0,18 \frac{\text{kg STS}}{\text{kg DQO}_{aplicada}} \quad (\text{Tabla 33})$$

$$S_0 = \text{carga de DQO del afluente} = 211,41 \frac{\text{kg DQO}}{\text{d}} \quad (\text{Ecuación 5.27})$$

### Tabla 34

Resumen del diseño del reactor UASB de un solo módulo

Parámetros	Resultados
Carga de DQO del afluente, $S_0$	211,41 (kg DQO)/d
Tiempo de residencia hidráulica, TRH	8 horas = 0,333 días
Volumen total del reactor, V	136,21m <sup>3</sup>

Parámetros	Resultados
Volumen del módulo, $V_u$	$136,21 m^3$
Altura reactor, $H$	4,00 m
Área módulo, $A$	$34,05 m^2$
Longitud del reactor, $L$	8,50 m
Tiempo de residencia hidráulica verificada, TRH	8,00 h
CHV = carga hidráulica volumétrica	$3,0 m^3/(m^3 d)$
COV = carga orgánica volumétrica	$1,56 (kg DQO)/(m^3 d)$
Velocidades de flujo ascendente con caudal medio, $v_{med}$	0,50 m/h
Velocidades de flujo ascendente con caudal máximo horario, $v_{mh}$	21,63 m/d
Número de tubos de distribución del afluente, $N_i$	16 tubos
Rendimiento eliminación DQO del reactor UASB, $\eta_{DQO}$	67,16 %
Eficiencia de remoción de la DBO del reactor UASB, $\eta_{DBO}$	75,25 %
Concentraciones DQO, efluente, $C_{efluente_{DQO}}$	$0,17 (kg DQO)/m^3$
Concentraciones de la DBO en el efluente final, $C_{efluente_{DBO}}$	$0,061 (kg DBO)/m^3$
Producción teórica del metano, $Q_{CH_4}$	$36,40 m^3/d$
Producción de biogás, $Q_{gas}$	$2,02 m^3/h$
Longitud del colector, $L_{colector}$	8,50 m
Ancho del colector, $W_{colector}$	0,25 m
Área superior, colector de gas: $A_{colector}$	$2,125 m^2$
Velocidad del flujo de biogás en el colector de gas	1,00 m/h
Número de aberturas simples	4 aberturas
Longitud de cada abertura, $L_a$	8,50 m
Ancho de cada abertura, $W_a$	0,30 m
Área total de las aberturas: $A_t$	$10,20 m^2$
Longitud y ancho del sedimentador, $L_s$	8,5 m; 4 m
Área del sedimentador, $A_s$	$31,45 m^2$
Velocidades de carga superficial del sedimentador, $V_{sQmedio}$	$0,60 m^3/(m^2 h)$
Velocidades de carga superficial del sedimentador, $V_{sQmh}$	$0,98 m^3/(m^2 h)$

Parámetros	Resultados
Producción de lodos, $P_{lodos}$	38,05 (kg STS)/d
Volumen de los lodos, $V_{lodos}$	0,93 m <sup>3</sup> /d

$$P_{lodos} = 0,18 \frac{kg\ STS}{kg\ DQO_{aplicada}} 211,41 \frac{kg\ DQO}{d} = 38,05 \frac{kg\ STS}{d}$$

Volumen de los lodos,  $V_{lodos}$

$$V_{lodos} = \frac{P_{lodos}}{\rho C} \quad [5.50]$$

$$\rho = \text{densidad de los lodos} = 1020 \frac{kg\ STS}{m^3} \text{ (Tabla 33)}$$

$C$  = Concentración en la descarga de lodo = 4 % (Tabla 33)

$$V_{lodos} = \frac{38,05 \frac{kg\ STS}{d}}{1020 \frac{kg\ STS}{m^3} \frac{4}{100}} = 0,93 \frac{m^3}{d}$$

## 5.5. Sistema De Tratamiento Terciario De La PTAR1

### 5.5.1. Diseño De La Cámara De Desinfección Por Cloro Ptari

El caudal de agua residual del efluente secundario de la PTAR1 tiene que desinfectarse debido que se va a utilizar para riego agrícola, como es menor que 9,1 L/s, para este caso es recomendado utilizar la desinfección con cloro líquido.

La unidad de cloración será está instalada en un ambiente en donde el tanque de cloro líquido a 400 psi de presión. La mezcla del agua a tratar y la solución clorada se realiza hidráulicamente mediante paredes deflectoras ubicadas en la cámara de contacto, que favorecen la distribución del cloro en el agua, garantizando además un tiempo de contacto mínimo de 10 minutos a flujo volumétrico medio suficiente para permitir la acción del cloro. (Véliz, 2014)

El agua para desinfectar es inyectada con cloro mediante una bomba, luego que el clorinador convierte el cloro líquido en gas con un flujo de masa entre 3 a 4 kg/día, el agua clorada pasará a una pequeña laguna de cloración para el proceso de desinfección, durante un tiempo de retención hidráulica de 10 min. En la desinfección del agua por cloro se produce una solución de cloro in situ donde el cloro gaseoso y agua, sirven como desinfectante para eliminar los organismos patógenos y otros microorganismos del agua.

(Véliz, 2014)



## Capítulo VI

### Resultados Y Discusiones Del Rediseño De La PTAR2 De Acobamba

Del estudio evaluativo de la PTAR2 en el capítulo IV, se concluyó que las unidades construidas en la planta 2 pueden ser aprovechadas y ponerlas operativas ya que sus estructuras están bastante buenas.

Para verificar la capacidad de las unidades de la PTAR2, se debe realizar el rediseño del canal de entrada, unidad de desbaste, desarenador y tanque Imhoff. Los diseños realizados se presentan en el anexo 1.

Las dimensiones halladas para cada unidad se presentan en este capítulo y se compara con las dimensiones de cada una de las unidades construidas en la PTAR2.

#### Pre tratamiento

- Rediseño del canal de entrada, existente
- Rediseño de la unidad de desbaste, existente.
- Rediseño del desarenador, existente.

#### Tratamiento primario

- Rediseño del tanque Imhoff, existente.
- Rediseño del lecho de secado, existente.

#### Tratamiento secundario

- Diseño de un filtro percolador.

#### Tratamiento terciario

- Diseño de la unidad de desinfección por cloro.

Comparación de valores de rediseño y dimensiones de unidades construidas de la PTAR2 de Acobamba

## 6.1. Sistema De Pre Tratamiento PTAR2

### 6.1.1. Unidad De Desbaste

**Tabla 35**

*Comparación de las dimensiones obtenidas con el rediseño y las dimensiones de la unidad de desbaste construida en la PTAR2*

Descripción	Dimensiones por rediseño	Dimensiones de la unidad de desbaste existente
Ancho de las rejas	0,03 m	No tiene rejas
Separación entre rejas	0,02 m	No tiene rejas
Número de rejas gruesas	12 rejas	No tiene rejas
Número de rejas delgadas	20 rejas	No tiene rejas
Longitud de las rejas	0,92 m	No tiene rejas
Altura de las rejas	0,37 m	Altura del canal = 0,70 m
Ancho del canal de rejas	0,63 m	0,65 m
Longitud del canal (dato de diseño)	2,00 m	2,00 m

La unidad de desbaste no tiene rejas, pero las dimensiones de la unidad de desbaste construida, como el ancho del canal de rejas y la longitud del canal si cumple. **Esta unidad se puede poner operativa colocando las rejas.**

### 6.1.2. Desarenador

**Tabla 36**

*Comparación de las dimensiones obtenidas con el rediseño y las dimensiones del desarenador construido en la PTAR2*

Descripción	Dimensiones por rediseño	Dimensiones del desarenador existente
Ancho	0,40 m	0,65 m
Altura	0,40 m	0,70 m
Tirante del agua	0,1 m	-
Longitud	4,0 m	4,00 m
TRH	106,94 s	-

De la Tabla 36 se concluye que las dimensiones del desarenador construido son mayores a las obtenidas por el rediseño, todo ello indica que operará satisfactoriamente para las aguas residuales que trata la PTAR2. **Por consiguiente, se utilizará el desarenador construido.**

## 6.2. Sistema De Tratamiento Primario De La PTAR2, Tanque Imhoff

### 6.2.1. Sedimentador Del Tanque Imhoff

**Tabla 37**

*Comparación de las dimensiones obtenidas con el rediseño y las dimensiones del sedimentador del tanque Imhoff construido en la PTAR2*

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR DEL T.I. POR REDISEÑO	DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR DEL T.I. EXISTENTE
VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN	43,14 m <sup>3</sup>	-
TRH	2 h	-

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR DEL T.I. POR REDISEÑO	DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR DEL T.I. EXISTENTE
ANCHO DEL SEDIMENTADOR	2,32 m	2,25 m
LONGITUD DEL SEDIMENTADOR	9,30 m	8,80 m
ALTURA DE LA PARED INCLINADA	2,01 m	2,00 m
ALTURA DEL CUERPO DEL SEDIMENTADOR	0,94 m	0,85 m
ALTURA TOTAL	3,31 m	3,15 m

Las dimensiones del sedimentador del tanque Imhoff por rediseño son ligeramente más grandes, probamente el sedimentador del tanque Imhoff construido en la PTAR2 puede trabajar bien hasta el año 2040, porque el rediseño del sedimentador del tanque Imhoff se hicieron para el año 2049 (horizonte del proyecto). **Por consiguiente, se concluye que si puede operar bien el sedimentador del tanque Imhoff hasta el año 2040.**

