

“Carta autorización del autor (es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016, revisada el 24 de Abril de 2020

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Chacón Gómez, Esteban Eduardo

De la Carrera / Programa:

autor(es) del trabajo final de graduación titulado:

Ingeniería Civil

Comparación de Eficiencias en Filtros Tipo FAFA en Tanque Séptico Mejorado Utilizando Material de Río Contra Material de Tajo Disponible en el Mercado Nacional

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página Web institucional, así como medios electrónicos en general, Internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de la misma.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 30 del mes septiembre de año 2020 a las 17:00 . Asimismo doy fe de la veracidad de los datos incluidos en el documento y eximo a la Universidad de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores

Según orden de mención al inicio de ésta carta:





**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

**UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL**

**COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS EN FILTROS TIPO
FAFA EN TANQUE SÉPTICO MEJORADO
UTILIZANDO MATERIAL DE RÍO CONTRA MATERIAL
DE TAJO DISPONIBLE EN EL MERCADO NACIONAL**

Esteban Chacón Gómez

SAN JOSÉ, COSTA RICA

Septiembre 2020

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil, requisito para optar para el grado de licenciatura.

Ing. Allan Umaña Ortiz
Tutor

Ing. Jorge Miranda
Lector que preside

Ing. Adrián Ruilova Rescia
Lector

Dedicatoria

Llegar a este punto de mi vida y de la carrera es un reflejo de trabajo, esfuerzo, dedicación, sacrificios y experiencias vividas.

Dicho esto, agradezco a Dios primero por darme la oportunidad de nacer y ser mi guía en momentos de alegría, pero más aún en momentos de tristeza y agobio, donde me mostró que yo era capaz de superar cualquier reto.

Agradezco profundamente a toda mi familia por siempre ser un apoyo y motivación, en especial a mis dos padres y a mi hermana, que nunca me han dejado bajar la cabeza aun cuando los momentos parecían ameritarlo.

A mi padre, mi mentor, mi héroe, un hombre digno de sus pasos ser seguidos, inquebrantable a la vista, pero con un corazón sumamente noble que día a día me motiva a dar siempre lo mejor de mi persona. Gracias por instruirme desde niño a trabajar duro por mis sueños y mostrarme que el verdadero significado de honestidad es hacer el bien aun cuando nadie está viendo.

A mi madre, por ser el vivo ejemplo de amor, comprensión y humildad. Inculcarme cuanto valor aparezca definido en un diccionario, y demostrarme que su orgullo al ver a su hijo crecer no tiene precio alguno. Si de algo estoy seguro en esta vida es que tuve la oportunidad de ser criado en los mejores brazos que el mundo me podía ofrecer.

Agradezco a todas las personas, amigos y amigas que este camino llamado estudio me ha permitido conocer. A todos mis profesores por su servicio y entrega, y más aún a aquellos que una vez finalizados sus cursos se convirtieron en amigos.

Por último, le dedico también este logro a dos personas que ya no están en este mundo con nosotros, pero que su paso por aquí y su partida me han dejado marcado. Cristina que espero me sonría desde el cielo, y a mi abuela Sara que siempre con mucho gozo contaba como llegaba yo de niño a su casa a colorear planos de mi padre, espero que ella esté muy orgullosa de ver cómo me convertí en el profesional que los hace.

Contenido

CAPÍTULO I

PROBLEMA Y PROPÓSITO	11
1.1. Estado Actual del Objeto de Estudio	12
1.2. Formulación del problema.....	14
2.1.1. Enunciado del Problema	14
2.1.2. Formulación del Problema	15
1.3. Objetivos de la Investigación.....	16
1.3.1. Objetivo General	16
1.3.2. Objetivos Específicos	16
1.4. Alcances de la Investigación	17
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	17
1.6. Delimitación Espacial y Temporal	18
1.6.1. Delimitación Espacial	18
1.6.2. Delimitación Temporal.....	18

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	19
2.1. Tratamiento: Primario, Secundario, Terciario.....	20
2.2. Teoría de la Sedimentación	21
2.3. Componentes de un Tanque Séptico.....	21
2.4. Tanque Séptico Mejorado	24
2.4.1. Trampa de Grasa	25
2.5. FAFA: Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	26
2.5.1. Métodos Anaerobios y Métodos Aerobios	27
2.6. Caudal.....	28
2.7. D.B.O.	29

2.8.	D.Q.O.....	30
2.9.	Sólidos en Suspensión.....	30
2.10.	Tiempo de retención hidráulica	31
CAPÍTULO III		
MARCO METODOLÓGICO.....		32
3.1.	Enfoque Metodológico.....	33
3.2.	Sujetos y Fuentes de Información	33
3.3.	Definición de Variables.....	35
3.4.	Instrumentos y Técnicas de Recolección de Datos.....	38
3.5.	Confiabilidad de los Instrumentos	39
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS		40
4.1.	Dimensionamiento de la Sección de Tanque Séptico del Sistema	41
4.2.	Dimensionamiento de la Sección del FAFA del Sistema.....	49
4.3.	Comparación de la Eficiencia de un Tanque Séptico Tradicional Contra un Tanque Séptico Mejorado con Filtro Tipo FAFA.....	52
4.4.	FAFA Diseñado con Agregados Provenientes de Distintas Fuentes A Nivel Nacional.....	56
4.4.1.	Agregados Cerro Minas	58
4.4.1.	Pedregal: planta de San Carlos	61
4.4.2.	Grupo Orosi.....	65
4.4.3.	Quebrador JyM	69
4.5.	Resumen de Resultados Obtenidos.....	72
CAPÍTULO V		75
DIBUJOS ARQUITECTÓNICOS		75
5.1.	Dibujo en Planta de Paredes.....	76
5.2.	Planta de Distribución de Varilla en Paredes	77

5.3.	Sección Longitudinal (Vista A-A).....	78
5.4.	Plano de corte (Vista B-B).....	79
5.5.	Plano de corte (Vista C-C)	80
5.6.	Detalles de Armado de Varillas	81
5.7.	Detalles de Block Utilizado.....	82
5.8.	Detalles de Viga de Corona	83
5.9.	Detalle de Vigüeta del Fondo Falso	83
5.10.	Vista Longitudinal Desde el Frente del Modelo en 3D	84
5.11.	Vista Trasera del Modelo en 3d	85
CAPÍTULO VI		
	PRESUPUESTO DETALLADO	86
CAPÍTULO VII		
	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROPUESTO.....	94
7.1.	Mantenimiento de la Trampa de Grasa	95
7.2.	Mantenimiento del Tanque Séptico	96
7.3.	Mantenimiento del FAFA.....	98
CAPÍTULO VIII		
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
8.1	CONCLUSIONES	102
8.2	RECOMENDACIONES.....	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	107
	ANEXOS.....	109

Índice de Tablas

Tabla No° 1: Datos de los profesionales entrevistados.	34
Tabla No° 2: Definición de las variables de investigación.	36
Tabla No° 3: Datos necesarios para el cálculo de la sección de tanque séptico del sistema.....	42
Tabla No° 4: Resultados del volumen interno y área interna mínimos de la sección de tanque séptico del sistema.....	44
Tabla No° 5: Resultados del volumen interno y área interna mínimos a cumplir de la sección de tanque séptico del sistema.	44
Tabla No° 6: Resultados de las dimensiones internas totales de la sección de tanque séptico del sistema, debido al método constructivo utilizado.	48
Tabla No° 7: Resultados de las dimensiones totales de la sección de tanque séptico del sistema, debido al método constructivo utilizado.	49
Tabla No° 8: Datos necesarios para el cálculo de la sección del FAFA del sistema.	49
Tabla No° 9: Resultados del volumen mínimo requerido del FAFA.....	50
Tabla No° 10: Resultados del cálculo de la altura interna del FAFA.	50
Tabla No° 11: Resultados de las dimensiones de altura interna, ancho y largo interno, volumen interno y área interna de diseño del FAFA.	51
Tabla No° 12: Resultados de las dimensiones de altura total, ancho y largo total, volumen total y área total del FAFA.	52
Tabla No° 13: Composición típica de las aguas residuales domésticas no tratadas.	52
Tabla No° 14: Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor.	53
Tabla No° 15: Características de la piedra cuarta (25mm) proveniente de Agregados Cerro Minas.	59
Tabla No° 16: Características de la piedra quintilla (12.5mm) proveniente de Agregados Cerro Minas.	59
Tabla No° 17: Características de la arena industrial (5mm) proveniente de Agregados Cerro Minas.	59

Tabla No° 18: Resultados obtenidos para los materiales de Agregados Cerro Minas para la configuración de 1 capa de material filtrante.....	60
Tabla No° 19: Resultados obtenidos para los materiales de Agregados Cerro Minas para la configuración de 2 capas de materiales filtrantes.	60
Tabla No° 20: Resultados obtenidos para los materiales de Agregados Cerro Minas para la configuración de 3 capas de materiales filtrantes.	61
Tabla No° 21: Características de la piedra cuarta (25mm) proveniente de la planta de Pedregal en San Carlos.	62
Tabla No° 22: Características de la piedra quintilla (12.5mm) proveniente de la planta de Pedregal en San Carlos.	62
Tabla No° 23: Características de la arena industrial (9.5mm) proveniente de la planta de Pedregal en San Carlos.	62
Tabla No° 24: Resultados obtenidos para los agregados de la planta de San Carlos de Pedregal para la configuración de 1 capa de material filtrante.	63
Tabla No° 25: Resultados obtenidos para los agregados de la planta de San Carlos de Pedregal para la configuración de 2 capas de material filtrante.....	64
Tabla No° 26: Resultados obtenidos para los agregados de la planta de San Carlos de Pedregal para la configuración de 3 capas de material filtrante.....	64
Tabla No° 27: Características de la piedra cuarta (22mm) proveniente de Grupo Orosi.	66
Tabla No° 28: Características de la piedra quintilla (12.5mm) proveniente de Grupo Orosi.	66
Tabla No° 29: Características de la arena industrial (9.5mm) proveniente de Grupo Orosi.	66
Tabla No° 30: Resultados obtenidos para los agregados de Grupo Orosi para la configuración de 1 capa de material filtrante.....	67
Tabla No° 31: Resultados obtenidos para los agregados de Grupo Orosi para la configuración de 2 capas de material filtrante.....	67
Tabla No° 32: Resultados obtenidos para los agregados de Grupo Orosi para la configuración de 3 capas de material filtrante.....	68

Tabla No° 33: Características de la piedra cuarta (25mm) proveniente de Quebrador JyM.	69
Tabla No° 34: Características de la piedra quintilla (12.5mm) proveniente de Quebrador JyM.	69
Tabla No° 35: Características de la arena industrial (6mm) proveniente de Quebrador JyM.	70
Tabla No° 36: Resultados obtenidos para los agregados de Quebrador JyM para la configuración de 1 capa de material filtrante.....	70
Tabla No° 37: Resultados obtenidos para los agregados de Quebrador JyM para la configuración de 2 capas de material filtrante.....	71
Tabla No° 38: Resultados obtenidos para los agregados de Quebrador JyM para la configuración de 3 capas de material filtrante.....	71
Tabla No° 39: Resumen de los resultados de resistencia a flujo total y promedio de absorción obtenidos.	73
Tabla No° 40: Listado de precios por agregado de cada compañía utilizada.....	88
Tabla No° 41: Costo del movimiento de tierras necesario para construir el sistema diseñado.	88
Tabla No° 42: Costo de la elaboración de vigas corona necesarias para construir el sistema diseñado.	89
Tabla No° 43: Costo de la elaboración de las losas necesarias para construir el sistema diseñado.	89
Tabla No° 44: Costo de la instalación de la tubería sanitaria necesaria para construir el sistema diseñado.	90
Tabla No° 45: Costo de los tubos de PVC necesarios para construir el sistema diseñado.	90
Tabla No° 46: Costo del total de varilla necesaria para construir el sistema diseñado.	91
Tabla No° 47: Costo de la elaboración de las viguetas del fondo falso necesarias para construir el sistema diseñado.	91
Tabla No° 48: Costo de la elaboración de las paredes necesarias para construir el sistema diseñado.	92

Tabla No° 49: Costo del uso de agregados necesarios para construir el sistema diseñado.	92
Tabla No° 50: Monto final necesario para construir el sistema diseñado.	93
Tabla No° 51: Resumen de las actividades de mantenimiento del sistema de tratamiento de agua residual diseñado.	100

Índice de Ilustraciones

Ilustración No° 1: Esquema constructivo de un tanque séptico tradicional.	23
Ilustración No° 2: Esquema constructivo de un tanque séptico con ramales de drenaje.	23
Ilustración No° 3: Esquema constructivo de tanque séptico mejorado con presencia de filtro FAFA.	24
Ilustración No° 4: Trampa de grasa.	25
Ilustración No° 5: Aproximación de la relación de dimensiones de un tanque séptico.	43
Ilustración No° 6: Dimensiones de blocks de concreto.	46
Ilustración No° 7: Formas de colocar blocks de concreto.	47
Ilustración No° 8: Dibujo en planta de paredes del sistema final diseñado.	76
Ilustración No° 9: Dibujo en planta de la distribución y acomodo de varillas en las paredes del sistema final diseñado.	77
Ilustración No° 10: Dibujo de la sección longitudinal (Vista A-A) del sistema final diseñado.	78
Ilustración No° 11: Plano de corte en vista B-B del sistema final diseñado.	79
Ilustración No° 12: Plano de corte en vista C-C del sistema final diseñado.	80
Ilustración No° 13: Detalles de armado de varillas en paredes y losas.	81
Ilustración No° 14: Detalles de blocks, y cortes necesarios, utilizados en diseño final.	82
Ilustración No° 15: Detalles constructivos de las vigas corona utilizadas en el diseño final.	83
Ilustración No° 16: Detalle constructivo de las viguetas utilizadas en el fondo falso del FAFA en el diseño final.	83
Ilustración No° 17: Vista en corte longitudinal desde el frente del modelo en 3D del sistema diseñado.	84
Ilustración No° 18: Vista trasera del modelo en 3D del sistema diseñado.	85
Ilustración No° 19: Ejemplo de tubería de ventilación del tanque séptico colocada en la parte superior de una tapia aledaña.	114

CAPÍTULO I

PROBLEMA Y PROPÓSITO

1.1. Estado Actual del Objeto de Estudio

En el ámbito de estudio se conoce como aguas residuales a todas aquellas que fueron contaminadas con sustancias tóxicas nocivas para los seres vivos, debido a que previamente fueron utilizadas en usos domésticos, comerciales, industriales o agrarias. Por lo tanto, una vez que el agua dulce fue aprovechada en cualquier ámbito mencionado, se le debe realizar un tratamiento pertinente para devolverla a la naturaleza.

Partiendo de esta premisa es que desde tiempos de antaño la ingeniería sanitaria ha jugado un papel sumamente importante en el desarrollo de la civilización como tal, siendo dicha ingeniería la encargada de velar por el correcto manejo de las aguas negras, también llamadas aguas servidas, producidas por los seres humanos y sus obras. Recordando que existen muchas metodologías diferentes para el tratamiento de aguas residuales, el presente escrito se enfocará primordialmente en el diseño e implementación del método más conocido utilizado en un hogar unifamiliar, el tanque séptico. Ahora bien, en Costa Rica hoy por hoy algunas municipalidades, por ejemplo, la municipalidad de Vásquez de Coronado, exige la implementación del conocido tanque séptico mejorado, por lo tanto, y proyectándose hacia la implementación de este tipo de diseño para las futuras obras que están por venir, es que la presente investigación se basa en el diseño de un tanque séptico mejorado utilizando un filtro tipo FAFA.

Se define como Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) al sistema que consiste en piedra porosa y se encarga de filtrar el agua recibida para la eliminación de la materia orgánica, utilizando bacterias para dicho proceso y sin suministro externo o auxiliar de oxígeno.

Cabe recordar que los métodos para tratamiento de agua residual pueden ser aerobios o anaerobios:

- Aerobios: son aquellos que utilizan sistemas de suministro de oxígeno mediante aireadores mecánicos al agua, con el fin de que las bacterias en ella se reproduzcan con mayor frecuencia y así se pueda degradar la materia orgánica en menor tiempo y se generen más lodos.
- Anaerobios: son aquellos que no utilizan sistemas de suministro de oxígeno, pero debido a ello la reproducción bacteriana se realiza a una menor tasa y la descomposición de materia orgánica es un proceso un poco más lento.

Una vez mencionado lo anterior, y entrando ya en el ámbito de diseño de los tanques sépticos en Costa Rica, se dice que aproximadamente un 70.9% de la población nacional utiliza el sistema de tanque séptico como mecanismo de tratamiento de aguas residuales. No obstante, se ha encontrado que la evaluación de su funcionamiento y su mecanismo de operación no han sido investigados a fondo, y sumado a esto, los diseños que se fabrican aún en la actualidad no son los adecuados para disminuir los niveles de contaminación generados en los hogares día a día. Basándose en dicha premisa, es que hoy por hoy más ingenieros están optando por la utilización de los sistemas de tanque sépticos mejorados.

El ingeniero Elías Rosales Escalante ha sido pionero de la materia en el país. Mediante diversos estudios en su labor como investigador para el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), Rosales ha desarrollado una metodología de diseño para la implementación de tanques sépticos y filtros FAFA en ellos en su obra titulada “Tanques Sépticos Conceptos Teóricos Base y Aplicaciones”, publicada en el año 2008.

En dicha obra se explica cómo debería ser el diseño de un tanque séptico mejorado y como puede ser implementado un filtro tipo FAFA en dicho diseño, basando sus estudios y cálculos en la utilización de piedra cuarta y cuartilla, y a través del texto dando diferentes pautas de cómo se puede diseñar y construir el filtro mencionado. No obstante, el texto no identifica cuanta es la cantidad óptima de cada tamaño de grava, o si bien se

puede utilizar un tercer tamaño de grava como lo es la piedra quintilla, la cual se puede encontrar en el mercado nacional.

Ahora bien, en el escrito se presenta la formulación matemática para el cálculo de la eficiencia teórica del sistema, no obstante, debido a que el texto citado solo contempla dos tipos de grava de manera macro, es decir, no especifica cual es la procedencia de dicho material para obtener las mejores eficiencias, deja un portillo investigativo para buscar y encontrar con cuales gravas es que los filtros tipo FAFA son más eficientes, si con las gravas de procedencia de canto rodado de río o si con gravas de explotación extraídas de tajo. Basándose en dicha premisa es que se llevó a cabo la presente investigación, siendo entonces esta temática de las eficiencias el motor central de la investigación y derivándose así en otros objetivos con el fin de aportar mayor conocimiento en el área de la ingeniería sanitaria en Costa Rica.

1.2. Formulación del problema

2.1.1. Enunciado del Problema

Costa Rica es un país que a nivel mundial se encuentra galardonado y reconocido como una nación ecológica, que se preocupa por su entorno y su biodiversidad, esta última siendo el icono y tarjeta de presentación del país ante el mundo. Es aquí donde recae la obligación del costarricense, no solo como poblador del país, sino también como habitante del planeta Tierra, de velar por el correcto manejo de sus residuos del día a día, no solo de los residuos sólidos, sino también los residuos líquidos que genera.

A través del tiempo, al igual a como sucede en muchas ramas del conocimiento, la ingeniería ha ido implementando nuevas metodologías de diseño en cuanto a temas de ingeniería sanitaria y ambiental. Dicho esto, al ser ingeniería civil una profesión que integra muchas áreas de conocimiento, ha sido pionera para encontrar soluciones o alternativas comprometidas con la preservación del medioambiente. Por esta razón, es que hoy por hoy a nivel nacional se tiene bajo reglamentación todo lo relacionado al manejo de aguas residuales de toda edificación realizada de frontera a frontera.

Parte de esta reglamentación anteriormente mencionada define que para toda vivienda unifamiliar se debe tener un tanque séptico mejorado, en el cual las aguas servidas sean vertidas para su respectivo tratamiento antes de volver a un cuerpo de agua o a ser infiltradas al terreno. Basándose en esta premisa, es que hoy se utiliza con mayor frecuencia lo que se conoce como Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA). Este filtro permite la reducción de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y reducción de los Sólidos Suspendidos (SS), proporcionando efluentes de mejor calidad capaces de ser vertidos en un cuerpo receptor o ser devueltos a las aguas subterráneas.

Con base en lo anterior, si bien en Costa Rica se conoce una metodología para el diseño de filtro FAFA, no se conoce con exactitud cuales gravas son las más eficientes para llevar a cabo un diseño de estos filtros, dependiendo de su procedencia, ni cual es la relación volumen de tanque contra volumen de filtro que se debe emplear. Por dicha razón, es que el presente escrito pretende determinar cuáles de las gravas disponibles en el mercado nacional brindan una mayor eficiencia teórica en el diseño y construcción de un tanque séptico mejorado utilizando un filtro tipo FAFA, comparando las gravas extraídas de tajo contra las gravas de río. Además, se busca determinar la relación que existe entre el volumen de retención con el volumen del tanque.

