



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPUESTA DE CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL
APROVECHAMIENTO DE AGUAS GRISES EN VIVIENDAS
UNIFAMILIARES DE LA CIUDAD DE MACHALA

BELDUMA CUENCA DARIO JAVIER
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROPUESTA DE CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL
APROVECHAMIENTO DE AGUAS GRISES EN VIVIENDAS
UNIFAMILIARES DE LA CIUDAD DE MACHALA

BELDUMA CUENCA DARIO JAVIER
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

PROPUESTA DE CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE
AGUAS GRISES EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE LA CIUDAD DE MACHALA

BELDUMA CUENCA DARIO JAVIER
INGENIERO CIVIL

AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO

MACHALA, 25 DE AGOSTO DE 2022

MACHALA
25 de agosto de 2022

TRABAJO PRACTICO AGUAS GRISES MACHALA

por Dario Javier Belduma Cuenca

Fecha de entrega: 16-ago-2022 08:11p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1883374848

Nombre del archivo: TRABAJO_PRAC-_DARIO_BELDUMA_CUENCA.docx (3.85M)

Total de palabras: 6549

Total de caracteres: 33030

TRABAJO PRACTICO AGUAS GRISES MACHALA

INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.slideshare.net

Fuente de Internet

1%

2

revistas.utp.ac.pa

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, BELDUMA CUENCA DARIO JAVIER, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Propuesta de criterios técnicos para el aprovechamiento de aguas grises en viviendas unifamiliares de la ciudad de Machala, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

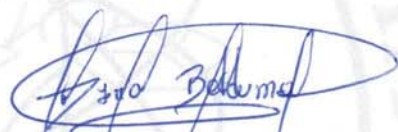
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 25 de agosto de 2022



BELDUMA CUENCA DARIO JAVIER
0706406824

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a:

A mis padres Jesús Belduma y María Cuenca que con su amor, consejos y motivación me han permitido lograr llegar donde estoy y convertirme en la persona que soy. Es un orgullo y un privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanas que con su apoyo incondicional siempre estuvieron a mi lado en cada etapa de mi carrera, compartiendo mis triunfos y derrotas, pero, sobre todo motivándome a seguir adelante y luchar por mis metas.

A mis amigos y profesores que durante todo mi proceso educativo me han brindado las herramientas para convertirse en un profesional de calidad y también un valioso ser humano.

Adicional a esto quiero dedicar este trabajo en memoria de mi abuelo que siempre soñó con verme convertido en un profesional y poder contribuir con mi conocimiento al desarrollo de su comunidad.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios por ser mi luz y guía durante el transcurso de mi vida, brindándome paciencia, sabiduría y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Quisiera expresar mi agradecimiento a mis padres que con su trabajo y esfuerzo me han permitido dedicarme a las cosas que me apasionan; ellos son mi motor y mayor inspiración para mí, gracias a ellos me he convertido en un grandioso ser humano y profesional.

A todos mis amigos, vecinos y futuros colegas que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

De igual manera agradezco a la Universidad Técnica de Machala, a toda la Facultad de Ingeniería Civil, a mis profesores, en especial a mi tutor Freddy Alejandro Aguirre que con su paciencia, orientación y apoyo me permitió ir desarrollando un trabajo de titulación que contribuya al desarrollo de la sociedad.

RESUMEN

El incremento en la demanda de agua potable, como consecuencia del acelerado crecimiento demográfico en la población es un problema que viene presentándose durante muchos años. La falta de recursos hídricos ha permitido el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de aguas grises. No hay regulaciones para aguas grises en Ecuador. En el presente trabajo se propuso directrices para el tratamiento y aprovechamiento de aguas grises amparándose en normas de otros países, siendo estos: Chile, España, Sudáfrica, Singapur, Canadá, Australia y Jordania. El tratamiento de aguas grises depende en gran medida de la finalidad que vaya a tener y a su vez del volumen que se desea tratar; para viviendas unifamiliares con pequeños caudales a tratar los métodos físicos son ideales. La implementación de un FLA en el aprovechamiento de aguas grises demostró beneficios directos relacionados con la reducción en la demanda de consumo de agua potable.

Palabras claves: aguas grises, viviendas unifamiliares, filtro lento.

ABSTRACT

The increase in the demand for drinking water, as a consequence of the accelerated demographic growth in the population, is a problem that has been present for many years. The lack of water resources has allowed the development of technologies for the use of greywater. There are no regulations for greywater in Ecuador. In the present work, guidelines were proposed for the treatment and use of greywater based on regulations from other countries, these being: Chile, Spain, South Africa, Singapore, Canada, Australia and Jordan. Gray water treatment depends largely on the purpose it is going to have and in turn on the volume to be treated; for single-family homes with small flows to be treated, physical methods are ideal. The implementation of a FLA in the use of gray water showed direct benefits related to the reduction in the demand for drinking water consumption.

Key words: greywater, single-family houses, slow filter.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	14
1.1 Definición y contextualización del objeto de estudio	15
1.1.1 Ubicación geográfica	15
1.1.2 Hechos de interés.....	16
1.2 Planteamiento del problema	16
1.3 Justificación del problema	16
1.4 Objetivo de la investigación	17
1.4.1 Objetivos generales.....	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
2. DESARROLLO.....	18
2.1 Marco Teórico.....	18
2.1.1 Antecedentes conceptuales y referenciales.....	18
2.1.2 Conceptualización de aguas grises.....	19
2.1.3 Características y calidad de aguas grises	19
2.1.4 Generación de aguas grises.....	21
2.1.5 Reutilización de aguas grises	21
2.1.6 Tratamiento de aguas grises	23
2.1.7 Diseño del sistema de reutilización de aguas grises	26
3. CONCLUSIONES.....	34
Anexo A. Diseño de trampa de grasa.....	40
Anexo B. Unidades de gasto para el diseño de trampa de grasa	42
Anexo C. Diseño de filtro lento de arena.....	43
Anexo D. Esquema de sistema de aguas grises.....	46
Anexo E. Propuesta de sistema de aguas grises y sanitario en vivienda unifamiliar	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 CROQUIS DE REFERENCIA DEL BARRIO LOS ROSALES - VILLAS DEL SOL ...	15
ILUSTRACIÓN 2 NIVEL DE ESTRÉS HÍDRICO FÍSICO	18
ILUSTRACIÓN 3 ESTRUCTURA DE TRAMPA DE GRASA.....	26
ILUSTRACIÓN 4 FILTRO LENTO DE ARENA	30
ILUSTRACIÓN 5 RECIPIENTE PLÁSTICO PARA TRAMPA DE GRASA.....	41
ILUSTRACIÓN 6 DETALLES DE TRAMPA DE GRASA	42
ILUSTRACIÓN 7 SISTEMA DE DRENAJE EN FILTRO LENTO.....	45
ILUSTRACIÓN 8 DETALLES DE FILTRO LENTO DE ARENA Y RESERVORIO DE ALMACENAMIENTO	45
ILUSTRACIÓN 9 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR	46
ILUSTRACIÓN 10 CURVA Y DATOS DE PRESTACIONES DE BOMBEO	46
ILUSTRACIÓN 11 PROPUESTA DE SISTEMA DE AGUAS GRISES PARA VIVIENDA.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS GRISES.....	20
TABLA 2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS AGUAS GRISES	20
TABLA 3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS GRISES DE DIFERENTES FUENTES ...	21
TABLA 4 PORCENTAJE DE GENERACIÓN DE AGUAS GRISES Y REDUCCIÓN PROBABLE DE AGUAS GRISES EN DIFERENTES PAÍSES	22
TABLA 5 PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOQUÍMICOS DE AGUAS GRISES TRATADAS EN DIFERENTES REGIONES.....	25
TABLA 6 PARÁMETROS DE DISEÑO DE TRAMPA DE GRASA IMPLEMENTADO EN AGUAS RESIDUALES	26
TABLA 7 UNIDADES GASTO EN VIVIENDA UNIFAMILIAR	27
TABLA 8 PARÁMETROS Y DIMENSIONES DE TRAMPA DE GRASA	29
TABLA 9 CLASIFICACIÓN DE FILTROS LOS FILTROS DE ACUERDO AL NÚMERO DE MEDIOS FILTRANTES	29
TABLA 10 PROPIEDADES TÍPICAS DEL MEDIO FILTRANTE	30
TABLA 11 CRITERIOS DE DISEÑO DE FILTRO LENTO CON TRES MEDIOS FILTRANTES.....	30
TABLA 12 CRITERIOS DE DISEÑO DE FILTRO LENTO CON TRES MEDIOS FILTRANTES (CONTINUACIÓN).....	31

TABLA 13 REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN FILTROS LENTOS DE ARENA.....	31
TABLA 14 DISEÑO DE FILTRO LENTO CON TRES MEDIOS FILTRANTE	33
TABLA 15 DIMENSIONES DE DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS GRISES TRATADAS	33
TABLA 16 ALTERNATIVA DE DISEÑO 1	40
TABLA 17 ALTERNATIVA DE DISEÑO 2.....	41
TABLA 18 RESUMEN DE DISEÑO	41
TABLA 19 UNIDADES DE GASTO (APARATOS DE USO PÚBLICO)	42
TABLA 20 UNIDADES DE GASTO (APARATOS DE USO PRIVADO).....	43
TABLA 21 DIMENSIONES DE FILTRO LENTO DE ARENA	44
TABLA 22 CARACTERÍSTICAS DE EQUIPO DE BOMBEO	46

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, el aumento poblacional ha generado un incremento en la demanda de agua potable dejando a muchas poblaciones alrededor del mundo en condiciones de escasez hídrica [1], [2]. El abastecimiento de agua tanto en la agricultura como en sectores de la periferia urbana y rural es una condición difícil de satisfacer.