### 6.2.2. Cámara De Digestión Del Tanque Imhoff

**Tabla 38**

*Comparación de las dimensiones de la cámara de digestión obtenidas con el rediseño y la existente de la PTAR2*

Descripción	Dimensiones de la cámara de digestión del T.I. por rediseño	Dimensiones de la cámara de digestión del T.I. existente
Volumen	122,38 m <sup>3</sup>	-
Ancho de la cámara de digestión	4,92 m	6,30 m
Altura de la zona inclinada	1,42 m	1,25 m

Descripción	Dimensiones de la cámara de digestión del T.I. por rediseño	Dimensiones de la cámara de digestión del T.I. existente
Volumen del fondo de la cámara	21,66 m <sup>3</sup>	-
Altura del cuerpo de la cámara	2,25 m	4,00 m
TRH, digestión de lodos	44,2 d	-

Si se observa las dos columnas de la tabla 38, se concluye que la altura inclinada del compartimento del digester por diseño es más grande que la dimensión de la cámara construida, existiendo una diferencia de 17 mm. **Por consiguiente, se concluye que si puede operar bien la cámara digestión de lodos del tanque Imhoff.**

### 6.2.3. Unidad De Lecho De Secado

**Tabla 39**

*Comparación de las dimensiones obtenidas con el rediseño y el existente para la unidad de secado de lodos de la PTAR2*

Descripción	Dimensiones del lecho de secado por rediseño	Dimensiones del lecho de secado construido
Carga	170,94 (kg de STS)/d	-
Masa de lodos	55,55 (kg de STS)/d	-
Volumen de lodos digeridos por día	0,53 m <sup>3</sup> /d	-
Volumen de lodos a extraerse	23,43m <sup>3</sup>	-
Área de secado	58,58 m <sup>2</sup>	90,00 m <sup>2</sup>

El lecho de lodos construido es más grande del que se necesitaría para el año 2049.

El lecho de secado existente cuenta con todo el diseño que se exige para la construcción de una cama de secado de lodos. **Por consiguiente, se concluye que si puede utilizar el lecho de secado de lodos del tanque Imhoff.**

### 6.3. Sistema De Tratamiento Secundario De La PTAR2

#### 6.3.1. Diseño Del Filtro Percolador

Para el dimensionamiento del filtro percolador se utilizó el método de la NRC de USA. Esta técnica utiliza piedras como medio filtrante.

Datos para filtro percolador.

#### Caudal de diseño

$$Q_{d2}^{2049} = 5,99 \frac{L}{s} \quad [Tabla 5.1]$$

El agua residual antes del filtro percolador ha pasado por un proceso de pre tratamiento y tratamiento primario, para el diseño tomaremos el 90% del caudal de diseño, entonces para el año 2049 el caudal es:

$$Q_{d2}^{2049} = 5,99 \frac{L}{s} \times 0,9 = 5,391 \frac{L}{s} = 0,005391 \frac{m^3}{s} = 465,78 \frac{m^3}{d}$$

De la tabla 31 se tiene para la  $DBO_5$  del agua residual = 246,2 mg/L y como en el tanque Imhoff se elimina el 30 % de la  $DBO_5$ , entonces en el afluente del filtro colador ingresa:

$$DBO_5 = 246,2 \frac{mg\ DBO}{L} \times 0,7 = 172,34 \frac{mg\ DBO}{L}$$

#### DBO en el afluente del filtro percolador:

$$DBO_5 = 172,34 \frac{mg\ DBO}{L} = 0,1723 \frac{kg\ DBO}{m^3}$$

Según los criterios de la tabla 13 los filtros percoladores eliminan entre 80 a 90 % de la DBO, entonces si se elimina el 88 % de la DBO, en el efluente del filtro percolador habrá:

#### DBO en el efluente del filtro percolador:

$$DBO_5 = 172,34 \frac{mg\ DBO}{L} \times 0,12 = 20,6808 \frac{mg\ DBO}{L} = 0,0207 \frac{kg\ DBO}{m^3}$$

**Tabla 40**

Datos de entrada para el diseño del filtro percolador con medios de piedra

Parámetro	Valor y unidades	
Caudal de diseño = $Q_{d2}$	$5.391 \frac{L}{s}$	$465,78 \frac{m^3}{d}$
$L_{0a} = DBO_5$ en el afluente	$170,34 \frac{mg}{L}$	$0,1723 \frac{kg}{m^3}$
$L_{0e} = DBO$ en el efluente	$20,68 \frac{mg}{L}$	$0,0207 \frac{kg}{m^3}$
$H =$ altura (Tabla 3.15)	2,4 m	240 cm
$R =$ Razón de recirculación (Tabla 3.15)	0	-

### Eficiencia del filtro percolador, $\eta$

$$\eta = \frac{L_{0a} - L_{0e}}{L_{0a}} 100 = \frac{0,1723 - 0,0207}{0,1723} 100 = 87,99 \%$$

### Factor de recirculación, $F$

$$F = \frac{1 + R}{\left(1 + \frac{R}{10}\right)^2} = \frac{1 + 0}{\left(1 + \frac{0}{10}\right)^2} = 1$$

### Carga orgánica que ingresa al filtro percolador, $CO_{fc}$

$$CO_{fp} = L_{0a} Q_{d2} = 0,1723 \frac{kg DBO}{m^3} 465,78 \frac{m^3}{d} = 80,25 \frac{kg DBO}{d}$$

### Volumen del filtro percolador, $V_{fc}$

$$V_{fp} = \frac{CO_{fc}}{F} \left(\frac{0,4432 \eta}{1 - \eta}\right)^2 = \frac{80,25 \frac{kg DBO}{d}}{1 \frac{kg DBO}{m^3 d}} \left(\frac{0,4432 \times 0,8799}{1 - 0,8799}\right)^2 = 846,11 m^3$$

### Área del filtro percolador, $A_{fp}$

$$A_{fp} = \frac{V_{fp}}{H} = \frac{846,11 m^3}{2,4 m} = 352,55 m^2$$

### Diámetro del filtro percolador, $D_{fp}$

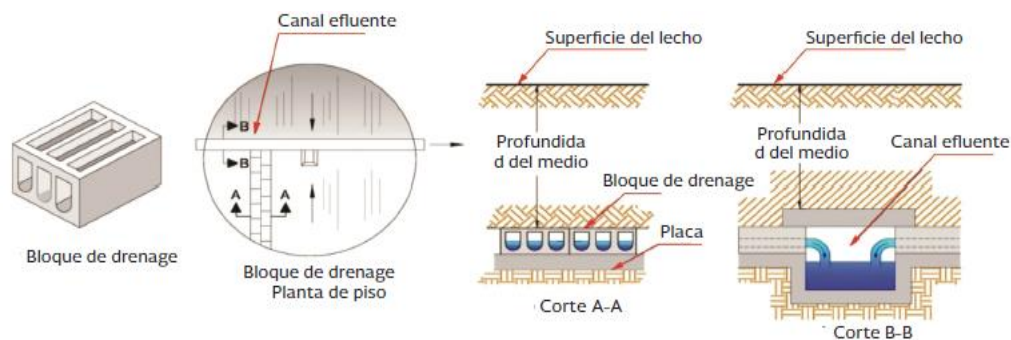
El filtro percolador tiene la forma circular,  $A_{fp} = \frac{\pi}{4} (D_{fp})^2$

$$D_{fp} = \sqrt{\frac{\pi A_{fp}}{4}} = \sqrt{\frac{\pi (352,55 \text{ m}^2)}{4}} = 16,64 \text{ m}$$

La figura 6.1 presenta algunos detalles que tiene el filtro percolador, como el bloque de desagüe, bloque de drenaje de la planta de piso, profundidad del filtro y el canal de efluente.

**Figura 38**

*Detalles de un filtro percolador.*



*Fuente: (CONAGUA, 2015a)*

### Carga orgánica superficial, $CO_{Sfp}$

$$CO_{Sfp} = \frac{CO_{fp}}{A_{fp}} = \frac{80,25 \frac{kg \text{ DBO}}{d}}{352,55 \text{ m}^2} = 0,23 \frac{kg \text{ DBO}}{\text{m}^2 \text{ d}}$$

### Carga orgánica volumétrica, $CO_{Vfp}$

$$CO_{Vfp} = \frac{CO_{fp}}{V_{fp}} = \frac{80,25 \frac{kg \text{ DBO}}{d}}{846,11 \text{ m}^3} = 0,10 \frac{kg \text{ DBO}}{\text{m}^3 \text{ d}}$$

Resultado guarda relación 0,08 a 0,32 tabla 13 Parámetros importantes para el diseño de filtros percoladores



**Carga hidráulica superficial,  $CHS_{fp}$** 

$$CHS_{fc} = \frac{Q_{d2}(1+0)}{A_{fp}} = \frac{465,78 \frac{m^3}{d} (1+0)}{352,55 m^2} = 1,32 \frac{m^3}{m^2 d} = 0,06 \frac{m^3}{m^2 h}$$

Resultado guarda relación 1 a 4 tabla 13 Parámetros importantes para el diseño de filtros percoladores

**Carga hidráulica volumétrica,  $CHV_{fp}$** 

$$CHV_{fc} = \frac{Q_{d2}(1+R)}{V_{fp}} = \frac{465,78 \frac{m^3}{d} (1+0)}{846,11 m^3} = 0,76 \frac{m^3}{m^3 d} = 0,03 \frac{m^3}{m^3 h}$$