2.1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es la diferencia en la eficiencia del sistema tipo FAFA presente en el diseño de un tanque séptico mejorado, al utilizar grava de río en comparación con la utilización de grava de tajo?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Realizar un análisis comparativo entre un sistema de tanque séptico mejorado utilizando un filtro tipo FAFA con grava de río y un sistema con grava de tajo para un hogar de 6 habitantes.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características granulométricas de los materiales a utilizar en el filtro tipo FAFA.
- Diseñar el sistema de tanque séptico mejorado utilizando un filtro tipo FAFA con grava de río y utilizando grava de tajo.
- Determinar cuál fuente de material es más eficiente, si el material de tajo o el material de río.

1.4. Alcances de la Investigación

Las resistencias a flujo y las eficiencias encontradas son de índole teórico, ya que no se realizó la construcción del tanque séptico mejorado en ningún terreno para poder realizar pruebas de laboratorio.

Se realizó un presupuesto detallado del costo estimado de construcción de la estructura del tanque séptico mejorado junto con el espacio del Fafa propuesto, no obstante, dicho presupuesto se contempla solamente para un terreno ubicado en la GAM.

No se elaboró ninguna maqueta o modelo en miniatura para someter a prueba las resistencias a flujo y las eficiencias de los materiales, o bien para ejemplificar en tres dimensiones el diseño propuesto.

No se realizó el diseño de un sistema de drenaje que se encuentre posterior al tanque séptico, esto debido a que no se posee conocimiento de algún terreno en el cual se planea construir la obra.

Debido a que solamente se utilizaron gravas disponibles en el mercado nacional, la comprobación de las resistencias a flujo y las eficiencias no están pensadas para su uso en otro país que no sea Costa Rica.

1.5. Limitaciones de la Investigación

Falta de análisis de granulometría en alguna de las fuentes. En este caso se procederá a realizar el análisis granulométrico respectivo en el laboratorio de la Universidad Latina de Costa Rica sede San Pedro.

No se cuenta con ningún software para realizar modelación alguna del sistema de tratamiento de agua residual diseñado.

Debido a que el método constructivo del diseño propuesto es mampostería utilizando blocks de concreto de 15x20x40cm Clase A, las dimensiones de ancho, largo y altura del tanque séptico propuesto deben ser acorde a las dimensiones de dichos blocks mencionados.

No se posee terreno alguno en el cual se pueda construir el diseño elaborado en la presente investigación, por lo tanto, no se pueden realizar pruebas de laboratorio con el fin de comprobar y contrastar los valores obtenidos teóricamente.

1.6. Delimitación Espacial y Temporal

1.6.1. Delimitación Espacial

La investigación se llevará a cabo en Costa Rica, específicamente en las provincias de Alajuela, Cartago, Limón y San José; ya que las fuentes de material se encuentran ubicadas en los sitios mencionados.

1.6.2. Delimitación Temporal

Se utilizará como parámetro temporal la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), por el tiempo que se encuentre en vigencia dicho escrito.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1. Tratamiento: Primario, Secundario, Terciario

El tratamiento primario básicamente consiste en la eliminación de sólidos gruesos, resultando en una reducción de la carga contaminante en sus aguas residuales. Dependiendo de la calidad requerida de sus efluentes finales se puede necesitar ya sea un filtro, un sistema de flotación o un sistema de floculación y flotación. Normalmente las plantas de tratamiento para zonas residenciales o para edificios comerciales emplean filtros de reja fija, donde logran separar desechos que las bacterias dentro de la planta no pueden consumir como alimento para descomponerlo.

En cuanto al tratamiento secundario, también conocido como tratamiento biológico, es el requerido para que el agua residual sea tratada y posteriormente regresada al medioambiente, como ríos u otro cuerpo de agua natural, o bien infiltrada al terreno. Este tipo de tratamiento hace uso de bacterias para remover materia biodegradable disuelta en agua servida. En general estos sistemas se dividen en dos grupos mencionados anteriormente, los aerobios y los anaerobios, los cuales se rigen por la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

Por último, el tratamiento terciario consiste en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales. Algunas veces el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario, por lo tanto, es opcional o depende del origen de las aguas residuales, como por ejemplo cuando son aguas residuales industriales. Se ha empleado la filtración rápida en arena para poder eliminar mejor los sólidos y nutrientes en suspensión. También se utilizan formas de desinfección por medio cloro o de membranas.

2.2. Teoría de la Sedimentación

El principio fundamental en el cual se basan la mayoría de los tratamientos de aguas residuales es la teoría básica de la sedimentación. Según Russell (2012) “La teoría básica de la sedimentación se basa en un equilibrio entre la fuerza de la gravedad y las fuerzas de fricción.” (p.122). Por lo tanto, según el autor mencionado, cuando se poseen sólidos que presentan características físicas que los hacen pegajosos o a aglomerarse, su decantación se da de forma más lenta. Por lo tanto, las aguas residuales que tienen concentraciones de biosólidos orgánicos por encima de 3500 mg/L, terminan presentando una disminución significativa de su velocidad de decantación en masa, o presenta un fenómeno que se conoce como sedimentación por zonas.

2.3. Componentes de un Tanque Séptico

Los sistemas para el tratamiento individual de desechos líquidos son una o varias unidades sencillas o especializadas que por etapas consecuentes mejoran la calidad del agua, quitándole los elementos contaminantes que se le agregaron, antes de hacer su vertido en el medio circundante a la vivienda o del asentamiento. (Rosales, 2008, p.4)

Según lo mencionado, los tratamientos a las aguas residuales se realizan con el fin de reducir considerablemente el impacto negativo en el ambiente. Se debe cumplir con la filosofía de que el encargado de generar residuo sea el responsable de velar por un correcto manejo del tratamiento de mismo. De ahí que nace la necesidad de implementar los tanques sépticos en las viviendas.

Comúnmente, los sistemas sencillos de tanque séptico, también llamado fosa séptica, en un hogar unifamiliar consta del tanque séptico como tal y a este se le añade un sistema ramificado de tuberías que cumplen con la función de drenaje, transportando las aguas residuales hacia el terreno.

El uso de esta técnica sanitaria es definido posterior a la realización de una prueba de infiltración, prueba en la cual se determina cual es la capacidad de absorción del suelo donde se ubica la obra. Para su construcción se debe respetar una relación 1:3 entre la medida de ancho y longitud del tanque, así como también una profundidad mínima de 1 metro en los líquidos almacenados. El agua residual entra por una tubería a un lado de la unidad y sale por una tubería en el lado opuesto de esta, mientras el tratamiento se realiza siguiendo los principios básicos de la sedimentación.

En tratamiento en sí podría decirse que divide el tanque en 4 capas, por lo tanto, en el fondo se encuentran los sólidos depositados, formando una capa de lodos producto del degradable biológico llevado a cabo por las bacterias. Este lodo debe ser extraído periódicamente. Sobre esta capa mencionada, en el tramo intermedio, se tiene el líquido con partículas disueltas que se encuentran en proceso de ser sedimentadas. Seguidamente, se tiene la capa de grasas, también llamadas natas, y por último se tiene el espacio libre entre líquido y la parte superior del tanque, espacio donde se encuentran los gases producidos por el proceso biológico de descomposición de la materia.

A continuación, se presentan las ilustraciones No°1 y No°2 en las cuales se ejemplifican cuáles son las partes de un tanque séptico tradicional y como se ve el sistema cuando tiene integrado los ramales de drenaje, respectivamente.

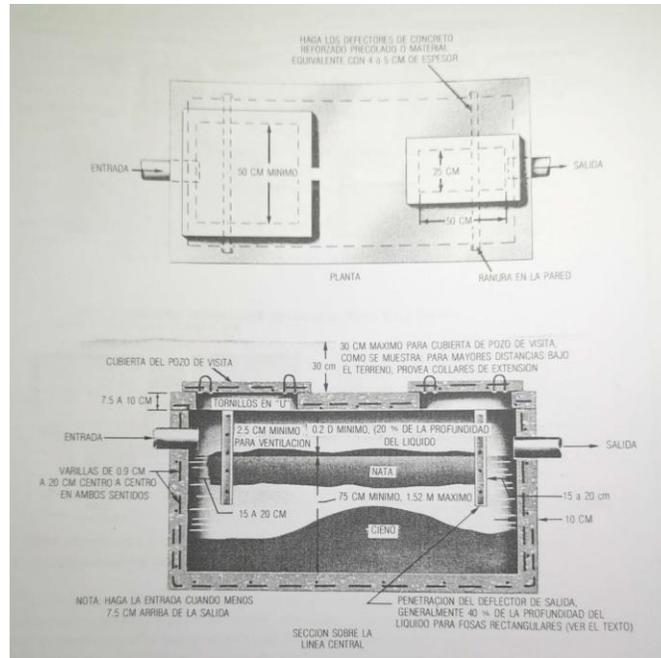


Ilustración No° 1: Esquema constructivo de un tanque séptico tradicional.

Fuente: Manual de Fosas Sépticas

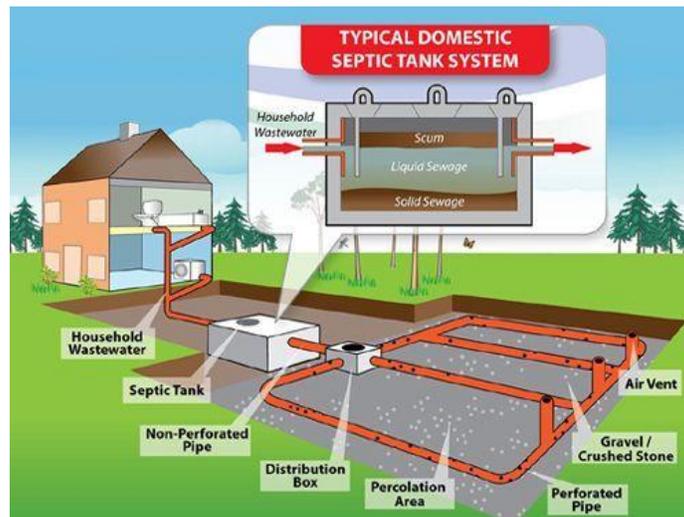


Ilustración No° 2: Esquema constructivo de un tanque séptico con ramales de drenaje.

Fuente: www.ingenieriareal.com

2.4. Tanque Séptico Mejorado

Se le denomina tanque séptico mejorado a aquellos sistemas que poseen un tanque séptico con 2 o más recamaras y adicionalmente trabajan en conjunto con otras unidades o técnicas de tratamiento de aguas residuales. Su uso es más común en terrenos con deficiente capacidad de infiltración o nivel freático a poca profundidad.

Como se mencionó, el sistema de tanque séptico mejorado unifica varias técnicas para tratar las aguas servidas, entre las cuales se tienen el uso de una trampa de grasa al inicio, para iniciar el sistema con un filtrado de grasas y otros desechos producidos en la cocina del hogar. Posteriormente se tiene el tanque séptico de dos o más recamaras, en el cual se produce la sedimentación de sólidos y separación interna por capas igual a como se mencionó anteriormente. Luego se posee un posible filtro de Flujo Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) en la última recamara. Posterior a la recamara del filtro, se dispone del drenaje en ramales, los cuales van a distribuir el líquido tratado a través de un espacio de terreno, para que se realice el retorno del agua al medioambiente mediante la infiltración.

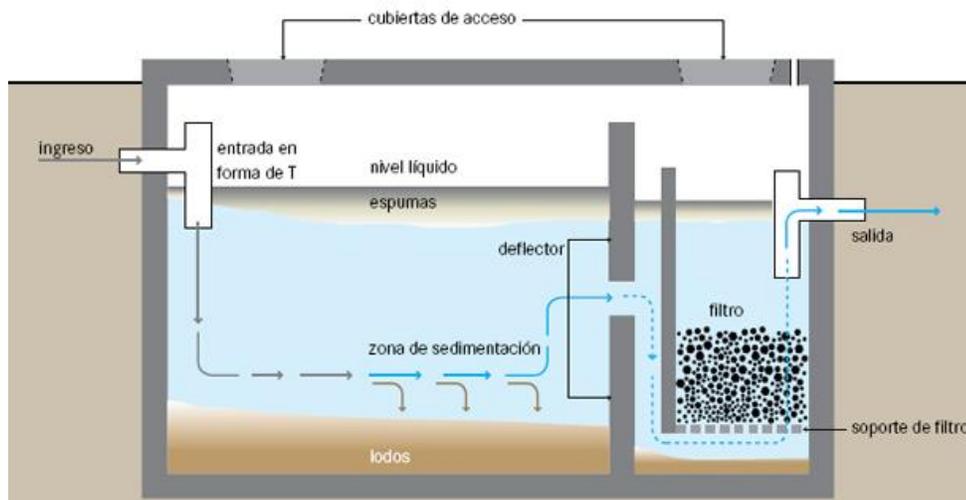


Ilustración No° 3: Esquema constructivo de tanque séptico mejorado con presencia de filtro FAFA.

Fuente: www.alianzaporelagua.org

2.4.1. Trampa de Grasa

En algunas ocasiones las fallas prematuras de los sistemas de saneamiento se deben por la acumulación de grasa y natas en su interior. Por dicha razón es que la utilización de trampas de grasa son alternativa para solucionar esta situación, colocándose al inicio del sistema de saneamiento y cerca del accesorio que descarga los desperdicios grasosos.

Es importante que su ubicación sea de fácil acceso ya que se debe realizar limpieza de la unidad periódicamente. Por lo tanto, el objetivo de la trampa de grasa e interceptar las grasas y jabones de lavado de vajilla, para evitar así la llegada de estas sustancias al sistema de tanque séptico mejorado y que además impermeabilice el campo de infiltración, donde se supone sucederá la absorción del líquido proveniente del sistema de tratamiento.

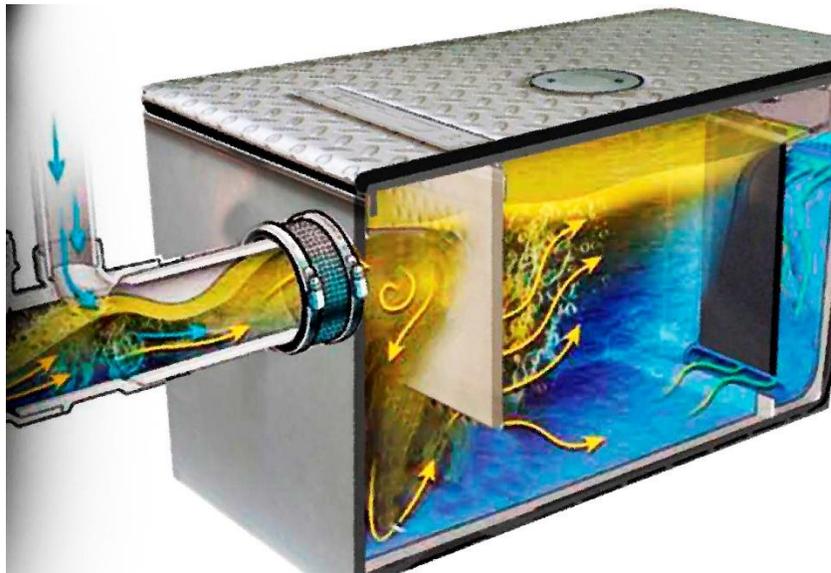


Ilustración No° 4: Trampa de grasa.

Fuente: www.limpiezabellavista.com.do

2.5. FAFA: Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Al igual que muchos sistemas, los filtros tienen una vida de funcionamiento o tiempo de ciclo. Por lo tanto, el tiempo de funcionamiento y la eficiencia en la eliminación de residuos orgánicos son variables tiempo dependientes y sumamente importantes de considerar.

Los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) se utilizan en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, por ejemplo el tanque séptico mejorado de un hogar, cuando los resultados encontrados obtenidos por la prueba de infiltración determinan que el sistema tanque-drenaje no es suficiente para tratar el agua servida del hogar, debido a que el suelo posee características de poca permeabilidad, o bien porque el nivel del agua en el sitio de la obra se localiza a pocos centímetros de profundidad. La biomasa (bacterias) que se encuentra adherida al material filtrante (grava) es la encargada de degradar la materia orgánica presente en las aguas servidas.

Según el autor Rosales (2008) “un filtro anaerobio produce poco lodo, tiene un nulo insumo de energía, no requiere de complicados sistemas mecánicos y su operación es muy sencilla.” (p.36). No obstante, cabe destacar que en este tipo de tratamiento adicional el mantenimiento juega un gran papel, ya que cuando se satura el medio filtrante, se debe remover aproximadamente un 80% de este y colocar uno nuevo. La vida promedio de un filtro tipo FAFA es de aproximadamente 5 a 7 años dependiendo de la cantidad de aguas residuales que procese, similar al drenaje del sistema de tanque séptico.

2.5.1. Métodos Anaerobios y Métodos Aerobios

Sin duda alguna, el tratamiento biológico de las aguas residuales y residuos orgánicos fermentables se realiza mediante el aprovechamiento de los microorganismos llamados bacterias. Ahora bien, dichos tratamientos pueden ser aerobios o bien pueden ser anaerobios. A continuación, se encuentra la definición de cada uno de los tipos mencionados.

- **Aerobios:** son aquellos que utilizan sistemas de suministro de oxígeno mediante aireadores mecánicos al agua, con el fin de que las bacterias en ella se reproduzcan con mayor frecuencia y así se pueda degradar la materia orgánica en menor tiempo y se generen más lodos.
- **Anaerobios:** son aquellos que no utilizan sistemas de suministro de oxígeno, pero debido a ello la reproducción bacteriana se realiza a una menor tasa y la descomposición de materia orgánica es un proceso un poco más lento.

Cada uno de ellos posee sus ventajas y desventajas. Por ejemplo, los métodos aerobios permiten que el sistema de tratamiento sea más grande y que la descomposición biológica se realice a un mayor ritmo. No obstante, estos métodos representan una mayor inversión económica debido a que se deben implementar aireadores mecánicos.

Por su parte, los métodos anaerobios según Lorenzo y Obaya (2005) definen que “el hecho de no necesitar aireación y la generación de biogás, que se puede utilizar en la misma planta con finalidades energéticas, hacen que la digestión anaerobia resulte mucho más favorable económicamente, permitiendo en muchos casos la autonomía o autosuficiencia de las plantas de tratamiento” (p.36). No obstante, una desventaja es que para plantas de tratamiento muy grandes pierden eficacia, debido a la descomposición se realiza a un ritmo mucho más despacio.

2.6. Caudal

Con el fin de realizar un diseño de un tanque séptico mejorado, en el cual se integre un sistema de filtrado anaerobio de flujo ascendente (FAFA), se debe conocer cuáles son los parámetros mínimos que debe cumplir o satisfacer dicho diseño.

Los tanques sépticos se diseñan bajo premisas ingenieriles, reglamentaciones y normas nacionales. Con base en lo mencionado, se debe conocer cuánto es el caudal de entrada que debe tratar el sistema, por lo tanto, para definir dicho caudal se deben considerar los valores de dotación y el factor de retorno, los cuales se encuentran estipulados en la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).

En la página número 15 de dicha norma mencionada, se estipulan las dotaciones brutas, las cuales corresponden a consumo poblacional de agua potable, es decir, que dichas dotaciones en unidades de litro por persona por día (L/p/d) solamente contemplan cuanta es la cantidad de agua potable que los pobladores de dicha zona consumen en promedio, estipulándose así que estos valores no aplican para calcular la demanda de agua requerida como materia prima o insumo para llevar a cabo procesos industriales, agroindustriales u otros actividades de producción en la zona de la obra. Estas dotaciones son:

- **Poblaciones rurales: 200 L/p/día;** en caso de zonas rurales costeras se aplicará la dotación establecida para “Población costera”.
- **Poblaciones urbanas: 300 L/p/día**
- **Poblaciones costeras: 375 L/p/día**
- **Área metropolitana: 375 L/p/día**

Por lo tanto, para la elaboración del sistema integrado presente, se supuso que el diseño sería realizado en el área metropolitana, tomándose así un valor de dotación de 375 L/p/día. Una vez conocido este dato, se debe determinar para cuantos habitantes se planta el sistema de tratamiento de agua residual, el cual se estipuló en 6 habitantes por casa unifamiliar. Actualmente la norma del AyA establece una población de diseño de 5.5 habitantes/ unidad habitacional.

