

**DISEÑO PRELIMINAR DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE LA ESPERANZA DEPARTAMENTO  
NORTE DE SANTANDER EN COLOMBIA**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**HANS STIVEN FANDIÑO PIAMONTE**  
**CÓDIGO: 2138390**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS –PARSONS BRINCKERHOFF COLOMBIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**BOGOTÁ, COLOMBIA**  
**2017**

**DISEÑO PRELIMINAR DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE LA ESPERANZA DEPARTAMENTO NORTE  
DE SANTANDER EN COLOMBIA**

**HANS STIVEN FANDIÑO PIAMONTE  
CÓDIGO: 2138390**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERÍA AMBIENTAL EN LA MODALIDAD DE PASANTÍA**

**DIRECTOR (A):  
ING. JUAN CARLOS TORRES FERNÁNDEZ**

**CODIRECTOR (A)  
ING. HUGO FERNANDO MOLANO**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS – PARSONS BRINCKERHOFF COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ, COLOMBIA  
2017**

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN .....                                                             | 1  |
| ABSTRACT .....                                                            | 2  |
| 1. CAPITULO I – PROYECTO .....                                            | 3  |
| 1.1. Introducción .....                                                   | 3  |
| 1.2. Objetivos .....                                                      | 5  |
| 1.2.1. Objetivo general .....                                             | 5  |
| 1.2.2. Objetivos específicos .....                                        | 5  |
| 2. CAPITULO II – MARCO REFERENCIAL .....                                  | 5  |
| 2.1. Marco Contextual .....                                               | 6  |
| 2.2. Marco Teórico .....                                                  | 9  |
| 2.2.1. Área de Estudio – Municipio la Esperanza .....                     | 9  |
| 2.2.1.1. ASPECTOS FÍSICOS – URBANOS .....                                 | 9  |
| 2.2.1.2. PERÍMETRO URBANO .....                                           | 10 |
| 2.3. Marco conceptual .....                                               | 11 |
| 2.4. Marco Legal .....                                                    | 14 |
| 2.4.1. Normativa General .....                                            | 14 |
| 3. CAPITULO III – DESARROLLO DE LA PASANTIA .....                         | 16 |
| 3.1. Consideraciones generales .....                                      | 16 |
| 3.2. selección de alternativas de tratamiento .....                       | 16 |
| 3.2.1. Introducción .....                                                 | 16 |
| 3.3. Estudio de Alternativas y Selección del Sistema de Tratamiento ..... | 24 |
| 4. CAPITULO IV – RESULTADOS OBTENIDOS .....                               | 27 |
| 4.1. Parámetros Técnicos .....                                            | 27 |
| 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES .....                   | 28 |
| 4.3. PARAMETROS EVALUADOS IN SITU Y EN LABORATORIO .....                  | 29 |
| 4.4. Caracterización de Aguas Residuales .....                            | 30 |
| 4.5. Pre – Tratamiento .....                                              | 30 |
| 4.5.1. Canal de Ingreso .....                                             | 32 |

|          |                                                       |    |
|----------|-------------------------------------------------------|----|
| 4.5.2.   | Vertedero de Excesos.....                             | 32 |
| 4.5.3.   | Rejas para Retener Sólidos Finos (Cribado fino) ..... | 34 |
| 4.5.4.   | Desarenador .....                                     | 36 |
| 4.5.6.   | Canaleta Parshall.....                                | 38 |
| 4.6.     | Tratamiento Secundario.....                           | 39 |
| 4.6.1.1. | Tanque Imhoff.....                                    | 39 |
| 4.6.1.2. | Cámara de Sedimentación.....                          | 42 |
| 4.6.1.3. | Cámara de Digestión de Lodos.....                     | 42 |
| 4.6.1.4. | Área de Ventilación y Acumulación de Natas .....      | 43 |
| 4.7.     | Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFA .....       | 44 |
| 4.8.     | Manejo de Lodos .....                                 | 48 |
| 4.8.1.   | Lechos de secado.....                                 | 48 |
| 4.9.     | BENEFICIOS AMBIENTALES .....                          | 51 |
| 4.10.    | BENEFICIOS SOCIALES .....                             | 52 |
| 5.       | CONCLUSIONES .....                                    | 53 |
| 6.       | RECOMENDACIONES.....                                  | 53 |
| 7.       | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                      | 55 |
|          | ANEXOS.....                                           | 57 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Límites – Municipio de La Esperanza.....                                                             | 10 |
| Tabla 2 Ventajas y desventajas – Sedimentador convencional.....                                               | 18 |
| Tabla 3. Ventajas y desventajas – Tanque Imhoff.....                                                          | 19 |
| Tabla 4. Ventajas y desventajas – Lodos activados.....                                                        | 21 |
| Tabla 5. Ventajas y desventajas – RAFA.....                                                                   | 22 |
| Tabla 6. Ventajas y desventajas – FAFA.....                                                                   | 23 |
| Tabla 7. Definición de los Criterios de Evaluación.....                                                       | 25 |
| Tabla 8. Evaluación de Alternativas de Tratamiento de Agua Residual.....                                      | 26 |
| Tabla 9. Parámetros Técnicos PTAR.....                                                                        | 27 |
| Tabla 10. Comparación de los resultados con la norma.....                                                     | 29 |
| Tabla 11. Puntos de muestreo.....                                                                             | 30 |
| Tabla 12. Diseño del Canal de Ingreso.....                                                                    | 32 |
| Tabla 13. Diseño Vertedero de Excesos.....                                                                    | 34 |
| Tabla 14. Diseño Cribado fino.....                                                                            | 35 |
| Tabla 15. Diseño Desarenador.....                                                                             | 37 |
| Tabla 16. Diseño Trampa de Grasas.....                                                                        | 37 |
| Tabla 17. Diseño Canaleta Parshall.....                                                                       | 39 |
| Tabla 18. Diseño de la Cámara de Sedimentación.....                                                           | 42 |
| Tabla 19. Factor de Capacidad Relativa.....                                                                   | 43 |
| Tabla 20. Diseño Digestor.....                                                                                | 44 |
| Tabla 21. Diseño FAFA.....                                                                                    | 44 |
| Tabla 22. Diseño Lechos de Secado.....                                                                        | 48 |
| Tabla 23. Especificaciones Técnicas Material Filtrante.....                                                   | 49 |
| Tabla 24. Remoción en ton/año de DBO <sub>5</sub> y SST en el Casco Urbano del Municipio de La Esperanza..... | 51 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Empresa global diversificada .....                                                              | 6  |
| Figura 2. Empresa global diversificada .....                                                              | 7  |
| Figura 3. Ubicación del municipio La Esperanza.....                                                       | 9  |
| Figura 4. Diagrama de flujo – Alternativas PTAR.....                                                      | 24 |
| Figura 5. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. ....                                     | 26 |
| Figura 6. Proyección de la ubicación de la PTAR La Esperanza.....                                         | 28 |
| Figura 7. Esquema Proceso De Tratamiento De Aguas Residuales .....                                        | 31 |
| Figura 8. Cribado de la PTAR La Esperanza. ....                                                           | 35 |
| Figura 9 Tanque Imhoff, Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales .....                         | 40 |
| Figura 10 Tanque Imhoff PTAR del Casco Urbano del Municipio de La Esperanza.....                          | 41 |
| Figura 11. Tipos de biofilm para el proceso del FAFA.....                                                 | 45 |
| Figura 12. Schematic cross-section of an anaerobic filter (scala; approximately 1:30) .....               | 46 |
| Figura 13. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente PTAR del Casco Urbano del Municipio de La Esperanza. .... | 47 |
| Figura 14. Lechos de Secado de Lodos – PTAR del Casco Urbano del Municipio de La Esperanza. ....          | 50 |

## ANEXOS

Anexo A. Planos de diseño preliminar (PTAR) LA ESPERANZA

Anexo B. PSMV de La Esperanza

## RESUMEN

El tratamiento para aguas residuales en municipios permite mejorar la condición de calidad de agua que se vierte a los cauces naturales, removiendo grandes cargas contaminantes de DBO y SST entre otras. Las eficiencias y costo de implementar estos sistemas de tratamiento, varía dependiendo de la tecnología que se implementaría, teniendo en cuenta diferentes variables de cargas contaminantes, pero a futuro tener estas tecnologías implementadas en cada municipio implicaría beneficios ambientales, sociales y económicos para la población.

El municipio de La Esperanza, del departamento Norte de Santander, Colombia. Se presentan tres (3) vertimientos puntuales por parte del alcantarillado del municipio, el vertimiento uno (1) y dos (2) son descargados directamente a la quebrada caño azul y el vertimiento tres (3) es descargado a la quebrada La Esperanza, por cotas de terreno el vertimiento 3<sup>1</sup> es el que se encuentra aguas abajo, donde se planteará conjuntamente con el equipo de trabajo de la empresa Parsons Brinckerhoff Colombia el diseño preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales para el municipio.

Como desarrollo del proyecto se evaluarán diferentes tecnologías de tratamiento en función de las condiciones de las cargas contaminantes en el agua que tiene el municipio de La Esperanza. La tecnología que se tiene en cuenta de diseño es general y poseerá un pretratamiento que incluye cribado, vertedero de excesos, trampa de grasas desarenador, canaleta parshall, un tratamiento primario y secundario, con sus respectivos lechos de secado.

**Palabras Clave:** Planta de tratamiento de Agua Residual, pre tratamiento, lechos de secado, tanque IMHOFF, Tratamiento anaerobio, DBO, SST.

---

1 Información suministrada por Parsons Brinckerhoff Colombia

## ABSTRACT

The treatment for wastewater in municipalities, allows to improve the condition of water quality that is poured to the natural channels, removing large pollutant loads of BOD and SST, among others. The efficiencies and cost of implementing these treatment systems vary depending on the technology being implemented, taking into account different variables of pollutant loads, but in the future having these technologies implemented in each municipality imply environmental, social and economic benefits for the population.

The municipality of La Esperanza, in the northern department of Santander, Colombia. One (1) and two (2) are discharged directly into the blue canyon and three (3) sheds. The land is shed 3 is the one is located downstream, where the preliminary design of the wastewater treatment system for the municipality is proposed together with the work team of Parsons Brinckerhoff Colombia.

As development of the project will evaluate different treatment technologies depending on the conditions of the pollutant loads in the water that has the municipality of La Esperanza. The design technology is general and will have a pretreatment that includes sieving, overflow dump, degreasing grease trap, parshall gutter, a primary and secondary treatment, with their respective drying beds.

**Keywords:** Wastewater treatment plant, pre treatment, drying beds, IMHOFF tank, Anaerobic treatment, BOD, SST.

## 1. CAPITULO I – PROYECTO

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde, al diseño preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Esperanza, en el departamento de Norte de Santander, Colombia, del proyecto “REALIZAR EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, CATASTRO DE REDES DE ACUEDUCTO Y DE REDES DE ALCANTARILLADO, ACTUALIZACIÓN DEL DIAGNÓSTICO, ESTUDIOS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS, CON EL FIN DE CONTAR CON LOS INSUMOS NECESARIOS PARA CUMPLIR CON EL ALCANCE DEL CONTRATO No. 008 DE 2014 - DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER”. Los contenidos y alcances de este documento consisten en prediseñar un sistema de tratamiento de agua residual que mejore la calidad del efluente, domestico, industrial o comercial, de la quebrada La Esperanza y Caño Azul en el municipio de La Esperanza.

El diseño preliminar del presente proyecto se formuló, para seleccionar la mejor alternativa conforme al proyecto mencionando anteriormente, con el fin de cumplir un segundo proyecto de “CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y/O OPTIMIZACIONES Y/O DISEÑOS DETALLADOS DEFINITIVOS PARA CONSTRUCCIÓN, INCLUYENDO LOS PLANES DE OBRA E INVERSIÓN PARA LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE LOS MUNICIPIOS DE: TIBÚ, CÁCHIRA, LA ESPERANZA, HACARÍ, EL ZULIA, DURANIA, PAMPLONITA Y PARA LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO DE LOS MUNICIPIOS DE: BOCHALEMA, HERRÁN Y VILLA CARO EN EL DEPARTAMENTO DEL NORTE DE SANTANDER”. Será un diseño preliminar, que se tendrá en cuenta para los diseños detallados que se realizaran conjuntamente con ingenieros estructurales, de geotecnia y de presupuesto, de igual forma con el especialista hidráulico.

El documento se encuentra conformado por los siguientes capítulos:

- **CAPÍTULO I: PROYECTO.** Se presentan los objetivos generales y específicos a desarrollarse en el proyecto.
- **CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.** En este capítulo se presenta el marco contextual, teórico conceptual y legal que se tendrá en cuenta para el desarrollo del proyecto.

- **CAPITULO III: DESARROLLO DE LA PASANTIA.** Este capítulo contiene la información metodológica y recopilación de información para el desarrollo del proyecto.
- **CAPITULO IV: RESULTADOS OBTENIDOS.** En este capítulo se desarrolla la identificación de la alternativa planteada, y diseño preliminar del sistema de tratamiento que da solución a la problemática de saneamiento básico identificado.
- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.** En este ítem se encuentran las conclusiones y recomendaciones realizadas a partir de la recopilación, procesamiento y análisis de la información utilizada en el desarrollo del proyecto.
- **BIBLIOGRAFÍA.** Este capítulo contiene las referencias de consulta utilizados en el desarrollo del proyecto.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

- Pre diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales, que mejore la calidad del efluente, ya sea domestico industrial o comercial donde se descarga directamente a la quebrada La Esperanza y caño Azul.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

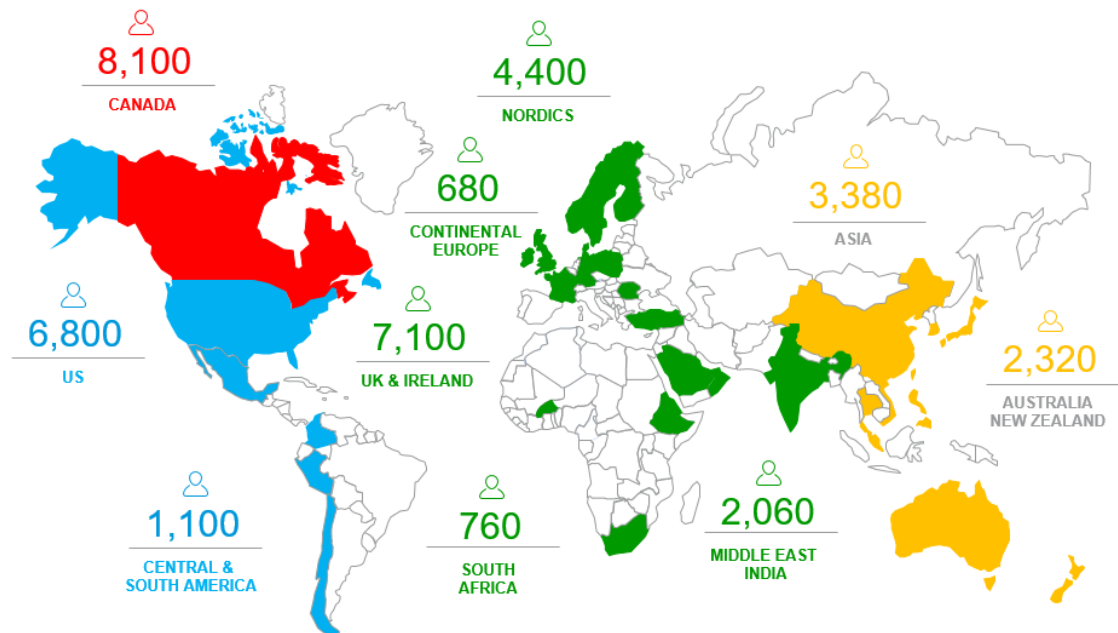
- Recopilar información primaria que se tendrá en cuenta para el prediseño de la PTAR del municipio de La Esperanza (Análisis de laboratorio de calidad de agua, información general del municipio, población entre otras).
- Evaluar diferentes alternativas de tratamiento para aguas residuales.
- Verificar los parámetros de diseño conforme a la normatividad existente para el sistema de tratamiento de agua residual del municipio La Esperanza.
- Realizar detalles preliminares de la tecnología de tratamiento (Vista de corte y planta) en AutoCAD, teniendo en cuenta las medidas contempladas en el diseño preliminar.
- Realizar los cálculos detallados del sistema de tratamiento que se escogería, teniendo en cuenta que se tendrá que realizar el pretratamiento, tratamiento primario y secundario con disposición de diseño de los lechos de secado.