Contribuir a la preservación de los recursos hídricos y reducir la demanda de agua potable es una iniciativa que se va desarrollando progresivamente en los países de Latinoamérica. Se estima que cerca del 80% de las aguas residuales del mundo terminan siendo vertidas al ecosistema sin un tratamiento adecuado. [3]

La implementación de aguas grises para usos no potables tales como: el riego agrícola, descarga de inodoro, restauración de acuíferos subterráneos, limpieza de veredas entre otros, son algunas de las alternativas que han brindado su reutilización. Se estima que las aguas grises representan cerca del 70% del total aguas residuales generadas en un hogar.[4]

Desarrollar proyectos de reutilización de aguas grises en el país, representa una problemática debido a la ausencia de criterios y reglamentaciones para la evaluación y diseño de sistemas de aguas grises.

En este trabajo investigativo se proponen varios lineamientos que contribuyan al desarrollo y evaluación de sistemas de tratamiento de aguas grises, permitiendo así que las personas con desabastecimiento o limitado acceso a la red de agua potable puedan aprovechar sus recursos hídricos eficientemente.

1. GENERALIDADES DEL OBJETO DE ESTUDIO

1.1 Definición y contextualización del objeto de estudio

En la provincia de El Oro, muchos de sus sectores debido a la escasez de agua o su crecimiento urbanístico ha generado un desabastecimiento en la cobertura de agua potable. Esta precaria situación se ve reflejada en los sectores fronterizos y límites perimetrales de las grandes ciudades, las cuales no cuentan con los recursos ni los sistemas necesarios para brindar una adecuada cobertura del servicio de agua potable.

Con base en la evidencia anterior, el estudio realizado plantea como alternativa aprovechar la generación de aguas grises de una vivienda unifamiliar para su posterior implementación en actividades de uso de agua no potable.

Para la reutilización de aguas grises su captación debe ser realizada directamente de su fuente generadora, para el estudio se consideran duchas y lavamanos, aparatos sanitarios que representan cerca del 70% del consumo domiciliario. Este volumen generado se plantea ser aprovechado mediante un sencillo sistema de colector de grasas, filtrado y almacenamiento.

El caudal de diseño para el tratamiento para aguas grises se considera como un flujo intermitente debido a los largos periodos de inactividad. En consecuencia, esto genera caudales de diseño regularmente pequeños.

1.1.1 Ubicación geográfica

El sistema de tratamiento de aguas grises se ha planteado desarrollar en la ciudad de Machala, en el Barrio Los Rosales el cual se localiza en la Vía a Balosa.

Ilustración 1 Croquis de referencia del Barrio Los Rosales - Villas del Sol



Fuente. Elaborado por el autor

1.1.2 Hechos de interés

En los últimos tiempos, el crecimiento poblacional de Machaleña ha sido en dirección sureste; áreas ubicadas por el sector de Balosa, donde hace menos de una década había asentamientos relativos, hoy albergan a un gran número de pobladores.

Actualmente el abastecimiento de agua potable para estos sectores se está desarrollando, pero abastecer del líquido vital a toda esta nueva población será limitada; esto podría mejorar al culminar el proyecto del anillo perimetral que desarrolla la ciudad de Machala.

1.2 Planteamiento del problema

Ecuador es un país que cuenta con grandes recursos hídricos, por tal motivo muchas de sus zonas cuentan con el abastecimiento de agua potable. Sin embargo, Sectores fronterizos como Huaquillas, Arenillas, Macará, Puyango, Palmales, entre otros, son sitios en donde los recursos hídricos son muy limitados. En consecuencia, cada gota de agua debe ser correctamente administrada.

Para poblaciones que presentan esta realidad, el aprovechamiento de aguas grises es una alternativa recomendada; estos sistemas de aprovechamiento se llevan a cabo en todo el mundo mediante determinados criterios de calidad. En Ecuador, la falta de reglamentos y directrices para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas grises ha limitado su implementación.

1.3 Justificación del problema

En la actualidad, uno de los problemas que aquejan a la población ecuatoriana es la escasez de agua potable. Sectores con recursos hídricos limitados debido a sus territorios secos, sistemas de agua potable ausentes o deteriorados son los principales afectados.

El propósito de este trabajo radica en comprender la importancia en la reutilización de aguas grises y a su vez estudiar los principales aspectos que las caracterizan. Finalmente, brindar las directrices mínimas requeridas para el aprovechamiento de aguas grises.

Los beneficios sociales que brinda este estudio están encaminados al aprovechamiento de recursos hídricos en poblaciones que presentan escasez de agua potable, como pueden llegar a ser los archipiélagos, islas y cantones fronterizos.

En el aspecto disciplinario, el estudio busca contribuir al desarrollo de nuevos proyectos de aprovechamiento de aguas grises en diferentes sectores del país, que al igual que la provincia de El Oro, requieren un aumento en su demanda hídrica, pero, esta situación puede ser remediada mediante sistemas de tratamiento de aguas grises.

1.4 Objetivo de la investigación

1.4.1 Objetivos generales

- Elaborar una propuesta de parámetros de diseño para la reutilización de aguas grises en viviendas unifamiliares de la ciudad de Machala.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los beneficios que proporciona la implementación de sistemas de tratamiento de aguas grises.
- Identificar alternativas para el tratamiento y aprovechamiento de aguas grises, del mismo modo establecer sus criterios fundamentales.
- Diseñar un sistema de tratamiento y reutilización de aguas grises para una vivienda unifamiliar en la ciudad de Machala.

2. DESARROLLO

2.1 Marco Teórico

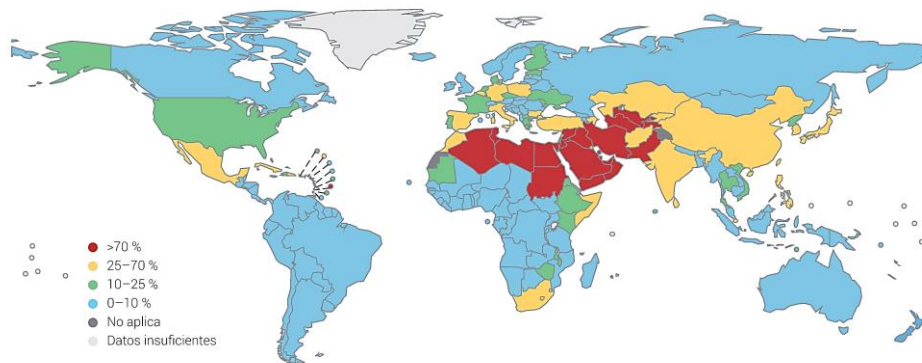
2.1.1 Antecedentes conceptuales y referenciales.

En las últimas décadas es muy recurrente escuchar la problemática de estrés hídrico alrededor del mundo. De acuerdo a la Organización de Naciones Unidas, esta creciente demanda de agua se encuentra relacionado con el aumento demográfico y a su vez el crecimiento urbanístico.[5]

Debido a este crecimiento demográfico acelerado muchas localidades en Latinoamérica presentan un alto índice de déficit hídrico, en ciertos casos la población puede ser afectada de forma temporal y en situaciones adversas críticamente.[6],[7],[8], [9]

En estudios realizados por parte de la ONU, esta problemática se encuentra presente en cerca del 40 % de la población mundial [10], en consecuencia, se estima que para el 2050 se espera que al menos una cuarta parte de la población mundial viva en países con problemas de escasez crónica de agua.[11]

Ilustración 2 Nivel de estrés hídrico físico



Fuente. [12]

En consecuencia, el desarrollo de ciudades futuras deberá enfocarse en el aprovechamiento y reutilización de los recursos hídricos. La reutilización del agua ofrece una oportunidad para impulsar el abastecimiento de agua a poblaciones con riesgo hídrico.