Con base en lo mencionado en el párrafo anterior, el caudal es la cantidad de agua potable que requieren estos 6 habitantes de un hogar en un día, el cual es un valor que se puede dar tanto en litros como en metros cúbicos por día. Conociendo este valor de caudal de consumo, se le debe aplicar un factor de retorno (FR), el cual, según la norma técnica del AyA en la página 28, establece como un 80% del agua potable. Por lo tanto, este 80% del caudal potable es caudal de diseño del sistema de tanque séptico, valor que se conoce como Q_{paro} .

2.7. D.B.O.

La Demanda Biológica de Oxígeno (D.B.O.) es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente las bacterias, consumen para descomponer las sustancias orgánicas en un cuerpo de agua, y sus unidades son mg/L. Dicho parámetro se utiliza para determinar el estado, o bien, la calidad de cuerpos de agua o sistemas de tratamiento de aguas residuales. Según lo mencionado, cuanta más materia orgánica se presenta, mayor será la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para descomponerla.

Los procesos anaeróbicos que suceden en un tanque séptico en zonas con condiciones climatológicas cálidas y temperaturas poco fluctuantes, permiten valores promedio de depuración equivalentes al 70% de la D.B.O. y al 80% de los sólidos suspendidos (S.S.). Teóricamente las cantidades de materia orgánica que podría llegar a un sistema de tratamiento de residuos líquidos de origen domestico ronda los siguientes valores:

- DBO = 220 mg/L
- SS = 300 mg/L

Basándose en los porcentajes de depuración comentados, teóricamente los valores luego de pasar por un tanque séptico mejorado serían de:

- $DBO = 220 \text{ mg/L} - (220 * 70\%) = 66 \text{ mg/L}$
- $SS = 300 \text{ mg/L} - (300 * 80\%) = 60 \text{ mg/L}$

Por lo tanto, de acuerdo con esta eficiencia, se hace necesario contar con un sistema adicional que permita contar con una mayor calidad de vertido final, siendo una posible alternativa la implementación de un filtro FAFA.

2.8. D.Q.O.

La Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua. Básicamente, se utiliza este parámetro como herramienta de medición del grado de contaminación del líquido y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/L). Por lo tanto, cuanto mayor sea la D.Q.O., más contaminante es el agua residual si no se trata. El valor de la D.Q.O. siempre es mayor al valor de la D.B.O.

2.9. Sólidos en Suspensión

Se denominan sólidos en suspensión a todas aquellas partículas que permanecen en suspensión en el agua debido al movimiento del líquido, o bien porque la densidad de la partícula es menor o igual que la del agua. La concentración de sólidos en suspensión también es un parámetro para determinar la calidad del agua.

La concentración de estas partículas es un valor utilizado como uno de los indicadores de la calidad del agua. Aquellos sólidos en suspensión que tienen densidad mayor que el agua se sedimentan dentro del tanque séptico, y aquellos que poseen una densidad menor que el agua y flotan, pueden ser eliminados mediante técnicas de filtrado. Los sólidos en suspensión pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos, no obstante, sea cual sea su origen, son sumamente contaminantes debido a los agentes patógenos que son transportados en la superficie de estas partículas.

2.10. Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención es el periodo que tarda una gota en entrar al sistema de tratamiento de agua residual y posteriormente salir de este. Ahora bien, este tiempo de retención hidráulica debe tener cierta métrica, ya que, si es muy corto, los microorganismos dentro del tanque séptico no pueden cumplir su función de degradación correcta de las partículas, ni se logra una adecuada sedimentación, pero de forma contraria, si el tiempo de retención es demasiado largo, se da una inundación de superficie o se pueden suspender las partículas que ya se encontraban sedimentadas, teniendo así contaminaciones cruzadas.

En el caso del sistema integrado tanque séptico-FAFA que se propone en el presente escrito, se manejan dos tiempos de retención hidráulica diferentes, de los cuales uno corresponde al tiempo de retención hidráulica en la sección del tanque séptico, el cual se utilizó un valor de $t_h = 48$ horas; mientras que el otro corresponde a la sección del FAFA como tal y se utilizó un valor de $TRH = 10$ horas. Para sistemas FAFA, estos valores de TRH se recomiendan de 6 a 12 horas, quedando a criterio de diseñador cual valor de tiempo desee utilizar.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque Metodológico

La presente investigación se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo, sumado también con matices de enfoque cualitativo. Cuantitativo debido a que Los fenómenos y estudios realizados son objetivos, los cuales no deben ser afectados por el investigador, iniciando el proceso investigativo con un planteamiento del problema preciso y acotado, siguiendo un proceso estructurado para su desarrollo. En cuanto al enfoque cualitativo, también se encasilla con este debido a que, si bien el presente escrito se sitúa sobre sobre investigaciones previas y conocimiento desarrollado por otros autores, su desarrollo y meta final radica en sí mismo. La utilización de enfoque mixto alcanza una perspectiva más amplia y profunda del fenómeno estudiado, en este caso, la diferencia de eficiencias.

La investigación presente es de tipo analítica en combinación con descriptiva. En cuanto al tipo analítica, la investigación presente busca descubrir los elementos que componen una situación para posteriormente hacer una síntesis de lo analizado y explicar las situaciones en términos de las relaciones de sus componentes, con el objetivo de conocer a fondo el problema. Por otro lado, se dice que también descriptiva debido a que el investigador recoge información acerca de un objeto de estudio y posteriormente brinda una interpretación correcta de los datos encontrados.

3.2. Sujetos y Fuentes de Información

3.2.1. Fuentes Primarias

A continuación, se presenta la tabla No°1, la cual posee los datos de dos ingenieros civiles especializados en el área de ingeniería sanitaria, los cuales van a ser entrevistados con el fin de conocer cuáles son las metodologías de diseño y procesos constructivos para sistemas de tanque séptico mejorado comúnmente utilizadas en Costa Rica.

Tabla No° 1: Datos de los profesionales entrevistados.

Nombre	Descripción Personal	Temas de aporte
Ing. Eduardo Chacón Cordero	Ingeniero especializado en el área de la ingeniería ambiental, sanitaria e hidráulica, con más de 25 años de experiencia en el desarrollo profesional. Director del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA).	Generalidades sobre el diseño y problemática de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, basado en el estudio de tanque séptico mejorado y filtros de flujo ascendente.
Ing. Ronald Calvo Zeledón	Ingeniero civil destacado por extenso desarrollo profesional en el ámbito de la ingeniería sanitaria. Actual presidente de la Asociación Costarricense de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (ACREH) y director de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS).	Brindar los conceptos operativos que se deben tomar en cuenta para el funcionamiento correcto de un sistema de tratamiento de agua residual, basado en sistemas de tanque séptico mejorado.

Fuente: Propia

3.2.2. Fuentes Secundarias

En cuanto a las fuentes de información citadas para el desarrollo, se consultaron libros de texto e investigaciones realizadas por otros autores, con el fin de complementar la información respecto al tema estudiado y responder a la problemática del presente escrito.

3.3. Definición de Variables

A continuación, se presenta la tabla No°2, la cual muestra cuales son las variables de estudio contempladas en el presente escrito.

Tabla No° 2: Definición de las variables de investigación.

Variable	Definición	Operativa	Instrumental
Granulometría	Los valores de granulometría varían dependiendo de la fuente de procedencia.	Utilización de las normas ASTM.	Estudios de laboratorio realizados por la compañía que distribuye el material. En caso de que no posean dichos estudios granulométricos, realizar estos en el laboratorio de la universidad.
Procedencia	La procedencia de la grava en análisis representa una variable ya que se tiene material extraído de río y material extraído de tajo.	Elección de diferentes fuentes de material.	Diferentes compañías extraen material, ya sea de río o de tajo, por lo tanto, la grava elegida para análisis será de diferentes fuentes.

<p>Eficiencia</p>	<p>La eficiencia del filtro FAFA depende de los valores granulométricos de la grava que se emplea. Por lo tanto, al tomarse material de distintas fuentes, se encontrarán diferentes eficiencias.</p>	<p>Calculó de diferentes eficiencias debido a los distintos valores granulométricos de las muestras.</p>	<p>El cálculo y diseño del sistema de tanque séptico mejorado con utilización de filtro FAFA determina los diferentes valores de eficiencia.</p>
-------------------	---	--	--

Fuente: Propia.

3.4. Instrumentos y Técnicas de Recolección de Datos

El instrumento de recolección de datos de las fuentes primarias consta de una batería de 8 preguntas. Ambos ingenieros fueron entrevistados con las mismas preguntas, esto con el fin de conocer diferentes puntos de vista sobre el mismo tema por parte de profesionales en el área. A continuación, se presentan las preguntas realizadas:

1. ¿Los tanques sépticos, ya sea mejorado o tradicional, se pueden implementar en cualquier terreno?
2. ¿Está usted de acuerdo con la creencia de que las aguas grises y las aguas negras del hogar deben tratarse por separado?
3. ¿Es indispensable la utilización de una trampa de grasa al inicio del sistema de tratamiento de agua residual en un hogar?
4. Basado en su experiencia como diseñador, ¿son los FAFA una alternativa complementaria de los tanques sépticos mejorados?
5. ¿La utilización de un filtro tipo FAFA en el sistema de tanque séptico mejorado permite una mayor vida útil del sistema como tal?
6. ¿Se puede utilizar un sistema de tanque séptico mejorado para un grupo de viviendas como un solo sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales?
7. ¿Se pueden considerar los sistemas de tanque séptico mejorados que utilizan filtro tipo FAFA como pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales?
8. ¿Cuál es su opinión sobre la operación y mantenimiento de un sistema que utilice un filtro tipo FAFA?

3.5. Confiabilidad de los Instrumentos

En el caso de la variable de granulometría, las diferentes compañías que poseen concesiones para explotar recursos naturales con el fin de extraer material para construcción, en este caso grava, periódicamente realizan estudios de granulometría de sus materiales en un laboratorio certificado. Con base en lo mencionado, y debido a que se tiene diferentes fuentes de material, la veracidad de los valores granulométricos de cada fuente se deroga en la fidelidad del laboratorio encargado de realizar las pruebas y estudio. En cuando a la eficiencia, el procedimiento de diseño del tanque séptico mejorado determina mediante cálculos la eficiencia de cada sistema, ya sea al utilizar grava de río o al utilizar grava de tajo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Dimensionamiento de la Sección de Tanque Séptico del Sistema

Primeramente, cabe destacarse que el diseño de un sistema integral para el tratamiento de aguas residuales de un hogar unifamiliar, conformado por 6 integrantes, propuesto en la presente investigación consta de 2 metodologías. La primera de estas es un tanque séptico mejorado, el cual cuenta con dos compartimentos de distintos tamaños, siendo $\frac{2}{3}$ del tamaño total del tanque séptico el primer compartimento, y $\frac{1}{3}$ del tamaño total del tanque séptico el segundo compartimento. Posterior a este segundo compartimento, se encuentra de manera conjunta un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), el cual el agua una vez que pasa por el filtro, saldría hacia el drenaje que se instale posterior al sistema integral. Cabe destacar que dicho drenaje se puede implementar solamente en terrenos con condiciones aptas para su uso y cuyo nivel freático se encuentre a más de 2 m por debajo de la tubería de drenaje para poder realizar la disposición final (CHSCR 2017).

Como se mencionó anteriormente en el escrito, específicamente en la sección 2.6 del marco teórico la cual se refiere a el caudal, el primer paso para determinar el dimensionamiento del sistema integrado de tanque séptico con filtro FAFA, es conocer cuanta es la población de diseño, la cual se propuso como 6 habitantes por casa unifamiliar. Sumado a ello, se contempló que para la dotación se tomaría el valor estipulado en la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) para la población que se encuentra en el área metropolitana, cuyo valor es dotación = 375 L/p/día.

Tabla No° 3: Datos necesarios para el cálculo de la sección de tanque séptico del sistema.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Tiempo de retención hidráulica	t_h	48	horas
Tiempo de retención hidráulica	t_h	2	días
Tiempo de retención hidráulica	t_h	0.005	años
Temperatura del agua a tratar	T	25	°C
Tiempo de retención para biodigestión	t_d	39.50	horas
Tiempo de retención para biodigestión	t_d	1.65	días
Tiempo de retención para biodigestión	t_d	0.0045	años
Tipo de agua residual	r	40	L/p-año
Periodo de limpieza de lodos	n	2	años
Dotación	D	375	L/p/día
Cantidad de personas	P	6	personas
Caudal de agua potable	$Q_{potable}$	2250	L/día
Factor de Retorno	FR	80%	%
Caudal de agua residual	Q_{paro}	1800	L/día
Caudal de agua residual	Q_{paro}	1.80	m ³ /día
Caudal de agua residual	Q_{paro}	2.08E-05	m ³ /s
Caudal de agua residual	Q_{paro}	0.021	L/s

Fuente: Propia.

El tipo de agua residual (r) y el periodo de limpieza de lodos en años (n). En cuanto al tipo de agua residual, existen dos valores:

- $r = 30$ L/p-año para aguas de solamente inodoros.
- $r = 40$ L/p-año para aguas residuales de todo tipo, grises y negras.

Con base en lo anterior, se determinó que el valor de “r” a utilizar fue de 40 L/p-año. En cuanto al periodo de limpieza de lodos (n), por criterios de diseñador

se especificó con un valor de 2 años. Esto debido a que los lodos no pueden permanecer mucho tiempo dentro del tanque séptico, ya que la saturación de material decantado puede superar el ritmo al cual los microorganismos consumen la materia orgánica, provocando con ello un incremento de malos olores y un desempeño ineficiente del sistema.

Ahora bien, debido a que el diseño trata sobre un sistema integrado de tanque séptico junto con filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), el dimensionamiento de uno afecta directamente al otro. No obstante, esta situación no es contraproducente, por el contrario, facilita en gran manera el cálculo y dimensionamiento. Dicho esto, más adelante en el presente escrito se explica cómo se calculó la altura interna del FAFA. Este valor de altura interna del FAFA es al mismo tiempo la altura interna del tanque séptico, por lo tanto, para el dimensionamiento final de diseño de la sección del tanque ya se conocen los valores de volumen mínimo que se debe cumplir y de altura interna de este.

Siguiendo las recomendaciones del ingeniero Elías Rosales, en su escrito Tanques Sépticos: Conceptos Teóricos Base y Aplicaciones, la relación de dimensiones de ancho y largo de un tanque séptico son aproximadamente:

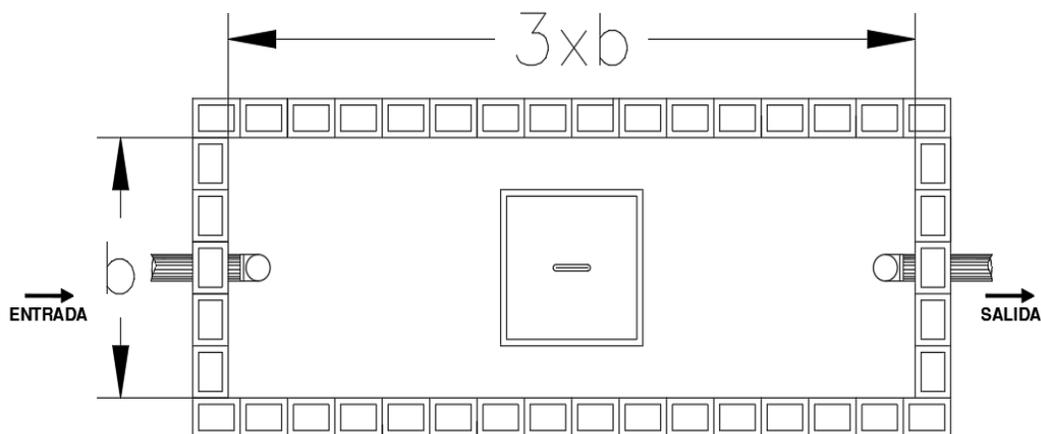


Ilustración No° 5: Aproximación de la relación de dimensiones de un tanque séptico.

Fuente: Propia.

A continuación, se presenta la tabla No°4, la cual muestra los resultados de los volúmenes calculados, así como el volumen interno y área interna mínimos que debe cumplir el diseño de la sección de tanque séptico del sistema.

Tabla No° 4: Resultados del volumen interno y área interna mínimos de la sección de tanque séptico del sistema.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Volumen para sedimentación	V_s	3.60	m^3
Volumen para biodigestión	V_d	0.12	m^3
Volumen para almacenamiento de lodos	V_a	0.48	m^3
Volumen interno mínimo del tanque séptico	V_{min}	4.20	m^3
Área interna mínima del tanque séptico	A_{min}	2.21	m^2

Fuente: Propia.

En cuanto a las dimensiones mínimas que según cálculo realizados se deben cumplir de ancho, largo y altura, estas se muestran en la tabla No°5 a continuación.

Tabla No° 5: Resultados del volumen interno y área interna mínimos a cumplir de la sección de tanque séptico del sistema.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Ancho interno mínimo	b	0.86	m
Largo interno útil mínimo	l	2.57	m
Altura interna total	h	1.90	m

Fuente: Propia.

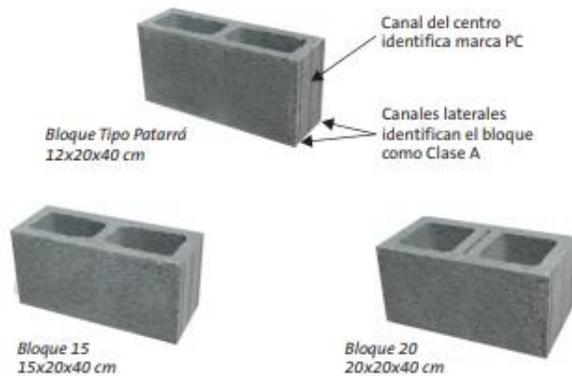
Ahora, si bien el sistema integral de tratamiento de aguas residuales que se plantea en el presente escrito puede ser realizado mediante diferentes métodos constructivos, como por ejemplo concreto encofrado, plástico reforzado con fibra de vidrio, mampostería integral o mampostería confinada, para el presente diseño se propuso utilizar una combinación de estos últimos dos métodos constructivos en mampostería.

Según el ingeniero Álvaro Poveda en su obra “Diseño de estructuras de mampostería” comenta que:

La manera en la que construimos la mampostería en nuestro país es una combinación de los dos sistemas mencionados anteriormente. Generalmente, los paños son reforzados integralmente pero quedan confinados por placas de fundación, vigas medianeras, vigas corona o de entrepiso y columnas o mochetas de concreto reforzado.

(Poveda, 2018, p.15)

Siguiendo la idea descrita del método constructivo utilizado, se contempló para ello el uso de blocks de concreto de 15x20x40cm Clase A. A continuación, se presenta la ficha técnica del dimensionamiento de los blocks de concreto.



Dimensiones de los bloques PC									
Dimensiones nominales	Altura (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	Pesos (kg) promedio
12x20x40	190 ± 2 mm	120 ± 2 mm	390 ± 2 mm	260	260	260	230	230	10.9
15x20x40	190 ± 2 mm	150 ± 2 mm	390 ± 2 mm	280	280	280	260	260	13.8
20x20x40	190 ± 2 mm	200 ± 2 mm	390 ± 2 mm	320	320	320	320	320	17.8

En todos los casos, se necesitan 12.5 bloques/m² de pared.

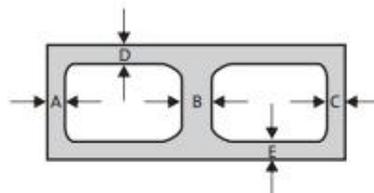
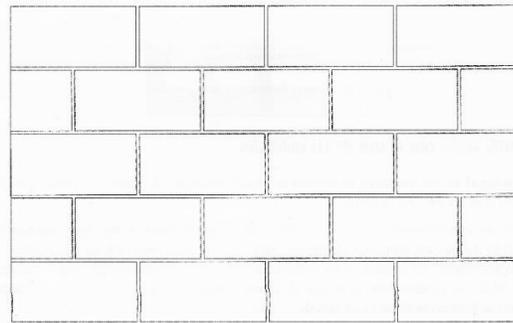


Ilustración No° 6: Dimensiones de blocks de concreto.