**Tabla 41**

*Resumen de los resultados del filtro percolador con medios de piedra*

<i>Parámetro</i>	<i>Valor/unidades</i>
<i>Eficiencia del filtro percolador, <math>\eta</math></i>	87,99 %
<i>Carga orgánica que ingresa al filtro percolador, <math>CO_{fc}</math></i>	$80,25 \frac{kg DBO}{d}$
<i>Volumen del filtro percolador, <math>V_{fc}</math></i>	$846,11 m^3$
<i>Área del filtro percolador, <math>A_{fp}</math></i>	$352,55 m^2$
<i>Diámetro del filtro percolador, <math>D_{fp}</math></i>	16,64 m
<i>Carga orgánica superficial, <math>COS_{fp}</math></i>	$0,23 \frac{kg DBO}{m^2 d}$
<i>Carga orgánica volumétrica, <math>COV_{fp}</math></i>	$0,10 \frac{kg DBO}{m^3 d}$
<i>Carga hidráulica superficial, <math>CHS_{fp}</math></i>	$1,32 \frac{m^3}{m^2 d}$
<i>Carga hidráulica volumétrica, <math>CHV_{fp}</math></i>	$0,76 \frac{m^3}{m^3 d}$

#### **6.4. Unidad De Tratamiento Terciario De La PTAR2**

Se usará la unidad de cloro de la PTAR1. Indicando que el cloro líquido del sistema de desinfección estará almacenado en dos cilindros que al fluir el cloro líquido se convierte en cloro gaseoso, cada cilindro de cloro estará instalado sobre una balanza electrónica, cuando un cilindro trabaja y se acaba el cloro líquido inmediatamente entra en operación el otro cilindro.

Las tuberías por donde fluirá el cloro gaseoso estarán diseñadas e instaladas de acuerdo con la Mecánica de Fluidos y con la seguridad del caso.

## Conclusiones

Tras examinar los objetivos y resultados del estudio de la tesis, se ofrecen las siguientes conclusiones:

- Referente al objetivo principal, se tienen las siguientes conclusiones: La evaluación del estado físico, técnico y ambiental de la PTAR llegó a las conclusiones siguientes: (1) que las lagunas para el tratamiento primario y secundario de la PTAR1 están totalmente deterioradas y que se debería hacer un nuevo diseño para esta planta, (2) que las unidades de desbaste y el tanque Imhoff del pre tratamiento y tratamiento primario de la PTAR2 podrían quedarse previo un rediseño para ver si cumplen con las características necesarias.
  - En el primer objetivo específico, se llegó a la siguiente conclusión: Se realizó la evaluación del estado físico, operativo y estructural de la PTAR de Acobamba, con la cual se puede concluir que las mismas se encuentran en un estado deficiente.
  - En el segundo objetivo específico, se llegó a la siguiente conclusión: Fue pertinente la propuesta de rediseño de algunos procesos unitarios que ahí se tienen instalados tales como: Los rediseños realizados para verificar la capacidad de las unidades construidas en la PTAR2, y que podrían entrar en funcionamiento fueron: (1) pre tratamiento: desarenador, desbastador y canal de entrada de la planta, (2) tratamiento primario: lecho de secado, digestor de lodos y sedimentador de tanque Imhoff. Para el proceso secundario se diseñó un filtro percolador. Los diseños realizados para las unidades de la PTAR1 fueron: (1) pre tratamiento: desarenador, desbastador y canal de entrada de la planta, (2) tratamiento primario: lecho de secado, digestor de lodos y sedimentador de tanque Imhoff., y (3) tratamiento secundario: reactor UASB, con resultados en la

producción de metano = 36,40 m<sup>3</sup>/d, producción de biogás = 2,02 m<sup>3</sup>/h y producción de lodos = 38,05 kg STS/d.

- En el tercer objetivo específico, se llegó a las siguientes conclusiones:  
Las tomas de muestras del agua residual fueron en cinco campañas de 24 horas en diferentes estaciones del año (DO 14-01, LU 12-03, MA 15-05, MI 22-08 y JU 16-10 del año 2018). Estos son los hallazgos de las pruebas bacteriológicas y fisicoquímicas: pH=7,1, temperatura del agua residual = 18,6 °C, temperatura ambiental 15,5 °C, DQO = 517,3 mg/L, DBO<sub>5</sub> = 246,2 mg/L, STS = 330,3 mg/L y coliformes fecales = 2,49x10<sup>6</sup> mg/100 mL.
- En la planificación de la PTAR de Acobamba se tuvieron en cuenta los factores socioeconómicos y técnicos de la zona. De acuerdo con la norma técnica peruana OS-090, en la elección de la técnica de tratamiento se tuvieron en cuenta los resultados de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua, así como la mínima reducción de la planta a la mecanización y automatización.
- El horizonte del proyecto se definió para 30 años, siendo el año 2019 el año base y el año 2049 el año horizonte. Los resultados de la población y caudales fueron:

<i>Planta</i>	<i>Población, (hab)</i>		<i>Caudal de diseño para el año 2049, (L/s)</i>
	<i>Año 2019</i>	<i>Año 2049</i>	
<i>PTAR1</i>	2041	3404	9,07
<i>PTAR2</i>	1573	2230	5,99

- Finalmente se concluye que la tesis de investigación cuyo título es “Evaluación, mejoramiento y rediseño de la PTAR de Acobamba-Huancavelica-2017” es una opción potencial para desarrollar nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales en áreas metropolitanas con poblaciones inferiores a 5000 habitantes

es implementar técnicas que mejoren la calidad del agua para el riego agrícola en los valles de los ríos y arroyos de Perú.

### **Recomendaciones**

La perspectiva holística del trabajo de investigación sugiere las siguientes recomendaciones:

- Es aconsejable que la municipalidad de Acobamba tenga en cuenta los aspectos técnicos, en particular las consideraciones topográficas, a la hora de planificar futuras subdivisiones. Esto garantizará que los sistemas de drenaje puedan conectarse adecuadamente al sistema de alcantarillado.
- Se recomienda hacer llegar a la presidencia de la Región Huancavelica la tesis final publicada.
- La aplicación del cloro en la desinfección de aguas es la más utilizada, pero el cloro desinfecta al agua mediante reacciones químicas ya sea con los microorganismos o con la materia orgánica del agua, produciendo pequeñas cantidades de hidrocarburos cancerígenos que posiblemente este método de desinfección del agua potable y agua residual este causando la leucemia mortal en la población, se recomienda utilizar un proceso físico para la desinfección como la radiación UV.

### Referencias Bibliográficas

- Alasino N. (2009). Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tesis de doctorado por la Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe-Argentina.
- Aliaga M. (2010). Situación ambiental del recurso hídrico en la cuenca baja del río Chillón y su factibilidad de recuperación para el desarrollo sostenible. Tesis de maestría por la Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.
- APHA (1998). American public health association, Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA, Washington, DC, USA.
- Avellaneda R.; Peñataro P.; Martín M., (2011). El agua es vida: Programa de cooperación hispano peruano. Ministerio del Ambiente. Región Loreto. Iquitos-Perú
- Brack A. (2009). Manual de sistemas eficientes. Ministerio del Ambiente. Lima-Perú
- Calderón M.; Guamán G. (2016). Diseño de una planta de tratamiento para las aguas residuales provenientes de la cabecera parroquial de Punín, del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental por la Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.
- CALTUR, (2010). Manual técnico de difusión de sistema de tratamiento de aguas residuales para albergues en zonas rurales. Edición Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. Lima-Perú.
- CONAGUA, (2015a). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: **Procesos de oxidación bioquímica con biomasa fija**. México-Ciudad de México.
- CONAGUA, (2015b). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: **Reactores anaerobios de flujo ascendente**. México-Ciudad de México.

- CONAGUA, (2015c). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: **Zonas rurales, periurbanas y desarrollos ecoturísticos**. México-Ciudad de México
- Correa R. (2008). “Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia, Colombia. Tesis de maestría por la Universidad de Antioquia. Medellín-Colombia.
- Chernicharo A., et. al., [1999]. Pós-tratamento de efluentes de reactores anaeróbios por sistemas de desinfecção. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios. PROSAB, Rio de Janeiro, cap.7. Desinfecção ultra violeta.
- Chernicharo C., (2007). Biological wastewater treatment series. Anaerobic reactors. IWA publishing London. Federal University of Minas Gerais-Brasil.
- Daniel L. (2000). Processos de desinfecção e desinfectantes alternativos na produção de agua potável. PROSAB, São Carlos-Brasil.
- Davis M.; Masten, S., (2004) Ingeniería y ciencias ambientales. 3a ed. Mc Graw-Hill. Michigan State University. Estados Unidos.
- Decreto supremo N° 003-2010-MINAM, (2010). Límites máximos permisibles para efluentes de tratamientos de aguas residuales domésticas o municipales. Diario El Peruano, Lima-Perú.
- Decreto supremo N° 004-2017-MINAM, (2017). Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, Anexo categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales, Diario oficial El Peruano, Lima-Perú.
- Espitia, G. (2017). Diagnóstico, evaluación y planteamiento de mejora en los componentes de la planta de aguas residuales en el municipio de Buenavista Boyacá. Tesis por la Universidad Católica de Colombia.