El tratamiento de aguas residuales depende de su utilización posterior. Su implementación final determina el grado de calidad que debe tener, siendo el agua

potable la calidad ideal para el consumo humano. Las aguas grises al no presentar un alto grado de contaminación, son consideradas un recurso apto para actividades que no requieren agua potable.

La implementación de aguas grises abarca un sin número de actividades como pueden ser: riego agrícola, descarga de inodoros, limpieza de vehículos, veredas e inclusive para la recarga de acuíferos subterráneos. [13] En Ecuador los primeros proyectos piloto se están desarrollando con la finalidad de ser usadas en el riego agrícola y la recuperación de nutrientes presentes en aguas grises domésticas.[14], [15]

2.1.2 *Conceptualización de aguas grises*

La definición de aguas grises puede presentar variaciones dependiendo de la normativa u ordenanza que se esté implementado; sin embargo, para el estudio desarrollado se considera como aguas grises al conjunto de aguas residuales producidas en un hogar, exceptuando las descargas del inodoro.

Como hace mención A. Ding *et al.* [16] En su estudio las aguas grises son producto del uso del agua potable en duchas, baños, lavabo, pero no se consideran las aguas residuales del inodoro.

La Legislación Chilena define a las aguas grises como: “Aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinajas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras.”[17]

2.1.3 *Características y calidad de aguas grises*

Las aguas grises representan cerca del 50% al 80% de las aguas residuales domésticas y no contiene una alta carga orgánica en su composición.[18] La cantidad que se puede generar en un hogar puede llegar a variar. Algunos investigadores sostienen que el nivel de vida, la estructura demográfica, edad, sexo, número de personas por vivienda, demanda de consumo, clima, entre otras, pueden ser aspectos que se relacionan con la producción de aguas grises.[19]

La generación de aguas grises está compuesta básicamente a partir de usos domésticos. En general, su composición puede contener partículas de detergentes, patógenos, aceite, grasa de cosméticos, diferentes metales, dentífricos, etc.[20]

La elección de método para el tratar aguas residuales depende de su composición, entre estos aspectos se considera las características físicas, biológicas y de igual manera su composición química. En la **Tabla 1**,

Tabla 2 , y **Tabla 3** se puede ilustrar estos aspectos que han sido temas de estudios previos para caracterizar las aguas grises.

Tabla 1 Características biológicas de las aguas grises

Origen	Coliformes totales (UFC/100mL)	Escherichia coli. (UFC/100ml)	Enterococos fecales (UFC/100ml)	Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Conteo de placa Heterótrofa (UFC/ml)	Referencias
Aguas grises	-	-	-	3.4×10^5	2.6×10^7	Friedler et al. (2006)
Aguas grises	-	-	-	5.6×10^5	1.3×10^7	Friedler et al. (2005)
Baño y lavadero	4.8×10^5	3.6×10^5	-	-	-	Fountoulakis et al. (2016)
Aguas grises	43×10^4	-	-	26×10^4	-	Bani-Melhem and Smith (2012)
Lavabo	6.5×10^5	-	-	$0 - 2.4 \times 10^6$	-	Birks et al. (2004)
Ducha	56 500	6490	2790	-	-	Winward et al. (2008a)
Aguas grises	-	-	-	50 - 120	-	Ramprasad et al. (2017)

Fuente. [20]

Tabla 2 Características físicas de las aguas grises

Origen	Temperatura (°C)	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)	SDT (mg/L)	Conductividad (S/cm)	Referencias
Baño	-	120	-	-	156	Bakare et al. (2017)
Lavandería	-	170	-	-	680	
Cocina	-	252	-	-	320	
Aguas grises	23.51	133	78	291	0.59 (mS/cm)	Bani-Melhem and Smith (2012)
Aguas grises claras	-	441	-	230	-	Matebese and Moutloali (2021)
Cocina	-	139	-	-	992	Dal Ferro et al. (2021)
Aguas grises	-	340.6	-	-	1200	Craddock et al. (2020)
Aguas grises	-	54.9	90.7	-	173	Bakheet et al. (2020)
Aguas grises	20	140	-	-	1115	Le et al. (2008)
Aguas grises claras	20	802(UAF)	920	450	800	Bani-Melhem et al. (2017)
Baño y lavandería	-	162	95	-	-	Fountoulakis et al. (2016)

Fuente. [20]

Tabla 3 Características químicas de las aguas grises de diferentes fuentes

Parámetros	Baño	Lavabo	Cocina	Ropa Sucia	Aguas Grises Claras	Aguas grises Oscuras
Ph	5.94 - 8.40 (35)	6.72 - 9.82 (11)	5.58 - 10.00 (14)	5.00 -10.33 (20)	4.90 - 8.53 (63)	5.00 - 10.33 (34)
DBO (mg/L)	20 – 673 (35)	33 – 305 (12)	185 – 2460 (10)	44 – 3330 (17)	20 - 673 (64)	44 - 3330 (29)
DQO (mg/L)	64 – 903 (38)	47 – 587 (14)	411 – 8071 (9)	58 - 4155 (17)	23 - 1489 (70)	58 - 8071 (23)
Nitrógeno total (mg/L)	2.7 - 148.0 (14)	2.5 - 10.4 (5)	0.5 - 65.0 (5)	2.8 - 31.0 (11)	1.3 - 148.0 (28)	0.5 - 65.0 (16)
Fosforo total (mg/L)	0.1 - 60.0 (17)	0.3 - 2.6 (5)	2.7 - 187.0 (5)	0.2 - 51.6 (13)	0.1 - 60.0 (17)	0.2 - 187.0 (18)

Fuente. [21]
Nota. Los números entre paréntesis indican el número de estudios considerados.

2.1.4 Generación de aguas grises

En la actualidad la implementación de sistemas para el aprovechamiento de aguas residuales es un pensamiento que avanza muy lento. Se estima que cerca del 80 % de las aguas residuales del mundo terminan siendo vertidas al ecosistema sin un tratamiento adecuado[18]. La gestión de aguas residuales es muy variada dependiendo del país en que se estudie. Para ilustrar la realidad del caso se puede mencionar a América del Norte en donde cerca del 75% de sus aguas residuales es tratada. [19]

La diferencia que se muestra entre territorios del primer mundo y tercer mundo en temas de aprovechamiento hídrico, está relacionada con las prácticas culturales que conserva la población, el desarrollo económico que muestra y más que nada de la disponibilidad de agua. En este sentido, se observa que los países que tienen altos ingresos, pero muy pocos recursos hídricos son los que más invierten en tecnologías para la reutilización de sus recursos. [22]

Desde el punto científico de I. N. Shaikh y M. M. Ahammed [21], “Las aguas grises representan cerca del 70% de aguas residuales residenciales combinadas y pueden llegar al 90% si se implementara inodoros de vacío”, lo cierto es que las aguas grises se encuentran menos contaminadas, esto se debe a la ausencia de las descargas de inodoros. Sin embargo, estas aguas no dejan de presentar patógenos y otros contaminantes que pueden generar enfermedades.

2.1.5 Reutilización de aguas grises

El aumento de zonas áridas y semiáridas alrededor del mundo ha generado buscar nuevas fuentes alternativas para satisfacer la demanda hídrica[23]. De esta manera se

busca contribuir a la disminución del estrés hídrico que presentan algunos países en el mundo.

Las aguas grises pueden ser implementadas para fines no potables como: jardinería, limpieza, producción de concreto, desarrollo de humedales, riego, recreativa o vivienda puesto que estos usos no necesitan ser realizados con agua potable. Cabe decir que implementar sistemas de reutilización de aguas residuales ha permitido el ahorro el consumo de agua potable. [24],[25]

Como se muestra en la **Tabla 4** , reducir el consumo de agua potable es posible mediante la reutilización de aguas grises.