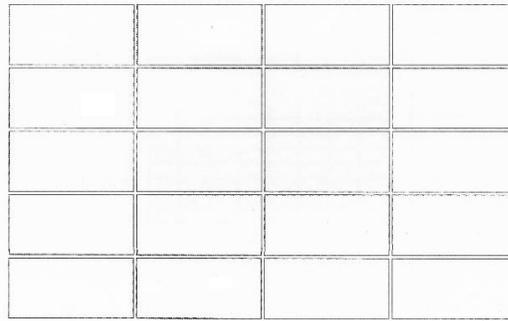
Fuente: www.productosdeconcretocr.com

Por lo tanto, debido a que los blocks de concreto tienen un largo nominal de 39cm y se contempla 1cm de mortero entre hilada e hilada, por criterio de diseñador se propuso que las dimensiones tanto de largo como de ancho del sistema fuesen aproximadamente múltiplos de 40cm, respetando siempre que el volumen final total cumpla con el volumen mínimo calculado por ecuaciones, el cual fue descrito anteriormente en este apartado del escrito. La colocación de dichos blocks de concreto se estableció que deben ser colocados en forma de tesón y soga, como se muestra en la ilustración número No°7. Además, el método constructivo debe llevar refuerzo horizontal @ 40cm, entre cada hilada de block, de varilla #3 corrugada grado 40 $f_y=2800 \text{ Kg/cm}^2$. En cuanto al refuerzo vertical, todas las celdas

de los blocks deben ir rellenas con concreto $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$, junto con una varilla #3 corrugada grado 40 $f_y=2800 \text{ Kg/cm}^2$ en cada celda. Por último, el acabado interno de las paredes, al igual que el acabado interno de las losas superior e inferior, debe ser de repello fino de 1cm para evitar filtraciones y fugas de líquido.



Bloques colocados en forma traslapada o a "tesón y soga".



Bloques colocados en forma apilada o en estiba.

Ilustración No° 7: Formas de colocar blocks de concreto.

Fuente: Diseño de Estructura de Mampostería. Poveda, A.

Una vez realizado lo comentado anteriormente, se determinó la altura interna total, el ancho interno total, el largo interno útil total, y con estos datos se determinó así también el volumen interno total y el área interna total de diseño de la sección de tanque séptico. Estos resultados se encuentran tabulados en la tabla No°6 a continuación. Cabe recordar que, en la sección del tanque séptico, el cual consta de dos compartimentos, el primer compartimento abarca $2/3$ de la medida del largo, mientras que el segundo compartimento abarca $1/3$ del largo de dicho tanque.

Tabla No° 6: Resultados de las dimensiones internas totales de la sección de tanque séptico del sistema, debido al método constructivo utilizado.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Altura interna total	h	1.90	m
Ancho interno total	b_{total}	1.00	m
Largo interno útil compartimento 1	$l_{comp.1}$	1.85	m
Largo interno útil compartimento 2	$l_{comp.2}$	0.90	m
Largo interno útil total	l_{tanque}	2.75	m
Volumen interno de diseño del tanque séptico	$V_{interno\ tanque}$	5.23	m³
Área interna de diseño del tanque séptico	$A_{interna\ tanque}$	2.75	m²

Fuente: Propia.

En cuanto al diseño de las losas superiores e inferiores, por criterio de diseñador se propuso una losa inferior de concreto $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$, de 15 centímetros de espesor, armada con malla de varilla #3 grado 40 $f_y=2800\text{ Kg/cm}^2$ @ 15 cm en ambas direcciones. Mientras que la losa superior es de concreto $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$ de 10cm de espesor, armada con malla de varilla #3 grado 40 con $f_y=2800\text{ Kg/cm}^2$ @ 15cm en ambas direcciones.

A continuación, se muestra la tabla No°7, la cual indica las dimensiones finales totales del diseño que posee la sección de tanque séptico del sistema, ya sumando los espesores de las paredes en block, como también la suma de los espesores de las losas superior e inferior.

Tabla No° 7: Resultados de las dimensiones totales de la sección de tanque séptico del sistema, debido al método constructivo utilizado.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Altura total del tanque séptico	H_{tanque}	2.15	m
Ancho total del tanque séptico	B_{tanque}	1.30	m
Largo total del tanque séptico	L_{tanque}	3.20	m
Volumen total del tanque séptico	$V_{\text{total tanque}}$	8.94	m^3
Área total del tanque séptico	$A_{\text{total tanque}}$	4.16	m^2

Fuente: Propia.

4.2. Dimensionamiento de la Sección del FAFA del Sistema

Una vez diseñado la sección del tanque séptico de dos compartimentos, se procedió al diseño de la sección del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA), para ello se tomó como base teórica el escrito del ingeniero Rosales anteriormente mencionado en la presente investigación. A continuación, se presenta la tabla No°8, la cual contiene los datos utilizados para el diseño.

Tabla No° 8: Datos necesarios para el cálculo de la sección del FAFA del sistema.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Dotación	D	375	L/p/día
Cantidad de personas	P	6	personas
Caudal potable	Q_{potable}	2250	L/día
Factor de Retorno	FR	80%	%
Caudal de agua residual	Q_{paro}	1800	L/día
Caudal de agua residual	Q_{paro}	1.80	$m^3/\text{día}$
Caudal de agua residual	Q_{paro}	2.08E-05	m^3/s
Caudal de agua residual	Q_{paro}	0.021	L/s

Fuente: Propia.

Tabla No° 9: Resultados del volumen mínimo requerido del FAFA.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Tiempo de retención hidráulica	TRH	10	horas
Tiempo de retención hidráulica	TRH	0.42	día
Volumen mínimo requerido del FAFA	V_{req}	0.42	m³

Fuente: Propia.

Para el cálculo de la altura interna de diseño del FAFA, se toman en cuenta los valores que el diseñador como tal quiera darle a su sistema. La geometría que el diseñador desee darle a su FAFA va a variar cuales fórmulas deba utilizar. Es muy común encontrar filtros tipo FAFA de forma cilíndrica o bien de prima rectangular. Para el presente diseño se determinó que el FAFA sería en forma de prisma rectangular.

A continuación, en la tabla No°10, se presentan los resultados del desglose de la altura interna propuesta. Cabe destacar que esta altura interna (h) es la misma altura interna que posee la sección del tanque séptico del sistema, esto debido a que se trabajó todo el diseño como un sistema integrado, como se ha mencionado anteriormente en el escrito, en el cual la altura interna fue definida por esta altura del FAFA.

Tabla No° 10: Resultados del cálculo de la altura interna del FAFA.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material filtrante	material	1.05	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m

Fuente: Propia.

Al igual a como se planteó el dimensionamiento de la sección de tanque séptico del sistema, el dimensionamiento de ancho y largo del FAFA se rige por el método constructivo utilizado, por lo tanto, como también se utilizó una combinación de mampostería integral con mampostería confinada, con blocks de 15x20x40cm, las dimensiones mencionadas son aproximadamente múltiplos de 40cm. Dicho esto, en la tabla No°11 se presentan los resultados de las dimensiones de altura interna, ancho y largo interno y el volumen total de diseño del FAFA, el cual debe ser mayor al volumen mínimo presentado en la tabla No°9. En la tabla No°12 se presentan los resultados de las dimensiones finales del diseño que posee la sección del FAFA del sistema, ya sumando los espesores de las paredes en block, como también la suma de los espesores de las losas superior e inferior.

Tabla No° 11: Resultados de las dimensiones de altura interna, ancho y largo interno, volumen interno y área interna de diseño del FAFA.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Altura interna total	h	1.90	m
Ancho interno total	b_{total}	1.00	m
Largo interno total	l_{FAFA}	1.05	m
Volumen interno de diseño del FAFA	$V_{interno\ FAFA}$	2.00	m^3
Área interna de diseño del FAFA	$A_{interna\ FAFA}$	1.05	m^2

Fuente: Propia.

Tabla No° 12: Resultados de las dimensiones de altura total, ancho y largo total, volumen total y área total del FAFA.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Altura total del FAFA	H_{FAFA}	2.15	m
Ancho total del FAFA	B_{FAFA}	1.30	m
Largo total del FAFA	L_{FAFA}	1.20	m
Volumen total del FAFA	$V_{total FAFA}$	3.35	m³
Área total del FAFA	$A_{total FAFA}$	1.56	m²

Fuente: Propia.

4.3. Comparación de la Eficiencia de un Tanque Séptico Tradicional Contra un Tanque Séptico Mejorado con Filtro Tipo FAFA

Tanto el tanque séptico como el filtro anaerobio de flujo ascendente, permiten la disminución de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la cantidad de sólidos suspendidos (SS) encontrados en las aguas residuales. La composición típica de las aguas residuales urbanas (ARU) se encuentran expresadas en la tabla No°13 a continuación.

Tabla No° 13: Composición típica de las aguas residuales domésticas no tratadas.

Parámetro	Concentración en mg/L		
	ARU débil	ARU media	ARU fuerte
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	100	220	350
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	250	500	1000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	100	200	300

Fuente: Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales. Metcalf & Eddy.

Por lo tanto, para efectos de comprobar la eficiencia superior que ofrece un tanque séptico mejorado con un FAFA, en comparación con un tanque séptico tradicional, se tomaron los datos mayores, o bien más críticos, de SST y DBO. El tanque séptico por si solo ofrece una remoción promedio de 80% de los SST y un 70% de la DBO. Dicho esto, se tiene que los valores finales de estos dos parámetros, los cuales inicialmente son SST=350mg/L y DBO=300mg/L, después de que el agua residual pasa por el sistema de tanque séptico serían:

$$SST_{al\ final\ del\ T.\acute{e}ptico} = 350 - (350 * 0.80) = 70\ mg/L$$

$$DBO_{al\ final\ del\ T.\acute{e}ptico} = 300 - (300 * 0.70) = 90\ mg/L$$

Dicho esto, si se deseara verter el efluente del sistema del tanque séptico a un cuerpo de agua receptor, esto no sería posible ya que según el artículo 20 del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N°33601, los límites máximos permisibles para el vertido de aguas residuales a un cuerpo receptor son:

Tabla No° 14: Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor.

Parámetro	Límite Máximo
DBO	50 mg/L
DQO 5,20	150 mg/L
Sólidos suspendidos	50 mg/L
Grasas/aceites	30 mg/L
Potencial hidrógeno	5 a 9
Temperatura	15°C ≤ T ≤ 40°C
Sólidos sedimentables	1 mL/L
Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L

Fuente: Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N°33601.

Por lo tanto, según los valores máximos permitidos expuestos en la tabla N°14, tanto el resultado final de SST y DBO exceden dicho valor. Por esta razón, es que se desarrolla la metodología de añadir un FAFA al sistema de tratamiento de aguas residuales, el cual, en el caso de diseño del presente escrito, se decidió integrar en una sola estructura un tanque séptico de tres compartimentos, en el cual los primeros 2 cumplieren la función tradicional de un tanque séptico, mientras que el tercer compartimiento es en realidad un filtro tipo FAFA.

Al implementarse el FAFA, se va a reducir sustancialmente la cantidad de SST y DBO del agua residual que pasa a través de este, cumpliéndose así con valores que se encuentran por debajo del límite máximo estipulado en el reglamento anteriormente mencionado, y favoreciendo a una protección del medioambiente. Esto gracias a que teóricamente un FAFA tiene una eficiencia del 80% de reducción sobre los SST y un 80% también de reducción sobre la DBO. Por lo tanto, tomándose como valor inicial de SST y DBO de entrada al FAFA los valores finales de SST y DBO que presentó el tanque séptico, se tienen que:

$$SST_{al\ final\ del\ FAFA} = 70 - (70 * 0.80) = 14\ mg/L$$

$$DBO_{al\ final\ del\ FAFA} = 90 - (90 * 0.70) = 18\ mg/L$$

Por lo tanto, posterior al FAFA se puede disponer el efluente para ser reintegrado al terreno de la obra mediante un sistema de drenaje en ramales, para ser utilizada en riego o bien puede ser vertido a un cuerpo de agua receptor.

4.3.1. Ventajas y Desventajas de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente

A continuación, se presentan algunas de las ventajas y desventajas que poseen los FAFA. Primeramente, las ventajas serían:

- Los FAFA presentan poca generación de lodos, esto debido a que los lodos ya se encuentran estabilizados.
- Los lodos presentes requieren de poco tratamiento.
- Alta reducción de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).
- No requieren de energía eléctrica, ya que no necesitan ningún sistema de inyección de aire para cumplir su función.
- Su operación requiere de tiempo de retención menores, por lo tanto, el volumen que necesitan para su funcionamiento es menor en comparación con otras metodologías.
- Son sistemas que producen biogás, el cual puede ser utilizado como una fuente de energía.
- Su operación y mantenimiento es poco costosa en comparación con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Capacidad para retener altas concentraciones de biomasa.

En cuanto a las desventajas, se mencionan las siguientes:

- Existe la probabilidad de que se generen rutas de flujo preferentes en la cama de filtrado.
- Obstrucción producto a la acumulación de sólidos.
- Presentan una calidad de efluente menor a la calidad del efluente de un proceso aerobio.
- Periodos de limpieza menores entre una limpieza y la siguiente.

4.4. FAFAs Diseñados con Agregados Provenientes de Distintas Fuentes A Nivel Nacional

Uno de los principales objetivos de la presente investigación es comparar las eficiencias de un tanque séptico mejorado con un filtro FAFA, utilizando material de río contra material de tajo. Por esta razón, para llevar a cabo dicho análisis, se buscaron distintos proveedores de agregados para la construcción a través del terreno nacional. Como se mencionó anteriormente en el escrito, cada uno de estos proveedores de material pertenecen a una provincia distinta, esto con el fin de que los materiales propuestos en el diseño del FAFA presentaran distintas características físico-químicas en cuanto fuera posible.

Los proveedores de agregados provenientes de **tajo** son:

- **Agregados Cerro Minas**, ubicado en Santa Ana, San José.
- **Pedregal**, planta ubicada en San Carlos, Alajuela.

Los proveedores de agregados provenientes de **río** son:

- **Grupo Orosi**, planta ubicada en Orosi, Cartago.
- **Quebrador JyM**, ubicado en Mercedes, Limón.

Cabe destacar que para comprobar la eficiencia del FAFA como tal, se deben realizar pruebas de laboratorio al efluente del sistema de tratamiento, y debido a que el diseño planteado en el presente escrito no se construyó en ningún terreno físico, la manera de comprobar cual medio filtrante es el más eficiente, se determinó mediante la identificación de cuál de estas combinaciones de diferentes agregados provenientes de distintos proveedores presentó menor resistencia al flujo ascendente, así como también una mayor porosidad.

A mayor porosidad presente en la superficie de un material, mayor será la absorción y la sedimentación de la materia orgánica presente en las aguas residuales en dicha columna de agregado, es decir, a mayor porosidad se favorece la formación de la biopelícula en los diferentes estratos de filtrado.

Para el diseño de la columna de grava, se seleccionó por cada compañía la clasificación granulométrica comercial de piedra cuarta (25mm), piedra quintilla (12.5mm) y arena industrial (5~9.5mm). En el mercado a la arena industrial también se le conoce como “polvo de piedra”.

Más adelante, en la sección 5 del presente escrito, se presentan los dibujos arquitectónicos del diseño del sistema de tratamiento de agua residual propuesto, en los cuales se pueden apreciar distintos detalles constructivos. Por el momento, se destaca que debido a que las aberturas entre las viguetas del fondo falso son de 20mm (2cm) de ancho, el agregado con mayor diámetro nominal, en este caso la piedra cuarta (25mm), es la única que puede ser colocada como material A. Esto para evitar que algún agregado se vaya a través de los espacios entre viguetas y pueda provocar una obstrucción, ya sea en el fondo falso o en la tubería colocada para realizar el retrolavado.

Por cada material, los datos necesarios para realizar las diferentes configuraciones de columnas de agregado fueron:

- Peso específico suelto del agregado (γ) en Kg/m³.
- Porcentaje de vacíos del agregado (p).
- Porcentaje de absorción del agregado (abs).
- Peso específico del agua (γ_w) en Kg/m³.

Esta información de cada material fue brindada por cada compañía en las fichas técnicas que estas ofrecen a sus clientes, luego de realizadas las pruebas de laboratorio de sus materiales en laboratorios certificados. En caso de que la ficha técnica brindada omitiera algún dato necesario para los cálculos, este valor se

encontró mediante conversiones, basándose en el diagrama de fases de los agregados.

Se realizaron 3 combinaciones diferentes por cada fuente de agregado. La primera configuración consistió nada más de piedra cuarta (25mm) para toda columna de material, la cual como se mostró en la tabla No°10, tiene una altura total de 1.05m. La segunda configuración consistió en combinar la piedra cuarta (25mm) como material A con una altura (h_{extracto}) de 0.60m, junto con la piedra quintilla (12.5mm) como material B, por encima del material A, con una altura de 0.45m. La tercera configuración consistió en colocar la piedra cuarta como material A con una altura de 0.55m, luego la piedra quintilla como material B con una altura de 0.35m, y por último, en la parte superior de la columna de material filtrante se colocó arena industrial como material C con una altura de 0.15m.

El último paso para revisar si el diseño del FAFA cumple o no cumple, se realiza el cálculo de la resistencia a flujo H_m . Este valor de H_m debe ser menor a 0.5m, según el autor Elías Rosales en su obra “Tanques Sépticos Conceptos Teóricos Base y Aplicaciones”.

4.4.1. Agregados Cerro Minas

La compañía Agregados Cerro Minas se encuentra situada en San Ana, San José. En las tablas No°15, No°16 y No°17 se exponen las características de cada agregado del presente proveedor utilizado en el diseño del FAFA.

Tabla No° 15: Características de la piedra cuarta (25mm) proveniente de Agregados Cerro Minas.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1340	Kg/m ³
Vacíos	p	48	%
Absorción	abs	2.1	%

Fuente: Propia.

Tabla No° 16: Características de la piedra quintilla (12.5mm) proveniente de Agregados Cerro Minas.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1460	Kg/m ³
Vacíos	p	42	%
Absorción	abs	2.4	%

Fuente: Propia.

Tabla No° 17: Características de la arena industrial (5mm) proveniente de Agregados Cerro Minas.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1080	Kg/m ³
Vacíos	p	55	%
Absorción	abs	3.4	%

Fuente: Propia.

A continuación, en la tabla No°18, se presentan los resultados obtenidos con la configuración de solo un material filtrante con los agregados provenientes de Agregados Cerro Minas. Seguidamente, se presenta la tabla No°19, la cual muestra

los resultados de la configuración con dos materiales filtrantes, la piedra cuarta (25mm) como el material A y la piedra quintilla (12.5mm) como el material B. Luego, se presenta la tabla No°20, la cual contiene los resultados de la configuración con tres materiales filtrantes, la piedra cuarta (25mm) como el material A, la piedra quintilla (12.5mm) como el material B y la arena industrial (5mm) como el material C en la parte superior.

Tabla No° 18: Resultados obtenidos para los materiales de Agregados Cerro Minas para la configuración de 1 capa de material filtrante.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material	cuarta	1.05	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo total	H_{m total}	0.186	m

Fuente: Propia.

Tabla No° 19: Resultados obtenidos para los materiales de Agregados Cerro Minas para la configuración de 2 capas de materiales filtrantes.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material B (superior)	quintilla	0.45	m
Material A (inferior)	cuarta	0.60	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo del material B (superior)	H _{MB}	0.120	m
Resistencia a flujo del material A (inferior)	H _{MA}	0.106	m
Resistencia a flujo total	H_{M Total}	0.226	m

Fuente: Propia.

Tabla No° 20: Resultados obtenidos para los materiales de Agregados Cerro Minas para la configuración de 3 capas de materiales filtrantes.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material C (superior)	arena industrial	0.15	m
Material B (medio)	quintilla	0.35	m
Material A (inferior)	cuarta	0.55	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo del material C (superior)	H_{MC}	0.005	m
Resistencia a flujo del material B (medio)	H_{MB}	0.093	m
Resistencia a flujo del material A (inferior)	H_{MA}	0.097	m
Resistencia a flujo total	$H_{M Total}$	0.103	m

Fuente: Propia.

Como se puede apreciar en los resultados de resistencia a flujo total ($H_{m total}$), de cada una de las tres configuraciones utilizando los materiales de Agregados Cerro Minas, la que presentó menor resistencia a flujo y un mayor promedio de porcentaje de absorción fue la configuración de tres medios filtrantes. Esta configuración posee en la parte inferior piedra cuarta, en el medio piedra quintilla y en la parte superior arena industrial. Los resultados mencionados fueron $H_{m total}=0.10m$ y el promedio del porcentaje de absorción fue de $abs_{prom} = 2.63\%$.

4.4.1. Pedregal: planta de San Carlos

La compañía Pedregal posee extracción de material de tajo en diferentes zonas del país, no obstante, para el diseño del FFA que se llevó a cabo en la presente investigación, se tomó solamente la planta que tiene la compañía ubicada

en Alajuela, específicamente el quebrador en San Carlos. En las tablas No°21, No°22 y No°23 se exponen las características de cada agregado del presente proveedor utilizado en el diseño del FAFA.