## **2. CAPITULO II – MARCO REFERENCIAL**

## 2.1. MARCO CONTEXTUAL

WSP | Parsons Brinckerhoff es una de las firmas líderes en el ámbito mundial en servicios profesionales en ingeniería, que ofrece servicios diseñados para transformar el entorno y restaurar el medio ambiente. La experiencia de la organización abarca desde la recuperación del medio ambiente, la planificación urbana, la ingeniería de edificios emblemáticos, el diseño de redes de transporte sostenibles y el desarrollo de fuentes de energía para el futuro de energía para el futuro. Hasta la creación de nuevas formas para extraer los recursos esenciales.

Esta entidad cuenta con una amplia capacidad de cobertura en Colombia, a través de distintas oficinas regionales, satisfaciendo las necesidades de los clientes. Adicionalmente, se están expandiendo en todo Latinoamérica.



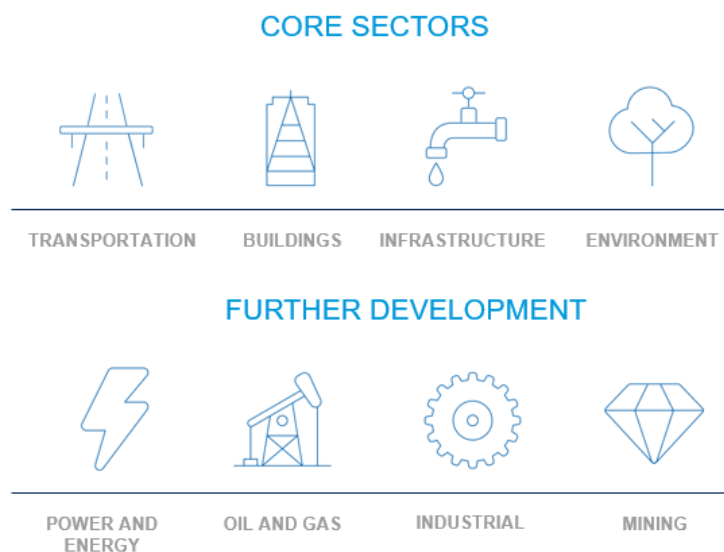
Figures include employees from the Mouchel Consulting acquisition completed on October 11th, 2016.

**Figura 1. Empresa global diversificada**  
 Fuente: WSP, PB

Ofrecen servicios a transformar el entorno construido y restaurar el medio ambiente natural. La experiencia de WSP se extiende de remediación ambiental a la planificación urbana, desde la ingeniería de edificios importantes hasta el diseño de redes de transporte sostenible, y el desarrollo de las fuentes de energía del futuro para permitir nuevas formas de extraer los recursos esenciales.

Cuentan aproximadamente con 36.000 empleados, incluyendo ingenieros, técnicos, científicos, arquitectos, planificadores, topógrafos, programas y profesionales de la gestión de la construcción, y varios expertos en medio ambiente. Nuestra base está en más de 500 oficinas en 40 países de todo el mundo.

WSP | Parsons Brinckerhoff trabaja en diferentes sectores de consultoría e interventoría como se observa en la Figura 2.



**Figura 2. Empresa global diversificada**  
Fuente: WSP, PB

Los servicios que brinda la empresa son los siguientes:

### **Gerencia integral de proyectos**

- Planificación integral
- Monitoreo y control
- Gestión del riesgo
- Control de calidad.

- Consulta previa y trabajo con comunidades y autoridades.

### **Ingeniería y diseño**

- Estudios de factibilidad
- Ingeniería de detalle
- Estructuración de esquemas EPC y EPCM
- Implementación, pruebas y puesta en marcha.

### **Interventoría, Auditoría y evaluaciones**

- Interventoría de obra, diseño e implementación de proyectos.
- Evaluaciones de impacto ambiental
- Modelación y evaluación de recursos energéticos
- Conceptos técnicos y comerciales de energía
- Evaluaciones de eficiencia energética
- Diligencias previas de auditoría.

### **Asociaciones público privadas (APP)**

- Estructuración técnica, financiera, legal e institucional de proyectos de iniciativa pública y privada.
- Análisis y evaluación de riesgos.
- Modelación económica y financiera
- Articulación con inversionistas y financieros
- Análisis de CAPEX y OPEX.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. ÁREA DE ESTUDIO – MUNICIPIO LA ESPERANZA

#### 2.2.1.1. ASPECTOS FÍSICOS – URBANOS

#### Ubicación y límites del municipio

El municipio de La Esperanza se localiza en el Centro del departamento de Norte de Santander, a 7°38'21" de latitud Norte y 73°20'09" de longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 180m, aproximadamente a 290 km de Cúcuta. La extensión total del municipio es de 649.44 km<sup>2</sup>, conformado por 6 barrios. (Véase Figura 3) [1].



Figura 3. Ubicación del municipio La Esperanza

Fuente: Alcaldía Municipal La Esperanza (La escala ha sido modificada para la visualización del documento) [8].

El municipio La Esperanza limita al nororiente con el departamento del Cesar, al suroccidente con el departamento de Santander, por el noroccidente con el municipio de Abrego, según la siguiente línea limítrofe. “Partiendo del nacimiento

del río Carcasí o quebrada La Piñas en este sitio, en el alto Las Cruces, con respecto al Suroccidente La Esperanza limita con el municipio de Cáchira, según la siguiente línea limítrofe: “Partiendo del Alto Las Cruces, sobre el camino que sigue por el Filo de la Centella en dirección sur (S) hasta el nacimiento de la quebradas las Delicias, y por el cauce de ésta, hasta su desembocadura en la quebrada de las Vegas, aguas arriba hasta su nacimiento en el alto de las Ventanas [8].

**Tabla 1. Límites – Municipio de La Esperanza**  
**Fuente: Cartografía IGAC [9]**

| Dirección cardinal | Municipio   | Departamento       |
|--------------------|-------------|--------------------|
| Por el Norte       | Abrego      | Norte de Santander |
|                    | San Alberto | Cesar              |
| Por el Occidente   | San Alberto | Norte de Santander |
|                    | Rio negro   | Santander          |
| Por el Sur         | Playón      | Santander          |
|                    | Rio negro   | Santander          |
|                    | Cáchira     | Norte de Santander |
| Por el Oriente     | Cáchira     | Norte de Santander |

#### 2.2.1.2. PERÍMETRO URBANO

##### **Definición**

Se define como el Lindero Continuo que circunscribe el área urbana actual de la cabecera municipal en un área total de 9,63 ha., diferenciándose para efectos de aplicación del Esquema de Ordenamiento del área rural circundante [1].

##### **Delimitación**

Según lo consignado en el EOT vigente del municipio de La Esperanza (año 2001) el perímetro urbano está conformado por construcciones de vivienda sencilla, de tipo tradicional y en pocos casos construcciones múltiples con áreas de expansión reducidas, ofrece un servicio de acueducto y alcantarillado de regular calidad y con una infraestructura bastante deteriorada por el tiempo de construcción. El casco urbano está conformado por 478 viviendas y 6 barrios [1].

El área de expansión urbana (AEU) es de aproximadamente 4,7 ha, mientras que el área de la zona de transición de suelo urbano a rural (ASU) es 14,36 ha. Y el área de protección y conservación (ACP) es de 34,96 ha [1].

### **Información básica censal**

El municipio de La Esperanza con código DANE 54385

De cuarenta municipios (40) que tiene el departamento de Norte de Santander, La Esperanza ocupa el puesto número diez y seis (16) en población (Datos censo de 2005), es decir tiene el 0,88% de la población del departamento, localizado al sur occidente de la ciudad de Cúcuta aproximadamente a 350 km de ésta, teniendo que pasar por Aguachica, Rio de Oro Ocaña [10].

La población del sector urbano se dedica al comercio, a economías informales, a la elaboración de productos lácticos y en mínima proporción al turismo entre otros.

Población proyectada rural con nivel de complejidad medio, 2673 hab.

### **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

El tratamiento de aguas residuales, es muy importante realizarlo debido a que luego del uso del agua, en actividades domésticas, agrícolas e industriales, su composición Biológica se afecta. El RAS 2000 título E, en relación el tratamiento de aguas residuales para Colombia, define las aguas residuales municipales como “Agua residual de origen domestico comercial e institucional que contiene desechos humanos”. [11]. Cuando se implementa una tecnología de tratamiento, aporta numerosos beneficios, mejora la salud colectiva evitando enfermedades, conserva el medio ambiente y después de su tratamiento permite la utilización del agua para distintos fines.

#### **Pre tratamiento:**

Tiene como objeto remover del agua residual aquellos constituyentes que pueden causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores o que, en algunos casos, no pueden tratarse conjuntamente con las demás componentes de agua residual [12].

#### **Tratamiento primario:**

Se refiere comúnmente a la remoción parcial de solidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos, mediante sedimentación u otro medio, y constituye un método de preparar el agua para el tratamiento secundario, por lo general el tratamiento primario remueve alrededor de 60% de los sólidos suspendidos de agua residual cruda y un 35% de la DBO [12].

#### **Tratamiento secundario:**

El tratamiento secundario convencional se usa principalmente para remoción de DBO soluble y sólidos suspendidos e incluye por ello, la implementación de procesos biológicos [12].

### **Sedimentador primaria + lodos activados**

Tratamiento biológico de cultivo suspendido, donde el residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas durante el crecimiento y mezcla los organismos floculan formando una masa activa denominada lodos activados. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos.

### **Reactor UASB**

Es un tanque al que se le introduce afluente por debajo uniformemente distribuido y en la parte superior existe un sistema separador de gas. Cuando el agua entra al reactor pasa por un manto de lodo biológico que transforma la materia orgánica (MO) en biogás. El gas producido es recogido entre las zanjias a través de la pantalla [14].

El reactor o proceso de flujo ascensional y manto de lodos anaerobio, conocido en inglés como Upflow Anaerobic Sludge Blanket – UASB y en español como reactor anaerobio de flujo ascensional, es un proceso en el cual el agua residual se introduce por el fondo del reactor y fluye a través de un manto de lodos conformado por granos biológicos o partículas de microorganismos. El proceso fue desarrollado por Lettinga y otros en 1980 y aplicado en Holanda para el tratamiento de residuos de concentraciones media y alta de origen agrícola [15].

### **Reactores UASB + Filtros Percoladores**

El filtro percolador tiene como objeto reducir la carga orgánica existente en aguas residuales domésticas o industriales. Consisten en un lecho de piedras, u otro medio natural o sintético, sobre el cual se aplican las aguas residuales, con el subsecuente crecimiento de microorganismos, lamas o películas microbiales sobre el lecho [14].

### **Sedimentación en Aguas Residuales**

En el tratamiento de aguas residuales se usa la sedimentación para los siguientes propósitos;

- Sedimentación primaria para remover sólidos sedimentables y material flotante de aguas residuales crudas, reduciendo así el contenido de sólidos suspendidos.

- Sedimentación intermedia para remover los sólidos y crecimientos biológicos preformados en reactores biológicos intermedios, como los filtros percoladores de primera etapa.
- sedimentadores secundarios para remover la biomasa y solidos suspendidos de reactores biológicos secundarios, como los procesos de lodos activados y los filtros percoladores
- Sedimentadores terciarios para remover solidos suspendidos y floculados, o precipitados químicamente en plantas de tratamiento de aguas residuales [17].

### **Tratamiento de lodos**

En los tanques de sedimentación se producen grandes volúmenes de lodos con alto contenido de agua; su deshidratación y disposición final pueden representar un alto porcentaje del costo del tratamiento del agua [18].

#### **Tipo de lodos**

Los lodos que se producen en los procesos de tratamiento de aguas son principalmente los siguientes:

- Lodo primario proveniente de la sedimentación de aguas residuales.
- Lodo secundario proveniente del tratamiento biológico de aguas residuales.
- Lodos digeridos provenientes de los dos (2) anteriores, separados o mezclados.
- Lodos provenientes de la coagulación y sedimentación de aguas residuales
- Lodos provenientes de plantas de ablandamiento
- Lodos provenientes de desarenadores y rejillas

### **Tanque IMHOFF**

El tanque Imhoff es un sistema combinado que consta de una zona de sedimentación en la cual se remueven los sólidos suspendidos del afluente, una zona de digestión de lodos en donde se realiza la estabilización biológica de los mismos a través de un proceso anaerobio, y una zona de ventilación en donde se liberan los gases producidos por la digestión realizada en el fondo del tanque [19].

## **Filtro Anaerobio RAFA**

El reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) consiste en un sistema de lodos en suspensión y flujo ascendente del agua. Este tipo de tratamiento permite separar la biomasa o lodo, el efluente tratado y el biogás. Un reactor típico RAFA consta de tres partes: lecho de lodos, capa de lodos y un separador de tres fases gas-líquido-sólido. El separador se instala en la parte superior del reactor. El agua residual es introducida lo más uniforme posible en la parte inferior del reactor está a través del lecho de lodos donde se da la degradación anaerobia [20].

## **2.4. MARCO LEGAL**

El presente proyecto se elaboró basado en normatividad que se describen en los siguientes ítems.