Tabla 4 Porcentaje de generación de aguas grises y reducción probable de aguas grises en diferentes países

N °	Fuente Literaria	País	Generación de aguas grises (%)	Probable reducción de consumo mediante el uso de AG
1	Abusam (2008)	Kuwait	85	30
2	Revitt <i>et al.</i> (2011)	Australia	50	29
3	Mourad <i>et al.</i> (2011)	Siria	46	35
4	Kariuki (2011)	Kenia	50- 80	33-54
5	Al-Mashaqbeh <i>et al.</i> (2012)	Jordan	50-80	-
6	Al-Jarallah (2013)	Omán	82	-
7	Abedin and Rakib (2013)	Daca	67	-
8	Abedin and Rakib (2013)	Estambul	75	25
9	Katukiza <i>et al.</i> (2014)	Uganda	85	-
10	Juan <i>et al.</i> (2016)	Brasil	-	29-35
11		Malasia	67	30
12		Corea del sur	-	26.5
13		Los ángeles	13-65	-
14	Redwood <i>et al.</i> (2013)	La Soukra, Túnez	55-80	-

Fuente. [11]

Se debe señalar que el uso más recurrente de las aguas grises tratadas es la descarga de inodoros; implementar aguas grises para esta finalidad puede reducir la demanda de agua en los hogares hasta un 30%. Por otra parte, el uso de aguas grises para el riego de espacios verdes puede generar un ahorro hasta del 50% lo que representa un gran ahorro. [21]

Un proyecto que llega a resaltar en el mundo se encuentra ubicado en Chile, se ha desarrollado con el objeto de contribuir al desarrollo de áreas verdes y jardines en

ciudades áridas mediante la implementación de aguas residuales tratadas de origen doméstico e industrial.[26]

Implementar las aguas grises para el riego agrícola es uno de los usos principales que se le pueden dar a la producción de aguas domésticas. En la isla de San Andrés (Colombia), se aprovecha las aguas producidas a nivel doméstico para su posterior uso en huertas caseras. Este tipo de aguas no presenta agentes contaminantes de alto riesgo, por lo cual su tratamiento no conlleva a elevados costos.[27], [28]

Como se ha indicado previamente el grado de contaminación de las aguas grises depende su origen, con base a este precedente la empresa Grupo IID6 C.A. de Venezuela, desarrollo un prototipo denominado AquaSalvis, el cual es un sistema unifamiliar de reutilización de aguas grises para la descarga de inodoros. Este sistema recibe su carga hidráulica producto de los lavamanos, excluyendo las producidas en el lavabo de cocina; esto se debe a presentar una mayor carga orgánica.[29]

Hoy en día, una iniciativa que se va desarrollando es la implementación de techos verdes y de la misma manera los muros verdes, su puesta en marcha busca integrar espacios verdes en áreas residenciales mitigando el impacto negativo del desarrollo urbano[30]. De acuerdo con A. Mahmoudi *et al.* [20], citado por [23], el crecimiento urbano va en aumento con el pasar del tiempo, se espera en países desarrollados un crecimiento del 83% para el 2030.

2.1.6 Tratamiento de aguas grises

Es importante determinar el uso final que tendrá el agua y a su vez el volumen que se desea tratar, los factores socioeconómicos son aspectos que de igual forma deben ser considerados. De acuerdo con A. Mahmoudi *et al.*, [16] se destacan tres métodos para el tratamiento de aguas grises; entre estos se implementan los métodos físicos, químicos y biológicos.

2.1.6.1 Métodos físicos

Entre los métodos físicos existen alternativas como los filtros de suelo, los filtros de arena y de igual manera las membranas. La eficiencia en el tratamiento de aguas grises mediante la implementación de filtrado depende en gran medida de su tasa de filtración y al espesor que se establece al lecho filtrante.

En la actualidad los lechos filtrantes están compuestos de una gran variedad de estratos que pueden llegar a ser: grava, arena, carbón activo granular, antracita, ilmenita. Estas

nuevas tecnologías han permitido el desarrollo de mejores velocidades de filtración y reducir el tamaño necesario para la construcción de tratamientos de aguas grises y residuales. Alternativas con estos conceptos han sido puestas en marcha en algunas zonas del mundo a escalas pilotos y escala completa. [28],[31]

Esta metodología para el tratamiento de aguas grises requiere un mantenimiento controlado, esto se debe a su rápido taponamiento sobre el material filtrante, por lo cual se requiere remoción de la cantidad de sedimentos presentes. En este proceso de mantenimiento la película biológica presente en el filtro es afectada, de modo que requerirá un lapso de tiempo para su recuperación.

2.1.6.2 Métodos químicos

Con relación a los métodos químicos, los estudios para el tratamiento de aguas grises han sido limitados, siendo el carbón activado la alternativa más implementada.[25] Esto se debe a su gran absorbencia, esto facilita la eliminación de una gran variedad de agentes contaminantes.

De la misma manera debemos mencionar los métodos de coagulación que pueden ser implementados en el tratamiento de aguas grises al igual que aguas residuales. Este proceso permite tener una reducción significativa en las cantidades de SST y de igual forma en la cantidad de materia orgánica. [32]

2.1.6.3 Métodos biológicos

Las alternativas que conforman los métodos biológicos están enfocadas principalmente para el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales, pero, cumplen con las condiciones para el tratamiento biológico de aguas grises. Entre los métodos a considerar existen: los reactores de secuenciación, biorreactores de membrana, manto de lodo anaeróbico, contactor biológico rotatorio y humedales. [33]

2.1.6.4 Directrices de aguas grises

De acuerdo con las normativas de recursos hídricos analizados, el Ecuador no presenta ningún reglamento o estándar de calidad para la producción y reutilización de aguas grises. No obstante, dentro de la reglamentación en la ley de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua solamente se contempla la generación de aguas residuales.

Para el aprovechamiento de aguas grises se considera que su sistema de reutilización debe ser independiente del sistema sanitario, potable y de darse el caso de aguas lluvia, de otro modo estas aguas no pueden ser consideradas de tipo grises. Por lo antes

expuesto es necesario que las tuberías sean preferentemente de PVC y a su vez mantengan un color distintivo.

Por lo general estos sistemas requieren rejillas de protección para evitar el ingreso de material no deseado, igualmente es necesario que los estanques de almacenamiento sean complementados con una salida de purga hacia el alcantarillado. La limpieza de reservorios puede hacerse anualmente o cada seis meses.

Uno de los componentes más importantes a considerar es la calidad y muestreo que puede presentar las aguas grises para su reutilización. El monitoreo del volumen de aguas generado puede ser realizado de manera trimestral o mensual, su frecuencia se relaciona con el volumen diario generado. Con relación a la calidad de aguas grises hemos condensado algunos criterios físicos, químicos y biológicos que pueden ser considerados en la **Tabla 5**.

Tabla 5 Parámetros físicos, químicos y bioquímicos de aguas grises tratadas en diferentes regiones.

Parámetros	UND	*CHL	*ESP	*SUD AFR	*SGP	*CAN	*AUS	*JOR
Ph			7 - 7.5	6.5 – 8.4	6 – 9	6.6 – 8.7		6 - 9
Dbo ₅	Mg/l	10			< 5	90 - 290	< 20	≤ 10
Sst	Mg/l	10		< 50		45 - 330	< 30	≤ 10
Colif. Tot.	Ufc/100 ml				< 10	10 ² - 10 ⁶	10	≤ 1
Colif. F.	Ufc/100 ml	10				Nd		10
Dqo				< 400				≤ 20
E. Coli			0	< 1	Nd		< 3	< 10
Conductividad	Ms/cm					325 - 1140		Nd
Color	Hazen units				< 15			
Turbiedad	Unt	5	2		< 2	22 - 200	< 2	≤ 5
Cloro libre residual	Mg/l	0.5 - 2	0.5 - 2		0.5 - 2.0		0.5 - 2.0	
Nitrato	Mg/l					< 0.1 - 0.8		70
Amoniaco	Mg/l					<1.0 - 25.4		
Sulfato	Mg/l					7.9 - 110		
Dureza (calcio y magnesio)	Mg/l					15 - 55		
Sodio	Mg/l			< 2.0		29 -230		

Fuente. Elaborado por el autor

Nota. *CHL Chile; *ESP España; *SUD AFR Sud Africa ; *SGP Singapur; *CAN Canada; *AUS Australia; *JOR Jordania

Establecer directrices para el aprovechamiento de aguas grises en el país es necesario. La escasez de agua y su acelerado crecimiento poblacional en la provincia de El Oro ha dado origen a generando inconformidad en la población.

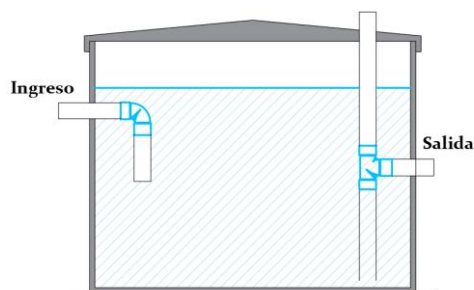
Mediante el aprovechamiento de aguas grises cerca del 80% de esta demanda promedio puede ser aprovechada para la descarga de inodoros, riego de áreas verdes y de igual manera limpieza de veredas.