Tabla No° 21: Características de la piedra cuarta (25mm) proveniente de la planta de Pedregal en San Carlos.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1440	Kg/m ³
Vacíos	p	45	%
Absorción	abs	1.9	%

Fuente: Propia.

Tabla No° 22: Características de la piedra quintilla (12.5mm) proveniente de la planta de Pedregal en San Carlos.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1376	Kg/m ³
Vacíos	p	47	%
Absorción	abs	2.4	%

Fuente: Propia.

Tabla No° 23: Características de la arena industrial (9.5mm) proveniente de la planta de Pedregal en San Carlos.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1586	Kg/m ³
Vacíos	p	40	%
Absorción	abs	2.0	%

Fuente: Propia.

A continuación, en la tabla No°24, se presentan los resultados obtenidos con la configuración de solo un material filtrante con los agregados provenientes de la planta de San Carlos de Pedregal. Seguidamente, se presenta la tabla No°25, la cual muestra los resultados de la configuración con dos materiales filtrantes, la piedra cuarta (25mm) como el material A y la piedra quintilla (12.5mm) como el material B. Luego, se presenta la tabla No°26, la cual contiene los resultados de la configuración con tres materiales filtrantes, la piedra cuarta (25mm) como el material A, la piedra quintilla (12.5mm) como el material B y la arena industrial (9.5mm) como el material C en la parte superior.

Tabla No° 24: Resultados obtenidos para los agregados de la planta de San Carlos de Pedregal para la configuración de 1 capa de material filtrante.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material	cuarta	1.05	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo total	H_{m total}	0.254	m

Fuente: Propia.

Tabla No° 25: Resultados obtenidos para los agregados de la planta de San Carlos de Pedregal para la configuración de 2 capas de material filtrante.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material B (superior)	cuartilla	0.45	m
Material A (inferior)	cuarta	0.60	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo del material B (superior)	H _{MB}	0.090	m
Resistencia a flujo del material A (inferior)	H _{MA}	0.145	m
Resistencia a flujo total	H_{M Total}	0.235	m

Fuente: Propia.

Tabla No° 26: Resultados obtenidos para los agregados de la planta de San Carlos de Pedregal para la configuración de 3 capas de material filtrante.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material C (superior)	polvo de piedra	0.15	m
Material B (medio)	cuartilla	0.35	m
Material A (inferior)	cuarta	0.55	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo del material C (superior)	H _{MC}	0.053	m
Resistencia a flujo del material B (medio)	H _{MB}	0.070	m
Resistencia a flujo del material A (inferior)	H _{MA}	0.133	m
Resistencia a flujo total	H_{M Total}	0.186	m

Fuente: Propia.

Como se puede apreciar en los resultados de resistencia a flujo total ($H_{m\ total}$), de cada una de las tres configuraciones utilizando los agregados de la planta de San Carlos de Pedregal, la que presentó menor resistencia a flujo fue la configuración de 3 medios filtrantes. Además, la configuración que presentó un mayor promedio de porcentaje de absorción fue la que utilizó solo dos medios filtrantes. No obstante, el valor difiere muy poco con el resultado de la configuración de 3 medios filtrantes, por lo tanto, esta diferencia se desprecia y se considera que la configuración con mayor eficiencia es aquella que posee 3 materiales filtrantes.

Entonces, esta configuración mencionada posee en la parte inferior piedra cuarta, en el medio piedra quintilla y en la parte superior arena industrial. Los resultados mencionados fueron $H_{m\ total}=0.19m$ y el promedio del porcentaje de absorción fue de $abs_{prom}=2.1\%$.

4.4.2. Grupo Orosi

Grupo Orosi es uno de las principales compañías de extracción de agregados de río en Costa Rica. Su quebrador se encuentra en el río Orosi, en el cantón de Paraíso de Cartago, pero sus oficinas principales y un segundo plantel de distribución se encuentran ubicados en Curridabat. Por lo tanto, manejan 2 diferentes precios en cuanto a la venta de sus agregados dependiendo de la zona donde se compren, ya sean directamente en la plata de Orosi o bien en la planta ya mencionada de Curridabat.

A continuación, en las tablas No°27, No°28 y No°29 se exponen las características de cada agregado del presente proveedor utilizado en el diseño del FAFA.

Tabla No° 27: Características de la piedra cuarta (22mm) proveniente de Grupo Orosi.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1410	Kg/m ³
Vacíos	p	50	%
Absorción	abs	3.1	%

Fuente: Propia.

Tabla No° 28: Características de la piedra quintilla (12.5mm) proveniente de Grupo Orosi.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1395	Kg/m ³
Vacíos	p	48	%
Absorción	abs	1.4	%

Fuente: Propia.

Tabla No° 29: Características de la arena industrial (9.5mm) proveniente de Grupo Orosi.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1555	Kg/m ³
Vacíos	p	44	%
Absorción	abs	2.3	%

Fuente: Propia.

A continuación, en la tabla No°30, se presentan los resultados obtenidos con la configuración de solo un material filtrante con los agregados provenientes de la planta de Grupo Orosi. Seguidamente, se presenta la tabla No°31, la cual muestra

los resultados de la configuración con dos materiales filtrantes, la piedra cuarta (22mm) como el material A y la piedra quintilla (12.5mm) como el material B. Luego, se presenta la tabla No°32, la cual contiene los resultados de la configuración con tres materiales filtrantes, la piedra cuarta (22mm) como el material A, la piedra quintilla (12.5mm) como el material B y la arena industrial (9.5mm) como el material C en la parte superior.

Tabla No° 30: Resultados obtenidos para los agregados de Grupo Orosi para la configuración de 1 capa de material filtrante.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material	cuarta	1.05	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo total	$H_{m \text{ total}}$	0.215	m

Fuente: Propia.

Tabla No° 31: Resultados obtenidos para los agregados de Grupo Orosi para la configuración de 2 capas de material filtrante.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material B (superior)	cuartilla	0.45	m
Material A (inferior)	cuarta	0.60	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo del material B (superior)	H_{MB}	0.092	m
Resistencia a flujo del material A (inferior)	H_{MA}	0.123	m
Resistencia a flujo total	$H_{M \text{ Total}}$	0.215	m

Fuente: Propia.

Tabla No° 32: Resultados obtenidos para los agregados de Grupo Orosi para la configuración de 3 capas de material filtrante.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material C (superior)	polvo de piedra	0.15	m
Material B (medio)	cuartilla	0.35	m
Material A (inferior)	cuarta	0.55	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo del material C (superior)	H_{MC}	0.047	m
Resistencia a flujo del material B (medio)	H_{MB}	0.072	m
Resistencia a flujo del material A (inferior)	H_{MA}	0.113	m
Resistencia a flujo total	$H_{M\ Total}$	0.159	m

Fuente: Propia.

Como se puede apreciar en los resultados de resistencia a flujo total ($H_{m\ total}$), de cada una de las tres configuraciones utilizando los agregados de Grupo Orosi, la que presentó menor resistencia a flujo fue la configuración con 3 capas de material filtrante. Por otro lado, la combinación que presento mayor absorción fue la de solo 1 capa de material filtrante. En este caso, sí existe una mayor diferencia entre el resultado de absorción al colocar solo 1 capa, en comparación a colocar 3 capas de material, pero como la métrica que se considera más conveniente para inclinarse por una configuración o por otra es el resultado final de resistencia a flujo ascendente, se consideró que el mejor escenario es aquel que presenta 3 agregados distintos en la columna de filtrado.

Entonces, la configuración de 3 agregados, al igual que en los casos pasados, consiste de piedra cuarta (22mm) en la parte inferior, piedra quintilla (12.5mm) en el medio y arena industrial (9.5mm) en la parte superior de la columna

de filtrado. Los resultados finales fueron $H_{mtotal}=0.16m$ y el promedio del porcentaje de absorción fue de $abs_{prom} = 2.27\%$.

4.4.3. Quebrador JyM

La compañía Quebrador JyM se encuentra situada Mercedes, Limón, y extrae material del Río Parismina. En las tablas No°33, No°34 y No°35 se exponen las características de cada agregado del presente proveedor utilizado en el diseño del FAFA.

Tabla No° 33: Características de la piedra cuarta (25mm) proveniente de Quebrador JyM.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1450	Kg/m ³
Vacíos	p	46	%
Absorción	abs	2.2	%

Fuente: Propia.

Tabla No° 34: Características de la piedra quintilla (12.5mm) proveniente de Quebrador JyM.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1430	Kg/m ³
Vacíos	p	45	%
Absorción	abs	2.1	%

Fuente: Propia.

Tabla No° 35: Características de la arena industrial (6mm) proveniente de Quebrador JyM.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	γ	1435	Kg/m ³
Vacíos	p	0.43	%
Absorción	abs	3.1	%

Fuente: Propia.

A continuación, en la tabla No°36, se presentan los resultados obtenidos con la configuración de solo un material filtrante con los agregados provenientes de la planta de Quebrador JyM. Seguidamente, se presenta la tabla No°37, la cual muestra los resultados de la configuración con dos materiales filtrantes, la piedra cuarta (25mm) como el material A y la piedra quintilla (12.5mm) como el material B. Luego, se presenta la tabla No°38, la cual contiene los resultados de la configuración con tres materiales filtrantes, la piedra cuarta (25mm) como el material A, la piedra quintilla (12.5mm) como el material B y la arena industrial (6mm) como el material C en la parte superior.

Tabla No° 36: Resultados obtenidos para los agregados de Quebrador JyM para la configuración de 1 capa de material filtrante.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material	cuarta	1.05	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo total	H_{m total}	0.255	m

Fuente: Propia.

Tabla No° 37: Resultados obtenidos para los agregados de Quebrador JyM para la configuración de 2 capas de material filtrante.

Ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material B (superior)	cuartilla	0.45	m
Material A (inferior)	cuarta	0.60	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo del material B (superior)	H _{MB}	0.106	m
Resistencia a flujo del material A (inferior)	H _{MA}	0.146	m
Resistencia a flujo total	H_{M Total}	0.252	m

Fuente: Propia.

Tabla No° 38: Resultados obtenidos para los agregados de Quebrador JyM para la configuración de 3 capas de material filtrante.

ítem	Sigla	Valor	Unidad
Espacio libre sobre el tanque	k	0.28	m
Capa libre de agua vertida	r	0.17	m
Material C (superior)	polvo de piedra	0.15	m
Material B (medio)	cuartilla	0.35	m
Material A (inferior)	cuarta	0.55	m
Fondo falso	F.F	0.15	m
Cámara de entrada de agua	p	0.25	m
Altura interna total	h	1.90	m
Resistencia a flujo del material C (superior)	H _{MC}	0.037	m
Resistencia a flujo del material B (medio)	H _{MB}	0.083	m
Resistencia a flujo del material A (inferior)	H _{MA}	0.134	m
Resistencia a flujo total	H_{M Total}	0.254	m

Fuente: Propia.

Como se puede apreciar en los resultados de resistencia a flujo total ($H_{m\ total}$), de cada una de las tres configuraciones utilizando los agregados de Quebrador JyM, la que presentó menor resistencia a flujo fue la configuración con 2 capas de material filtrante. Por otro lado, la combinación que presentó mayor absorción fue la de 3 capas de material filtrante. Dicho esto, como se puede observar que la diferencia del resultado de resistencia a flujo total entre cuando se utilizan 2 capas y cuando se utilizan 3 capas es un valor muy pequeño, básicamente despreciable, se determinó que al usarse 3 capas el FAFA sería más eficiente.

Basado en lo anterior, se obtuvo que para los agregados provenientes de Quebrador JyM, la configuración de 3 materiales filtrantes es la más eficiente, con la piedra cuarta (25mm) en la parte inferior, la quintilla (12.5mm) en el medio y la arena industrial (6mm) en la parte superior de la columna de filtrado. Los resultados finales fueron $H_{m\ total}=0.25m$ y el promedio del porcentaje de absorción fue de $abs_{prom}=2.47\%$.

4.5. Resumen de Resultados Obtenidos

A continuación, se presenta la tabla No°39, la cual presenta de forma resumida los resultados encontrados anteriormente en la presente sección de la investigación.

Tabla No° 39: Resumen de los resultados de resistencia a flujo total y promedio de absorción obtenidos.

Procedencia	Compañía	ítem	Sigla	Valor	Unidad
Tajo	Agregados Cerro Minas	Resistencia a flujo total	$H_{m\ total}$	0.10	m
		Absorción	abs	2.63	%
	Pedregal	Resistencia a flujo total	$H_{m\ total}$	0.19	m
		Absorción	abs	2.10	%
Río	Grupo Orosi	Resistencia a flujo total	$H_{m\ total}$	0.16	m
		Absorción	abs	2.27	%
	Quebrador JyM	Resistencia a flujo total	$H_{m\ total}$	0.25	m
		Absorción	abs	2.47	%

Fuente: Propia.

Con base en la tabla anterior, se puede apreciar que, entre las fuentes analizadas de tajo, la que presentó una resistencia a flujo total menor y un porcentaje de absorción mayor fue Agregados Cerro Minas, por lo tanto, se toman estos valores encontrados como la representación de los agregados procedentes de tajo.

En cuanto a las fuentes de río, la que presento un menor valor de resistencia de flujo total y un mayor porcentaje de absorción fue Grupo Orosi, por lo tanto, al igual a como sucedió con las fuentes de tajo, se van a tomar estos valores de Grupo Orosi como la representación de los agregados procedentes de río.

Ahora bien, comparando estas dos representaciones de diferentes procedencias, se concluye que los materiales de Agregados Cerro Minas presentan mejores prestaciones para su implementación en un FAFA que los agregados de Grupo Orosi, ya que dieron un resultado de resistencia a flujo menor y un porcentaje de absorción mayor, y basándose en lo mencionado de que estos resultados uno era representación de material procedente de tajo y el otro era representación de material procedente de río, se determina que los agregados de tajo son más eficientes que los agregados de río, cuando estos desean ser usados en un filtro anaerobio de flujo ascendente.

CAPÍTULO V
Dibujos Arquitectónicos

En la presente sección, se presentan los dibujos arquitectónicos y los detalles constructivos del sistema diseñado. Así mismo, se detallan ciertos parámetros que debe cumplir el tanque séptico.

5.1. Dibujo en Planta de Paredes

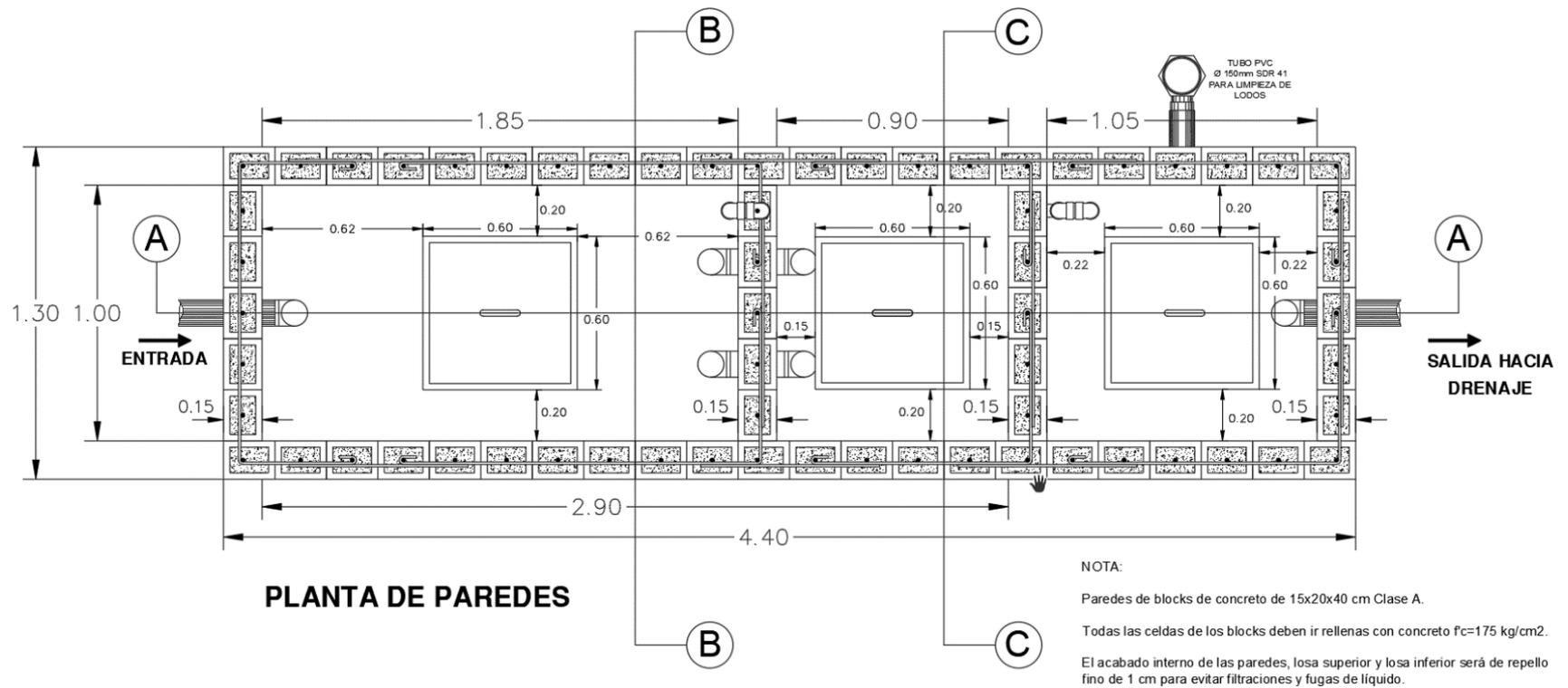


Ilustración No° 8: Dibujo en planta de paredes del sistema final diseñado.

Fuente: Propia.

5.2. Planta de Distribución de Varilla en Paredes

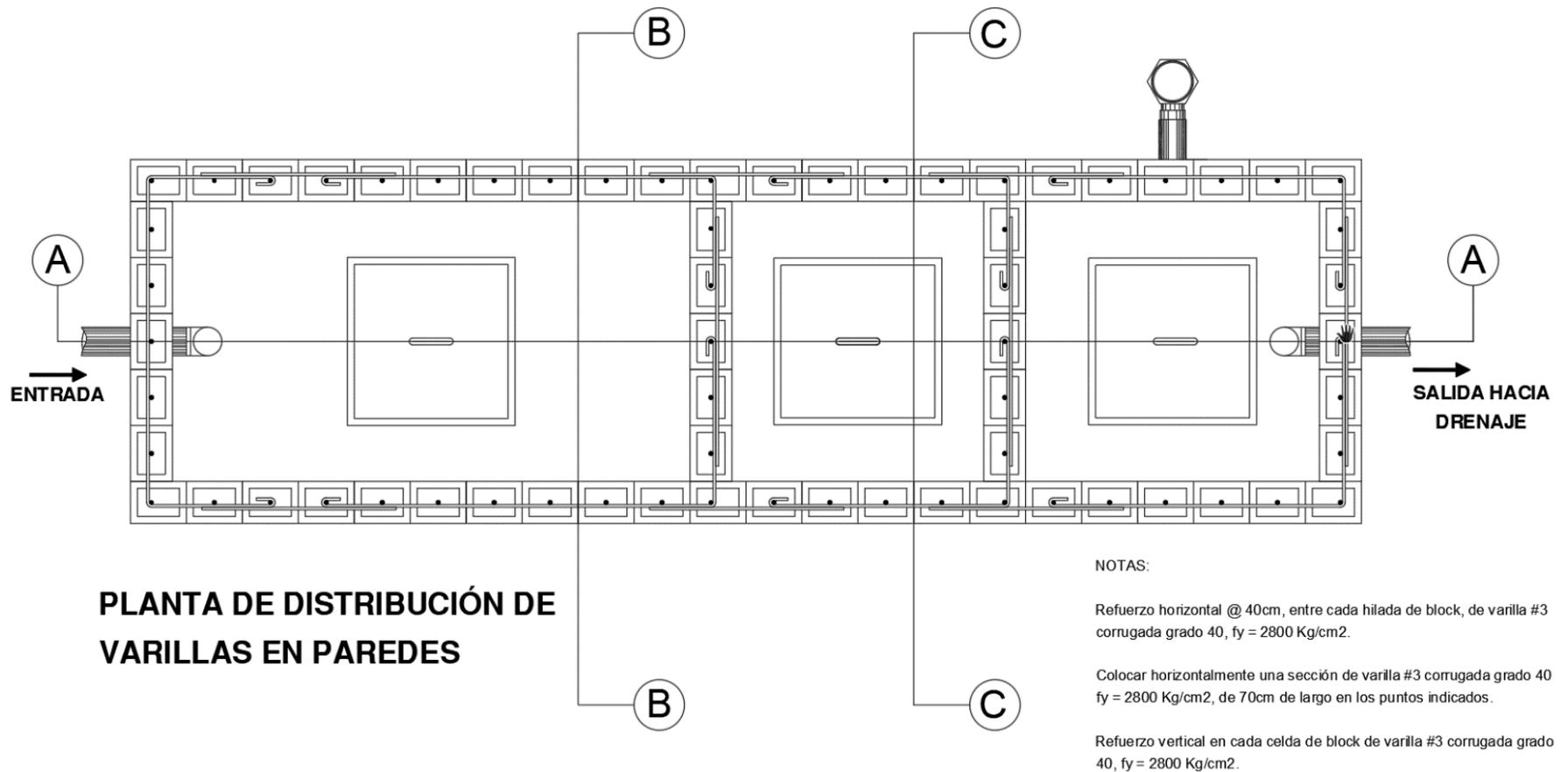


Ilustración No° 9: Dibujo en planta de la distribución y acomodo de varillas en las paredes del sistema final diseñado.