### **2.4.1. NORMATIVA GENERAL**

- Ley 99 del 22 diciembre de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”.
  - Decreto 1594 de 1984 “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto- Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos del Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Salud y el Departamento Nacional de Planeación.
  - Decreto – Ley 2811 de 1974, “por el cual se dicta el Código Nacional de los Recursos Naturales y de Protección al Medio ambiente”.
  - Decreto 1900 del 12 de junio del 2006 “Por el cual se reglamenta el parágrafo del Artículo 43 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones”.
  - Resolución 1096 del 17 de noviembre de 2000 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS”; Resolución 2320 del 27 de noviembre de 2009“:
- Título D Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Pluviales.

- Título E Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, 2000.
- Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014. Capítulo IV, Sostenibilidad Ambiental y Gestión del Riesgo.
- Resolución 0631 de 2015, “Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”.
- Decreto 3930 de 2010, “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

### 3. CAPITULO III – DESARROLLO DE LA PASANTIA

#### 3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La quebrada La Esperanza cuenta con unos objetivos de calidad específicos, que se muestran a continuación, y se comparan con la calidad de agua analizada que es base del proyecto.

##### Objetivo de calidad de la quebrada La Esperanza

OD (mg/L):  $\geq 4$   
 pH:  $5 \leq \text{pH} \leq 9$   
 Temperatura °C: T Ambiente (28 ° C)  
 $\pm 2 - 3$  °C  
 DBO5 (mg/l):  $\text{DBO} \leq 15$   
 SST (mg/l):  $0 \leq \text{SST} \leq 10$   
 Coliformes Fecales (NMP/100 ml):  $\leq 2000$   
 Coliformes Totales (NMP/100 ml):  $\leq 20000$

##### Calidad de agua – Descarga No. 3. (Quebrada La Esperanza).

OD (mg/L): 3.55  
 pH: 6.52  
 Temperatura °C: 28.84  
 DBO5 (mg/l): 212  
 SST (mg/l): 152  
 Coliformes Fecales (NMP/100 ml): 20000000  
 Coliformes Totales (NMP/100 ml): > MNPC

Se evidencia que la temperatura, DBO5, SST, Coliformes fecales y totales, no cumplen con los objetivos de calidad descritos por CORPONOR [20]. De acuerdo con este análisis de incumplimiento, se concluye que toca realizar un tratamiento para aguas residuales.

De acuerdo con la problemática de saneamiento básico identificada para el municipio de La Esperanza, teniendo en cuenta la Resolución 0936 de 2008, por el cual se aprueba el Plan de saneamiento y manejo de vertimientos del municipio de La Esperanza, departamento de Norte De Santander, se concertó desarrollar, la siguiente metodología para el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio.

#### 3.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

##### 3.2.1. INTRODUCCIÓN

Para la selección de la alternativa de tratamiento de aguas residuales más apropiada para el municipio de La Esperanza, se empleó una metodología que consideró una valoración cualitativa y cuantitativa de las tecnologías evaluadas de

acuerdo con las condiciones socio – económicas y ambientales de la zona. A continuación, se da una introducción general a las diferentes alternativas evaluadas para el proyecto.

### **Pre – Tratamiento**

El pre – tratamiento incluye diferentes estructuras que remueven especialmente materiales gruesos, pesados y flotantes. Este conjunto comprende los procesos de cribado y desarenado. Después de remover los sólidos gruesos y flotantes por medio del cribado, es recomendable incluir un proceso de desarenado puesto que evita la abrasión a equipos posteriores, así como la acumulación excesiva de lodos. Es por esto que el desarenador será parte de todos los trenes de tratamiento propuestos, independientemente de la selección de los tratamientos primarios y secundarios.

### **Tratamiento Primario**

Dentro del tratamiento primario se tuvieron en cuenta diferentes alternativas como los sedimentadores convencionales y tratamientos híbridos como el tanque Imhoff.

### **Tratamiento Secundario**

Para este tratamiento se plantearon alternativas biológicas aerobias y anaerobias, que tienen como objetivo principal reducir la cantidad de materia orgánica soluble en el agua residual. En el tratamiento secundario, se consideraron lodos activados, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) y reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA/UASB).

### **Manejo de Lodos**

El tratamiento de lodos en pequeñas poblaciones debe ser práctico y económico. Para este caso el manejo de lodos se realizará por medio de lechos de secado.

## **DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL DE LOS PROCESOS O LAS TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO**

Como paso previo al estudio de alternativas de tratamiento de agua residual para el casco urbano del municipio de La Esperanza, es importante resaltar los conceptos claves en cada una de las posibles tecnologías de tratamiento.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales deben obedecer a la necesidad de depuración de las aguas a tratar, teniendo en cuenta los diferentes tipos de contaminantes que pueden estar presentes en dichas aguas. Es muy difícil conocer todos y cada uno de los compuestos que podrían afectar al ser humano o al

ecosistema, pero existen indicadores dados en la normativa técnica que deben cumplirse cuando se realicen vertimientos a cuerpos receptores.

## Tratamiento Primario

El tratamiento primario tiene como fin remover a partir de fuerzas físicas los sólidos suspendidos en el agua residual y a su vez, a partir de esta remoción, disminuir la cantidad de materia orgánica presente en la misma.

### Sedimentador convencional.

El sedimentador convencional es una estructura basada en la velocidad a la cual pueden ser decantados los sólidos que se desean retirar. Dicha estructura puede ser rectangular o circular, dependiendo de la selección del diseñador en distribuir el flujo horizontal o verticalmente. Esta unidad debe ser construida con una pendiente de fondo que proporcione la geometría adecuada para la recolección de lodos generados en la unidad.

Adicionalmente, teniendo en cuenta la posible presencia de sobrenadantes y espumas en los sedimentadores, debe realizarse un barrido mecánico o manual en la superficie de los mismos.

### Operación y mantenimiento

La operación del sedimentador convencional es relativamente simple, en donde no es necesario un gran conocimiento en el proceso para realizar las labores pertinentes. Éstas corresponden a la abertura de la válvula de lodos periódicamente, remoción manual de posible material flotante y lavado del tanque dependiendo de la capa vegetal presente en el mismo. Las ventajas y desventajas de este tipo de sedimentador se señalan en la siguiente Tabla.

**Tabla 2 Ventajas y desventajas – Sedimentador convencional.**

| VENTAJAS                                                                                                                                                                                                        | DESVENTAJAS                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estructura de baja complejidad.</li> <li>▪ Operación relativamente sencilla.</li> <li>▪ Reducción de sólidos significativa.</li> <li>▪ No requiere energía.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Profundidad alta.</li> <li>▪ Se debe tener cuidado con zonas muertas en esquinas que produzcan flotamiento.</li> </ul> |

- Tanque Imhoff.

El tanque Imhoff es un sistema combinado que consta de una zona de sedimentación en la cual se remueven los sólidos suspendidos del afluente, una zona de digestión de lodos en donde se realiza la estabilización biológica de los mismos a través de un proceso anaerobio, y una zona de ventilación en donde se liberan los gases producidos por la digestión realizada en el fondo del tanque.

Después de pasar por el pre – tratamiento, el afluente ingresa a través de la zona de sedimentación, en donde el lodo sedimentado fluye por las paredes de esta zona llegando a la cámara de digestión del tanque a través de la ranura existente entre las dos zonas, que se encuentra en la parte inferior de la zona de sedimentación y en la superior de la zona de digestión. Esta ranura permite el paso del lodo, pero evita el paso de gases desde la zona de digestión a la zona de sedimentación, lo que traería problemas de flotación de sólidos. En la zona de ventilación se debe realizar el retiro manual de natas y espumas.

### ***Operación y mantenimiento***

Tiene la gran ventaja de realizar en una sola unidad los procesos de sedimentación y estabilización de lodos. Adicionalmente, no requiere de energía para su funcionamiento. En la Tabla 3, se resumen las ventajas y desventajas de este proceso.

**Tabla 3. Ventajas y desventajas – Tanque Imhoff.**

| <b>VENTAJAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>DESVENTAJAS</b>                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contribuye a la estabilización del lodo teniendo también un efecto en la calidad del efluente líquido</li> <li>▪ El lodo generado tiene un menor contenido de humedad y puede ser dispuesto en lechos de secado</li> <li>▪ El tiempo de retención es relativamente bajo</li> <li>▪ Bajo costo de construcción y operación</li> <li>▪ Su operación y mantenimiento son sencillos</li> <li>▪ No se requiere atención constante de la unidad</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grandes profundidades</li> <li>- Difícil construcción en suelos fluidos o roca</li> <li>- Puede presentar olores ofensivos</li> <li>- El efluente líquido requiere de pos-tratamiento</li> </ul> |

## Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario tiene como objetivo principal eliminar la materia orgánica remanente de los procesos físicos llevados a cabo anteriormente. Dichos tratamientos generalmente utilizan microorganismos para convertir la materia orgánica soluble en lodos y gases y de esta manera eliminar la materia orgánica diluida del afluente. Es importante tener en cuenta que estos procesos al depender de organismos deben ser manejados con cuidado y evitar la inhibición o sobrecarga de los mismos.

- **Lodos activados.**

Este consiste en un proceso aerobio en el cual microorganismos de diferentes clases degradan la materia orgánica diluida presente en el agua residual.

El proceso consta de un tanque de aireación y un posterior sedimentador secundario. El tanque de aireación es una estructura rectangular o circular en donde se realiza una mezcla completa entre los microorganismos y el agua a tratar. Se debe asegurar una inyección continua a los microorganismos con el objetivo de mantener la eficiencia del proceso y evitar la presencia de organismos anaerobios, que pueden perjudicar la operación. El sedimentador secundario debe ser usado para la separación entre el efluente tratado y la biomasa encargada de la degradación.

La aplicación de este tipo de configuración para el tratamiento de un agua residual particular depende de las características del agua, la entrada continua del afluente a la planta y múltiples criterios físico-químicos y microbiológicos que hace que la eficiencia del sistema cambie.

### ***Operación y mantenimiento***

A pesar de la gran eficiencia de los lodos activados, la delicadeza en su operación y mantenimiento pueden hacer de ellos una alternativa poco viable para poblaciones pequeñas. Esto se debe a que necesitan un control periódico de la concentración de biomasa en el reactor, identificación de fauna microbial, estudio de sedimentabilidad de lodos, entre otros parámetros que se deben medir en laboratorio por una persona capacitada.

La necesidad de personal competente no solo para los análisis de laboratorio, sino para la operación de la planta como tal, pueden traer fallas en la operación del sistema. La operación del sistema incluye el manejo de los desagües y recirculación adecuada de los lodos secundarios (biomasa), eficiencia en la homogenización del

tanque, aseguramiento de la aireación en el reactor, control de concentraciones de biomasa y materia orgánica, control de sedimentabilidad a través del manejo del tiempo de retención de lodos y manejo de eficiencia a través del tiempo de retención hidráulico.

En la Tabla 4, se muestran las ventajas y desventajas de este tipo de procesos.

**Tabla 4. Ventajas y desventajas – Lodos activados.**

| VENTAJAS                                                                                                                                                                                     | DESVENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altas eficiencias en remoción de materia orgánica.</li> <li>- Necesidad de área relativamente baja.</li> <li>- Poco empirismo en diseño.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto consumo de energía debido a necesidades de aireación.</li> <li>- Requieren de personal capacitado para el manejo, supervisión y mantenimiento de equipos, además de la necesidad de ensayos de laboratorio.</li> <li>- Puede no ser costo – eficiente debido el tamaño de la población.</li> <li>- Continua y alta producción de lodos, que pueden generar inconvenientes en cuanto a su disposición final.</li> </ul> |

- Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA/UASB)

El reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) consiste en un sistema de lodos en suspensión y flujo ascendente del agua. Este tipo de tratamiento permite separar la biomasa o lodo, el efluente tratado y el biogás. Un reactor típico RAFA consta de tres partes: lecho de lodos, capa de lodos y un separador de tres fases gas-líquido-sólido. El separador se instala en la parte superior del reactor. El agua residual es introducida lo más uniforme posible en la parte inferior del reactor está a través del lecho de lodos donde se da la degradación anaerobia.

Durante la operación se acumulan grandes cantidades de biomasa que adopta la estructura de gránulos compactos con una alta velocidad de sedimentación y permiten retrolavados. La eficiencia del reactor está condicionada por la calidad de los gránulos los cuales son responsables de la degradación de la materia orgánica, los microorganismos que predominan son metanogénicos. La retención de lodos activos permite un rendimiento de tratamiento con altas tasas de carga orgánica. El movimiento ascendente de las burbujas de biogás (mezcla entre metano y dióxido de carbono) generado de la degradación anaerobia provoca turbulencia dando como resultado una mezcla en el reactor sin necesidad de agitación mecánica.

## Operación y mantenimiento

Para la construcción y el mantenimiento del reactor requiere personal capacitado. Los reactores RAFA requieren varios meses para ponerlos en marcha.

La forma granular de los lodos se da cuando las bacterias forman las cadenas y coagulan en flocs o gránulos. El lodo no sólo se tiene que formar, sino también tiene que adaptarse a las características específicas de las aguas residuales. Alta carga orgánica en relación con menores tasas de carga hidráulica, aceleran el proceso de granulación de la fase inicial. En la Tabla 5, se muestran las ventajas y desventajas de este tipo de procesos.

Tabla 5. Ventajas y desventajas – RAFA.

| VENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | DESVENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajos requerimientos energéticos.</li> <li>- Simple y económico.</li> <li>- Producción de biogás que puede ser utilizado como energía.</li> <li>- Menor producción de lodo por la baja tasa de crecimiento de microorganismos.</li> <li>- No requiere: material de relleno para adherir la biomasa, clarificador y mezcla mecánica.</li> <li>- La carga orgánica puede ser mayor a la de procesos aireados.</li> <li>- No requiere superficies extensas, se pueden construir bajo tierra.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La etapa inicial puede ser crítica durante la granulación de la biomasa.</li> <li>- Requiere personal capacitado para la construcción, operación y mantenimiento (control de la bomba de alimentación y carga orgánica del afluente).</li> <li>- Problemas en la formación de gránulos (gránulos flotantes o falta de formación de gránulos) que producen una pérdida de biomasa.</li> <li>- Posibilidad de olores ofensivos.</li> <li>- Baja remoción de patógenos y nutrientes, por lo tanto, el efluente requiere un tratamiento adicional.</li> <li>- Susceptibilidad del sistema, en términos de rendimiento, a las variaciones en la carga orgánica aplicada al reactor.</li> <li>- Necesita una carga orgánica mínima para evitar que la biomasa muera.</li> </ul> |

- Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).