2.1.7 Diseño del sistema de reutilización de aguas grises

2.1.7.1 Diseño de trampa de Grasa

Se considera trampa de grasa al estanque de flotación donde las grasas, jabones y partículas de menor tamaño suben a la superficie para ser retenidas. La grasa presente en el agua gris se eleva a la parte superior del interceptor de grasas, los sólidos se asientan en el fondo, brindando un agua más clara al afluente.

Ilustración 3 Estructura de trampa de grasa



Fuente. Elaborado por el autor

El diseño de la trampa de grasa debe estar realizado en función del caudal del agua residual a tratar. Dicho de otro modo, su dimensionamiento depende de la cantidad de unidades de gasto que presenta una vivienda. Por otra parte, se puede considerar para la determinación del caudal de diseño la dotación de consumo que presenta la vivienda y estimar un porcentaje de aprovechamiento.

Tabla 6 Parámetros de diseño de trampa de grasa implementado en aguas residuales

Características de diseño de la trampa de grasa	
Periodo de Retención	Desde 2.5 a 3.0 minutos
Relación Largo: ancho	2:1 a 3:2.
Profundidad	No deberá ser menor a 0.80 m
Tubería de ingreso	Se hará con un codo de 90° y Ø 75 mm mínimo (3")
Tubería de Salida	- Mediante una Tee y Ø 75 mm mínimo (3") - Deberá colocarse a no menos de 0.075m ni más de 0.15m del fondo.
Conexión de codo	Prolongarse hasta 0.15 m por debajo del nivel de líquido - El espacio entre el nivel de líquido y la parte inferior de la tapa deberá ser como mínimo de 0.30m.
Recomendaciones	- Ventilación no mayor a 0.05m por debajo del nivel de losa. - Su diseño geométrico puede ser variado y al igual que su composición. - Su limpieza se realizará cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa.

Fuente. [34]

Para el diseño de la trampa de grasa la Organización Panamericana de la salud establece algunos parámetros que se deben considerar. [35] Dentro de sus lineamientos establece que su metodología es aplicada en función de las unidades de gasto que presenta una vivienda al igual que su capacidad mínima de tratamiento. En **Tabla 7** se muestra las unidades de descarga que presenta una vivienda de tipo unifamiliar.

Tabla 7 Unidades gasto en Vivienda unifamiliar

Aparato Sanitario	UND	Unidades de gasto	Total de Unidades
Inodoro	1	4	4
Lavadero	1	2	2
Ducha Privada	1	2	2
Lavatorio	1	1	1
Sumatoria de Unidades (ΣP)			9

Fuente. Elaborado por el autor

Las trampas de grasa deben estar ubicadas de tal forma que garantice la accesibilidad al mantenimiento e inspección regular. Generalmente la limpieza del interceptor de grasas se debe realizar cada vez que se alcance el 75 % de su capacidad de retención.

2.1.7.1.1 Caudal máximo a tratar

De acuerdo con la normativa INEC se puede considerar para pequeñas unidades de hasta 10 L/s un tiempo de retención de 3 minutos, para el caso de unidades de mediano tamaño que generen caudales entre los 10 L/s y 20 L/s el tiempo de retención recomendado se estima de 4 minutos y para caudales superiores de 5 minutos.[36]

$$Q_{if} = V/T \quad (1)$$

Donde:

Q_{if} : Caudal de ingreso al filtro (l/s)

V : Volumen (l)

T : Tiempo (s)

Se indica de la misma forma que la carga superficial recomendado para este modelo de retenedores es de 4 L/(s.m²) y el área se establece en función del caudal máximo horario.

2.1.7.1.2 Caudal máximo en trampa de grasas

Es el caudal más alto que se puede generar debido al uso de los servicios sanitarios en una vivienda o edificación. Para la determinación de máxima demanda simultanea se puede implementar el método de Hunter, el cual establece una relación entre el número total de unidades de gasto, el tipo de aparato sanitario y un caudal probable debido a factores de simultaneidad.

La Organización Panamericana de Salud [35] en su guías de diseño para trampas de grasa de aguas residuales establece implementar la siguiente formulación; esta puede ser usada siempre que el volumen sea superior o igual a 300 L .

$$Q = 0.3 \sqrt{\sum P} \quad (2)$$

En viviendas con pequeñas unidades de desengrasadores se puede considerar un caudal 10 L/s, este valor se establece en [36]; como complemento a esta consideración en [37] establece para pequeñas instalaciones valores una tratamiento de 8 L/ persona con una capacidad mínima de 120L.

En [14] expone que la vivienda rural para la cual se realizó el estudio generaba un caudal medio diario de 0.0011 L/s, dejando en evidencia que el caudal recomendado para diseño por norma es muy elevado. Una alternativa adicional para la determinación del caudal de diseño es implementar la dotación de consumo (L/hab/dia) como valor de referencia para la estimación del caudal de producción de aguas grises.

$$Q = n \times Q_{Dot} \quad (3)$$

Donde:

Q : Caudal medio (l/s)

n : porcentaje de aprovechamiento

Q_{Dot} : Dotación de consumo (L/Hab/dia)

En la ciudad de Machala el consumo mensual en viviendas unifamiliares se encuentra en un promedio de 15 m³ a 20 m³, esto quiere decir que la población genera un promedio de 0.00020 m³/s por vivienda unifamiliar.

2.1.7.1.3 Tiempo de retención

Es el tiempo de permanencia que debe tener el agua gris en el sistema. El tiempo de retención en la unidad se encuentra en función del caudal medio de entrada. Los tiempos recomendados se encuentran en los intervalos de 2.5 a 3.0 minutos.

$$THR = V/Q \quad (4)$$

2.1.7.1.4 Resumen de diseño de trampa de grasa

Tabla 8 Parámetros y dimensiones de trampa de grasa

Diseño de trampa de grasa	
Parámetros	
Dotación de consumo	200 L/Hab/Dia
Aprovechamiento estimado	65 %
Caudal de diseño	0.0075 Lt/s
Tiempo de retención	180 s
Dimensiones	
Material	Recipiente Plástico
Medidas	Largo = 0.42m Ancho = 0.42 m Altura = 0.667 m
Borde libre	0.30 m
Volumen de almacenamiento	52 L
Tubería de ingreso	75 mm
Tubería de salida	75 mm
Conexión	Codo a 90°
<i>Fuente. Elaborado por el autor</i>	

2.1.7.2 Diseño de filtro lento de arena

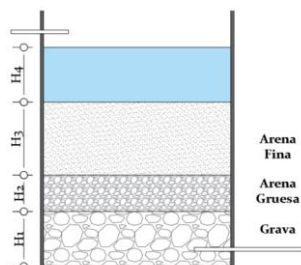
Los procesos de filtración de aguas grises se pueden realizar a través de varias alternativas de filtración. En **Tabla 9** se muestra la clasificación de filtros de acuerdo al número de medios filtrantes.

Tabla 9 Clasificación de filtros los filtros de acuerdo al número de medios filtrantes

Clasificación del filtro	Descripción
Mono – medio o un solo medio	Se trata de una capa de material filtrante, en su mayoría arena, con un espesor de capa de 0,6 a 0,76 metros. Este es el primer tipo de filtro y es más eficiente que otros tipos de filtros.
Mono – medio de cama profunda	Una capa de material filtrante único, generalmente antracita o carbón activado. El espesor de la capa es de 1,5 a 1,8 metros. Se utilizan para altas tasas de filtración cuando la calidad del agua de alimentación es controlable o constante.
Medio dual o dos medios	Son dos capas de medio filtrante. Anteriormente era un diseño hecho con una capa superior de entre 0.45 a 0.6 m de antracita. La capa de inferior tiene un espesor de 0.23 a 0.3 m de arena. Actualmente se implementa antracita entre 1.5 a 1.8 m y en ocasiones se utiliza carbón activado en la parte superior.
Tri – medios o medios mezclados	Son tres medios filtrantes, típicamente antracita en la parte superior, arena en medio y grava en la parte inferior. La antracita tiene un espesor recomendado de 0.45 a 0.6 m, la arena de 0.23 a 0.3 m y la grava de 0.1 a 0.15 metros
<i>Fuente. [38]</i>	

La filtración lenta es un sistema de tratamiento de aguas que permite disminuir la turbiedad siempre y cuando el agua filtrada se encuentre en un rango no mayor a 15 UNT. Este sistema requiere que la presencia de coliformes totales se encuentre por debajo de 500 unidades formadoras de colonia por cada 100cm³.