- Espinoza P. (2010). Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores. Tesis de maestría en gestión y auditorías ambientales por la Universidad de Piura. Piura-Perú.
- Godoy J., (2014). Fundamentos de sistemas de tratamiento anaeróbico de aguas residuales. La Ceiba-Atlántida.
- Hernández, (2000). Manual de depuración URALITA: Sistema de tratamiento de agua residual en núcleos hasta 20000 habitantes. Editorial Paraninfo 3ra. Edición. Madrid España.
- Lozano-Rivas W., (2012). Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales. Bogotá D.C., Colombia.
- López J., (2018). Guía para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales municipales para facilitar la toma de decisiones con enfoque a la reducción de emisiones GEI. Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la naturaleza y seguridad nuclear de Alemania. Eschborn-Alemania.
- Kiely G. (2008). Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. 1ra. Edición. Editorial Mac Graw-Hill. Universidad de la Palmas de la Gran Canaria.
- Metcalf E., (2003). Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización, traducido de la tercera edición de inglés. Editora MacGraw-Hill, Madrid-España.
- MacKenzie D.; Susan M. (2004). Ingeniería y Ciencias Ambientales. Editorial Mac Graw-Hill Interamericana. Editorial, S.A. de C.V.. Michigan State University. Estados Unidos.
- OEFA. Organismo de evaluación y fiscalización ambiental, (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Ministerio del Ambiente, primera edición. Lima-Perú.

- OPS, (2005a). Organización Panamericana de la Salud. Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado. Lima-Perú.
- OPS, (2005b). Organización Panamericana de la Salud. Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. Lima-Perú.
- OPS, (2005c). Organización Panamericana de la Salud. Especificaciones técnicas para la construcción de tanque séptico, Tanque Imhoff y Laguna de estabilización. Lima-Perú.
- Ortega A., (2015). Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales Rumipamba de Las Rosas del cantón Salcedo”. Tesis por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Chimborazo- Ecuador.
- OS-090, (2009). Decreto Supremo N°022-2009-MTC. Normas técnicas relativas al sub Sector saneamiento OS.90. Plantas de tratamiento de aguas residuales. Lima-Perú.
- Prescott L.; Harley J.; Klein D. (1996). Microbiología. Editorial McGraw-Hill. Madrid-España.
- Quijía F., (2015). Diseños del sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales de Veracruz, cantón Pastaza. Tesis para obtener el título de ingeniero civil. Quito- Ecuador.
- Quiroz P. (2009). Planta de tratamiento de aguas residuales para regadío en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Tesis para optar el título de ingeniero químico por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú.
- Romero J., (2008). Lagunas de estabilización de aguas residuales, primera edición. Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogotá-Colombia.
- Ruz I., (2019). Elección de una planta de tratamiento de aguas servidas para un servicio de saneamiento rural (SSR): Gestión técnica comercial de un SSR. Santiago de Chile. Chile

- Salazar L. (2009). Tratamiento de agua residual por medio de lagunas de estabilización para poblaciones de 2000 a 3000 habitantes en el estado de Durango. Tesis de maestría en hidráulica por la Universidad Veracruzana. Veracruz-Boca del Río-México.
- Sánchez, V. (2019). Evaluación y propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la inspección La Victoria del municipio el colegio Cundinamarca. Tesis para optar el título de ingeniero civil por la Universidad Piloto. Bogotá-Colombia.
- SENAMHI, (2019). El clima promedio en Acobamba Perú.  
<https://es.weatherspark.com/y/23282/Clima-promedio-en-Acobamba-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Silva J. (2004). Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura. Tesis para optar por el título de licenciado en ingeniería civil. Recuperado el 11 de abril de 2019. <http://pirhua.udep.edu.pe/handle/123456789/1189>.
- SUNASS (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. 1ra. edición. Lima- Perú.
- Suarez M. (2010). Tratamiento de aguas residuales municipales en el valle del Cauca. Tesis de maestría por la Universidad de Valle. Santiago de Cali-Colombia.
- Veiga M. (2015). Reactor UASB. Ficha técnica informante para tratamiento de efluentes en plantas de la industria textil. Universidad de da Coruña.
- Véliz F. (2014). Tratamiento con Luz UV al Efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Ayacucho con Fines de Riego Agrícola. Tesis de Doctorado en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima.

Vilaña C. (2016). Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para los barrios Villaflora y El Rosario Parrioca Pintag, cantón Quito. Tesis de título por la Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

## **Anexos**

## Anexo 1

### *Rediseño de la PTAR2 de la ciudad de Acobamba*

#### Sistema de pre tratamiento PTAR2

##### A1.1 dimensionamiento del canal de entrada a la planta

El transporte del agua entre las unidades se hará con una tubería de concreto 4” de diámetro, Los datos de diseño fueron tomados de la tabla 8. El agua residual ingresará a la PTAR mediante un canal rectangular con una pendiente del 2,5 %, construido de hormigón cuyo coeficiente de rugosidad relativa ( $\epsilon$ ) es igual a 0,013. Se tomará un ancho de canal de 0,40 m. La norma recomienda una velocidad en el canal mayor a 0,6 m/s para el caudal medio y una velocidad menor a 2,5 m/s para el caudal máximo horario (Hernández et. At., 2004).

#### Verificación de velocidad para el caudal máximo, $V_{D2}$

Para verificar la velocidad se utiliza la ecuación de Manning:

$$k = \frac{Q_{d2}\epsilon}{b^{8/3}S^{1/2}} \quad [A1.1]$$

$k$  = Coeficiente de Manning para el cálculo del tirante de agua

$Q_{d2}$  = Caudal de diseño = 0,00599 m<sup>3</sup>/s (Tabla 27)

$\epsilon$  = Coeficiente de rugosidad relativa de Manning = 0,013

$b$  = Base (ancho) del canal = 0,4 m

$S$  = Pendiente del canal = 0,025

$$k = \frac{0.00599 \times 0,013}{0,4^{8/3} 0.025^{1/2}} = 0,00567$$

Tirante de agua,  $d$

Es la distancia vertical del punto más bajo de la sección del canal a la superficie libre del agua.

$$\frac{d}{b} = 1,6624k^{0,74232} \quad [A1.2]$$

$$d = 1,6624 \times 0,00567^{0,74232} \times 0,40 \text{ m} = 0,014 \text{ m}$$

Se debe comprobar la velocidad mediante la ecuación de Manning [A1.1]:

$$v_{d2} = \frac{1}{\varepsilon} R^{2/3} S^{1/2} \quad [A1.3]$$

$$R = \text{radio hidráulico} = \frac{b d}{b + 2d}$$

$$v_{d2} = \frac{1}{0,013} \left( \frac{(0,40)(0,014)}{0,40 + 2(0,014)} \right)^{2/3} \left( \frac{2,5}{100} \right)^{1/2} = 0,68 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Comparando el valor obtenido de 0,68 m/s con los datos de diseño de la tabla 8, la velocidad se encuentra dentro los criterios de diseño  $> 0,6 \text{ m/s}$ , pero menor que 3 m/s.

También por los criterios de diseño de la tabla 8, se recomienda utilizar una altura de seguridad  $\geq 0,40 \text{ m}$ . La tabla 30 resume las dimensiones del canal.

**Tabla 42***Tabla A1.1 Resumen de las dimensiones para el canal de entrada*

<b>Descripción</b>	<b>Dimensión</b>
Ancho del canal	0,40 m
Tirante del agua a caudal máximo	0,014 m
Altura del canal	0,40 m
Longitud del canal (Dato de diseño)	0,90 m

## A1.2 Dimensionamiento de la unidad de desbaste

### A1.2.1 Dimensionamiento del canal de entrada

Los datos de diseño que se indican a continuación fueron tomados de la tabla 8. El agua residual ingresará a la PTAR mediante un canal rectangular con una pendiente del 2,5%, construido de hormigón cuyo coeficiente de rugosidad relativa ( $\epsilon$ ) es igual a 0,013.

Se tomará un ancho de canal de 0,40 m. La norma recomienda una velocidad en el canal mayor a 0,6 m/s para el caudal medio y una velocidad menor a 2,5 m/s para el caudal máximo horario (Hernández et. At., 2004).

Comprobación de la velocidad para el caudal de diseño,  $v_{d1}$

Para verificar la velocidad se utiliza la ecuación de Manning:

$$k = \frac{Q_{d1}\epsilon}{b^{8/3}S^{1/2}} \quad [A1.4]$$

$k$  = Coeficiente de Manning para el cálculo del tirante de agua

$Q_{d1}$  = Caudal de diseño = 0,00907 m<sup>3</sup>/s (sección 5.3.1)



$\varepsilon$  = Coeficiente de rugosidad relativa de Manning = 0,013

$b$  = Base (ancho) del canal = 0,4 m (Tabla 8)

$S$  = Pendiente del canal = 0,025 (Tabla 8)

$$k = \frac{0.00599 \times 0,013}{0,4^{8/3} 0,025^{1/2}} = 0,00567$$

Tirante de agua,  $d$

Tirante de agua es la profundidad del fluido que está fluyendo, es la distancia vertical del punto más bajo de la sección del canal a la superficie libre del agua.

$$\frac{d}{b} = 1,6624 k^{0,74232} \quad [A1.5]$$

$$d = 1,6624 \times 0,00567^{0,74232} \times 0,40 \text{ m} = 0,014 \text{ m}$$

Con la ecuación de Manning, ecuación [5.6] y el tirante de agua se comprueba la velocidad:

$$v_{d1} = \frac{1}{\varepsilon} R^{2/3} S^{1/2} \quad [A1.6]$$

$$R = \text{radio hidráulico} = \frac{b d}{b + 2d}$$

$$v_{d1} = \frac{1}{0,013} \left( \frac{(0,40)(0,014)}{0,40 + 2(0,014)} \right)^{2/3} (0,025)^{1/2} = 0,68 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Comparando el valor obtenido de 0,68 m/s con los datos de diseño de la tabla 8, (velocidad de diseño menor que 3 m/s), pero mayor que 0,6 m/s, la velocidad obtenida se encuentra dentro los criterios de diseño.