Los procesos de digestión anaerobia son utilizados para el tratamiento de aguas residuales, ya que con una alta carga orgánica se pueden obtener altas eficiencias de remoción. En los filtros anaerobios de flujo ascendente, el agua residual se alimenta al reactor a través de un falso fondo por donde el flujo se distribuye uniformemente. Luego el agua residual fluye a través de una masa de sólidos

biológicos suspendidos, contenidos dentro del sistema por un medio fijo de soporte. Los microorganismos se adhieren a la superficie del medio en forma de biopelícula, o bien se agrupan en gránulos dentro de los intersticios del medio. La materia orgánica soluble que pasa a través del filtro, se difunde dentro de las superficies de los sólidos adheridos o floculados, donde se realiza el proceso de degradación anaerobia.

El material de relleno más utilizado para el medio de soporte es la grava, debido esencialmente a su bajo costo y a su facilidad de adquisición. Sin embargo, el empleo de materiales plásticos tubulares permite el tratamiento de aguas residuales con una mayor carga orgánica y con una más alta concentración de sólidos, ya que son materiales de una mayor porosidad y permiten una mejor distribución de flujo. Este reactor está compuesto de tres zonas; la zona de entrada, la zona de empaque y la zona de salida.

#### *Operación y mantenimiento.*

El mayor control que se debe realizar en el FAFA es evitar la colmatación del lecho filtrante por el exceso de lodos, esta situación se controla inspeccionando por lo menos una vez al mes los reboses del segundo compartimiento del sedimentador, si está saliendo agua por ellos es necesario realizar un lavado a contra corriente. La limpieza será necesaria cuando el medio filtrante se encuentre colmatado y obstruido por el exceso de lodo, esto se notará, si en la inspección mensual el paso de agua está ocurriendo por la tubería de rebose en el segundo compartimiento de sedimentador. A continuación, se presentan ventajas y desventajas de este tipo tratamiento (véase Tabla 6).

**Tabla 6. Ventajas y desventajas – FAFA.**

| <b>VENTAJAS</b>                                                                                                                                                                                                                                             | <b>DESVENTAJAS</b>                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alta eficiencia en remoción de materia orgánica.</li> <li>▪ Fácil de instalar.</li> <li>▪ Bajo consumo de energía.</li> <li>▪ Poca producción de lodos.</li> <li>▪ Utilización del biogás para energía.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pueden desestabilizarse y se requiere personal especializado para reanudar eficientemente el proceso.</li> <li>- Puede requerir de otros procesos para pulir el efluente.</li> </ul> |

En la Figura 4, se presenta un diagrama de flujo donde cada línea representa los posibles trenes de tratamiento y el rango de eficiencia promedio de remoción en cada etapa, según el RAS (2000).

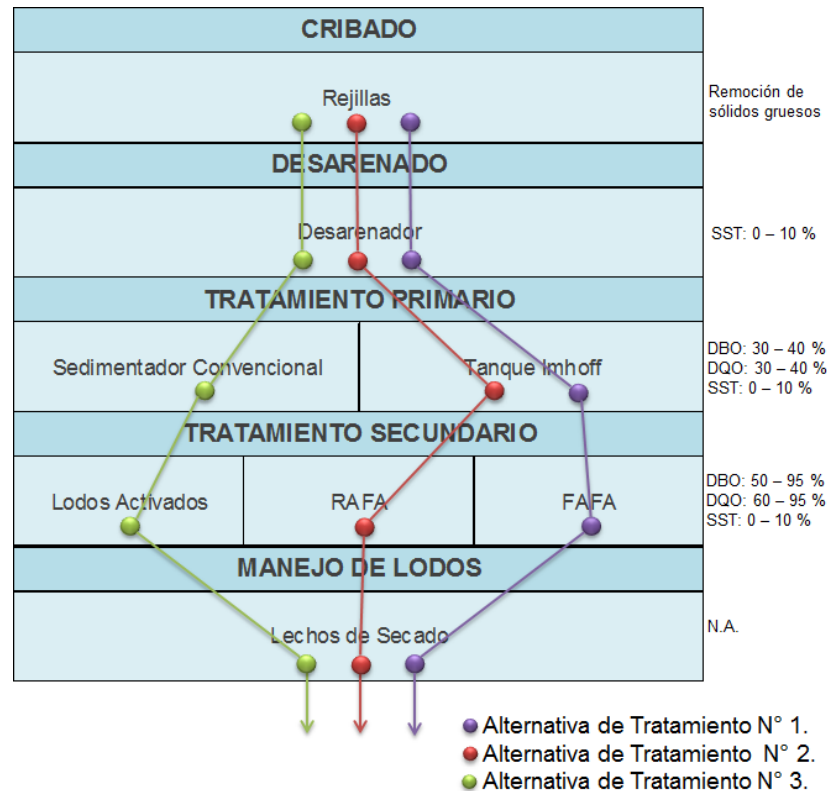


Figura 4. Diagrama de flujo – Alternativas PTAR.  
 Fuente: WSP/PB, 2016

### 3.3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Las alternativas previamente descritas se sometieron a una evaluación según la factibilidad de las mismas en el contexto local.

A pesar de que se tuvieron en cuenta ítems como topografía del terreno, distancias de retiro y otros, se seleccionaron aquellos que marcaran una diferencia; así pues, los ítems considerados son:

- Complejidad (C): es preferible contar con procesos sencillos que no requieran el constante monitoreo de variables para que su rendimiento sea el óptimo.
- Personal capacitado (PC): considera si es necesario contar o no con personal calificado para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.

- Lodos (L): la producción de lodos es inevitable en el tratamiento de aguas residuales, sin embargo, si los procesos generan grandes cantidades de lodos puede llegar a ser necesario un tratamiento robusto con el fin de hacer la disposición adecuada.
- Olores (O): ya que es uno de los principales factores al momento de mantener los respectivos criterios que exige el RAS 2000.
- Eficiencias (E): varios procesos están altamente vinculados con factores externos para un buen rendimiento en la depuración del agua residual.
- Necesidad de área (A): con el fin de evaluar la necesidad de espacio de la alternativa bajo análisis.
- Inversión inicial (IV): puesto que es necesario considerar la inversión inicial de la obra civil del sistema de tratamiento al igual que de los equipos necesarios.
- Operación y mantenimiento (O&M): hace referencia tanto a la sencillez de la ejecución de esta actividad como a los costos a los cuales se debe incurrir.

En la siguiente Tabla, se muestra la definición de criterios que se emplearon para una valoración holística definida.

**Tabla 7. Definición de los Criterios de Evaluación.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| VALOR | INTERPRETACIÓN                                                                              |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Es el valor más aceptable para el criterio de evaluación                                    |
| 2     | Corresponde a un valor intermedio entre la calificación más aceptable y la más desfavorable |
| 3     | Es el valor más desfavorable para el criterio de evaluación                                 |

Por lo tanto, la sumatoria de los criterios considerados varía entre 24 y 8, siendo el valor más alto aquella alternativa que resulte más desfavorable a considerar mientras que aquella a seleccionar será la que tenga el menor valor de dicha sumatoria. En la Tabla 8, se encuentra el resultado de la evaluación de alternativas.

Tabla 8. Evaluación de Alternativas de Tratamiento de Agua Residual.

Fuente: WSP/PB, 2016

| TRATAMIENTO | PROCESOS                  | CRITERIOS |          |          |          |          |          |          |          |           |
|-------------|---------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|             |                           | C         | PC       | L        | O        | E        | A        | IV       | O&M      | Total     |
| Primario    | Sedimentador convencional | 1         | 1        | 1        | 1        | 3        | 1        | 1        | 1        | 10        |
|             | <b>Imhoff</b>             | <b>1</b>  | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>9</b>  |
| Secundario  | Lodos activados           | 3         | 3        | 3        | 1        | 1        | 1        | 3        | 3        | 18        |
|             | <b>FAFA</b>               | <b>1</b>  | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>3</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>12</b> |
|             | RAFA/UASB                 | 2         | 2        | 1        | 3        | 2        | 1        | 2        | 2        | 15        |

Tal como se aprecia, la alternativa recomendada para el tratamiento de las aguas residuales en el casco urbano del municipio de la Esperanza corresponde a aquella conformada por un tanque Imhoff (tratamiento primario) y un filtro anaerobio FAFA (tratamiento secundario), correspondiente con la alternativa N° 3 de la Figura 4.

Con esta alternativa se logra remover el 80% de carga contaminante en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno –DBO- y Sólidos Suspendidos Totales –SST, bajo los lineamientos de operación y mantenimiento definidos para este sistema. (Véase Figura 5).

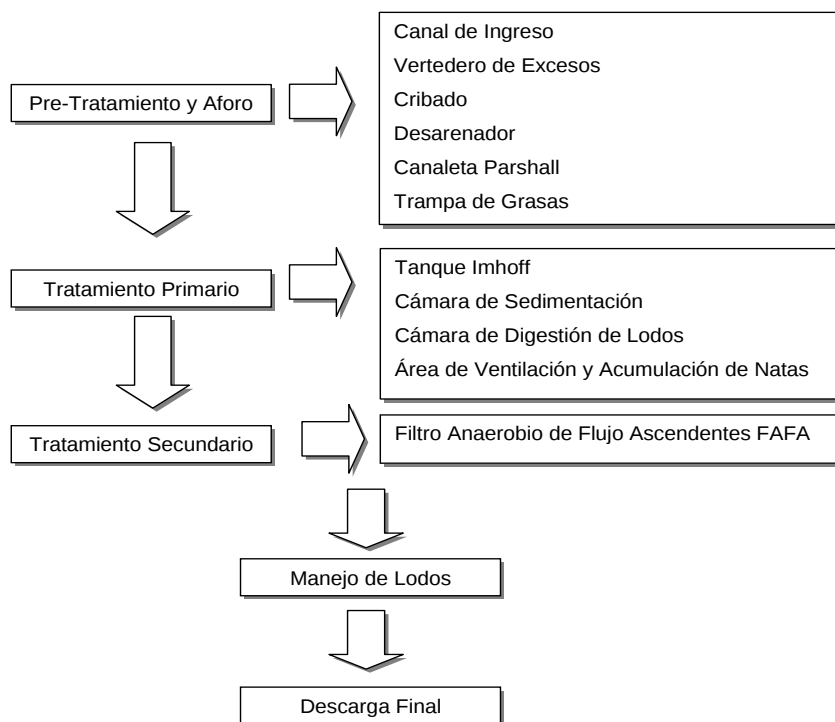


Figura 5. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.

Fuente: WSP/PB, 2016

## 4. CAPITULO IV – RESULTADOS OBTENIDOS

Se realiza el diseño preliminar de la alternativa seleccionada, del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Esperanza. Conforme a un nivel de complejidad medio y periodo de diseño de 25 años (información de diagnóstico general). Seguidamente teniendo en cuenta variables de diseño del RAS 2000 título E y los documentos de diseño del centro panamericano de ingeniería y ciencias del ambiente (Cepis/OPS) BVSDE.

### 4.1. PARÁMETROS TÉCNICOS

En la siguiente Tabla, se presentan los parámetros técnicos aplicados en la evaluación y diseños sanitarios de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que operará para un caudal de 6,64 L/s, de acuerdo con los criterios establecidos en el RAS, 2000.

**Tabla 9. Parámetros Técnicos PTAR.**

Fuente: RAS 2000

| PARÁMETRO                                        | RAS, 2000          | UNIDADES                          |
|--------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| <b>CRIBADO</b>                                   |                    |                                   |
| Velocidad de Aproximación                        | 0,3 – 0,6          | m/s                               |
| Velocidad entre Barras                           | 0,3 – 0,6          | m/s                               |
| Pendiente con la Vertical                        | -                  | (°)                               |
| Espaciamiento Grueso                             | 15 - 50            | mm                                |
| Ancho de Barras                                  | -                  | mm                                |
| Pérdida Permisible                               | 0,75               | m                                 |
| <b>DESARENADOR</b>                               |                    |                                   |
| Tasa de Desbordamiento                           | 700 - 1600         | m <sup>3</sup> m <sup>2</sup> – d |
| Relación largo/ancho                             | 2:5 a 5:1          |                                   |
| Tiempo de Retención                              | 20 s <sup>-3</sup> | min                               |
| <b>TANQUE IMHOFF</b>                             |                    |                                   |
| Relación largo/ancho                             | 2:5 a 5:1          |                                   |
| Área de Ventilación % total del área superficial | 15 a 30            | %                                 |
| Tiempo de retención sedimentador                 | 2 a 4              | horas                             |
| Diámetro Tubería Extractora                      | 200 a 3000         | mm                                |

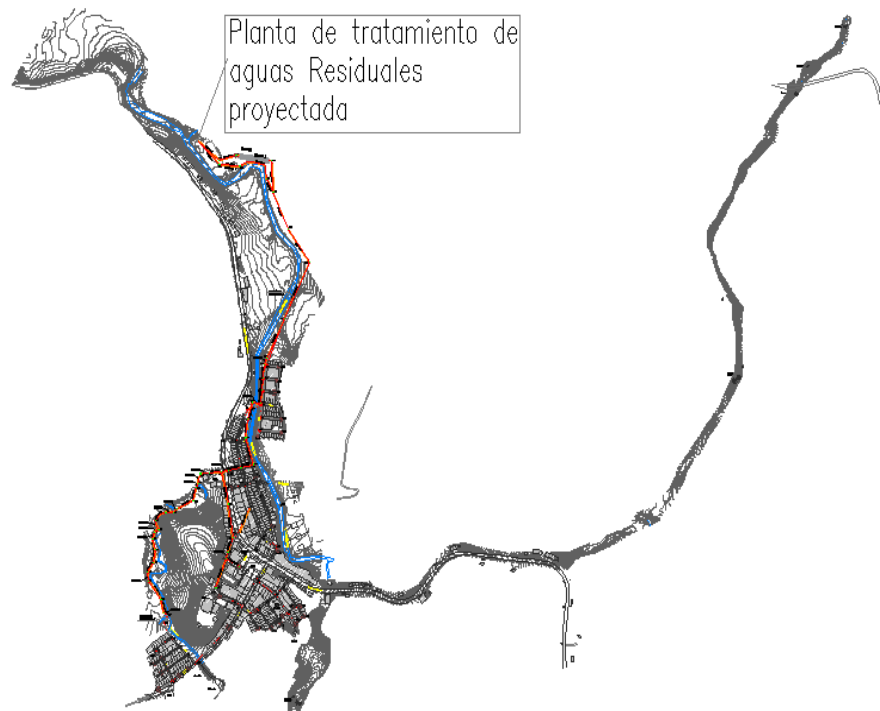
#### 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES

La ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) propuesto, será en un predio propiedad del municipio, ubicado en coordenadas N 1337626 E 1082593. Este sitio fue seleccionado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Hidráulica: la diferencia de niveles entre la población y el sistema de tratamiento beneficia la conducción y procesos de tratamiento por gravedad.
- Topografía: según las inspecciones, visitas de campo, diseños preliminares y condiciones socio – económicas y ambientales, éste era el sitio más acorde para el diseño del sistema de tratamiento.
- Predios: los predios se encuentran saneados legalmente.