Ilustración 4 Filtro lento de arena



Fuente. Elaborado por el autor

El espesor y el tipo de medio filtrante que se implementa en un filtro define su eficiencia en la remoción de turbiedad y remoción de sólidos. En la **Tabla 10** se muestra las propiedades típicas que presentan los materiales filtrantes comúnmente implementados.

Tabla 10 Propiedades típicas del medio filtrante

Propiedad	Antracita	Carbón Activo	Grava	Ilmenita	Arena
Tamaño efectivo, mm	0.45-0.55 a 0.8-1.2 b	0.8 – 1.0	0.2 – 0.4	0.2 – 0.4	0.3 – 0.6
Coefficiente de uniformidad	≤ 1.65a ≤1.85b	1.3 – 2.4	1.3 – 1.7	1.3 – 1.7	1.3 – 1.8
Dureza, Moh	2 -3	Muy baja	6.5 -7.5	5 – 6	7
Gravedad Específica	0.50 – 0.60	0.50	0.45 – 58	ND*	0.40 – 0.47
Porosidad	1.5 – 1.75	1.3 – 1.7	3.6 – 4.2	4.2 5.0	2.55 2.65
Esfericidad	0.46 – 0.60	0.75	0.60	ND*	0.7 – 0.8

Fuente. [36]

Nota. *a Cuando es usado solo; *b Cuando es usado en medios duales; * No disponible

Aunque los principios de la filtración lenta se basaban en la implementación de un solo lecho filtrante, comúnmente arena; esta metodología no resultaba ser eficiente totalmente. En la **Tabla 11** se muestra una alternativa de diseño presentada por parte de la Comisión de Nacional de Agua de México para el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 11 Criterios de diseño de filtro lento con tres medios filtrantes

Parámetros	Rango reportado
Arena fina	
Tamaño efectivo	0.06 – 0.2mm
Coefficiente de uniformidad	1.3 – 1.8
Gravedad Específica	2.65

Fuente. [36], [39],[40]

Tabla 12 Criterios de diseño de filtro lento con tres medios filtrantes (continuación)

Parámetros	Rango reportado
Arena fina	
Profundidad del medio	0.4 – 0.5 m
Arena gruesa	
Tamaño efectivo	0.2 – 0.6 mm
Coefficiente de uniformidad	1.3 – 1.8
Gravedad Especifica	2.65
Profundidad del medio	0.15 – 0.3
Grava mediana	
Tamaño efectivo	6 – 20 mm
Coefficiente de uniformidad	1.3 – 1.7
Gravedad Especifica	2.65
Profundidad del medio	0.075 – 0.15 m
Tasa de Filtración	3 – 8 m ³ /m ² . día
Fuente. [36], [39],[40]	

Los filtros lentos se pueden utilizar tanto para la filtración multietapa como para el tratamiento único. Estos filtros tienen un mejor funcionamiento en condiciones de flujo constante, esto quiere decir que deben trabajar 24 horas al día.

Tabla 13 Reducción de los parámetros de calidad del agua en filtros lentos de arena

Reducción de los parámetros de calidad del agua en filtros lentos de arena	
Turbiedad	< 1 UNT
Entero bacterias	90 – 99.9%
Entero virus y quiste de Guardia	90 – 99.9%
Color real	25 – 30%
COT	< 15 – 25%
COA	< 50%
Precursores de THM	< 25%
Hierro y Manganeseo	30 – 90%
Fuente. [34]	

2.1.7.2.1 Cálculo del caudal medio

$$Q_m = C \times Hab \quad (5)$$

Donde:

Q_m : Caudal medio ($l/día$)

C : Consumo por habitante ($l/(hab \times dia)$)

Hab : Habitante

2.1.7.2.2 Área de filtración

$$Af = Qm/Tf \quad (6)$$

Donde:

Af : Área de filtración (m²)

Qm : Caudal medio (m³/día)

Tf : Tasa de filtración (m³/(m² día))

2.1.7.2.3 Cálculo del área del tanque

$$At = \pi \cdot D^2 / 4 \quad (7)$$

Donde:

At : Área del tanque el cual contiene el medio granular (m²)

D : Diámetro del tanque (m)

Por lo tanto **Af = At**

Diseño de la red de drenaje

2.1.7.2.4 Cálculo de área de orificios

$$Ao = \pi \cdot D^2 / 4 \quad (8)$$

Donde:

Ao : Área de orificios (m²)

D : Diámetro del tanque (m)

2.1.7.2.5 Caudal que ingresa por orificios

$$Qo = Ao \times Vo \times 86400 \quad (9)$$

Donde:

Qo : Caudal que ingresa en orificios (m³/día)

Ao : Área de orificios (m²)

D : Diámetro del tanque (m)

2.1.7.2.6 Numero de drenes laterales

Determinar el número de drenes está relacionado con la separación entre drenes, dicha separación puede ser desde 1/16 de su longitud o un máximo de 2m. Adicional a los drenes deben estar separados 1/32 a 1m como máximo de la pared.

2.1.7.2.7 Numero de orificios por lateral

La cantidad de perforaciones se encuentra relacionado con la separación de orificios que puede estar entre 0.10m a 0.30m.

2.1.7.2.8 Resumen de diseño de filtro lento

Tabla 14 Diseño de filtro lento con tres medios filtrante

Diseño de filtro lento	
Parámetros	
Dotación de consumo	200 L/Hab/Dia
Caudal medio	650 L/dia
Área de filtración	0.1 m ²
Tiempo de filtración	7.0 m ³ /(m ² . día)
Dimensiones	
Material	Concreto
Medidas	Largo = 0.80 m Ancho =0.80 m Altura = 1.10 m
Lecho filtrante	Arena fina = 0.20 m Arena Gruesa = 0.10 m Grava = 0.15 m
Tubería para el afluente	75 mm
Tubería de salida	75 mm
Número de drenes	6
Separación de laterales	10 cm
Separación de orificios	10 cm

Fuente. Elaborado por el autor

2.1.7.2.9 Depósito de almacenamiento

Tabla 15 Dimensiones de depósito de almacenamiento de aguas grises tratadas

Dimensiones del depósito de almacenamiento	
Parámetros	
Dotación de consumo	200 L/Hab/Dia
Caudal medio	650 L/dia
Dimensiones	
Bordo libre	0.75 m
Ancho	0.8 m
Largo	1.4 m
Alto	1.35 m
Volumen de almacenamiento 1	672 L
Volumen de almacenamiento 2	500 L

Fuente. Elaborado por el autor

Debido a que el depósito de agua gris tratada presenta una cota de - 1.35m es necesario la implementación de un sistema de bombeo para aumentar la altura manométrica hasta 3.8 m en donde se localiza un depósito de almacenamiento secundario. Por lo tanto, se estableció la implementación de una bomba PKm 60 de 0.5 Hp la cual brinda un caudal de 40 L/s para esta necesidad.