También por los criterios de diseño de la tabla 8, se recomienda utilizar una altura de seguridad  $\geq 0,40$  m. La tabla A1.2 resume las dimensiones del canal.

### Tabla 43

*Tabla A1.2 Resumen de las dimensiones para el canal de desbaste*

Descripción	Dimensión
Ancho del canal	0,40 m
Tirante del agua a caudal máximo	0,02 m
Altura del canal	0,40 m
Longitud del canal (Dato de diseño)	2,00 m

#### A1.2.2 Dimensionamiento de la unidad de desbaste

De la tabla 9 se tomó los siguientes parámetros de diseño, para las rejillas gruesas: barras de sección rectangular de 8 mm de espesor, 30 mm de ancho = a, espaciamiento entre barras de 20 mm = e, y un ángulo de inclinación de las barras de 45° respecto a la horizontal y manejo manual para las rejillas.

Determinación del ancho del canal en la zona de rejillas, b

$$b = \left(\frac{c}{e} - 1\right)(e + a) + e \quad [A1.7]$$

c = ancho del canal de entrada recomendado = 25 cm

$$b = \left( \frac{25 \text{ cm}}{2 \text{ cm}} - 1 \right) (2 \text{ cm} + 3 \text{ cm}) + 2 \text{ cm} = 60 \text{ cm}$$

Número de barras (n) gruesas,  $N_g$

$$N_g = \frac{b - e}{a + e} = \frac{60 - 2}{3 + 2} = 12 \text{ barras}$$

Número de barras delgadas,  $N_d$

15 mm de ancho = a, espaciamiento entre barras 15 mm = e

$$N_d = \frac{b - e}{a + e} = \frac{60 - 1,5}{1,5 + 1,5} = 19.5 \approx 20 \text{ barras}$$

Velocidad a través de las barras gruesas, a caudal de diseño,  $v$

comprobación de la velocidad

$$k = \frac{Q_{d1} \varepsilon}{b^{8/3} S^{1/2}} \quad [A1.8]$$

$$k = \frac{Q_{d1} \varepsilon}{b^{8/3} S^{1/2}} = \frac{0,00599 \times 0,013}{0,6^{8/3} 0,025^{1/2}} = 0,0019$$

Tirante del agua

$$\frac{d}{b} = 1,6624 k^{0,74232}$$

$$d = 1,6624 \times 0,0019^{0,74232} \times 0,6 = 0,0095$$

Aplicando la ecuación [5.6]

$$v = \frac{1}{0,013} \left( \frac{(0,6)(0,0095)}{(0,6 + 2(0,0095))} \right)^{2/3} (0,025)^{1/2} = 0,6 \frac{m}{s}$$

Según la tabla 9, la velocidad de diseño a través de las barras de 0,6 a 0,75 m/s; el valor obtenido de 0,6 m/s está dentro de los criterios de datos de diseño de la tabla 9.

Pérdida de energía por fricción a través de las rejillas,  $\Sigma F_f$

Pérdida de carga a través de las cribas a caudal máximo horario,

$$\Sigma F_f = \beta \left( \frac{a}{s} \right)^{4/3} H_v \text{sen}\theta \quad [A1.9]$$

$\beta = \text{coeficiente de Kirshmer} = 2,42$  (Tabla 3.8)

$$H_v = \text{carga de velocidad} = \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \text{velocidad a caudal diseño, } \frac{m}{s}$$

$$g = \text{aceleración de la gravedad, } 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Sigma F_f = 2,42 \left( \frac{0,3}{0,025} \right)^{4/3} \frac{0,6^2}{2 \times 9,81} \text{sen}(45) = 0,86 \text{ m. c. a.}$$

Área por las rejillas, A

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,00599}{0,6} = 0,010 \text{ m}^2$$

Tirante del agua, d

$$d = \frac{A}{b} = \frac{0,010 \text{ m}^2}{0,60 \text{ m}} = 0,017 \text{ m}$$

Para este caso el margen de seguridad es 0.35 m.

Altura de las rejillas:  $H = 0,35 + 0,017 = 0,37 \text{ m}$

Longitud de las rejillas, L

$$L = \frac{H}{\text{sen}(45)} = \frac{0,367 \text{ m}}{\text{sen}(45)} = 0,423 \approx 0,52 \text{ m}$$

Con el margen de seguridad de 0,4 m, la longitud de la rejilla es  $L=0,92 \text{ m}$ .

#### Tabla 44

*Tabla A1.3 Resumen de las dimensiones para la unidad de desbaste*

<b>Descripción</b>	<b>Dimensión</b>
<b>Ancho de las rejillas</b>	0,03 m
<b>Separación entre rejillas</b>	0,02 m
<b>Número de rejillas gruesas</b>	12 rejillas
<b>Número de rejillas delgadas</b>	20 rejillas
<b>Altura de las rejillas</b>	0,37 m
<b>Longitud de las rejillas</b>	0,92 m
<b>Ancho del canal de rejillas</b>	0,63 m
<b>Altura del canal (dato de diseño)</b>	2,00 m

#### A1.2.3 Dimensionamiento del desarenador

La construcción del desarenador en las PTAR es obligatoria, sobre todo cuando hay unidades como sedimentadores y reactores. El desarenador remueve partículas de diámetro

medio o igual o superior a 0,20 mm. En la investigación se diseña un desarenador de flujo horizontal, formado por dos canales rectangulares con flujo horizontal del agua a caudal de diseño calculado con el caudal máximo horario y con velocidad 0,30 m/s de acuerdo a la tabla 10. (OS-090, 2009)

Área del desarenador, A

El área se determinar mediante la ecuación [5.10]

$$A = \frac{Q_d}{v} \quad [A1.10]$$

$$A = \frac{Q_d}{v} = \frac{0,00599 \text{ m}^3/\text{s}}{0,30 \text{ m/s}} = 0,019966 \text{ m}^2$$

Como el desarenador está formado por canales rectangulares tomaremos como ancho de la base  $b = 0,40 \text{ m}$ .

Tirante de agua, h

$$h = \frac{A}{b} = \frac{0,019966 \text{ m}^2}{0,40 \text{ m}} = 0,05 \text{ m}$$

Por seguridad se toma:  $h = 0,10 \text{ m}$

**Comprobación:** el manual de URALITA recomienda  $1 < \frac{b}{h} < 5$ , (Hernández, 2000)

$$\frac{b}{h} = \frac{0,40}{0,10} = 4$$

El valor de 4 está dentro de los límites que presenta el manual de depuración de aguas URALITA. (Hernández, 2000)

Altura del canal

Como el tirante de agua es 0,10 m y según los criterios de la tabla 10 se toma el valor de 0,40 m como altura del canal.

Volumen de agua que pasa por el desarenador, V

Tomando como referencia la tabla 10, tomamos 100 segundos como tiempo de retención hidráulico. La limpieza manual se hará cada 15 días. Los desarenadores operarán en forma alternada. Como el caudal es igual al volumen entre el tiempo, entonces el volumen es,

$$V = Q_{d1} t_{limpieza} = 0,00599 \frac{m^3}{s} 15 d \frac{24h}{1 d} \frac{60 min}{1h} \frac{60s}{1 min} = 7763,04 m^3$$

Cantidad de arena sedimentada en el desarenador

Por dato de diseño, la arena recogida en un desarenador para caudales pequeños varía de 7,5 a 90 L de arena por cada 1000 m<sup>3</sup> de agua residual. (OMS, 1981) Para el diseño tomaremos 40 L por cada 1000 m<sup>3</sup> y la limpieza manual se realizará cada 15 días

$$\begin{aligned} \text{Volumen de arena} &= V \times \text{cantidad de arena} = 7763,04 m^3 \frac{40L}{1000m^3} \frac{1 m^3}{1000L} \\ &= 0,31m^3 \text{ arena} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de arena} = 0,31 m^3 \text{ de arena}$$

Longitud del desarenador,  $L_{desarenador}$

$$L_{desarenador} = \frac{\text{volumen}_{desarenador}}{\text{altura}_{desarenador} \text{ ancho}_{desarenador}} = \frac{0,31 \text{ m}^3}{0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}} = 1,94 \text{ m}$$

A la salida y entrada del desarenador se preverá, a cada lado, por lo menos una longitud adicional equivalente a 25% de la longitud teórica, como indica la tabla 10. (OS-090, 2009)

Longitud adicional para cada lado del desarenador:  $1,94 \text{ m} \times 0,25 = 0,49 \text{ m}$

$$L_{desareandor} = 1,94 + 0,49 + 0,49 = 2,92 \text{ m}$$

Por factor seguridad, finalmente el desarenador tendrá una longitud de 4 m

$$L_{desareandor} = 4 \text{ m}$$

Comprobación

La relación entre el largo y la altura del agua debe ser como mínimo 25, (tabla 10) la altura del agua y borde libre debe comprobarse para el caudal máximo horario. (OS-090, 2009)

$$\frac{L_{desarenador}}{h_{tirante \text{ del agua}}} = \frac{4 \text{ m}}{0,1 \text{ m}} = 40$$

La relación entre el largo del desarenador y la altura del agua residual que fluirá por el dearenador es de 40, valor superior a 25 que indica norma OS-090.