Fuente: Propia.

5.3. Sección Longitudinal (Vista A-A)

A continuación, se presenta la sección longitudinal del sistema final que se diseñó. En dicho dibujo se pueden apreciar los tres estrados de material filtrante con su debida altura, como también, la diferencia de altura entre la entrada de agua al sistema y la salida de este, el cual dio un valor de 9cm de diferencia.

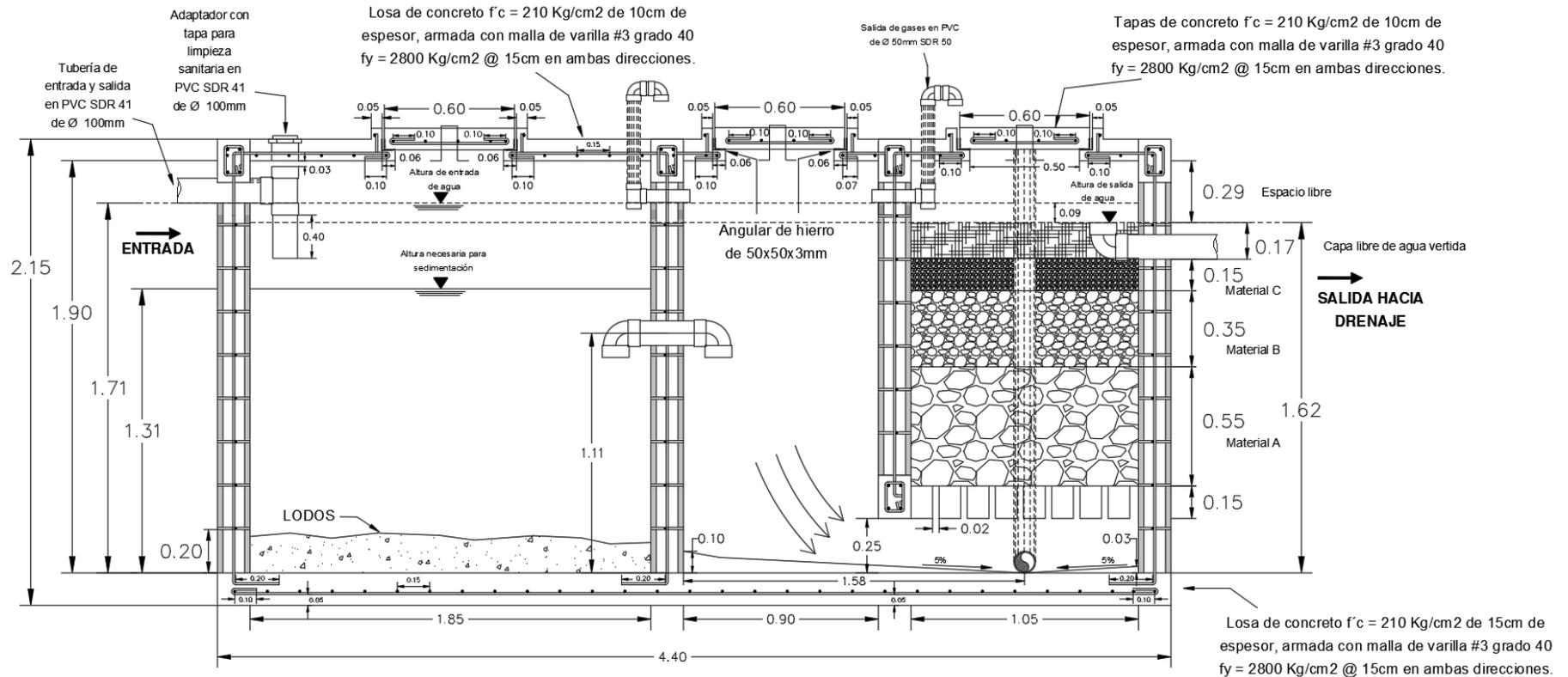


Ilustración No° 10: Dibujo de la sección longitudinal (Vista A-A) del sistema final diseñado.

Fuente: Propia.

5.4. Plano de corte (Vista B-B)

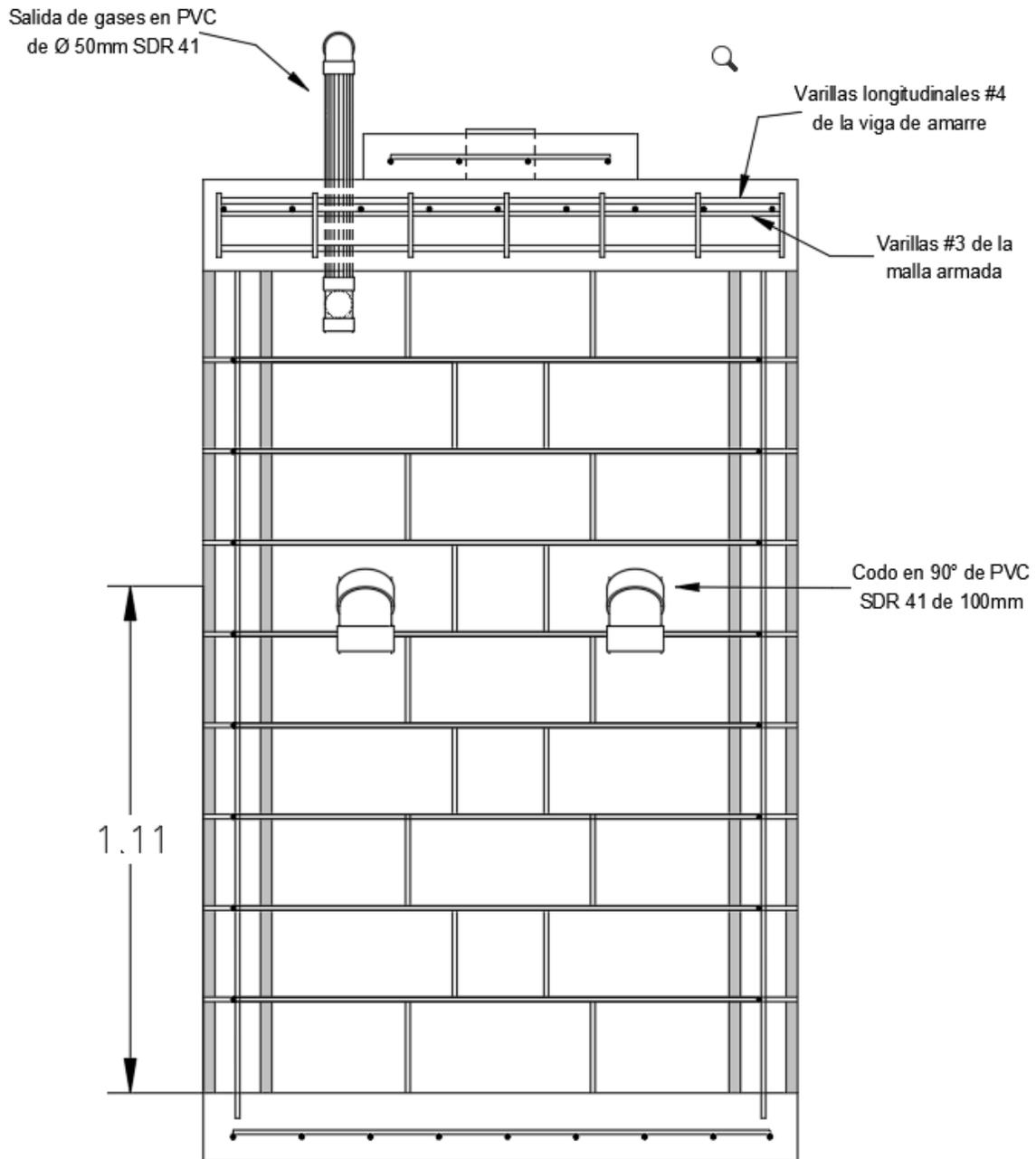


Ilustración No° 11: Plano de corte en vista B-B del sistema final diseñado.

Fuente: Propia.

5.5. Plano de corte (Vista C-C)

En el plano de corte C-C, se puede apreciar la grada de 5cm de espesor realizada a cada SDR pared en la sección del FAFA en el sistema, la cual va a servir como apoyo para sentar las viguetas del fondo falso. También, se puede apreciar la tubería de PVC SDR41 en $\varnothing 150\text{mm}$ la cual sería utilizada para llevar a cabo el retrolavado y limpiar los lodos acumulados en el FAFA.

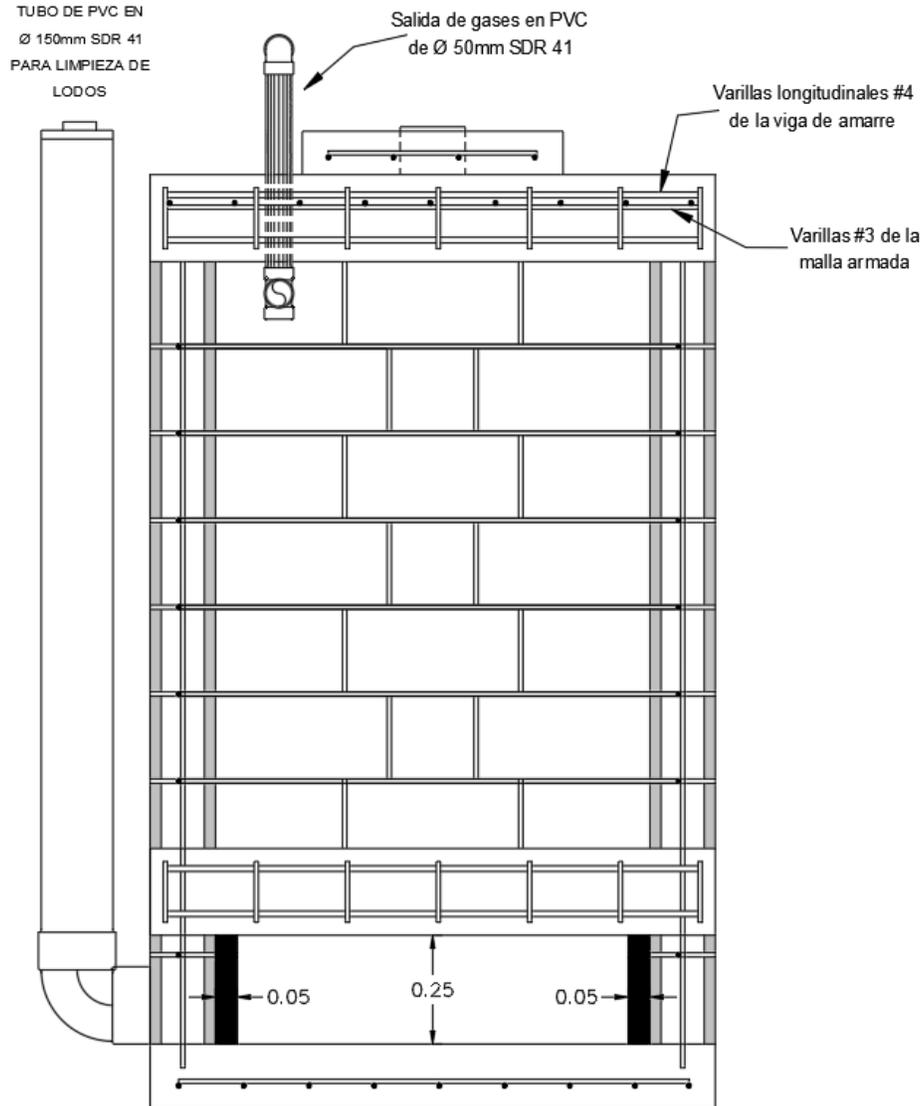


Ilustración No° 12: Plano de corte en vista C-C del sistema final diseñado.

Fuente: Propia.

5.6. Detalles de Armado de Varillas

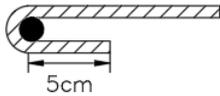
SECCIÓN DE VARILLA UTILIZADA PARA AMARRE



Varilla #3 grado 40, $f_y=2800 \text{ Kg/cm}^2$

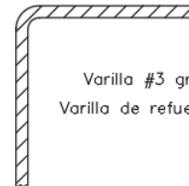
Sección de varilla de refuerzo horizontal de 70cm de largo, amarrada con alambre negro a varillas de refuerzo vertical y horizontal

GANCHOS DE AMARRE EN PAREDES



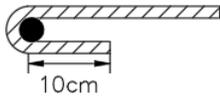
Varilla #3 grado 40, $f_y=2800 \text{ Kg/cm}^2$
Longitud de gancho 5cm a 180°

CONFIGURACIÓN DE VARILLA EN ESQUINA



Varilla #3 grado 40, $f_y=2800 \text{ Kg/cm}^2$
Varilla de refuerzo horizontal doblada a 90°

GANCHOS DE AMARRE DE LOSAS

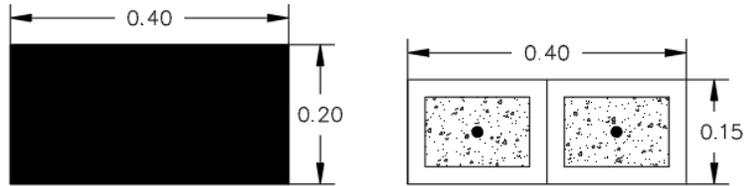


Varilla #3 grado 40, $f_y=2800 \text{ Kg/cm}^2$
Longitud de gancho 10cm a 180°

Ilustración No° 13: Detalles de armado de varillas en paredes y losas.

Fuente: Propia.

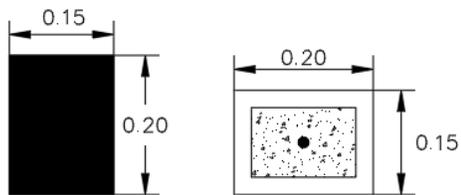
5.7. Detalles de Block Utilizado



Block 15x20x40cm Clase A

Varillas #3

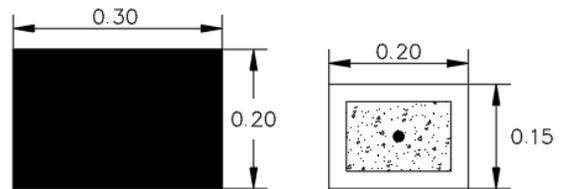
Relleno de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$



Mitad de block 15x20x40cm Clase A

Varilla #3

Relleno de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$



Porción de block de 15x20x40cm Clase A
necesario en las divisiones internas

Varilla #3

Relleno de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Ilustración No° 14: Detalles de blocks, y cortes necesarios, utilizados en diseño final.

Fuente: Propia.

5.8. Detalles de Viga de Corona

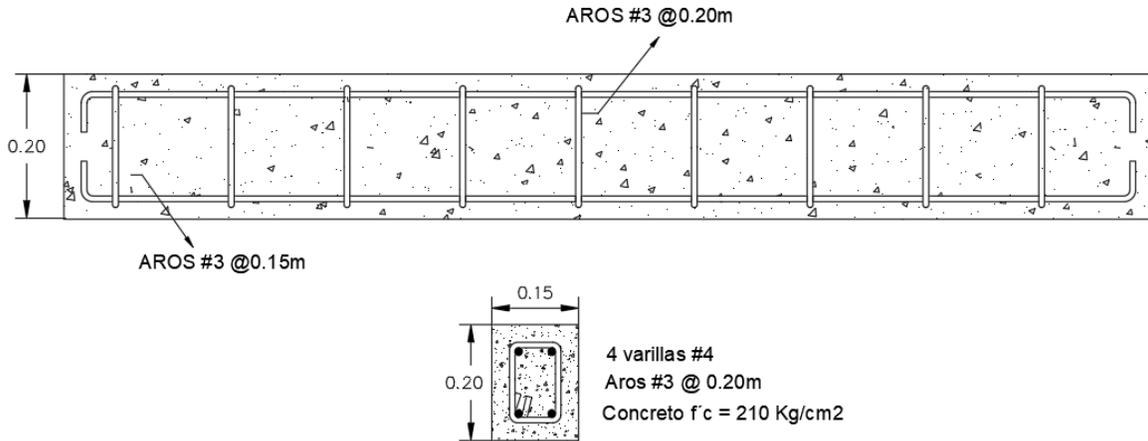


Ilustración No° 15: Detalles constructivos de las vigas corona utilizadas en el diseño final.

Fuente: Propia.

5.9. Detalle de Vigüeta del Fondo Falso

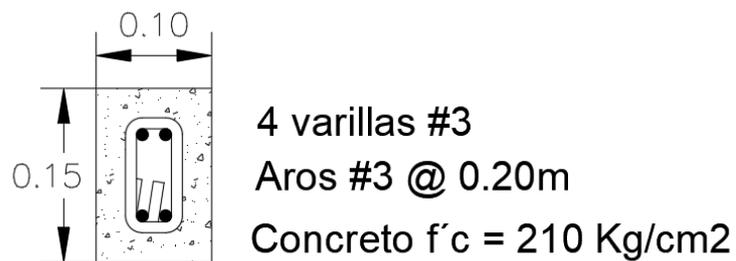


Ilustración No° 16: Detalle constructivo de las vigüetas utilizadas en el fondo falso del Fafa en el diseño final.

Fuente: Propia.

5.10. Vista Longitudinal Desde el Frente del Modelo en 3D

Utilizando la herramienta de Revit, se realizó un modelo en 3D de las distintas vistas del tanque mejorado. A continuación, se presenta una vista en corte longitudinal desde el frente del sistema modelado.

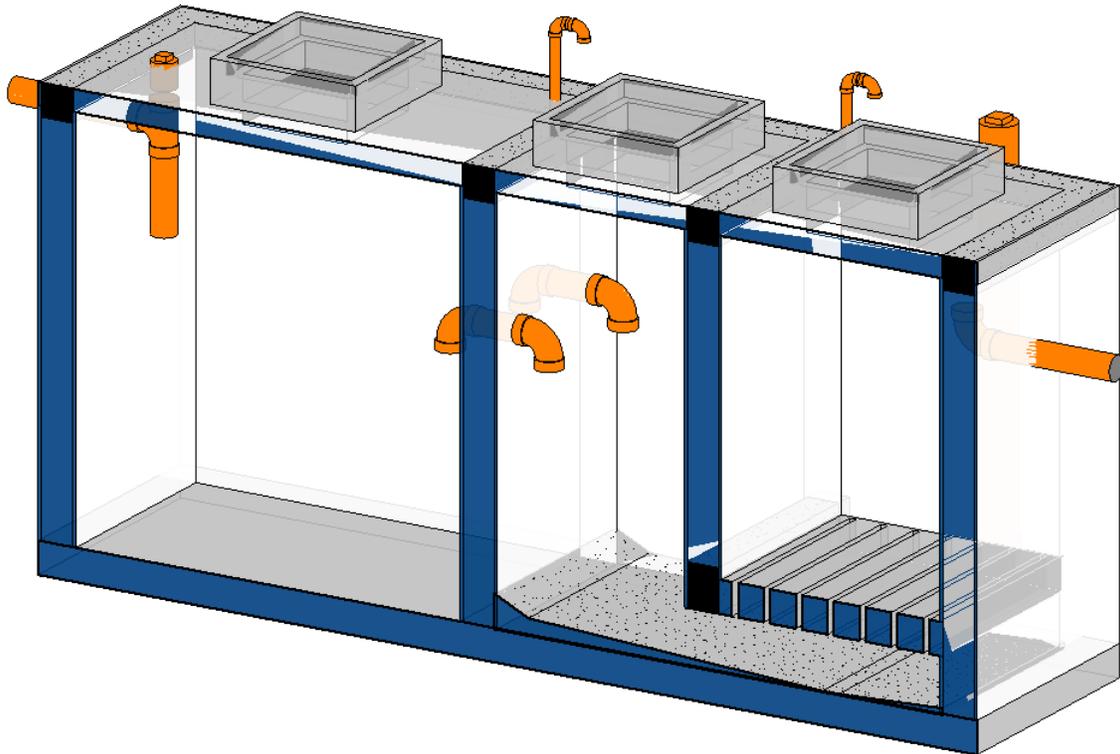


Ilustración No° 17: Vista en corte longitudinal desde el frente del modelo en 3D del sistema diseñado.