3. CONCLUSIONES

- El estudio realizado ha demostrado que los beneficios directos de la reutilización de aguas grises conducen a la reducción de un 65% en su consumo de agua potable aproximadamente y, a su vez, brindan a los propietarios los recursos que necesitan para ser aplicados en actividades de riego de áreas verdes y limpieza de aceras.
- Se logró identificar que una alternativa razonable para el uso de aguas grises en una vivienda unifamiliar es implementar un filtro lento de arena, que a su vez funcione con un separador de grasas. La implementación de un FLA es debido a su facilidad de mantenimiento y requerir de menor área de filtración en comparación de los filtros intermitentes.
- Para concluir se diseñó un sistema de tratamiento de aguas grises compuesto por un colector de grasas, filtro lento de arena y depósito de almacenamiento. Se determinó que se requiere un modelo de interceptor de grasa con capacidad para albergar 1.35 L. Las dimensiones propuestas fueron 0.42 m x 0.42 m x 0.66 y están establecidas bajo tres consideraciones las cuales son: disponibilidad de un recipiente plástico de bajo costo, el requerimiento mínimo de un bordo libre que corresponde a 0.30 m y el tercer parámetro se relacionó con la cota clave de -0.25 m. Para el diseño de filtro lento debido a su caudal de diseño bajo presento un área de filtración de 0.1 m²; por lo tanto, se planteó la implementación de un FLA de 0.80 x 0.80 x 1.10 el cual permite la instalación de la altura de 70 cm de lecho filtrante y a su vez facilita el proceso constructivo. Adicional a este diseño se planteó la implementación de 2 reservorios para las aguas grises y un sistema de bombeo. La capacidad de para los depósitos de agua se estableció en 500Lt y el otro de 650 Lt. Se establecen de esta manera debido a que el agua gris tratada no puede ser almacenada por periodos mayores a 48 horas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Aguilar Benítez y G. Monforte, «Servicios públicos del agua, valor público y sostenibilidad. El caso del área metropolitana de Monterrey», *Gestión y política pública*, vol. 27, n.º 1, pp. 149-179, 2018, Accedido: 24 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: shorturl.at/dsu23
- [2] A. Koberwein, «TEMPORALIDADES E INCERTIDUMBRE EN EL CONTEXTO DE UNA CRISIS HÍDRICA EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA», *Astrolabio*, n.º 23, pp. 266-293, jul. 2019, doi: 10.55441/1668.7515.N23.20694.
- [3] R. M. J.L. García-Morales, J. Moreno, «De residuo a recurso: Residuos agrícolas», p. 257, 2014.
- [4] A. S. Disha, M. A. Y. Al Harun, S. Akter, S. M. Billah, y M. A. Al Noman, «Reusing greywater for cultivation of *Capsicum frutescens* and *Calendula officinalis*», *J. Environ. Manage.*, vol. 272, n.º July, p. 111088, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111088.
- [5] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile, 2017. [En línea]. Disponible en: shorturl.at/GMTW6
- [6] K. A. D. Campos, «Water crisis in the North of Chile. Law and culture in the andes. On the irrational effects of law», *Dialogo Andin.*, vol. 61, n.º 61, pp. 67-79, mar. 2020, doi: 10.4067/S0719-26812020000100067.
- [7] P. V. Edwin, «The La Yarada coastal aquifer, after 100 years of exploitation as a sustenance for agriculture in arid zones: A historical review», *Idesia*, vol. 37, n.º 3, pp. 39-45, sep. 2019, doi: 10.4067/S0718-34292019000300039.
- [8] C. De Oliveira Buriti, H. A. Barbosa, F. J. Paredes Trejo, T. V. L. Kumar, M. K. Thakur, y K. K. Rao, «Un Siglo de Sequías: ¿Por qué las Políticas de Agua no Desarrollaron la Región Semiárida Brasileña?», *Rev. Bras. Meteorol.*, vol. 35, n.º 4, pp. 683-688, nov. 2020, doi: 10.1590/0102-77863540073.
- [9] N. González López *et al.*, «Caracterización de sequías hidrológicas en el río Cauca en su valle alto», *Tecnol. y ciencias del agua*, vol. 11, n.º 1, pp. 235-265, 2020, doi: 10.24850/J-TYCA-2020-01-06.
- [10] ONU, «Objetivo 6. Agua Limpia Y Saneamiento: Por Que Es Importante»,

- Sustain. Dev. goals*, pp. 1-2, 2015, [En línea]. Disponible en: shorturl.at/cdry4
- [11] CEPAL, «Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe», *Publicación las Nac. Unidas*, p. 43, 2018, [En línea]. Disponible en: shorturl.at/hmvX4
- [12] UNESCO, *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*. 2019. Accedido: 25 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: shorturl.at/GR168
- [13] D. R. Samayamanthula, C. Sabarathinam, y H. Bhandary, «Treatment and effective utilization of greywater», *Appl. Water Sci.*, vol. 9, n.º 4, pp. 1-12, 2019, doi: 10.1007/s13201-019-0966-0.
- [14] E. del P. Caiza Lema y M. L. Pujota Fajardo, «Sistema de reutilización de aguas grises en un entorno doméstico rural para la recuperación de nutrientes en el cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Periodo 2021 - 2022», Universidad Técnica de Cotopaxi, 2022.
- [15] R. D. Rocha Cadena, «Aprovechamiento de las aguas residuales domésticas grises mediante un sistema de tratamiento para su utilización como agua de riego de una unidad productiva agrícola en la ciudad de Ibarra.», Universidad Internacional SEK, 2015.
- [16] A. Ding, H. Liang, G. Li, I. Szivak, J. Traber, y W. Pronk, «A low energy gravity-driven membrane bioreactor system for grey water treatment: Permeability and removal performance of organics», *J. Memb. Sci.*, vol. 542, pp. 408-417, 2017, doi: 10.1016/j.memsci.2017.08.037.
- [17] Ministerio de Obras Públicas, *Regula La Recolección, Reutilización Y Disposición De Aguas Grises*. Chile, 2018, pp. 121-127. [En línea]. Disponible en: shorturl.at/dLUX5
- [18] K. Bani-Melhem, Z. Al-Qodah, M. Al-Shannag, A. Qasaimeh, M. Rasool Qtaishat, y M. Alkasrawi, «On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system», *J. Memb. Sci.*, vol. 476, pp. 40-49, 2015, doi: 10.1016/j.memsci.2014.11.010.
- [19] M. A. Díaz, A. Decinti, D. Blanco, y K. Vasquez, «Methodology for the reuse of grey water in dwelling located in areas of water stress and extreme hydric stress

- Characterization, quality and treatment options for reuse in Chile.», *Inf. la Constr.*, vol. 73, n.º 563, pp. 1-12, sep. 2021, doi: 10.3989/ic.80823.
- [20] A. Mahmoudi, S. A. Mousavi, y P. Darvishi, «Greywater as a sustainable source for development of green roofs: Characteristics, treatment technologies, reuse, case studies and future developments», *J. Environ. Manage.*, vol. 295, n.º June, p. 112991, 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112991.
- [21] I. N. Shaikh y M. M. Ahammed, «Quantity and quality characteristics of greywater: A review», *J. Environ. Manage.*, vol. 261, n.º July 2019, p. 110266, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110266.
- [22] E. R. Oviedo-Ocaña, I. Dominguez, S. Ward, M. L. Rivera-Sanchez, y J. M. Zaraza-Peña, «Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households», *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 25, n.º 20, pp. 19200-19216, 2018, doi: 10.1007/s11356-017-8710-5.
- [23] B. Mohanty y Z. Patel, «Use of Natural Materials for Low Cost and Effective Technology for Greywater Treatment».
- [24] P. Humeau *et al.*, «Estimated costs of implementation of membrane processes for on-site greywater recycling», *Water Sci. Technol.*, vol. 63, n.º 12, pp. 2949-2956, jun. 2011, doi: 10.2166/WST.2011.617.
- [25] C. C. Nnaji, C. N. Mama, A. Ekwueme, y T. Utsev, «Feasibility of a Filtration-Adsorption Grey Water Treatment System for Developing Countries Citation», *Hydrol Curr. Res*, p. 1, 2013, doi: 10.4172/2157-7587.S1-006.
- [26] Fundación Chile, «Aguas residuales como nueva fuente de agua». Accedido: 30 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: shorturl.at/deJZ9
- [27] S. Palmer Cantillo y W. Corpus, «Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera en San Andrés Islas, Colombia», *LOGINN Investig. Científica y Tecnológica*, vol. 2, n.º 1, pp. 15-24, 2018, doi: 10.23850/25907441.1662.
- [28] M. Ö. Güner, «Tratamiento y reuso de aguas grises mediante un filtro lento de arena», *Rev. Tec.*, vol. Vol. 28, 2018, [En línea]. Disponible en: shorturl.at/aGPY5
- [29] F. G. Becker *et al.*, «Evaluación de sistemas de reutilización de aguas grises. Caso de estudio AquaSalvis», *Rev. TEKHNE*, vol. 25, n.º 1, pp. 31-59, 2021, [En

línea]. Disponible en: shorturl.at/LRU89

- [30] E. Oberndorfer *et al.*, «Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services», *Bioscience*, vol. 57, n.º 10, pp. 823-833, nov. 2007, doi: 10.1641/B571005.
- [31] S. Pérez y L. Belén, «Tratamiento de aguas grises mediante un sistema híbrido con membranas.», 2010, Accedido: 30 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/570513>
- [32] A. García *et al.*, «Coagulación, floculación y sedimentación para la clarificación de aguas residuales», en *Innovación en biotecnología II*, Primera., A. C. Red Iberoamericana de Academias de Investigación, Ed. Ciudad de Mexico, 2020, pp. 80-244. Accedido: 30 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: shorturl.at/jovDV
- [33] C. M. Y. POLANÍA, «Tratamiento de aguas grises de lavandería por medio de un reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos (uasb) híbrido», Universidad militar de Nueva Granada, 2018. Accedido: 30 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: shorturl.at/ghl09
- [34] Ministerio de vivienda Ciudad y territorio, «Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y», en *Título C Sistema de potabilización*, Bogotá, 2010, pp. 222-336.
- [35] Organización Panamericana de la salud y CEPIS, «Especificaciones Técnicas para el Diseño de Trampa de Grasa», *Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural*. pp. 8-11, 2003.
- [36] I. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, «Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes», *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. pp. 25-26, 2003.
- [37] Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, *Reglamento Nacional De Edificaciones*. Lima: Dirección Nacional de Saneamiento, 2006. [En línea]. Disponible en: shorturl.at/mswxy
- [38] Comisión Nacional del Agua Mexico, *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*, n.º 978-968-5. Mexico. D.F., 2007. [En línea]. Disponible en: www.conagua.gob.mx

- [39] D. Mackenzie L., *Granular Filtration*, Second. New York: McGraw Hill, 2020.
- [40] Organización Panamericana de la salud, «Guia para el diseño de sistemas de tratamiento de filtración en multiples etapas». Lima, pp. 18-23, 2005.