Comprobación para el tiempo de retención hidráulico, TRH



$$V_{\text{útil}} = L_{\text{desarenador}} h_{\text{desarenador}} b_{\text{desarenador}} = 4 \times 0,4 \times 0,4 = 0,64 \text{ m}^3$$

Determinación del tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{V_{\text{útil}}}{Q_{d1}} = \frac{0,64 \text{ m}^3}{0,00599 \text{ m}^3/\text{s}} = 106,94 \text{ s}$$

Según la norma OS-090 el tiempo de retención hidráulica (TRH) debe estar entre 80 a 300 s a caudal máximo horario, como el TRH de la investigación es 88.2 s , entonces se verifica que está dentro de los límites.

#### Tabla 45

*Tabla A1.4 Resumen de las dimensiones del desarenador*

Descripción	Dimensión
Ancho del desarenador	0,40 m
Altura del desarenador	0,40 m
Tirante del agua	0.1 m
Longitud del desarenador	4,0 m
TRH	106,94 s

Sistema de tratamiento primario PTAR2

A2.1 Dimensionamiento del tanque IMHOFF

A2.1.1 Diseño del sedimentador

Volumen de la cámara de sedimentación,  $V_s$

Dato de entrada

Caudal de diseño,

$$Q_{d1} = 0,00599 \frac{m^3}{s} = 21,57 \frac{m^3}{h} = 517,68 \frac{m^3}{d}$$

Área del sedimentador,

$$A_s = \frac{Q_d}{C_s} = \frac{21,57 m^3/h}{1 m^3/m^2 h} = 21,57 m^2 \quad [A1.11]$$

$$C_s = \text{carga superficial} = 1 \frac{m^3}{m^2 h} \quad [Tabla 3.10]$$

Volumen de la cámara de sedimentación

$$V_s = Q_d TRH = \frac{21,57 m^3}{h} 2h = 43,14 m^3 \quad [A1.12]$$

TRH es el tiempo de retención hidráulica, 2 h. (Tabla 12)

Ancho del sedimentador, W

Según CONAGUA, 2015a, la relación del largo y ancho para el sedimentador de un tanque Imhoff varía de 3:1 a 5:1, tomando la relación de 4:1, para un sedimentador rectangular.

$$A_s = 4W \times W = 4W^2$$

$$W = \sqrt{\frac{A_s}{4}} \quad [A1.13]$$

$$W = \sqrt{\frac{21,57 m^2}{4}} = 2,32 m$$

Longitud del sedimentador, L

$$L = \frac{A_s}{W} = \frac{21,57 \text{ m}^2}{2,32 \text{ m}} = 9,30 \text{ m} \quad [A1.14]$$

Comprobación,

$$\text{Relacion: } \frac{L}{W} = \frac{9,30}{2,32} = 4,01$$

El resultado de la relación de  $L/W=4,01$  está comprendido dentro los criterios de diseño mencionado por CONAGUA 2015a.

Dimensiones para la altura del sedimentador

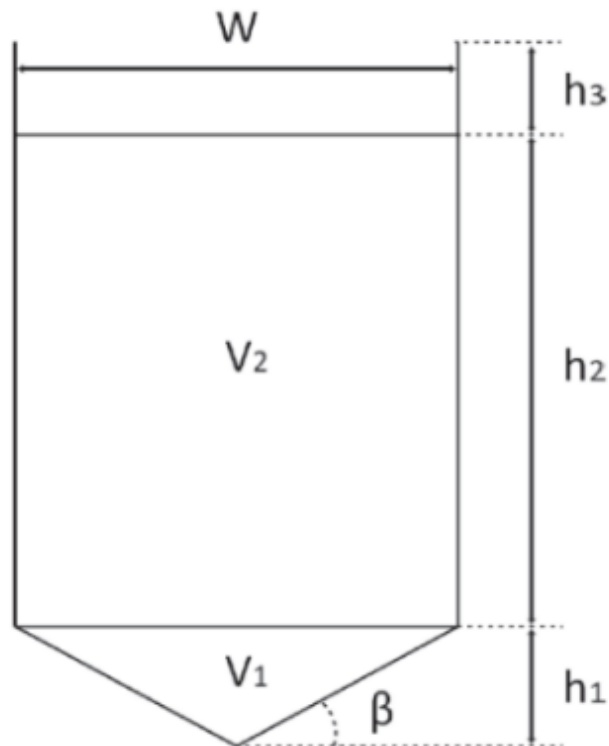
$h_1$  = altura de la pared inclinada

$h_2$  = altura del cuerpo del sedimentador

$h_3$  = altura del borde libre

**Figura 39**

*Esquema para las alturas del sedimentador.*



Altura de la pared inclinada,  $h_1$

$$h_1 = \frac{W}{2} \operatorname{tg}(\beta) = \frac{2,32 \text{ m}}{2} \operatorname{tg}(60) = 2,01 \text{ m} \quad [\text{A1.15}]$$

De la tabla 12, se tomó para el ángulo beta igual a  $60^\circ$

Volumen del fondo del sedimentador,  $V_1$

$$V_1 = \frac{W}{2} L h_1 = \frac{2,32 \text{ m}}{2} 9,30 \times 2,01 = 21,68 \text{ m}^3 \quad [\text{A1.16}]$$

Altura del cuerpo del sedimentador,  $h_2$

$$h_2 = \frac{V_s - V_1}{WL} = \frac{43,14 - 21,68}{2,32 \times 9,30} = 1,00 \text{ m} \quad [\text{A1.17}]$$

El borde libre o distancia vertical entre la parte superior de la pared del tanque y la superficie libre del agua ( $h_3$ ), debe ser 0,30 m. (Tabla 12)

$$\text{Altura total: } H = h_1 + h_2 + h_3 = 2,01 + 1,00 + 0,30 = \mathbf{3,31 \text{ m}}$$

Según la OPS, 2005c, la profundidad debe tener el valor entre 2 y 3,5 m (recomendable 3 m), y según la CONAGUA 2015c los valores deben estar comprendidos entre 1,5 a 4, el valor obtenido para la altura total del sedimentador del tanque Imhoff,  $H = 3,31 \text{ m}$ , está dentro de los criterios mencionados.

Tabla 46

Tabla A1.5 Resumen de las dimensiones del sedimentador-tanque Imhoff

Descripción	Dimensión
Volumen de la cámara de sedimentación	43,14 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención hidráulica	2 h
Ancho del sedimentador	2,32 m
Longitud del sedimentador	9,30 m
Altura de la pared inclinada	2,01 m
Altura del cuerpo del sedimentador	0,94 m
Altura total	3,31 m

A2.1.2 Diseño de la cámara de digestión de lodos

Volumen de almacenamiento y digestión  $V_d$

$$V_d = \frac{70 P f_{cr}}{1000} \quad [A1.18]$$

$P =$  Población en el horizonte, 2230 hab [Tabla 5.1]

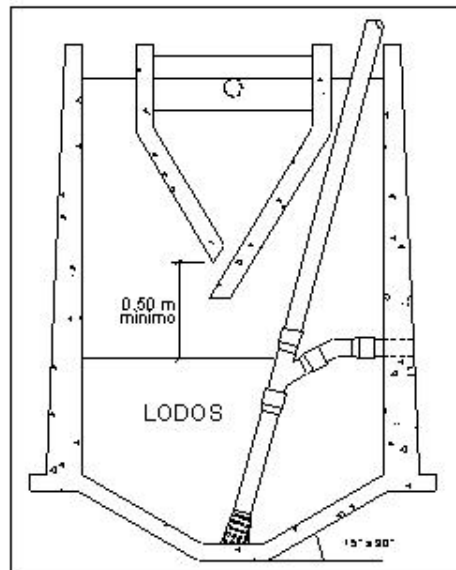
$T_{\text{agua residual}} = 18,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

$f_{cr}^{18,6 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0,784$  [interpolación con datos de la tabla 3.12]

$$V_d = 70 \frac{L}{hab} \times 2230 \text{ hab} \times 0,784 \frac{m^3}{1000L} = 122,38 \text{ m}^3$$

**Figura 40**

*Dimensiones para la cámara de digestión e inclinación de las paredes.*



*Fuente: (OPS, 2005b)*

Dimensiones para la cámara de digestión

El artículo 5.4.2.4 de la norma OS-090, 2009 indica los criterios para el diseño de la superficie libre del líquido entre las paredes del digestor y las del sedimentador (zona de espumas):

- Espaciamiento libre = 1,00 m como mínimo.
- Superficie libre total por lo menos 30% de la superficie total del tanque.

Si  $W_c$  es el ancho de la cámara de digestión.