Fuente: Propia.

5.11. Vista Trasera del Modelo en 3d

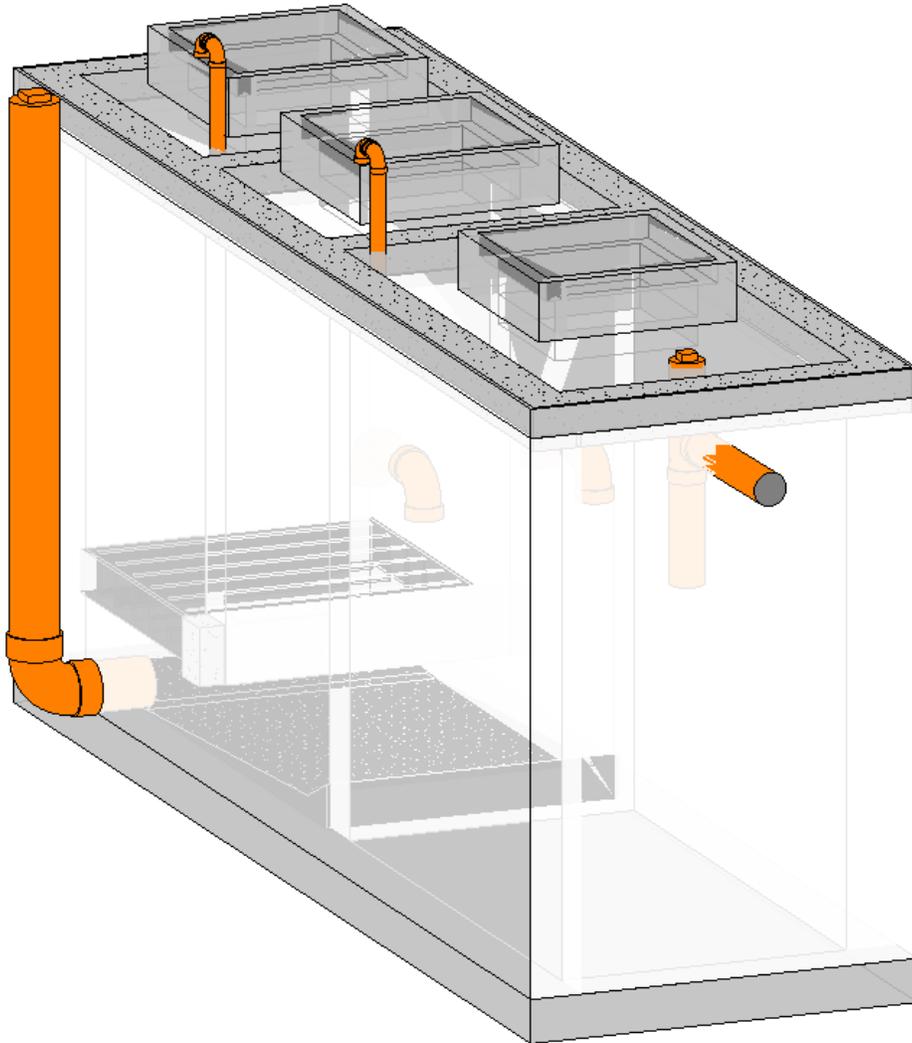


Ilustración No° 18: Vista trasera del modelo en 3D del sistema diseñado.

Fuente: Propia.

CAPÍTULO VI

Presupuesto Detallado

En la presente sección se muestra el presupuesto detallado, el cual muestra cuanto sería el costo de realizar el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto en algún sitio. Cabe destacarse que, como se comentó anteriormente en el escrito, el diseño se supone que sería ubicado en la GAM, y por ello es que para la dotación se tomó el valor $D=375$ L/p/día. Un dato importante es que este modelo de sistema de tratamiento no es pensado para una casa de bien social, esto debido a que los costos de mantenimiento en comparación con un tanque séptico tradicional son mayores ya que se deben realizar con mayor frecuencia.

Además, el costo constructivo es más elevado debido a que posee un mayor tamaño, y dicho esto, al necesitar mayor área lo condiciona a terrenos donde se contemple el espacio óptimo para construirlo, algo que difícilmente sucede en los terrenos de casas de bien social dentro de la GAM, donde además de ser lotes pequeños, en orden de prioridad estaría primero hacer un aposento más en lugar de dedicarle espacio del terreno a un sistema de tratamiento más eficiente, pero más grande que lo tradicional.

A continuación, se presenta la tabla No°40, la expone cuales son los precios de mercado que posee cada una de las distintas fuentes de agregados que fueron objeto de estudio en la presenta investigación. Cabe destacar, que estos precios son por m^3 y no contemplan el acarreo, es decir, estos precios serían aplicables si el material fuese recogido en el plantel de cada compañía directamente.

En el caso de Grupo Orosi, este tiene dos precios distintos, ya que si se recoge directamente en el plantel donde está el quebrador en Cartago, el valor por m^3 de cualquiera de los tres materiales estudiados es de ₡9 000, mientras que, si se recoge en el plantel de Curridabat, es costo por m^3 asciende a los ₡15 000. Ahora bien, como se mencionó que, para propósitos de realizar el presupuesto, se iba a contemplar como si el terreno donde se ubicaría el diseño realizado fuese en la GAM, se utilizó el valor de ₡15 000 como si el material hubiese sido comprado en el plantel de Curridabat de Grupo Orosi.

Tabla No° 40: Listado de precios por agregado de cada compañía utilizada.

Agregado	Compañía	Precio del agregado sin acarreo
Arena industrial	Agregados Cerro Minas	¢12,430.00
	Grupo Orosi	¢15,000.00
	Pedregal	¢10,082.50
	Quebrador JyM	¢7,000.00
Quintilla	Agregados Cerro Minas	¢10,170.00
	Grupo Orosi	¢15,000.00
	Pedregal	¢10,082.50
	Quebrador JyM	¢6,000.00
Cuarta	Agregados Cerro Minas	¢8,475.00
	Grupo Orosi	¢15,000.00
	Pedregal	¢10,082.50
	Quebrador JyM	¢6,000.00

Fuente: Propia.

Seguidamente, se presentan las tablas del presupuesto correspondiente a distintos elementos constructivos.

Tabla No° 41: Costo del movimiento de tierras necesario para construir el sistema diseñado.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Excavación	m3	13.6	¢2,500.00	¢33,960.00
2	Acarreo	m3	13.6	¢2,500.00	¢33,960.00
3	Trazado	m2	5.72	¢1,250.00	¢7,150.00
4	Cama lastre 10	m3	0.572	¢16,000.00	¢9,152.00
Subtotal					¢84,222.00
Póliza					¢5,263.88
MO+poliza					¢89,485.88
Administración					¢2,684.58
Imprevistos					¢2,684.58
Utilidad					¢8,948.59
Subtotal					¢103,803.62

Fuente: Propia.

Tabla No° 42: Costo de la elaboración de vigas corona necesarias para construir el sistema diseñado.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
5	Tabla 1x12 in	tabla	12	¢5,300.00	¢63,600.00
6	Concreto 210kg/cm2	m3	0.57375	¢85,000.00	¢48,768.75
7	Repello	m2	12.4	¢2,100.00	¢26,040.00
	Materiales				¢138,408.75
	MO				¢41,522.63
	Póliza				¢2,595.16
	Materiales + MO				¢182,526.54
	Administración				¢5,475.80
	Imprevistos				¢5,475.80
	Utilidad				¢18,252.65
	Subtotal				¢211,730.79

Fuente: Propia.

Tabla No° 43: Costo de la elaboración de las losas necesarias para construir el sistema diseñado.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
8	losa 100 mm entrepiso Concreto 210kg/cm2	m3	0.572	¢85,000.00	¢48,620.00
9	losa 150 mm contrapiso Concreto 210kg/cm2	m3	1.06	¢85,000.00	¢90,100.00
10	Repello 15 mm	m2	11.44	¢2,100.00	¢24,024.00
11	tapa 80 mm Concreto 210kg/cm2	m3	0.09	¢85,000.00	¢7,650.00
12	Angular de hierro 50x50x3mm	Unidad	3	¢8,500.00	¢25,500.00
	Materiales				¢195,894.00
	MO				¢58,768.20
	Póliza				¢3,673.01
	Materiales + MO				¢258,335.21
	Administración				¢7,750.06
	Imprevistos				¢7,750.06
	Utilidad				¢25,833.52
	Subtotal				¢299,668.85

Fuente: Propia.

Tabla No° 44: Costo de la instalación de la tubería sanitaria necesaria para construir el sistema diseñado.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
13	Codo 90° sanitario PVC DWV PD 50 mm	Unidad	4	¢968.00	¢3,872.00	
14	Tapon de limpieza sanitario PVC SDR41 en 100 mm	Unidad	1	¢1,600.00	¢1,600.00	
15	Adaptador para limpieza sanitario PVC SDR 41 en 100 mm	Unidad	1	¢3,400.00	¢3,400.00	
16	Tapon de limpieza sanitario PVC SDR 41 en 150 mm	Unidad	1	¢26,100.00	¢26,100.00	
17	Te sanitaria PVC SDR 41 en 100 mm	Unidad	1	¢4,600.00	¢4,600.00	
18	Codo 90° sanitario PVC SDR 41 de 150 mm	Unidad	1	¢11,000.00	¢11,000.00	
19	Codo 90° sanitario PVC SDR 41 de 100 mm	Unidad	5	¢6,200.00	¢31,000.00	
20	Te sanitaria PVC SDR 41 en 50 mm	Unidad	2	¢990.00	¢1,980.00	
21	Tapón de PVC SDR 41 en 100mm	Unidad	5	¢885.00	¢4,425.00	
22	Pegamento de contacto de PVC	1/4	1	¢8,500.00	¢8,500.00	
					Materiales	¢87,977.00
					MO	¢26,393.10
					Póliza	¢1,649.57
					Materiales + MO	¢116,019.67
					Administración	¢3,480.59
					Imprevistos	¢3,480.59
					Utilidad	¢11,601.97
					Subtotal	¢134,582.82

Fuente: Propia.

Tabla No° 45: Costo de los tubos de PVC necesarios para construir el sistema diseñado.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
23	SDR 41 en 50 mm	m	2	¢1,033.33	¢2,066.67	
24	SDR 41 en 100 mm	m	2	¢4,733.33	¢9,466.67	
25	SDR 41 en 150 mm	m	2.5	¢12,166.67	¢30,416.67	
					Materiales	¢41,950.00
					MO	¢12,585.00
					Póliza	¢786.56
					Materiales + MO	¢55,321.56
					Administración	¢1,659.65
					Imprevistos	¢1,659.65
					Utilidad	¢5,532.16
					Subtotal	¢64,173.01

Fuente: Propia.

Tabla No° 46: Costo del total de varilla necesaria para construir el sistema diseñado.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
26	Varilla #3 G60 (9.5 mm)	unidad	111	¢1,520.00	¢168,346.33	
27	Varilla #4 G60 (12.7 mm)	unidad	10	¢2,700.00	¢27,000.00	
28	Alambre negro	kg	7	¢680.00	¢4,758.44	
29	Discos de corte	unidad	8	¢1,850.00	¢14,800.00	
					Materiales	¢214,904.77
					MO	¢64,471.43
					Póliza	¢4,029.46
					Materiales + MO	¢283,405.67
					Administración	¢8,502.17
					Imprevistos	¢8,502.17
					Utilidad	¢28,340.57
					Subtotal	¢328,750.58

Fuente: Propia.

Tabla No° 47: Costo de la elaboración de las viguetas del fondo falso necesarias para construir el sistema diseñado.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
30	Concreto 210 kg/cm ²	Unidad	0.02	¢85,000.00	¢1,657.50	
31	Tabla 1x12 in	Unidad	2.1	¢5,300.00	¢10,936.51	
					Materiales	¢12,594.01
					MO	¢3,778.20
					Póliza	¢236.14
					Materiales + MO	¢16,608.35
					Administración	¢498.25
					Imprevistos	¢498.25
					Utilidad	¢1,660.83
					Subtotal	¢19,265.68

Fuente: Propia.

Tabla No° 48: Costo de la elaboración de las paredes necesarias para construir el sistema diseñado.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
32	Block 15x20x40 clase A	unidad	365	₡500.00	₡182,500.00
33	Concreto 210 kg/cm ² 100 mm	m ³	0.12	₡85,000.00	₡10,200.00
34	Concreto relleno celdas 17 5kg/cm ²	m ³	5	₡70,000.00	₡350,000.00
35	repello	m ²	58.4	₡2,100.00	₡122,640.00
	Materiales				₡665,340.00
	MO				₡199,602.00
	Póliza				₡12,475.13
	Materiales + MO				₡877,417.13
	Administración				₡26,322.51
	Imprevistos				₡26,322.51
	Utilidad				₡87,741.71
	Subtotal				₡1,017,803.87

Fuente: Propia.

Tabla No° 49: Costo del uso de agregados necesarios para construir el sistema diseñado.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
36	Piedra cuarta	m ³	0.5	₡15,000.00	₡7,500.00
37	Piedra quintilla	m ³	0.7	₡15,000.00	₡10,500.00
38	Arena industrial	m ³	0.7	₡15,000.00	₡10,500.00
	Materiales				₡18,000.00
	MO				₡5,400.00
	Póliza				₡337.50
	Materiales + MO				₡23,737.50
	Administración				₡712.13
	Imprevistos				₡712.13
	Utilidad				₡2,373.75
	Subtotal				₡27,535.50

Fuente: Propia.

Por último, se tiene la tabla No°50, la cual presenta el monto final del costo calculado para elaborar el diseño del tanque séptico mejorado. Adicionalmente, dicha tabla contempla cuanto es el costo por m³ para construir actualmente este diseño, exponiendo tanto el monto en colones como el monto en dólares.

Tabla No° 50: Monto final necesario para construir el sistema diseñado.

Total Materiales + MO	¢1,902,857.50	
Administración	¢57,085.73	
Imprevistos	¢57,085.73	
Utilidad	¢190,285.75	
Precio total del Tanque	¢2,207,314.70	
Precio Unitario	¢179,456.48	por m3
Unitario Dólares	\$306.76	por m3

Fuente: Propia.

CAPÍTULO VII
Mantenimiento del Sistema de
Tratamiento de Agua Residual Propuesto

Como se ha mencionado anteriormente, una particularidad de los filtros tipo FAFA es que necesitan que se les realice mantenimiento con mayor frecuencia, en comparación a un sistema de tanque séptico convencional, ya que, de lo contrario, al cumplirse el tiempo de “periodo de limpieza” con el cual fue diseñado, se puede empezar a presentar arrastre de sedimentos, disminuyéndose así la eficiencia del sistema, y de manera paralela aumentando los contaminantes presentes en el efluente.

El motivo de presentar un breve manual de mantenimiento es brindar una herramienta sencilla y de fácil comprensión, la cual permita que el usuario de un tanque séptico mejorado con la incorporación de un filtro FAFA, pueda ejecutar controles de mantenimiento preventivo en el sistema mencionado, sin necesidad de contratar mano de obra especializada antes de llegarse al momento en el tiempo de uso donde se debe realizar la extracción de lodos por bombeo.

7.1. Mantenimiento de la Trampa de Grasa

En el presente escrito se contempló solamente el cálculo y diseño del sistema de tanque séptico mejorado con un filtro FAFA, no obstante, a manera de recomendación, se comenta que la utilización de una trampa de grasa antes del sistema del tanque séptico, ayuda a separar las grasas y natas con el fin de disminuir la cantidad de estas que llegan al primer compartimento, fomentándose así una mejor depuración de las aguas residuales.

Con base en lo mencionado, las trampas de grasa son dispositivos relativamente pequeños, los cuales se encuentran ubicados en el exterior, posterior al fregadero de platos de la cocina del hogar. Debido a que se componen de dos compartimentos, estos separados por una rejilla u obstrucción en el medio, que no permite pasar las grasas que parcialmente flotan sobre la superficie del agua, la limpieza de dicha trampa es de fácil labor.

El proceso de remoción de dichas grasas se hace mediante el uso de una pala pequeña de jardinería, o bien con la mano utilizando un guante de latex de los que llegan hasta la mitad del antebrazo, similares a los que son utilizados comúnmente para la limpieza de losa sanitaria o cuando se lavan platos en el hogar. Este proceso de remoción se debe realizar mínimo una vez por semana, para evitar una acumulación de material que pueda obstruir el sistema.

7.2. Mantenimiento del Tanque Séptico

En cuanto al mantenimiento del tanque séptico, este presenta una variable en particular, y es que, si no tiene una trampa de grasa antes de la llegada de la tubería al tanque, su mantenimiento preventivo se debe realizar con mayor frecuencia, ya que se deben de remover estas grasas periódicamente en comparación a un sistema de tanque séptico que cuente con una trampa de grasa antes de que el afluente entre al primer compartimento.

Como se puede observar en las ilustraciones del diseño propuesto, el tanque séptico está conformado por dos compartimentos, el primero siendo $2/3$ partes y el segundo $1/3$ del largo total de esta sección del sistema. Por lo tanto, es en este primer compartimento donde se da la formación de flóculos y la formación de grumos de materia orgánica decantable, la cual se precipita al fondo del tanque. Este material decantado es lo que se conoce como lodo. El material flotante en la superficie del agua dentro del tanque son aquellas grasas que, o bien pasaron a través de la trampa de grasa y no fueron retenidas, o son grasas provenientes de otra fuente que no sea la cocina.

Cabe destacar que la mayoría del lodo va a permanecer en el primer compartimento, no obstante, los sólidos suspendidos totales (SST) que no decantaron en esta primera sección del tanque, van a pasar al segundo compartimento junto con el agua que pasa a través de los dos codos instalados en

la mampara que separa ambas secciones. Si bien pasan sólidos suspendidos de un compartimento a otro, muy difícilmente van a pasar las grasas y natas, debido a que estas se van a encontrar en un nivel flotante superior al nivel de la boca del codo.

En el segundo compartimento, la decantación se da a menor velocidad, pero este material orgánico decantado va a ser predispuesto a que se deslice, gracias a la pendiente de 5% del piso del sistema, hacia la tubería sanitaria de limpieza de PVC SDR41 de 150mm de diámetro, que se encuentra por debajo del fondo falso del FAFA.

Gracias a las tapas de inspección que se encuentran en la parte superior de los dos compartimentos, se pueden abrir dichas secciones del sistema para realizar labores tanto de inspección visual como de mantenimiento. El principal mantenimiento que se realiza en un tanque séptico es la remoción de los lodos en el fondo, por lo tanto, para esta labor se contrata una empresa avalada por el Ministerio de Salud y con autorización del MOPT, que cuente con un camión cisterna que tenga una manguera de 100mm de diámetro y bomba, el cual extrae dicho material y lo transporta hasta una planta de tratamiento, la cual está diseñada para la función de recibir y darle tratamiento a estos lodos provenientes de los hogares, ya que según el artículo 39 del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, se prohíbe explícitamente el vertido de los lodos provenientes de tanques sépticos en cuerpos de agua.

La acción mencionada de remoción de lodos se hace primordialmente en el primer compartimento, no obstante, si se desea se puede hacer en el segundo compartimento de igual manera, pero en el caso de esta segunda sección del tanque no es de suma importancia, ya que los lodos que se generen ahí, como se mencionó anteriormente, van a ser extraídos a través de la tubería de 150mm de que está ubicada en el tercer compartimento del sistema, en el FAFA.

Para el diseño se contempló que el volumen mínimo para almacenamiento de lodos es de aproximadamente 30cm, y que el periodo de limpieza del tanque séptico es de 2 años a partir del momento en que entre en funcionamiento. Por lo

tanto, si se desea verificar que el volumen calculado de lodos ya se encuentra al máximo, lo que se debe hacer es realizarle una marca de 30cm de longitud a una regla de madera lo suficientemente larga para entrar al tanque y que se pueda manipular desde el exterior. Luego, introducir dicha regla al líquido hasta que toque el fondo. Posteriormente, retirar la regla del tanque y comprobar si la marca fue sobrepasada por el nivel de los lodos en el fondo o no. Si la marca es sobrepasada y han pasado menos de 2 años desde la última extracción de lodos, es recomendable realizar el mantenimiento mencionado con la ayuda del camión cisterna. En caso contrario, es decir, si la marca no ha sido sobrepasada, se puede esperar a los dos años de periodo de limpieza para realizar dicho mantenimiento. La remoción debe ser como máximo un 80% de los lodos encontrados, ya que el 20% restante se necesita para la reactivación o continuidad biológica del tratamiento.