Las coordenadas hacen mención al pozo de entrega a la PTAR, en el sector norte del municipio, el agua tratada de la PTAR descargaría aguas abajo a la quebrada La Esperanza. La cual presenta usos agrícolas y no hay captación de agua para consumo humano.

En la se sitúa la proyección de la ubicación de la PTAR La Esperanza con un área requerida de 200 m<sup>2</sup>



**Figura 6. Proyección de la ubicación de la PTAR La Esperanza**

Fuente: WSP/PB, 2016

#### 4.3. PARAMETROS EVALUADOS IN SITU Y EN LABORATORIO

A continuación, se comparan los puntos de la Descarga No. 1, 2 y 3 con los artículos 38, 39, 40 y 41 del Decreto 1594 de 1984.

Tabla 10. Comparación de los resultados con la norma.

| Parámetros                        | RESULTADOS     |                |                | Decreto 1594 de 1994          |                           |               | Cumplimiento                    |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|---------------------------|---------------|---------------------------------|
|                                   | Descarga No. 1 | Descarga No. 2 | Descarga No. 3 | Art. 38 y 39                  | Art. 40-41                | Art. 45       |                                 |
|                                   | BO1402238.001  | BO1402238.002  | BO1402238.003  | Consumo Humano/ uso doméstico | Uso agrícola/Uso pecuario | Flora y fauna |                                 |
| pH, unidades                      | 6.54           | 6.54           | 6.52           | 5,0 - 9,0 / 6,5 - 8,5         | 4,5 - 9,0 / N.E           | 4,5 - 9,0     | Cumple                          |
| Temperatura, °C                   | 27.88          | 27.83          | 28.84          | N.E                           | N.E                       | N.E           | N.E                             |
| Oxígeno Disuelto, mg/L            | 4.10           | 4.54           | 3.55           | N.E                           | N.E                       | > 4,0         | Cumple / Cumple / No Cumple     |
| Sólidos Sedimentables, mL/L       | 0.43           | 0.18           | 0.41           | N.E                           | N.E                       | N.E           | N.E                             |
| Acidez, mg/L                      | 18             | 24             | 35             | N.E                           | N.E                       | N.E           | N.E                             |
| Alcalinidad, mg/L                 | 85             | 109            | 186            | N.E                           | N.E                       | N.E           | N.E                             |
| DBO5, mg/L                        | 73             | 78             | 212            | N.E                           | N.E                       | N.E           | N.E                             |
| DQO, mg/L                         | 185            | 205            | 385            | N.E                           | N.E                       | N.E           | N.E                             |
| Detergentes, mg/L                 | 15.6           | 10.5           | 11.3           | 0,5                           | N.E                       | N.E           | No Cumple, No Cumple, No Cumple |
| Fosforo Total, mg/L               | 3.27           | 2.38           | 4.04           | N.E.                          | N.E.                      | N.E.          | N.E.                            |
| Grasas y Aceites, mg/L            | 0.51           | 0.68           | 1.48           | S.P.V                         | N.E                       | N.E           | Cumple                          |
| Sólidos Suspendidos Fijos, mg/L   | 35.0           | 29.0           | 54.0           | N.E                           | N.E                       | N.E           | N.E                             |
| Sólidos Suspendidos Totales, mg/L | 107            | 99             | 152            | N.E                           | N.E                       | N.E           | N.E                             |
| Nitratos, mg/L                    | <0.04          | <0.04          | 0.138          | 10                            | N. E / + Nitritos = 100   | N.E           | Cumple                          |
| Nitritos, mg/L                    | 2.81           | 2.66           | 4.09           | 10                            | N.E/ + Nitratos = 100     | N.E           | Cumple                          |
| Coliformes Fecales, NMP/100 mL    | 1600000        | 1300000        | 2000000        | 2000 / N.E.                   | 1000 / N.E.               | N.E.          | No Cumple                       |
| Coliformes Totales, NMP/100 mL    | >MNPC          | 1553100        | >MNPC          | 20000 / 1000                  | 5000 / N.E.               | N.E.          | No Cumple                       |
| Nitrógeno Total ,mg/L             | 6.0            | 13.5           | 22.5           | N.E                           | N.E                       | N.E           | N.E                             |

Fuente: SGS Colombia S.A., 2014

Nota: Los parámetros evaluados corresponden a puntos de muestro en las siguientes coordenadas, correspondiente a la quebrada La Esperanza Y Caño Azul, evaluando para el diseño preliminar la descarga No.3 como descarga aguas debajo de las quebradas. Información suministrada por la empresa PARSONS BRINCKERHOFF COLOMBIA S.A.S y subcontratada por SGS S.A, en el año 2014.

Tabla 11. Puntos de muestreo.

| PUNTO DE MUESTREO | COORDENADAS  |               | TIPO DE AGUA            | MUESTRA   |
|-------------------|--------------|---------------|-------------------------|-----------|
|                   | N            | W             |                         |           |
| Descarga No. 1    | 07° 38'18,0" | 73° 17' 47,1" | Agua Residual Domestica | Compuesto |
| Descarga No. 2    | 07° 38'28,4" | 73° 19' 39,2" |                         |           |
| Descarga No. 3    | 07° 38'18,0" | 73° 19' 47,7" |                         |           |

Fuente: SGS Colombia S.A., 2014

#### 4.4. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Para determinar las características geométricas e hidráulicas de las unidades de tratamiento a diseñar, se asume que las aguas residuales generadas por los habitantes del casco urbano del municipio de La Esperanza son aguas débiles en términos de DBO y SST aptas para tratamiento biológico, de manera que el tratamiento propuesto garantizará remoción de sólidos y materia orgánica de acuerdo con la normativa ambiental vigente (Resolución No. 0631 de 2015, vigente transitoriamente).

Para el diseño de la PTAR se calculó un valor de carga orgánica con base en la Ecuación 4.1 y se asumió una concentración de 212 mg/l de DBO, teniendo como resultado una carga orgánica de 121.62 kg DBO/día.

$$C.O = [ ] * Q * 0.0864$$

**Ecuación 4.1**

En donde,

$C.O$  Carga orgánica (kg DBO/día)

$Q$  Caudal de diseño (l/s)

$[ ]$  Concentración del agua residual (mg/l)

#### 4.5. PRE – TRATAMIENTO

El caudal de diseño del sistema de tratamiento propuesto es el caudal máximo horario, el cual es de 21,39 L/s. En la siguiente Figura, se presenta la distribución en de cada proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas –PTAR.

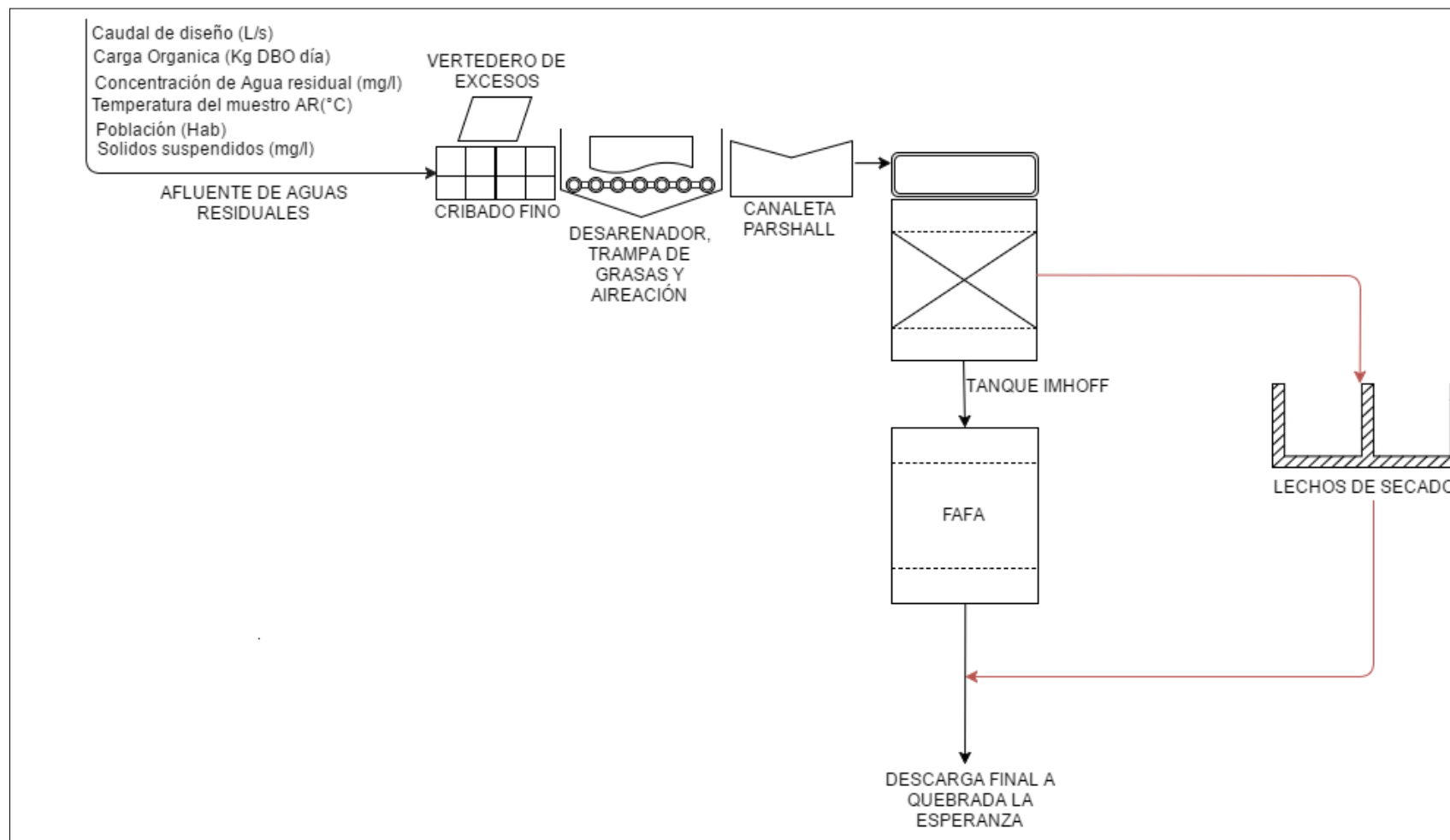


Figura 7. Esquema Proceso De Tratamiento De Aguas Residuales  
 Fuente: WSP/PB, 2016

#### 4.5.1. CANAL DE INGRESO

Con el objetivo de establecer un flujo uniforme a la entrada de la PTAR y retener sólidos gruesos y finos provenientes del transporte o conducción del agua hasta la PTAR, se proyecta la construcción de un canal de ingreso el cual presentará los siguientes elementos: vertedero de excesos, rejas para retener sólidos gruesos y finos (cribado), desarenador y canaleta parshall. En la Tabla 12, se presenta el diseño del canal de Ingreso de la PTAR.

**Tabla 12. Diseño del Canal de Ingreso.**  
Fuente: WSP/PB, 2016

| CANAL DE INGRESO               | VALOR  | UNIDADES |
|--------------------------------|--------|----------|
| Caudal medio diario (Qmd)      | 6,64   | l/s      |
| Caudal máximo horario (QMH)    | 21,39  | l/s      |
| Ancho canal                    | 0,7    | m        |
| Profundidad hidráulica         | 0,102  | m        |
| Pendiente                      | 0,0008 | m/m      |
| Número de Manning <sup>2</sup> | 0,014  |          |
| Radio hidráulico               | 0,079  | m        |
| Velocidad                      | 0,30   | m/s      |
| Número de Froude               | 0,30   |          |
| Profundidad del canal          | 0,60   | m        |

#### 4.5.2. VERTEDERO DE EXCESOS

Se coloca generalmente en una de las paredes paralelas a la dirección de entrada del flujo y tiene como función evacuar el exceso de caudal que transporta la línea de aducción en épocas de aguas altas. Si no se evacua el caudal excedente, por continuidad, aumenta el régimen de velocidad en la zona del canal de entrada y con ello se disminuye la eficiencia del tratamiento [21].

A continuación, se muestra un ejemplo del canal de entrada, para una planta de tratamiento de aguas residuales en el departamento del Huila, evidenciándose la criba el vertedero de excesos y la canaleta parshall, con sus respectivas compuertas manuales para operación del sistema.

<sup>2</sup>Chow, V. T., Hidráulica de los Canales Abiertos. Primera edición, Editorial Diana. México. 1982.



Fotografía 1. Canal de entrada Empresas Públicas de Villavieja S.A.S. E.S.P. (Vereda Polonia)  
Fuente: [22]

Para asegurar un buen funcionamiento de la PTAR, se instalará un vertedero lateral, el cual tendrá como función evacuar los caudales de exceso o mayores al caudal máximo horario establecido para el diseño (21,39 L/s). Para el cálculo del vertedero se utilizó la Ecuación 4-2 de Francis vertedero rectangular. En la siguiente Tabla, se presenta el diseño del vertedero de excesos.

$$H = \left[ \frac{Q}{1.84 * L} \right]^{2/3}$$

*Ecuación 4-2.*

En donde,

- $Q$  Caudal de diseño (l/s)
- $L$  Longitud del vertedero (m)
- $H$  Carga hidráulica en el vertedero (m)

**Tabla 13. Diseño Vertedero de Excesos.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| VERTEDERO DE EXCESOS                    | VALOR | UNIDADES |
|-----------------------------------------|-------|----------|
| Caudal máximo transportado <sup>3</sup> | 43,50 | l/s      |
| Caudal de diseño                        | 21,39 | l/s      |
| Caudal de excesos                       | 22,11 | l/s      |
| Carga sobre el vertedero (asumida)      | 0,061 | m        |
| Longitud del vertedero                  | 0,70  | m        |

#### 4.5.3. REJAS PARA RETENER SÓLIDOS FINOS (CRIBADO FINO)

El primer paso en el tratamiento consiste en una unidad de cribado para la retención de sólidos y residuos que eventualmente puedan estar presentes en el agua residual doméstica; este sistema consta de rejillas finas las cuales permiten atrapar el material sólido y así evitar obstrucción dentro de las unidades subsiguientes. La limpieza de las rejillas se realizará manualmente.

De acuerdo con el caudal, las características del agua residual doméstica y las evidencias recogidas en campo se determinó que solo se realizara un cribado general. En la Tabla 14, se presenta el diseño preliminar del cribado.