Tomando como base el artículo 5.4.2.4, definimos 1,30 m para el espaciamiento libre para cada lado, entonces en ancho de la cámara de digestión es:

$$W_c = W + 2 \times 1,30 = 2,32 + 2,6 = 4,92 \text{ m}$$

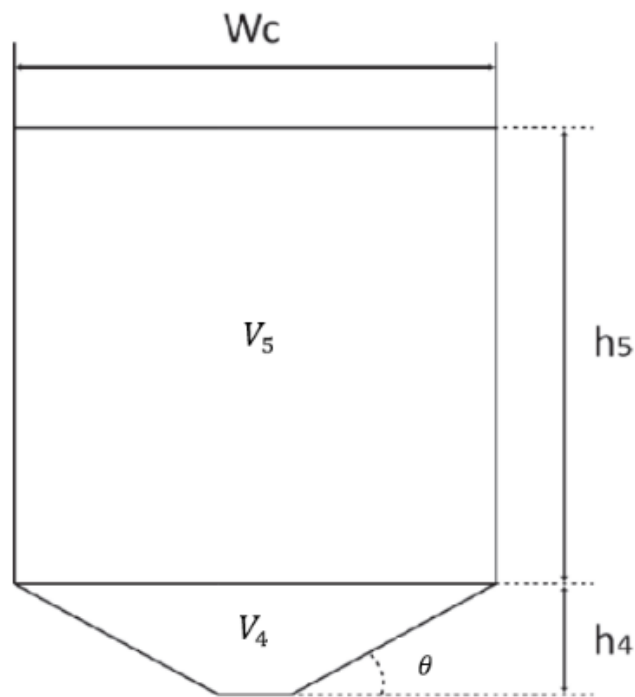
El artículo 5.4.2.3.d del manual OS-090, 2009 indica que el fondo del compartimiento de la cámara de digestión debe tener la forma de tronco de pirámide, cuyas paredes deben tener una inclinación de 15 a 30 grados respecto a la horizontal, para el trabajo se tomó un ángulo de 30°.

Altura de la zona inclinada,  $h_4$

$$h_4 = \frac{W_c}{2} \operatorname{tg}(\theta) = \frac{4.92}{2} \operatorname{tg}(30) = 1,42 \text{ m} \quad [A1.19]$$

**Figura 41**

*Esquema de las dimensiones de la cámara de digestión.*



Volumen del fondo de la cámara,  $V_4$

$$V_4 = \frac{1}{3} h_4 W_c L = \frac{1}{3} 1,42 \text{ m } 4,92 \text{ m } 9,30 \text{ m} = 21,66 \text{ m}^3 \quad [A1.20]$$

La altura máxima del debe ser 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador.

Altura del cuerpo de la cámara,  $h_5$

$$h_5 = \frac{V_d - V_4}{W_c L} = \frac{(122,38 - 21,66) \text{ m}^3}{(4,92 \times 9,30) \text{ m}^2} = 2,20 \approx 2,25 \text{ m} \quad [A1.21]$$

Tiempo requerido para digestión de lodos

El tiempo requerido para la digestión de lodos es función de la temperatura. Interpolando la temperatura y el tiempo requerido para la digestión de lodos de la tabla 13 se obtiene 44,2 días

Tiempo requerido para digestión de lodos = 44,2 días

**Tabla 47**

*Resumen de las dimensiones de la cámara de digestión de lodos del tanque Imhoff*

<b>Descripción</b>	<b>Dimensión</b>
<b>Volumen de almacenamiento y digestión</b>	122,38 m <sup>3</sup>
<b>Ancho de la cámara de digestión</b>	4,92 m
<b>Altura de la zona inclinada</b>	1,42 m
<b>Volumen del fondo de la cámara</b>	21,66 m <sup>3</sup>
<b>Altura del cuerpo de la cámara</b>	2,25 m
<b>Tiempo requerido para digestión de lodos</b>	44,2 d

Frecuencia del retiro de lodos

Los lodos digeridos deberán retirarse periódicamente. Para estimar la frecuencia de retiros de lodos se usarán los valores de la tabla 13. (OPS, 2005b).

La frecuencia de remoción de lodos deberá calcularse en base a los tiempos referenciales, considerando que existe una mezcla de lodos frescos y lodos digeridos, estos últimos ubicados al fondo del digestor.

De este modo el intervalo de tiempo entre extracciones de lodos sucesivas deberá ser por lo menos el tiempo de digestión a excepción de la primera extracción en la que se deberá esperar el doble de tiempo de digestión. (OPS, 2005b)

Extracción de lodos



El diámetro mínimo de la tubería para la remoción de lodos será de 200 mm y deberá estar ubicado 15 cm por encima del fondo del tanque. Para la remoción se requerirá de una carga hidráulica mínima de 1,80 m. (OPS, 2005b)

#### A2.1.3 Diseño del área de ventilación y cámara de natas

La figura 3.1 y 3.3 presenta las dimensiones y áreas para el área de ventilación y cámara de natas. (OPS, 2005c) y (OPS, 2005b)

El espaciamiento libre debe ser mínimo de 1,0 m. Superficie libre total de por lo menos 30% de la superficie total del tanque. Borde libre de 0,30 cm. El volumen debe ser aproximadamente igual a la mitad del volumen de la cámara de digestión. El área de la cámara de espumas debe estar expuesta a la atmósfera y debe tener el 30% de la proyección horizontal de la parte superior de la cámara de digestión. (OPS, 2005b)

#### A2.2 diseño del lecho de secado de lodos

Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (C)

Como la ciudad de Acobamba cuenta con el servicio de alcantarillado, la contribución per cápita se puede determinar en base a los resultados de la caracterización del agua residual.

$$C = Q_{d1} STS \quad [A1.22]$$

C= Carga de sólidos que ingresa al sedimentador [kg de STS/d]

STS= Sólidos en suspensión en el agua residual cruda= 330,3mg/L=0,3303 kg/m<sup>3</sup>

(Tabla 30)

$Q_{d1}$ = Caudal de diseño del agua residual=0,00599 m<sup>3</sup>/s (Sección 5.3.1)

$$C = Q_{d1} STS = 0,00599 \frac{m^3}{s} \frac{3600s}{1 h} \frac{24 h}{1 d} 0,3303 \frac{kg STS}{m^3} = 170,94 \frac{kg de STS}{d}$$

Masa de sólidos que conforman los lodos,  $M_{sd}$ , (OPS, 2005b)

$$M_{sd} = (0,5 \times 0,7 \times 0,5 \times C) + (0,5 \times 0,3 \times C) \quad [A1.23]$$

$$\begin{aligned} M_{sd} &= \left( 0,5 \times 0,7 \times 0,5 \times 170,94 \frac{\text{kg de STS}}{d} \right) + \left( 0,5 \times 0,3 \times 170,94 \frac{\text{kg de STS}}{d} \right) \\ &= 55,55 \frac{\text{kg de STS}}{d} \end{aligned}$$

Volumen diario de lodos digeridos,  $V_{ld}$ , (OPS, 2005b)

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left( \frac{\% \text{ sólido}}{100} \right)} \quad [A1.24]$$

$$\rho_{lodo} = \text{densidad de los lodos} = 1,04 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 1040 \frac{\text{kg de STS}}{\text{m}^3}$$

$\% \text{ de sólidos} = \% \text{ de solidos en el lodo, varía de 9 a 12 \%}$

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left( \frac{\% \text{ sólido}}{100} \right)} = \frac{55,55 \text{ kg de STS}/d}{1040 \frac{\text{kg de STS}}{\text{m}^3} \frac{10}{100}} = 0,53 \frac{\text{m}^3}{d}$$

Volumen de lodos a extraerse del tanque  $V_{el}$ , (OPS, 2005b)

$$V_{el} = V_{ld} T_d \quad [A1.25]$$

$T_d = \text{tiempo de digestión} = 44,2 \text{ d (Tabla 3.11)}$

$$V_{el} = 0,53 \frac{m^3}{d} 44.2d = 23,43 m^3$$

Área del lecho de secado  $A_{ls}$ , [ $m^2$ ]

$$A_{ls} = \frac{V_{el}}{H_a} \quad [A1.26]$$

$H_a = \text{profundidad del lecho} = 0,40 \text{ m (CONAGUA, 2005c)}$

$$A_{ls} = \frac{23,43m^3}{0,4 \text{ m}} = 58,58 m^2$$

El ancho del lecho de secado debe estar comprendido entre 3 a 6 m, pero para instalaciones grandes puede sobrepasar los 10 m. (OPS, 2005c)

Deben haber 2 o más lechos de secado. (OPS, 2005c)

#### Tabla 48

Tabla A1.7 Resumen de las dimensiones del lecho de secado del tanque Imhoff

Descripción	Dimensión
Carga de sólidos que ingresa al sedimentador	170,94 (kg de STS)/d
Masa de sólidos que conforman los lodos	55,55 (kg de STS)/d
Volumen diario de lodos digeridos	0,53 $m^3/d$
Volumen de lodos a extraerse del tanque	23,43 $m^3$
Área del lecho de secado	58,58 $m^2$

#### Medio de Drenaje

El medio de drenaje debe construirse con 0,30 m de espesor y debe tener los componentes que menciona la referencia bibliográfica OPS, 2005c.