Más allá de la extracción de lodos sedimentados, parte de la operación y mantenimiento del sistema en general es inspeccionar visualmente cada cierto tiempo que el tanque séptico mejorado no presente daños en su estructura, o bien fugas en algún punto.

7.3. Mantenimiento del FAFA

En cuanto al mantenimiento del FAFA, este se realiza con mayor frecuencia en comparación con el mantenimiento que se le efectúa a la sección del tanque séptico. Al igual que la inspección visual que se le hace a la sección del tanque para descartar daños en la estructura o fugas, también se aplica dicha inspección visual periódica a la estructura del FAFA. En cuanto a la limpieza de lodos, en el FAFA no se hace directamente a través del espacio cuando se remueve la tapa de inspección, ya que esta extracción de los lodos se hace a través de la introducción de la maguera de 100mm del camión cisterna en la tubería de PVC de 150mm, la

cual se encuentra por debajo del fondo falso y sale a la superficie a un lado del sistema de tratamiento.

Básicamente, la extracción de los lodos se hace mediante un retrolavado, en el cual se suministra agua con una manguera a través de la parte superior del FAFA, impulsando así las impurezas hacia el fondo para que sean absorbidas por la manguera del camión cisterna que se encuentra introducida en el fondo. Este mantenimiento del FAFA mencionado se recomienda que se realice como mínimo 1 vez cada 12 meses.

A continuación, se presenta la tabla No°51, la cual resume las actividades, la cantidad y la periodicidad con la que se deben realizar los mantenimientos en cada caso.

Tabla No° 51: Resumen de las actividades de mantenimiento del sistema de tratamiento de agua residual diseñado.

Elemento	Actividad	Cantidad	Periodicidad	Material	Plan de acción
1. SECCIÓN DEL TANQUE SÉPTICO					
1.1	El primer elemento, la trampa de grasa, se debe verificar que las entradas y las salidas no presentes rupturas en las tuberías o fugas en la estructura de la trampa, así como el nivel de altura de las grasas.	1	Semana	Se debe disponer el material en bolsas plásticas debidamente deshidratadas para enviar al botadero municipal.	En el caso de rompimiento de tuberías, reparar en forma inmediata.
1.2	Tuberías de entrada	1	Mes	Se debe de chequear que el sistema no presente problemas a la entrada del primer elemento del TS (toallas sanitarias, elementos de latex, u otro elemento ajeno materiales orgánicos cotidianos).	Se debe realizar la limpieza , disponiendo del material de desecho en bolsas, para luego ser enviadas al botadero municipal.
1.3	Revisión de las tuberías de ventilación	1	Mes	Se debe revisar que las tuberías y codos de gas no presenten problemas de fugas.	En caso necesario, cambiar las piezas en mal estado.
1.4	Tapas de inspección	1	Mes	Se debe de revisar las tapas de concreto de inspección, así como los tapones de PVC existentes de las tuberías de inspección FAFA y tanque entrada.	En caso de que alguna pieza se encuentre en mal estado debe ser sustituida.
1.5	Revisión de natas	2	Meses	Cuando las natas sobrepasen más de 5 cm de espesor.	Se debe realizar la limpieza y las natas se colocan en una bolsa cerrada con cal viva para bajar los niveles de olor y se envían al botadero municipal.
1.6	Revision de lodos	3	Meses	Cuando el nivel de lodo sobrepase los 50 cm cuyo valor sería el 100% del valor de diseño.	Se sumerge una regla marcada con el nivel de lodos a 30 cm, para poder medir el mismo, a la regla se le coloca una tela blanca enrollada, en la cual se podrá fácilmente medir la altura, en caso de sobrepasar dicho valor se debe llamar a los entes autorizados para llevar a cabo el proceso de limpieza, se debe recordar que nunca se debe de limpiar el 100% del lodo que contiene materia bacteriana.
2. SECCIÓN DEL FAFA					
7	Revision de lodos	3	Meses	El usuario debe de llevar un control de la cantidad de lodo en el filtro FAFA, para ello debe de colocar una regla graduada similar al punto (6), donde se pueda medir la altura de los lodos. Cuando dicho lodo supere el 100% de la capacidad de la altura de diseño, 30 cm, se debe proceder a realizar limpieza.	En caso de que se de ésta condición, se debe de realizar la extraccion del 90% de los lodos en el fondo del filtro FAFA, mediante la tubería de 150 mm que se encuentra para tales efectos.
8	Retrolavado del FAFA	12	Meses	En caso de requerir el retrolavado una vez realizado el punto (7).	Se realiza colocando agua a presión por la parte superior del filtro FAFA, para ello el usuario puede usar una maguera convencional y limpia la superficie de la grava superior, en caso de que dicho elemento se encuentre muy deteriorado y con mucha formación de adherencia en las piedras dicho filtro se puede sustituir, su limpieza debe ser del orden del 90%, dejando una cama bacterial.

Fuente: Propia.

CAPÍTULO VIII

Conclusiones y Recomendaciones

8.1 CONCLUSIONES

- Los filtros tipo FAFA logran reducir en gran cantidad el contenido de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), ya que posterior al 70% de SST y 80% de DBO que logra reducir el tanque séptico, el FAFA reducen en un 80% más estos dos parámetros.
- El efluente de un tanque séptico convencional no puede ser reutilizado para riego ni puede ser vertido en un cuerpo natural de agua receptor, ya que no cumple con los valores máximos permitidos según el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N°33601, donde se estipula que los valores máximos son SST=50mg/L y DBO=50mg/L.
- El efluente posterior al filtro tipo FAFA se puede reutilizar para riego o bien puede ser devuelto a un cuerpo natural de agua receptor, ya que los resultados de SST y DBO posteriores a pasar por la cama de filtrado son 14mg/L y 18mg/L, respectivamente.
- La configuración más eficiente diseñada fue la de 3 agregados, pasando de piedra cuarta (25mm) en la parte inferior de la columna de filtrado, luego a piedra quintilla (12.5mm) y luego a la arena industrial (5mm). La altura total de la columna de filtrado fue 1.05m, respetando así un espacio libre para gases de 0.29cm en todo el sistema.
- La comparación de eficiencias del FAFA cuando se utiliza material de tajo contra material de río mostro resultados muy similares, no obstante, debido a que se debía seleccionar cuál de las dos opciones de fuente de agregados era la más eficiente, se determinó mediante los cálculos realizados, que los materiales de tajo presentaban un mejor

comportamiento filtrante, ya que dieron valores bajos de resistencia a flujo y valores altos de porcentaje de absorción.

- Un filtro FAFA puede ser construido tanto con agregado de río, como con agregado de tajo. Por lo tanto, todo aquel que desee puede utilizar el material proveniente de cualquiera de estas dos fuentes, quedando a criterio personal su inclinación por una o por otra ya sea por términos de costos de acarreos o costo por metro cúbico, o por disponibilidad de material cerca de la zona donde se está realizando la obra.
- Se determinó que el costo por metro cúbico del diseño realizado es aproximadamente \$306.76, teniéndose como principal variable el valor de mercado de los agregados.
- Construir un tanque séptico mejorado incurre en un costo de elaboración y de mantenimiento mayor, ya que es una estructura más grande que un tanque séptico convencional y sumado a eso necesita una columna de material filtrante, por lo tanto, no es recomendable para casas de bien social, ya que además del valor de construcción y mantenimiento superior, necesita un mayor espacio de terreno.
- Es sumamente importante y necesaria la implementación de una tubería auxiliar en un FAFA, esto con el fin de poder realizar manteamiento y retrolavado del sistema siempre que sea necesario.
- Cuando se realiza el mantenimiento de los dos primeros compartimentos (la sección del tanque séptico), se debe remover solamente hasta un 80% de los lodos encontrados, ya que el 20% restante es necesario para la reactivación o continuidad biológica del tratamiento.

- La principal problemática de los FAFA es que los periodos de mantenimiento y limpieza son más frecuentes que el mantenimiento de un tanque séptico convencional, lo cual implica realizar un gasto con mayor regularidad, ya que se debe contratar un camión cisterna con bomba para realizar una limpieza del sistema de forma pertinente y segura.
- Aparte de los costos menores de mantenimiento, es más barata la construcción de un tanque séptico tradicional en comparación a la construcción de un tanque séptico mejorado, por ello es que este último sistema de tratamiento de aguas residuales mencionado no es recomendado para todas las obras en general.
- Si bien implementar un FAFA posee más beneficios que desventajas, algunos profesionales del área como el ingeniero Ronald Calvo, el cual fue entrevistado durante la realización de la investigación en curso (ver anexo 2), considera que no hay ninguna ventaja en el tratamiento de aguas residuales si se utilizan filtros FAFA o no.
- En caso contrario, el ingeniero Eduardo Chacón, profesional del área que también fue entrevistado (ver anexo 1), considera que es un beneficio de peso el poder disponer el efluente del FAFA para riego o para verterlo a un cuerpo natural de agua receptor, no obstante, enfatiza en que su mantenimiento debe ser adecuado empleándose un retrolavado, para evitar que la columna de agregado se sature y el lodo sea arrastrado hacia el sistema de disposición final.
- Es común que posterior al sistema de tanque séptico, ya sea el convencional o el mejorado, se emplee un diseño de drenaje, el cual se encarga de distribuir el efluente del sistema de tratamiento a través del terreno de la obra. Dicho esto, según el Código de Instalaciones

Hidráulicas y Sanitarias de Costa Rica (CIHSCR-2017), estipula que, para poder implementar el sistema de drenaje, el nivel freático del terreno debe de estar por debajo de los 2m. Esto con el fin de evitar la contaminación de aguas subterráneas.

- La instalación del tanque séptico debe respetar al menos 1 metro de colindancia con cualquier terreno vecino según el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N°31545-S-MINAE.

8.2 RECOMENDACIONES

- Construir el diseño en un terreno apto, con el fin de poder realizar pruebas de laboratorio que ayuden a comprobar y contrastar los resultados obtenidos teóricamente de mejora de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.
- Promover que las fuentes de materiales, como los tajos y los quebradores de río, posean y faciliten la obtención al profesional de las fichas técnicas de los gravas y arenas que ofrecen al mercado nacional, esto con el fin de que los cálculos y diseños de filtros sean más precisos y apegados a la realidad de las características físico-químicas de los agregados utilizados.
- Realizar un diseño de un tanque séptico mejorado, integrado con un filtro tipo FAFA, en algún otro material constructivo, ya sea PVC, plástico forrado en fibra de vidrio o bien concreto armado.

- Fomentar la implementación de tanques sépticos mejorados con un filtro tipo FAFA integrado, ya que este influye de manera directa en la reducción de DBO y SST presentes en las aguas residuales de los hogares, y si la operación y mantenimiento del FAFA es la adecuada, se puede utilizar el efluente para otras actividades como el riego, en lugar de utilizar agua potable.
- Probar otras variaciones de tamaño de agregados en la columna de filtrado, esto con el fin de evaluar distintas configuraciones y conocer otras alternativas que sea similares en eficiencias a las propuestas en el diseño realizado.
- El tamaño del sistema como tal puede reducirse, ya que las dimensiones finales propuestas se rigieron por el método constructivo utilizado, es decir, que si se utiliza un método constructivo que permita mayor versatilidad constructiva, se puede construir un tanque séptico mejorado que cumpla con los valores mínimos de dimensionamiento de una forma más apegada a los valores arrojados según el cálculo.
- Si el sistema de tratamiento está cerca de una tapia perimetral, se puede colocar la tubería de ventilación a través de dicha tapia y hasta su parte superior (ver anexo 3), y así evitar colocar la ventilación del sistema en lugares donde puedan ingresar roedores o se pueda quebrar dicha tubería.
- Si bien el tanque séptico puede funcionar como trampa de grasa debido a que las natas (grasas) ascienden y se mantienen por encima del nivel del agua dentro del tanque, mientras que otros residuos suelen decantar, es recomendable colocar una trampa de grasa antes del tanque séptico, ya que una buena separación permite que el sistema de tratamiento opere adecuadamente con mayor eficiencia. Las trampas de grasas se diseñan de acuerdo a lo establecido en el CIHSCR-2017, según la sección 7.8.1.

BIBLIOGRAFÍA

- Bello, J. (2012). *Guía Para la Elaboración de Citas y Referencias Bibliográficas con Base en la Normativa de la APA* (2da ed.). México D.F., México: Pearson Educación de México.
- De Lemos, C. (2013). *Reactores Anaerobios*. Belo Horizonte, Brasil: Universidad de Nariño.
- Ferrer, J. y Seco, A. (2008). *Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales*. México D.F., México: Alfaomega Grupo Editor.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). México D.F., México: McGraw-Hill.
- Howe, K. & et al. (2017). *Principios de Tratamiento del Agua*. México D.F., México: Cengage Learning Editores.
- Lorenzo, Y. y Obaya, M. (2005). *La Digestión Anaerobia: Aspectos Teóricos, parte I*. Ciudad de la Habana, Cuba: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
- Mihelcic, J. y Zimmerman, J. (2011). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño*. México D.F., México: Alfaomega Grupo Editor.
- Opazo, U. (1999). *Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública*. México D.F., México: Limusa.
- Poveda, A. (2018). *Diseño de Estructuras de Mampostería*. San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- Romero, J. (2000). *Purificación del Agua*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Rosales, E. (2008). *Tanques Sépticos Conceptos Teóricos Base y Aplicaciones*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Russell, D. (2012). *Tratamiento de Aguas Residuales: Un Enfoque Práctico*. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2017). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones*. San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2014). *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- Moreno, E. (2018). *Definición Operacional de las Variables*. Recuperado de la fuente <http://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2018/03/definicion-operacional-de-las-variables.html>.

ANEXOS

Anexo 1

Encuesta realizada al ingeniero Eduardo Chacón Cordero

El instrumento de recolección de datos de las fuentes primarias consta de una batería de 8 preguntas. Ambos ingenieros fueron entrevistados con las mismas preguntas, esto con el fin de conocer diferentes puntos de vista sobre el mismo tema por parte de profesionales en el área. A continuación, se presentan las preguntas realizadas de interés.

1. ¿Los tanques sépticos, ya sea mejorado o tradicional, se pueden implementar en cualquier terreno?

El tanque como tal sí, el problema son los drenajes o la disposición final de las aguas, en el caso del tanque mejorado la eficiencia del tratamiento es mayor y facilita la disposición final de las aguas incluso para riego o recicló.

2. ¿Está usted de acuerdo con la creencia de que las aguas grises y las aguas negras del hogar deben tratarse por separado?

En la buena teoría, todas las aguas deben de ser tratadas mediante un sistema adecuado por lo cual yo recomiendo que sean tratadas en el mismo sistema, de lo contrario las aguas grises serán más densas y difíciles de tratar.

3. ¿Es indispensable la utilización de una trampa de grasa al inicio del sistema de tratamiento de agua residual en un hogar?

No solo es indispensable, ya que las grasas almacenan materia orgánica que de no separarla de la grasa no puede ser tratada, una buena separación permite que el sistema de tratamiento opere adecuadamente con una eficiencia mayor. Las trampas de grasas se diseñan de acuerdo a lo establecido en el Código Hidráulico del CFIA 2014, ver sección 7.8.

4. Basado en su experiencia como diseñador, ¿son los Fafa una alternativa complementaria de los tanques sépticos mejorados?

En realidad, el concepto de tanque séptico puede ser de un compartimento de dos o de tres, la diferencia ésta en la colocación del Fafa, que lo convierte en un sistema de tanque séptico mejorado, aceptado por el Ministerio de Salud en su momento, cuya preocupación radica en el mantenimiento que se debe de llevar a cabo para el sistema como un todo.

5. ¿La utilización de un filtro tipo Fafa en el sistema de tanque séptico mejorado permite una mayor vida útil del sistema como tal?

La palabra mejorado incluye el tanque séptico y el filtro, la vida útil dependerá del uso adecuado del sistema cantidad de personas y su capacidad instalada si está de acuerdo al diseño.

Su mantenimiento es importante, lo que sí es evidente es que la eficiencia es mucho mayor que en un tanque convencional, donde la eficiencia en remoción de la DBO es del orden del 75-80%, mientras que en un tanque mejorado llega con su Fafa a un 90-95%, por lo que su efluente puede utilizarse para riego de tipo 5 de acuerdo al Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales.

6. ¿Se puede utilizar un sistema de tanque séptico mejorado para un grupo de viviendas como un solo sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales?

Si se puede, en algunos casos se usa para condominios e incluso para volúmenes de agua a tratar considerables, lo cual se aprecia en las normas brasileñas, los FAFA son utilizados también para tratar aguas con altas concentraciones de DBO, caso típico sistemas preliminares para aguas de granjas porcinas.

7. ¿Se pueden considerar los sistemas de tanque séptico mejorados que utilizan filtro tipo FAFA como pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales?

El concepto utilizado por el A y A, es que son plantas tratamiento a pequeña escala, por lo cual, se requiere de un procedimiento para su operación y mantenimiento.

8. ¿Cuál es su opinión sobre la operación y mantenimiento de un sistema que utilice un filtro tipo FAFA?

Por ser un sistema que utilizar filtro de piedra, a través del tiempo dicho estrato de piedra puede llegar a saturarse y el lodo es arrastrado hacia el sistema de disposición final, es por ello que se debe tener presente que se debe estar limpiando dichos sistemas adecuadamente con retro lavado, y con ello mantener sus condiciones de absorción y adherencia. Dicho esto, sí considero que la implementación de un FAFA es beneficioso si se desea disponer su efluente para riego o para ser vertido en un cuerpo receptor.

Anexo 2

Encuesta realizada al ingeniero Ronald Calvo Zeledón

El instrumento de recolección de datos de las fuentes primarias consta de una batería de 8 preguntas. Ambos ingenieros fueron entrevistados con las mismas preguntas, esto con el fin de conocer diferentes puntos de vista sobre el mismo tema por parte de profesionales en el área. A continuación, se presentan las preguntas realizadas de interés.

1. ¿Los tanques sépticos, ya sea mejorado o tradicional, se pueden implementar en cualquier terreno?

No, el tanque séptico ya sea mejorado o tradicional sólo deben instalarse en terrenos aptos con condiciones de absorción adecuadas.

2. ¿Está usted de acuerdo con la creencia de que las aguas grises y las aguas negras del hogar deben tratarse por separado?

No, todas las aguas del sistema sanitario deben conducirse al tanque séptico sin excepción.

3. ¿Es indispensable la utilización de una trampa de grasa al inicio del sistema de tratamiento de agua residual en un hogar?

Es importante pero no indispensable, el tanque séptico también funciona como trampa de grasas.

4. Basado en su experiencia como diseñador, ¿son los FAFA una alternativa complementaria de los tanques sépticos mejorados?

Los FAFA pueden ser una alternativa siempre y cuando se les dé un mantenimiento adecuado. La limpieza frecuente de ellos es indispensable para evitar una obstrucción a mediano plazo. En mi caso yo recomiendo un tanque séptico bien diseñado con un buen sistema de drenajes.

5. ¿La utilización de un filtro tipo FAFA en el sistema de tanque séptico mejorado permite una mayor vida útil del sistema como tal?

No necesariamente, puede ser que mejore un poco la calidad del agua, pero no tiene nada que ver con la vida útil del sistema.

6. ¿Se puede utilizar un sistema de tanque séptico mejorado para un grupo de viviendas como un solo sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales?

No, no lo recomiendo. El sistema de tanque séptico fue ideado como una solución individual y no colectiva.

7. ¿Se pueden considerar los sistemas de tanque séptico mejorados que utilizan filtro tipo FAFA como pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales?

No, son conceptos completamente diferentes. Las plantas de tratamiento son sistemas generalmente ideados para soluciones colectivas, los tanques sépticos como dije antes son soluciones individuales.

8. ¿Cuál es su opinión sobre la operación y mantenimiento de un sistema que utilice un filtro tipo FAFA?

De acuerdo con algunas experiencias y análisis hechos no hay ninguna ventaja en el tratamiento si se utilizan filtros fafa o no. Por otro lado, el mantenimiento de estos sistemas se vuelve complicado y no mucha gente lo hace, esto sucede porque hay que sacar el medio filtrante limpiarlo y volverlo a colocar. Lo cual debe ser una rutina cada cierto tiempo para que el sistema no pierda su eficiencia.

Anexo 3



Ilustración No° 19: Ejemplo de tubería de ventilación del tanque séptico colocada en la parte superior de una tapia aladaña.

Fuente: Propia.