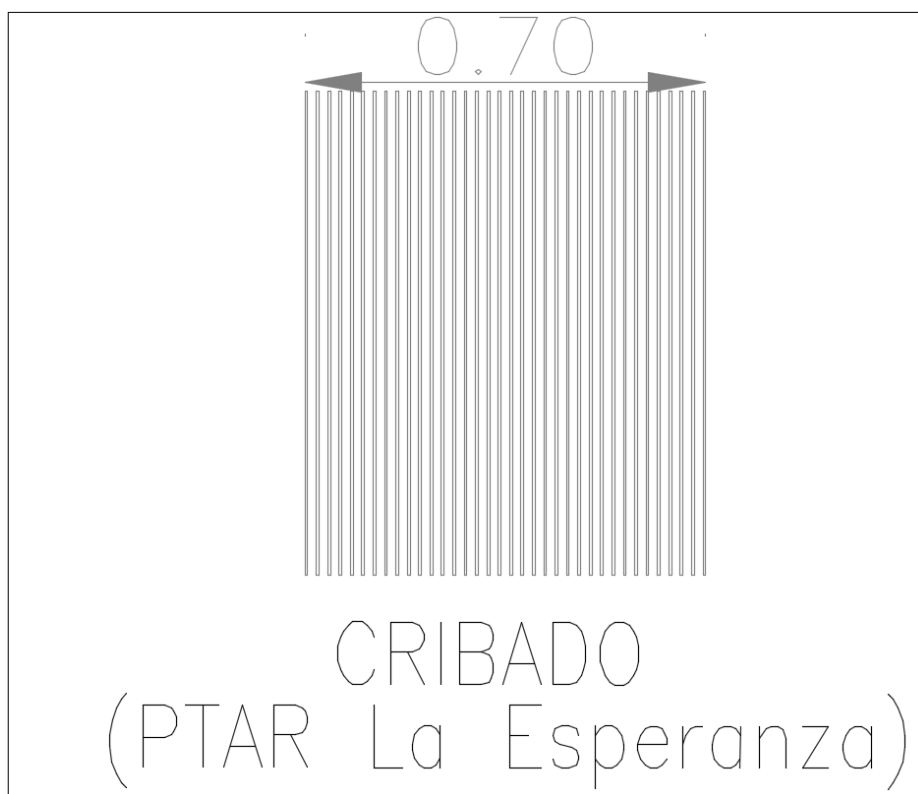
<sup>3</sup>Hace referencia al caudal de diseño +infiltración +conexiones +erradas.

El cribado consiste básicamente en alambre calzado, placa perforada o barras cercanamente espaciadas en la figura 8 se evidencia el diseño preliminar de la criba conforme al canal diseñado de 0,70 m.

**Tabla 14. Diseño Cribado fino.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| CRIBADO                     | VALOR             | UNIDADES |
|-----------------------------|-------------------|----------|
| Tipo de reja                | Rectangular recta | -        |
| $\beta$                     | 2,42              | -        |
| Ancho de barra              | 5                 | mm       |
| Espaciamiento               | 15                | mm       |
| Pendiente con la horizontal | 45                | °        |
| Perdida Energía             | 0,0421            | m        |
| Largo de varillas           | 0,85              | m        |
| Número de varillas          | 36                | unidad   |
| Velocidad en la varilla     | 0,40              | m/s      |



**Figura 8. Cribado de la PTAR La Esperanza.**

Fuente: WSP, PB, 2017.

#### 4.5.4. DESARENADOR

El desarenador es un tanque cuya función principal es la de separar los sólidos sedimentables mediante procesos físicos; estos sólidos (arenas y gravas), se acumulan en el fondo del tanque impidiendo así su acumulación en los siguientes procesos unitarios.

Se diseñaron dos unidades cada una con una capacidad de 21,39 l/s cada uno, siempre estará uno en operación y el otro en mantenimiento. El desarenador removerá partículas de arena (densidad;  $d=2,65 \text{ g/cm}^3$ ), con diámetros superiores a 0,14mm. La estructura del desarenador será de sección rectangular y velocidad constante.

El dimensionamiento del desarenador se realizó utilizando de la Ecuación 4-3, de velocidad de sedimentación.

$$V_s = \frac{(\delta_{arena} - \delta_{agua}) * d^2 * g}{18 * \mu + V_{s_{10^\circ C}} * \frac{(T^\circ + 23.3)}{33.3}}$$

**Ecuación 4-3.**

En donde,

|                      |                                                                                        |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| $\delta_{arena}$     | Densidad de la arena ( $\text{gr/cm}^3$ )                                              |
| $\delta_{agua}$      | Densidad del agua para la temperatura de diseño ( $\text{gr/cm}^3$ )                   |
| $d$                  | Diámetro de la partícula (cm)                                                          |
| $g$                  | Constante de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )                                            |
| $V_{s_{10^\circ C}}$ | Velocidad de sedimentación de una partícula en función del diámetro ( $\text{cm/s}$ )  |
| $T^\circ$            | Temperatura del agua según resultados de las jornadas de muestreo ( $^\circ\text{C}$ ) |

Esta velocidad de sedimentación se calcula para diferentes diámetros de partícula, y posteriormente se selecciona la que tenga una tasa de desbordamiento dentro de los rangos establecidos por el R.A.S 2000 ( $700\text{-}1600 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ ). En la Tabla 15, se presenta el diseño del desarenador.

**Tabla 15. Diseño Desarenador.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| DESARENADOR                  | VALOR | UNIDADES       |
|------------------------------|-------|----------------|
| Área superficial             | 2,48  | m <sup>2</sup> |
| Relación largo ancho         | 5     |                |
| Ancho                        | 0,70  | m              |
| Se adopta el ancho del canal | 0,70  | m              |
| Largo                        | 3,52  | m              |

#### 4.5.5. TRAMPA DE GRASAS

Con el fin de retener grasas y aceites antes del ingreso al tanque Imhoff, se proyecta una trampa de grasas la cual tendrá un tiempo de retención de 15 min, en la Tabla 16, se presenta el diseño de la trampa de grasas.

**Tabla 16. Diseño Trampa de Grasas.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| TRAMPA DE GRASA                | VALOR | UNIDADES |
|--------------------------------|-------|----------|
| Ancho                          | 1     | m        |
| Largo                          | 7,20  | m        |
| Altura útil                    | 0,83  | m        |
| Tiempo de retención hidráulico | 15    | min      |

En el anexo A, se encuentra el detalle en planos de los diseños proyectados, se contempla implementar la aireación por medio de una tubería perforada y como impulsión de aire (Blower industrial de 11.5 hp industrial), en el desarenador y trampa de grasas, con el fin que la materia orgánica se desintegra, utilizando el oxígeno. La aireación repone el oxígeno. Las burbujas de oxígeno a través del agua también mantienen el material orgánico suspendido y otras se decantan.

#### 4.5.6. CANALETA PARSHALL

Para la medición del caudal a la entrada de la PTAR, se instalará una Canaleta Parshall de 3" (pulgadas) de garganta, prefabricada en poliéster reforzado con fibra de vidrio y regleta de aforo. El ancho de la garganta se seleccionó bajo el criterio de  $W = 1/3 b$ , donde  $b$  es el ancho del canal y  $W$  ancho de la garganta de la canaleta. Con el fin de evitar que la canaleta trabaje ahogada se aconseja trabajar con una Sumergencia menor al 60 % para canaletas de garganta menor de 0,3m. De acuerdo con lo anterior se procede a verificar que la canaleta no trabaje ahogada.

- Sumergencia máxima:

$$\frac{H_b}{H_a} = 0.6$$

*Ecuación 4-4.*

Donde,

- $H_a$     Altura del agua en la sección convergente.  
 $H_b$     Altura del agua en la garganta.

Cálculo de  $H_a$ :

$$Q = 0.535 * H_a^{1.53}$$

$$H_a = 0.033m \approx 3.3cm$$

$$H_b = 0.0198 \approx 1.98cm$$

De acuerdo con los cálculos de la Ecuación 6-4, la canaleta no trabajará ahogada ya que la altura del agua en la sección convergente no es mayor que la altura del agua en la sección divergente. Esto implica una única lectura del operador para el registro de caudal, mientras si se trabaja ahogada necesita de 2 lecturas para estimar el caudal. En la Tabla 17, se presentan las dimensiones de la canaleta Parshall.

**Tabla 17. Diseño Canaleta Parshall.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| CANALETA PARSHALL             | VALOR  | UNIDADES |
|-------------------------------|--------|----------|
| Ancho de la garganta          | 0,076  | m        |
| Velocidad sección convergente | 0,167  | m/s      |
| Ha                            | 0,2561 | m        |
| Energía 1                     | 0,31   | m        |
| Energía 2                     | 0,30   | m        |
| Altura 2                      | 0,201  | m        |
| Sumergencia Máxima            | 0,5626 | m        |

## 4.6. TRATAMIENTO SECUNDARIO

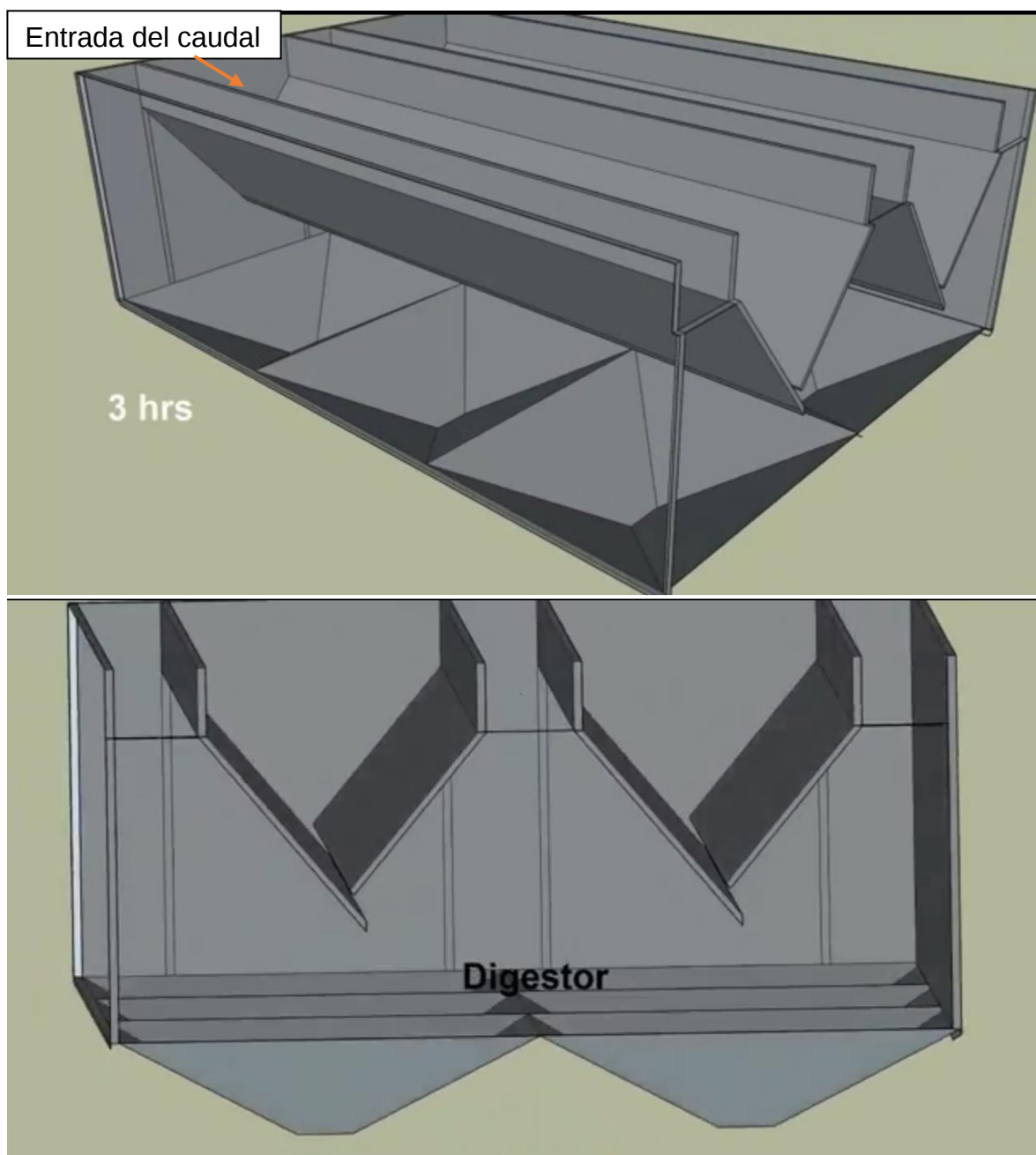
### 4.6.1.1. TANQUE IMHOFF

El tanque Imhoff tiene como principal función remover parte de los sólidos suspendidos, que resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

Para el cálculo del tanque Imhoff se utilizó la metodología expuesta por la CEPIS/OPS<sup>4</sup>. El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimentos.

En la Figura 9, se presenta el tanque Imhoff de un diseño de planta de tratamiento de aguas residuales modelado, representando la forma de la estructura del tanque Imhoff y la figura 10, se presenta el tanque Imhoff de la PTAR del casco urbano del municipio de La Esperanza.

<sup>4</sup>Programa CEPIS/OPS guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización. Lima, CEPIS, 2005.



Nota: En la fuente 23, se anexa el link del video demostrativo del sistema de tratamiento de aguas residuales, con el fin de observar en detalle el tanque Imhoff y su proceso en el sistema.

**Figura 9. Tanque Imhoff, Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales**

Fuente: Álvaro Gonzales [23]



#### 4.6.1.2. CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN

La cámara de sedimentación es la unidad donde se realiza la sedimentación de sólidos presentes en el agua que no precipitaron en el digestor. Para el cálculo de su volumen se toma un tiempo de retención de 2,0 horas<sup>5</sup> de acuerdo con la Ecuación 4-5.

$$V_{sed} = Q * TRH$$

*Ecuación 4-5.*

En donde,

- $V_{sed}$  Volumen del sedimentador (m<sup>3</sup>)  
 $Q$  Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/hora)  
 $TRH$  Tiempo de retención hidráulico (hora)

Dando como resultado un volumen de 23,90 m<sup>3</sup>. En la Tabla 18, se presenta el diseño de la cámara de sedimentación.

**Tabla 18. Diseño de la Cámara de Sedimentación.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN        | VALOR | UNIDADES                             |
|--------------------------------|-------|--------------------------------------|
| Carga superficial              | 1,00  | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *Hora |
| Tiempo de retención hidráulico | 2,0   | horas                                |
| Área del sedimentador          | 23,90 | m <sup>2</sup>                       |
| Volumen sedimentador           | 23,90 | m <sup>3</sup>                       |
| Largo cámara                   | 6,0   | m                                    |
| Ángulo de inclinación          | 60    | Grados                               |
| Ancho cámara                   | 2,0   | m                                    |
| Altura sección 1 (cono)        | 1,80  | m                                    |
| Altura sección 2               | 1,10  | m                                    |

#### 4.6.1.3. CÁMARA DE DIGESTIÓN DE LODOS

En la cámara de digestión de lodos se realizan los procesos anaerobios que estabilizan y digieren la materia orgánica presente en el agua residual, el volumen del digestor se calculó de acuerdo con la Ecuación 4-6.