**Anexo 2***Panel fotográfico*













### Anexo 3

#### Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
<p><b>PROBLEMA PRINCIPAL</b> ¿En qué medida la evaluación de la PTAR de Acobamba influirá en el mejoramiento y rediseño de algunos procesos unitarios existentes, diseño de otros procesos y mitigación de la contaminación ambiental en el distrito de Acobamba, provincia de Acobamba, región Huancavelica?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b> ¿En qué medida la evaluación del estado físico, operativo y estructural de la PTAR Acobamba, permitirá conocer el estado que se encuentra la planta? ¿Por qué el estudio de los procesos unitarios existentes es necesario para mejorar, rediseñar o agregar nuevos diseños en la PTAR de Acobamba? ¿Cómo ayudará el tratamiento de las aguas servidas en la PTAR de Acobamba a mitigar la contaminación ambiental y la reutilización de las aguas tratadas?</p>	<p><b>OBJETIVO PRINCIPAL</b> Evaluar a la PTAR de Acobamba y realizar los rediseños necesarios de procesos unitarios existentes o diseño de otros procesos, con la finalidad de mejorar el tratamiento del agua residual y mitigar la contaminación ambiental en el distrito de Acobamba, provincia de Acobamba, región Huancavelica.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> Evaluar el estado físico, operativo y estructural de la PTAR de Acobamba, con la finalidad de conocer en qué estado se encuentra la planta en las etapas de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario. Conocer los problemas técnicos de los procesos unitarios existentes de la PTAR de Acobamba a fin de realizar algunos rediseños o diseño de otros procesos de mejora para el tratamiento del agua. Realizar la caracterización física, química y microbiológica</p>	<p><b>HIPÓTESIS PRINCIPAL</b> Si la evaluación de la PTAR de Acobamba no es favorable entonces se debe realizar un plan de mejora, o rediseño de procesos unitarios existentes y diseño de otros procesos a fin de que la planta entre en operación y como consecuencia se mitigue la contaminación ambiental.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b> A mayores resultados negativos en la evaluación del estado físico, operativo y estructural de la PTAR de Acobamba, entonces mayores problemas de tratamiento en las etapas de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario en la planta. A mayores problemas técnicos en los procesos unitarios existentes en la PTAR de Acobamba entonces se necesita un plan de mejora, analizando las posibles soluciones de tratamiento del agua con rediseño o diseño de equipos en las unidades del tratamiento. Si la caracterización física, química y microbiológica del afluente del agua residual de la PTAR de Acobamba indica alta contaminación, entonces es inminente el tratamiento del agua</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Evaluación, del estado físico, operativo y estructural de la PTAR de Acobamba-Huancavelica. Indicadores: Estado físico, (bueno, regular y malo) Estado operativo, (funciona y no funciona) Estado estructural, (bueno, regular y malo)</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Mejoramiento, rediseño o diseño de procesos unitarios en la PTAR de Acobamba-Huancavelica Indicadores Medidas preventivas de mejoramiento, (medida 1 y medida 2) Caudal de entrada, (m<sup>3</sup>/s) Caudal de salida, (m<sup>3</sup>/s) Población, (número de habitantes) Carga contaminante: DBO<sub>5</sub>, SST y nutrientes, (mg/L) Demanda bioquímica de oxígeno, DBO<sub>5</sub>, (mg O<sub>2</sub>/mL</p>	<p>1. TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicativa-explicativa</p> <p>2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo-correlacional</p> <p>3. DISEÑO Experimental-transversal</p> <p>4. METODOLOGÍA Reconocimiento del área de estudio. Medida del terreno. Ubicación física de la PTAR Acobamba. Evaluación de la PTAR Acobamba. Realización del plan de muestreo de agua residual. Análisis, reporte de muestras. Estudio para el mejoramiento de la PTAR Acobamba. Estudio para el caso de modificación de diseño. Diseño de nuevas operaciones unitarias para el proceso de tratamiento</p> <p>5. POBLACIÓN PTAR del Perú</p>

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
	del agua residual que ingresa a la PTAR de Acobamba, para rediseñar o diseñar las unidades de procesos, con el propósito de mitigar la contaminación ambiental y reutilizar el agua tratada.	para mitigar la contaminación ambiental y reutilizar el agua tratada.	Coliformes totales, (NMP/100 mL) Coliforme termotolerantes, (NMP/100 mL)	6. MUESTRA PTAR Acobamba 7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS TÉCNICAS Técnicas de evaluación Procedimiento de diseño INSTRUMENTOS Programas para diseño de equipos

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD 018-2024-UNSCH-EPG/EGAP**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado- UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución Directoral N<sup>º</sup> 198-2021-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:


**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD**

AUTOR:	Bach. Alfredo Chate Pareja
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS:	MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA:	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO:	MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA, MENCIÓN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE
TÍTULO DE TESIS:	Evaluación, mejoramiento y rediseño de la planta de tratamiento de agua residual Acobamba – Huancavelica 2017
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD:	8% de similitud
N <sup>º</sup> DE TRABAJO:	2284610684
FECHA:	02-feb.-2024

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia, a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 02 de Febrero del 2024.

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN  
CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
ESCUELA DE POSGRADO  
Ing. Edith Geovana Asto Peña  
Responsable Área Académica

# Evaluación, mejoramiento y rediseño de la planta de tratamiento de agua residual Acobamba – Huancavelica 2017

*por* Alfredo Chate Pareja

---

**Fecha de entrega:** 02-feb-2024 11:29a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2284610684

**Nombre del archivo:** TESIS\_CHATE\_020224.docx (7.59M)

**Total de palabras:** 34045

**Total de caracteres:** 180322

# Evaluación, mejoramiento y rediseño de la planta de tratamiento de agua residual Acobamba – Huancavelica 2017

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>8%</b>	<b>9%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.unsch.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>dspace.ups.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>studylib.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>idoc.pub</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.unphu.edu.do</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>dspace.esPOCH.edu.ec</b> Fuente de Internet	

<1 %

10 [dspace.ucuenca.edu.ec](https://dspace.ucuenca.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

11 [qdoc.tips](https://qdoc.tips)

Fuente de Internet

<1 %

12 Submitted to Universidad Nacional de San  
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

13 [www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)

Fuente de Internet

<1 %

14 [repositorio.uss.edu.pe](https://repositorio.uss.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

15 [doku.pub](https://doku.pub)

Fuente de Internet

<1 %

16 [ri2.bib.udo.edu.ve:8080](https://ri2.bib.udo.edu.ve:8080)

Fuente de Internet

<1 %

17 [bibdigital.epn.edu.ec](https://bibdigital.epn.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

18 [sswm.info](https://sswm.info)

Fuente de Internet

<1 %

19 [mapasconagua.net](https://mapasconagua.net)

Fuente de Internet

<1 %

20 [ri.ues.edu.sv](https://ri.ues.edu.sv)

Fuente de Internet

<1 %

21

[www.acueducto.com.co](http://www.acueducto.com.co)

Fuente de Internet

<1 %

22

[repositorio.unp.edu.pe](http://repositorio.unp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

23

[dspace.uclv.edu.cu](http://dspace.uclv.edu.cu)

Fuente de Internet

<1 %

24

[vsip.info](http://vsip.info)

Fuente de Internet

<1 %

25

Carlos M. López Vázquez, Germán Buitrón Méndez, Héctor A. García, Francisco J. Cervantes Carrillo. "Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño", *Water Intelligence Online*, 2017

Publicación

<1 %

26

[dspace.unach.edu.ec](http://dspace.unach.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

27

[dspace.unitru.edu.pe](http://dspace.unitru.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

28

[www.scribd.com](http://www.scribd.com)

Fuente de Internet

<1 %

29

[apirepositorio.unh.edu.pe](http://apirepositorio.unh.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

Submitted to Universidad TecMilenio



30	Trabajo del estudiante	<1 %
31	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://repositorio.ulvr.edu.ec">repositorio.ulvr.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas      Activo

Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias      < 30 words



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR  
AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA, MENCION GERENCIA DE  
PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE  
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 0813-2023-UNSCH-EPG/D**

Siendo las 4:00 p.m. del 31 de Octubre de 2023 se reunieron auditorium de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de tesis, presidido por el **Mg. Roaldo PINO ANAYA** director (e) de la Escuela de Posgrado, **Dr. Andres PORTUGAL PAZ** director (e) de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, e integrado por los siguientes miembros: **Dr. Ybar Gustavo PALOMINO MALPARTIDA** y el **Mtro. Jaime Leonardo BENDEZU PRADO**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **EVALUACION, MEJORAMIENTO Y REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ACOBAMBA - HUANCAVELICA 2017**. En la Ciudad de Ayacucho del 2023 presentado por el **Bach. Alfredo CHATE PAREJA**. Teniendo como asesor al **Dr. Raúl Ricardo VELIZ FLORES**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar al Grado Académico de **MAESTRO (A) en CIENCIAS DE LA INGENIERIA, MENCION GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**. Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por la graduada.

A continuación el Jurado Examinador y Calificador de tesis procedió a la votación, la que dio resultado el siguiente calificativo: Quince (15)

**CALIFICACION (\*)**

Aprobado por unanimidad	<input checked="" type="checkbox"/>
Aprobado por Mayoría	<input type="checkbox"/>
Desaprobada por Unanimidad	<input type="checkbox"/>
Desaprobada por mayoría	<input type="checkbox"/>

(\*) Marcar con aspa

Luego, el presidente del Jurado recomienda que la que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue a al **Bach. Alfredo CHATE PAREJA**, el Grado Académico de **MAESTRO (A) en CIENCIAS DE LA INGENIERIA, MENCION GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**. Siendo las 18:00 hrs. Se levanta la sesión. Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las 18:15 hrs. Del 31 de octubre 2023.

.....  
**Mg. Roaldo PINO ANAYA**  
Director (e) de la Escuela de Posgrado

.....  
**Dr. Andrés PORTUGAL PAZ**  
Director (e) de la Unidad de Posgrado – FIMGC

.....  
**Dr. Ybar Gustavo PALOMINO MALPARTIDA**  
Miembro

.....  
**Mtro. Jaime Leonardo BENDEZU PRADO**  
Miembro

.....  
**Dr. Marco Rolando ARONES JARA**  
Secretario Docente

**Observaciones:**

.....

.....