<sup>5</sup>R.A.S 2000 Pág. 39

$$Vd = \frac{Pob * 70 * frc}{1000}$$

*Ecuación 4-6.*

En donde,

*Vd* Volumen digestor (m<sup>3</sup>)  
*Pob* Población futura (hab)  
*frc* Factor de capacidad relativa

Para determinar el factor de capacidad relativa<sup>6</sup>*frc*, es necesario conocer la temperatura del agua (Véase Tabla 19), la cual se asume de 27 °C (temperatura ambiente), de acuerdo con las características del municipio; por tal motivo el valor del factor de capacidad relativa es de 0,5; dando como resultado un volumen del digestor de 93.55 m<sup>3</sup>.

**Tabla 19. Factor de Capacidad Relativa.**

Fuente: Programa CEPIS/OPS guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. Lima, cepis, 2005.

| TEMPERATURA<br>(°C) | FACTOR DE<br>CAPACIDAD<br>RELATIVA |
|---------------------|------------------------------------|
| 5                   | 2                                  |
| 10                  | 1,4                                |
| 15                  | 1                                  |
| 20                  | 0,7                                |
| 25                  | 0,5                                |

#### 4.6.1.4. ÁREA DE VENTILACIÓN Y ACUMULACIÓN DE NATAS

De acuerdo con los lineamientos del RAS 2000 título E, el área de ventilación del gas debe ser el 15-30% del área superficial del tanque<sup>7</sup>. En la Tabla 20, se presenta al diseño del digestor.

<sup>6</sup>Programa CEPIS/OPS guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización. Lima, CEPIS, 2005.

<sup>7</sup>R.A.S 2000 Pág. 39

**Tabla 20. Diseño Digestor.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| DIGESTOR                      | VALOR | UNIDADES       |
|-------------------------------|-------|----------------|
| Volumen del digestor          | 93,55 | m <sup>3</sup> |
| Factor de corrección          | 0,62  | Adimensional   |
| Ancho total del tanque        | 7,20  | m              |
| Área total del digestor       | 43,2  | m <sup>2</sup> |
| Área para ventilación de gas  | 14,4  | m <sup>2</sup> |
| Ancho para ventilación de gas | 0,8   | m              |
| Relación de áreas             | 33,33 | %              |
| Altura total tanque           | 7,70  | m              |
| Borde libre                   | 0,30  | m              |

#### 4.7. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE FAFA

El filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) es un reactor donde existe un medio de soporte fijo inerte (rosetas plásticas “Biopack”), al cual crecen adheridos los microorganismos, utilizados en la reducción de materia orgánica. El agua residual tiene un flujo vertical ascendente a través de la cámara. En el fondo del FAFA se instalarán un falso fondo para una distribución homogénea del agua, y sobre este se colocará el medio filtrante compuesto por rosetas de plásticas (BIOPACK), con un área superficial de contacto mayor a 80 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. El agua filtrada, se recoge uniformemente mediante dos (2) canaletas que se unen y descargan el efluente a un caño que luego se conecta con la fuente de agua más cercana, en este caso la quebrada La Esperanza. En la Tabla 21, se presenta el diseño del FAFA y en la Figura 13, FAFA.

**Tabla 21. Diseño FAFA.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| FAFA                                                | VALOR  | UNIDADES                       |
|-----------------------------------------------------|--------|--------------------------------|
| Concentración inicial de DBO                        | 212    | mg/l                           |
| Carga orgánica                                      | 121.62 | Kg/d                           |
| Área superficial libre del medio filtrante          | 100    | m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> |
| Porcentaje de huecos en el medio filtrante          | 0,95   | %                              |
| Profundidad del lecho filtrante (Rosetas Plásticas) | 3,60   | m                              |
| Altura canaleta                                     | 0,2    | m                              |
| Borde libre                                         | 0,35   | m                              |
| Altura falso fondo                                  | 0,3    | m                              |

| FAFA                                  | VALOR | UNIDADES       |
|---------------------------------------|-------|----------------|
| Altura total                          | 5,10  | m              |
| Ancho del filtro                      | 5,0   | m              |
| Largo filtro                          | 10,0  | m              |
| Área del filtro                       | 50,0  | m <sup>2</sup> |
| Volumen del lecho filtrante (rosetas) | 180,0 | m <sup>3</sup> |
| Tiempo de retención hidráulico        | 7,530 | horas          |
| Tiempo de retención celular           | 0,27  | día            |
| Eficiencia en remoción DBO            | 85    | %              |
| Concentración efluente                | 31,8  | mg/l           |



**Figura 11. Tipos de biofilm para el proceso del FAFA**  
 Fuente: [24].

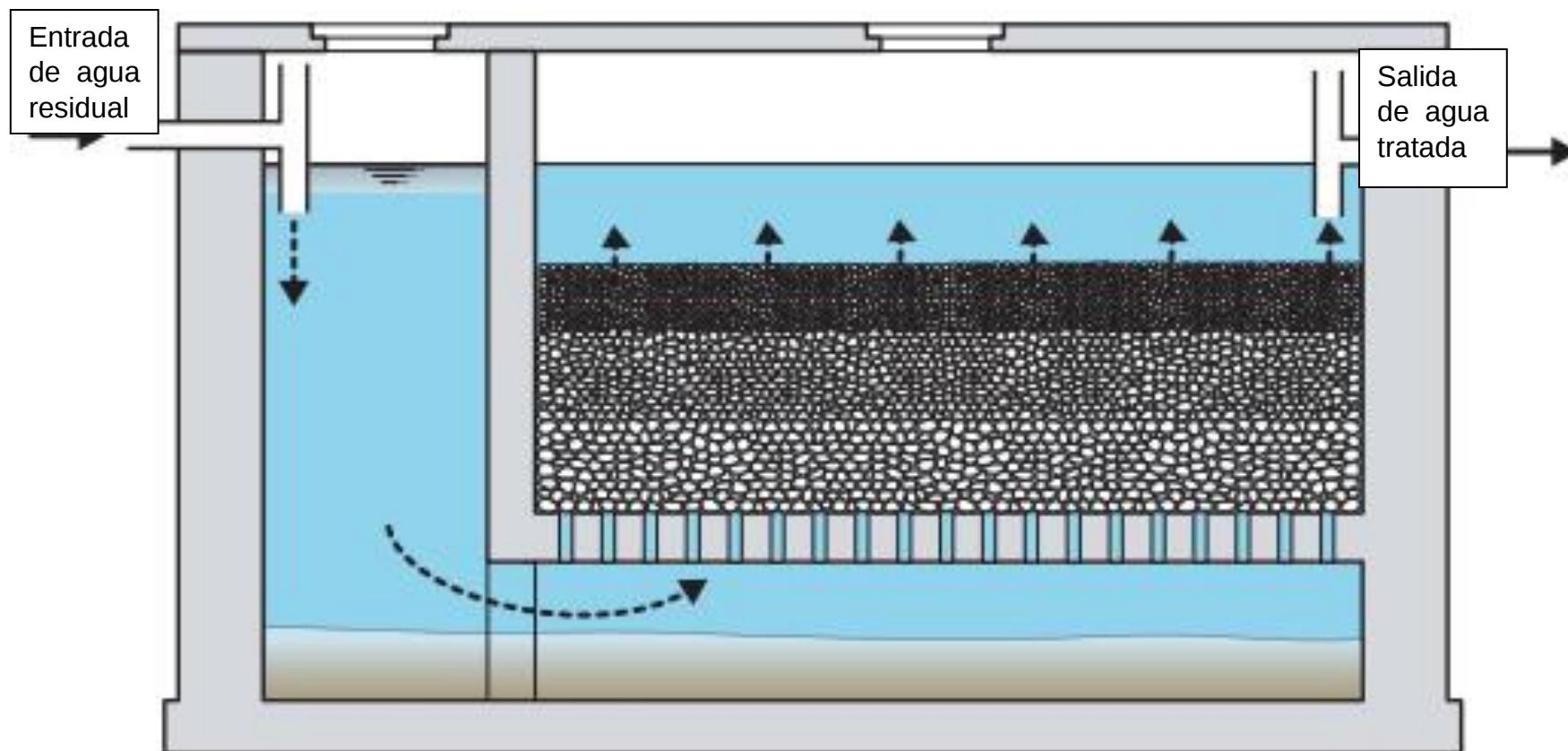


Figura 12. Schematic cross-section of an anaerobic filter (scala; approximately 1:30)

Fuente: [25].

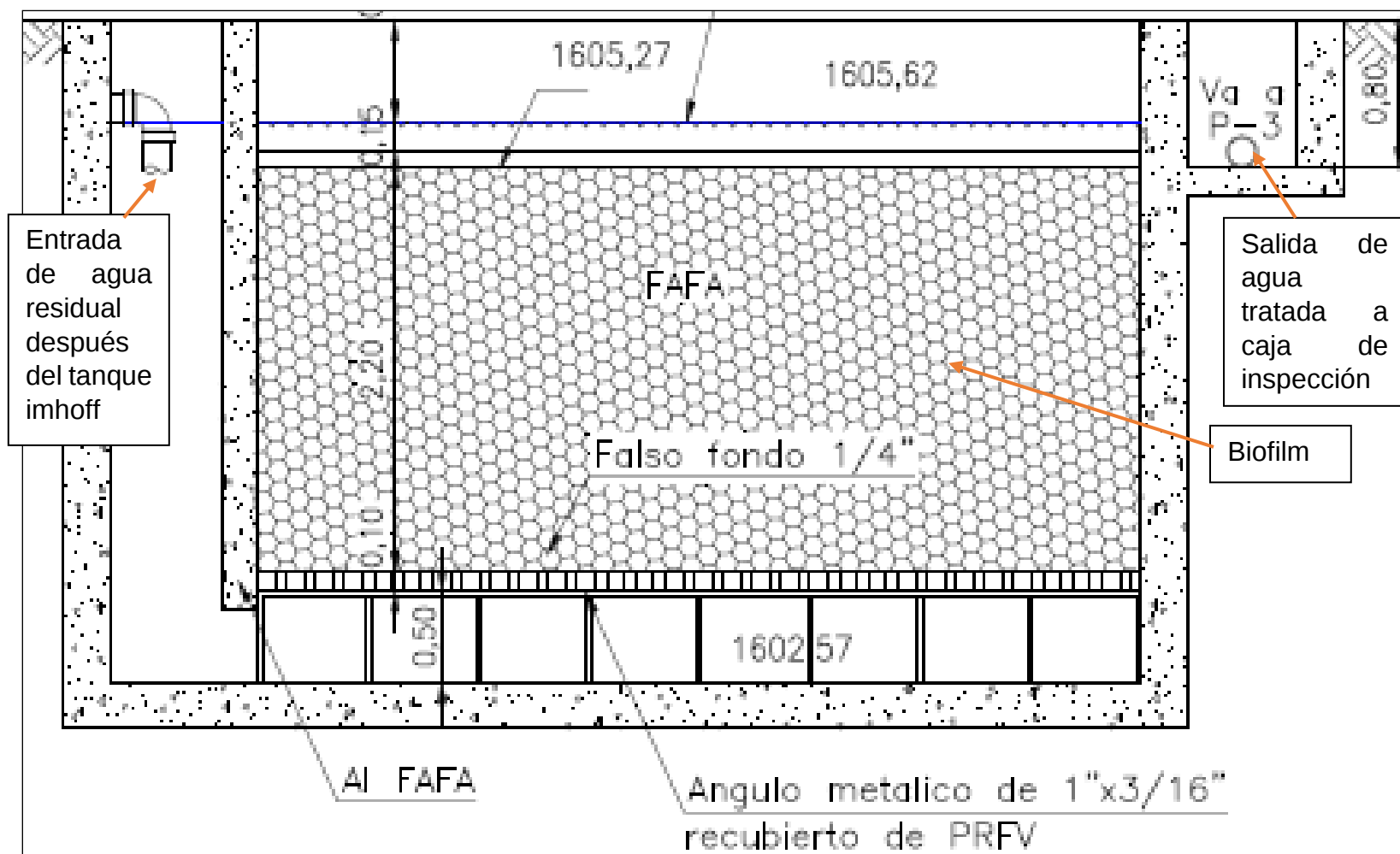


Figura 13. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente PTAR del Casco Urbano del Municipio de La Esperanza.

Fuente: WSP/PB, 2016

## 4.8. MANEJO DE LODOS

### 4.8.1. LECHOS DE SECADO

Después del tiempo de retención en el que permanece el lodo en el fondo del tanque Imhoff, éste pasa por medio de un sistema de tubería extractora de lodos a los lechos de secado, para su deshidratación antes de la disposición final. Los lodos digeridos se disponen sobre un lecho hasta que alcancen un espesor de 30 cm, reposando mientras el contenido de agua es drenado a través de un sistema de tuberías perforadas, para finalmente descargar a la quebrada La Esperanza. El medio filtrante consta de dos capas: una de arena de 30 cm de gruesa, a su vez colocada sobre una capa de grava de diámetro menor a 1/2" de 30 cm de espesor, la concentración de sólidos inicialmente alcanza el 45% y después de seis semanas, las concentraciones pueden ser hasta del 90%. En la Tabla 21, se presenta el diseño de los lechos de secado y en la Tabla 22, se presenta las especificaciones técnicas del material filtrante a utilizar. En la Figura 12, se presenta el diseño de Lechos de Secado de Lodos de la PTAR para el casco urbano del municipio de La Esperanza.

**Tabla 22. Diseño Lechos de Secado.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| LECHOS DE SECADO                        | VALOR | UNIDADES       |
|-----------------------------------------|-------|----------------|
| Carga per cápita de SS <sup>8</sup>     | 50    | gr SS/hab*día  |
| Población                               | 2673  | hab            |
| Densidad del lodo                       | 1,04  | Kg/l           |
| Porcentaje de sólidos en el lodo        | 8     | Kg/l           |
| Temperatura                             | 27    | °C             |
| Carga de sólidos                        | 31,82 | KgSS/día       |
| Masa de sólidos                         | 27,97 | KgSS/día       |
| Volumen de lodos a extraerse del tanque | 14,44 | m <sup>3</sup> |
| Tiempo de digestión de lodos            | 40    | días           |
| Área de secado                          | 57,78 | m <sup>2</sup> |
| Largo por celda                         | 5,40  | m              |
| Ancho por celda                         | 5,40  | m              |
| Altura de lodo                          | 0,25  | m              |
| Altura de arena                         | 0,3   | m              |
| Altura grava                            | 0,3   | m              |
| Borde libre                             | 0,25  | m              |

<sup>8</sup>R.A.S 2000, Página E.26

| LECHOS DE SECADO | VALOR | UNIDADES |
|------------------|-------|----------|
| Altura total     | 1,1   | m        |

**Tabla 23. Especificaciones Técnicas Material Filtrante.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| MATERIAL FILTRANTE                       | VALOR | UNIDADES |
|------------------------------------------|-------|----------|
| Arena (TE=0.3mm a 75 mm) y (CU= 3.5 y 4) | 7,05  | m3       |
| Grava (TE= 1.6 mm y 51 mm)               | 7,05  | m3       |
| Diámetro tubería de drenaje              | 6     | pulg     |

La salida del agua filtrada por cada medio poroso es conducida directamente a la caja de inspección uniendo el caudal de salida del sistema FAFA, para su posterior vertimiento, como se mostraba en la figura 8 del esquema del proceso de tratamiento.

Como se observa en la figura 13, por encima de la capa filtrante se contempla implementar “ladrillos”. Los ladrillos serán de prensado macizo tipo tolete, se tendrán que ubicar a junta perdida con el fin de que el operario remueva fácilmente con herramientas de recogida de lodos, para su posterior tratamiento.

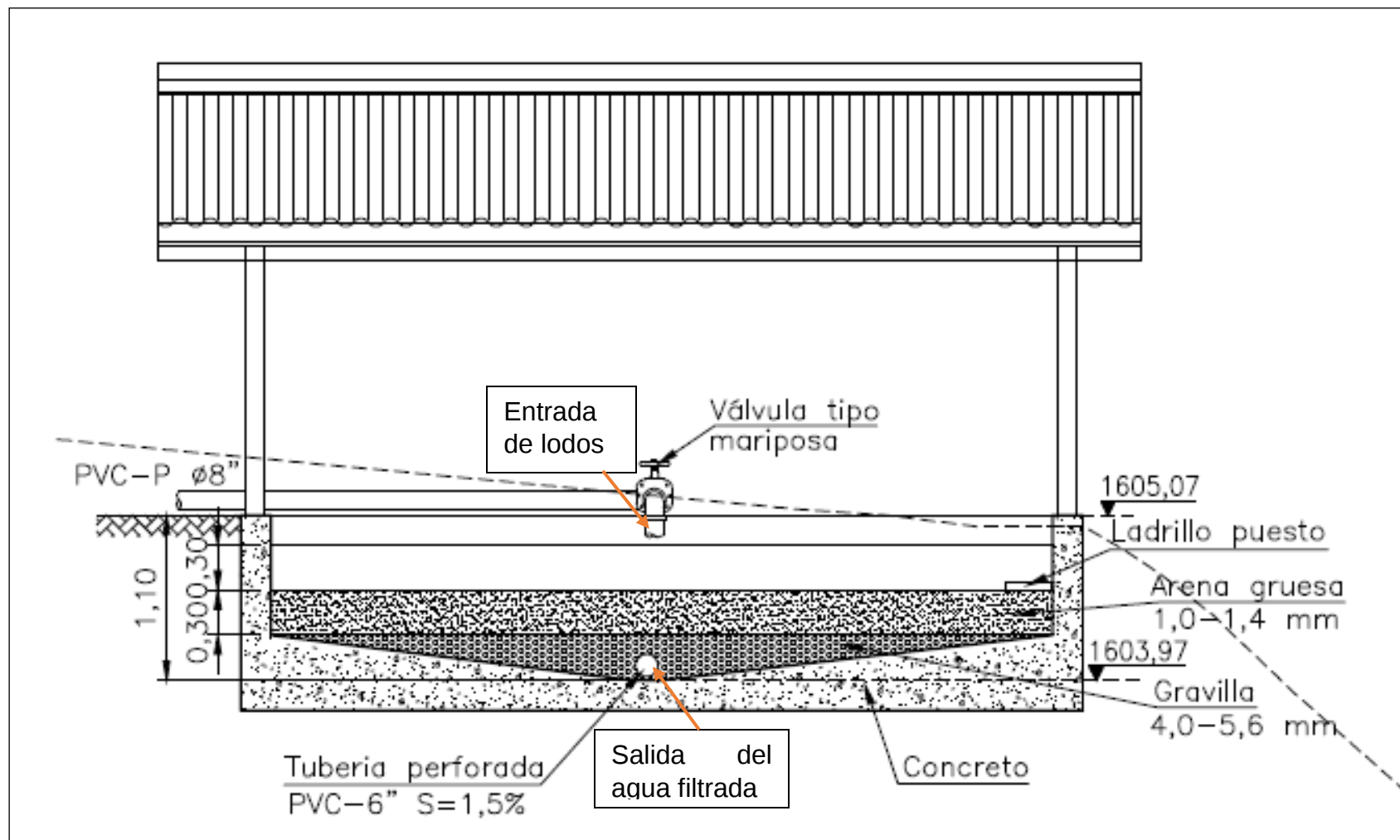


Figura 14. Lechos de Secado de Lodos – PTAR del Casco Urbano del Municipio de La Esperanza.

Fuente: WSP/PB, 2016

#### 4.9. BENEFICIOS AMBIENTALES

La falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en el casco urbano del municipio de La Esperanza está generando actualmente, descargas en las quebradas La Esperanza y Caño Azul, representadas en 44,39 Ton/año de DBO y 31,83 Ton/año de SST; descargas que actualmente están distribuidas en cada uno de los distritos o redes de alcantarillado existentes en el casco urbano. Una vez ejecutado el presente proyecto, el cual brindará tratamiento a las aguas residuales generadas por el 100% de los habitantes del casco urbano del municipio de La Esperanza conectados al sistema de alcantarillado, las unidades hidráulicas de la PTAR funcionarán con una eficiencia mínima del 85%, en donde la quebrada La Esperanza, la cual será el cuerpo receptor, recibirá una descarga con concentraciones en términos de DBO y SST de 21.45 Ton/año y 15.37 Ton/año, respectivamente. Esta situación se verá reflejada en el mejoramiento de las condiciones de saneamiento básico de los habitantes del casco urbano del municipio y mejorará la calidad de agua de las quebradas mencionadas (ver Tabla 24).

**Tabla 24. Remoción en ton/año de DBO<sub>5</sub> y SST en el Casco Urbano del Municipio de La Esperanza.**

Fuente: WSP/PB, 2016

| Municipio    | Población | Qmd (l/s) | DBO                          |                                            | SST                          |                                            |
|--------------|-----------|-----------|------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
|              |           |           | Carga total Actual (Ton/año) | Carga total removida por la PTAR (Ton/año) | Carga total actual (Ton/año) | Carga total removida por la PTAR (Ton/año) |
| La Esperanza | 2673      | 6,64      | 143.005                      | 21.45                                      | 102.53                       | 15.37                                      |
| <b>TOTAL</b> | 2673      | 6,64      | 143.005                      | 21.45                                      | 102.53                       | 15.37                                      |

Estas remociones en términos de DBO y SST, garantizarán un tratamiento óptimo en condiciones de operación y mantenimiento adecuadas, mitigando el impacto ambiental generado en las descargas de aguas residuales sin tratamiento previo, por parte de los habitantes del casco urbano del municipio de La Esperanza. Adicionalmente, la remoción de DBO y SST contribuirán con el objetivo de calidad de la quebrada La Esperanza, del cual es tributaria la quebrada Caño Azul.

#### **4.10. BENEFICIOS SOCIALES**

El beneficio social que genera la construcción del proyecto, concertado entre la empresa de servicios públicos y la Administración Municipal de La Esperanza, radica en la generación de empleo por mano de obra calificada y no calificada local durante la etapa de construcción del sistema de tratamiento (PTAR), con una duración aproximada de 6 meses; así como durante la operación del sistema una vez entre en funcionamiento y durante 25 años.

## 5. CONCLUSIONES

- Se debe realizar un diseño para el tratamiento de las aguas residuales para el municipio de La Esperanza teniendo en cuenta las condiciones de fácil operación y mantenimiento del sistema.
- Se deben incluir las recomendaciones estipuladas por el RAS título E acerca del diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Para determinar la alternativa más viable en un diseño de planta de tratamientos se deben considerar los aspectos culturales, económicos, sociales, de infraestructura, de suelos y ambientales del municipio o región donde se va a efectuar la instalación de esta.
- El factor importante para el diseño es el nivel de complejidad del municipio que se diseñe, en este caso el nivel de complejidad es medio.
- En la fotografía 1, se observa cómo se ve reflejado el diseño propuesto para el municipio de la esperanza, la desventaja de este es que se encuentra al aire libre, donde se presentaría olores por causa de las aguas residuales.
- Para el diseño de la PTAR para el municipio de La Esperanza, no se cuenta con tratamiento de lodos, generados por los lechos de secado y entre otros generados en cada proceso unitario. La empresa de servicios públicos del municipio y/o encargado del mantenimiento y operación de la PTAR, tendrá que disponer los lodos a una entidad conforme a las exigencias de CORPONOR, que le dé una disposición final adecuada.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda construir un sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de la esperanza, con el fin de cumplir con la normatividad ambiental en relación con los vertimientos generados que se realizan directamente en la quebrada Caño azul y La Esperanza, se evitaría que no existan multas y/o infracciones por parte de la autoridad ambiental competente, previniendo afectar el ecosistema y las fuentes hídricas aguas abajo de la población.
- En el tratamiento de lodos, se recomienda implementar un sistema de tratamiento adecuado para los lodos, con su correcta desestabilización y

adición de químicos para obtener un abono orgánico estable, que pueda ser usado para fines agrícolas, no disponiendo los lodos a rellenos sanitarios, se tendrían ganancias anuales por una buena disposición de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales (se aclara que los lechos se secado, son solamente para separar el líquido residual de los lodos generados de la PTAR, pero no se realiza un tratamiento a los lodos.

- Se recomienda realizar por la parte de los entes municipales la gestión para el otorgamiento del permiso de vertimientos y de ocupación de cauce ante la autoridad ambiental competente que en este caso es CORPONOR.
- Se recomienda que las obras civiles del pretratamiento se encuentren de forma soterrada, para evitar que se encuentre al aire libre y evitar olores ofensivos, de igual forma utilizar una malla perimetral de cerca viva aromatizadoras.
- Se recomienda un correcto mantenimiento y operación de la planta de tratamiento, realizando chequeos diarios y semanales, registrando y monitoreando el caudal de entrada y las variables fisicoquímicas, y el agua tratada que se vierte al cauce natural, cumpliendo con la resolución 0631 de 2015.
- Para el tratamiento secundario (FAFA), solo se contempla los biofilm, como medio de filtración de forma anaerobia. Los procesos de digestión anaerobia son utilizados para el tratamiento de aguas residuales, donde una corriente contaminada de aguas residuales con una alta carga orgánica es procesada por unas bacterias que se alimentan de estos componentes orgánicos, en ausencia de oxígeno, se recomienda aplicar las bacterias antes del proceso unitario FAFA, en caso de que se desaparezca la biomasa y se desestabilice se tendrá que realizar una inoculación de bacterias nuevamente.
- El sistema (FAFA) genera un peligro en relación con los gases generados debido a que el metano en mezcla con el aire en proporciones del 5 al 15% es explosivo. Por lo tanto, se recogerá el gas con mangueras y quemarlo para minimizar la generación de olores. El gas secundario que se produce por desprendimiento de sustancias disueltas en el efluente del reactor debe igualmente recogerse y tratarse adecuadamente para minimizar los impactos por olores desagradables, para el manejo de olores y gases, se recomienda quemador de gases y formas de aprovechamiento para gas natural y energía.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WSP PARSONS BRINCKERHOFF, Informe de Diagnostico del Municipio La Esperanza, Bogotá, 2016.
- [2] I. E. Santamaría, Aplicación de un tratamiento de aguas residuales en la pasteurizadora "san pablo" para reducir el impacto ambiental, Ecuador, 2010.
- [3] Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Departamento Nacional de Planeación, Plan Nacional de Manejo de aguas residuales municipales en Colombia, Bogotá, 2004.
- [4] J. M. Maldonado, Gestión para el Manejo, tratamiento y Disposición final de las aguas residuales municipales, Bogotá, 2002.
- [5] Procuraduría general de la nación, Plan Maestro de acueducto y alcantarillado, Bogotá, 2014.
- [6] Procuraduría General de la Nación, Tratamiento de aguas residuales, Bogotá, 2014.
- [7] UNICEF, Análisis de 1,008 Planes de Desarrollo Municipales, Bogotá, 2015.
- [8] Alcaldía Municipal La Esperanza, Municipio La Esperanza Norte de Santander, Colombia, La Esperanza, 2008.
- [9] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Limites municipales, Bogotá, 2010.
- [10] DANE, Censo, Bogotá, 2005.
- [11] RAS 2000 TITULO E, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2000.
- [12] N. A. Bolívar, Seminario Manejo Integrado del agua, Manizales, 2014.
- [13] CONAMA, Tecnología de lodos activados, Chile, 2013.
- [14] RAS 2000, Tratamiento de aguas residuales Municipales, Bogotá, 2000.
- [15] Alianzaporelagua, T9 Reactor Anaeróbico de Flujo ascendente con manto de lodos (UASB), El Salvador.
- [16] W. F. B. Mendoza, Estructuras complementarias de un sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales, Sincelejo, 2007.

- [17] \*. E. P. A. \*. L. C. Alcalá, Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas, Veracruz, 2011.
- [18] R. r. j. Alberto, Tratamiento de aguas residuales - Teoría y principios de diseño, Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería, 2001.
- [19] CIMAD, Sistema de tratamiento de aguas residuales, Manizales, 2014.
- [20] \*. M. V. \*. M. Gonzales, Reactores Anaerobios de Flujo ascendente (RAFA's o UASB), Aragón, 2011.
- [21] F. C. r. J. I. D. Serna, «Desarenadores,» de *Acueductos teoría y diseño*, Medellin, Sello editorial, Universidad de medellin, 2005, p. 195.
- [22] Villavieja S.A.S, «Aguas del huila,» Aspectos técnicos de la planta de tratamiento de aguas residuales, 16 DIC 2011. [En línea]. Available: <https://dsr.aguasdelhuila.gov.co/?p=/FichaTecnica&ID=ea7b00c3-410d-43e5-8b8e-117bee514b0c&Vista=AspectosTecnPTAR>.
- [23] A. Gonzales, «Youtube,» Alvaro Gonzales PTAR, 6 DIC 2016. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=mECXUTO0V0I>.
- [24] Marmara Universitesi, «Anaerobic Reactor Technologies,» de *Chapter 7*, p. 13.
- [25] M. A. Y. D. S., «Anaerobic filtration,» de *Greywater Management in low and middle- income countries* , Switzerland, eawag aquatic research , 2006, p. 27.
- [26] CORPONOR. (2015). INFORME DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVO DE CALIDAD Y AJUSTE AL FACTOR REGIONAL. SAN JOSE DE CUCUTA.

## **ANEXOS**

**ANEXO A. PLANOS DE DISEÑO PRELIMINAR (PTAR) LA  
ESPERANZA**

## **ANEXO B. RESOLUCION DE PSMV DE LA ESPERANZA**