ANEXOS

Anexo A. Diseño de trampa de grasa

Para el pre dimensionamiento de la trampa para grasa se consideró las unidades de gasto que presenta tienen los aparatos sanitarios que tiene la vivienda. **Tabla 7** El diseño desarrollado se basa en la unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural

- Caudal de diseño en trampa de grasas

$$\text{Dotacion de consumo} = 200 \text{ L/Hab/Dia}$$

Se estima aprovechar el 65 % de aguas grises para descarga de inodoros, riego y limpieza de jardines

$$Q = 0.65 \times (200 \text{ L/Hab/Dia}) \times (5\text{Hab}) \times \frac{1 \text{ día}}{86400}$$

$$Q = 0.0075 \text{ Lt/s}$$

- Tiempo de retención

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

$$V = Q \times THR$$

$$V = (0.0075 \text{ L/seg})(180 \text{ seg}) = 1.35 \text{ L}$$

- Dimensionamiento de trampa de grasa

De acuerdo con recomendaciones de diseño, las trampas de grasa deben cumplir con una profundidad no menor a 0.80 m y el espacio entre el nivel de líquido y la parte inferior de la tapa deberá ser como mínimo de 0.30m. [35]

Alternativa 1

Debido a su producción de aguas grises tan bajo se puede plantear el dimensionamiento mínimo proporcionado por la CEPIS.

Tabla 16 Alternativa de diseño 1

Largo	Ancho	Profundidad
0.80 m	0.50 m	1.10 m

Fuente. Elaborado por el autor

Alternativa 2

Siendo el volumen de aguas grises tan bajos y su vez estar compuestas producto de duchas y lavamanos se plantea la implementación de recipientes plásticos. Su alta calidad y su gran variedad en volumen de almacenamiento los hace ideal.

Ilustración 5 Recipiente plástico para trampa de grasa.



Fuente. Recipiente plástico referencial de Reyplast.

Tabla 17 Alternativa de diseño 2

Largo	Ancho	Alto	Capacidad
42 cm	42 cm	66.7	75 L

Fuente. Dimensiones comerciales de Reyplast

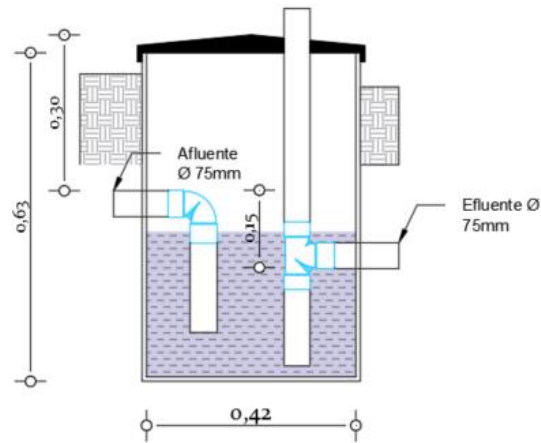
- Resumen de diseño de trampa de grasa

Tabla 18 Resumen de diseño

Diseño de trampa de grasa	
Parámetros	
Dotación de consumo	200 L/Hab/Dia
Aprovechamiento estimado	65 %
Caudal de diseño	0.0075 L/s
Tiempo de retención	180 s
Dimensiones	
Material	Recipiente Plástico
Medidas	Largo = 0.42m Ancho = 0.42 m Altura = 0.667 m
Borde libre	0.30 m
Volumen de almacenamiento	52 L
Tubería de ingreso	75 mm
Tubería de salida	75 mm
Conexión	Codo a 90°

Fuente. Elaborado por el autor

Ilustración 6 Detalles de Trampa de grasa



Trampa de Grasa

Fuente. Elaborado por el autor

Anexo B. Unidades de gasto para el diseño de trampa de grasa

Tabla 19 Unidades de Gasto (Aparatos de uso público)

Aparato sanitario	Tipo	Unidades de Gasto		
		Total	Agua fría	Agua caliente
Inodoro	Con tanque - descarga reducida	1.5	1.5	-
Inodoro	Con tanque	3	3	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática	6	6	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	3	3	-
Bidé	Corriente	1	0.75	0.75
Lavatorio	Múltiple	1	0.75	0.75
Lavadero	-	3	2	2
Ducha	-	2	1.5	1.5
Tina	-	2	1.5	1.5
Urinario	Con tanque	3	3	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática	5	5	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	2.5	2.5	-
Urinario	Múltiple (por ml)	3	3	-

Fuente. [37]

Tabla 20 Unidades de gasto (Aparatos de uso privado)

Aparato sanitario	Tipo	Unidades de Gasto		
		Total	Agua fría	Agua caliente
Inodoro	Con tanque - descarga reducida	2.5	2.5	-
Inodoro	Con tanque	5	5	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática	8	8	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	4	4	-
Lavatorio	Corriente	2	1.5	1.5
Lavatorio	Múltiple	2 (*)	1.5	1.5
Lavatorio	Hotel restaurante	4	3	3
Lavadero	-	3	2	2
Ducha	-	4	3	3
Tina	-	6	3	3
Urinario	Con tanque	3	3	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática	5	5	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	2.5	2.5	-
Urinario	Múltiple (por ml)	3	3	-
Bebedero	Simple	1	1	-
Bebedero	Múltiple	1 (*)	1 (*)	-

Fuente. [37]

Anexo C. Diseño de filtro lento de arena

- Dimensionamiento de filtro lento

$$Qm = C \times Hab$$

$$Qm = (200 \text{ L/Hab/Dia})(5 \text{ Hab})(0.65)$$

$$Qm = 650 \text{ L/dia}$$

- Área de infiltración

$$Af = \frac{Qm}{Tf}$$

$$Af = \frac{0.65 \text{ m}^3/\text{día}}{7.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})} = 0.1 \text{ m}^2$$

- Determinación de reservorio requerido

Debido a su área de filtración reducida se puede construir el filtro lento mediante hormigón o reservorios plásticos, para este diseño se ha planteado un dimensionamiento en base a concreto esto se debe a los criterios de altura sobrenadante del lecho y espesores de estratos.

Tabla 21 Dimensiones de filtro lento de arena

Largo	Ancho	Alto
0.80 m	0.80 m	1.10 m

Fuente. Elaborado por el autor

- Diseño de la red de drenaje

Los diámetros de orificios recomendados deben ser entre 2 – 4mm, separados entre sí de 0.10 a 0.30 m.

$$A_o = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi \cdot (4mm)^2}{4} = 1.25 \times 10^{-5} m^2$$

- Caudal que ingresa por orificios

La velocidad máxima permisible en los drenes es 0.5 m/s

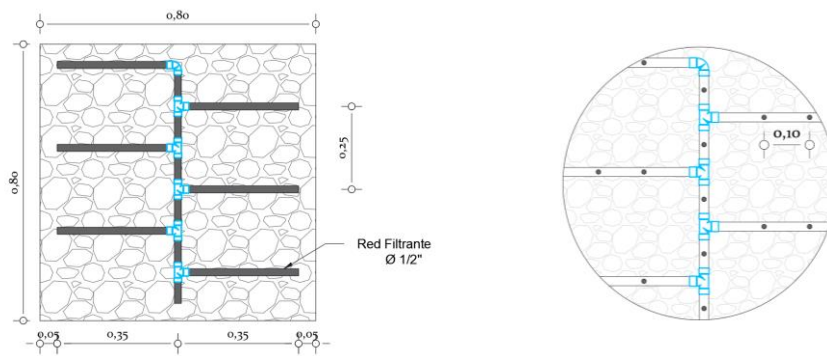
$$Q_o = A_o \times V_o \times 86400$$

$$Q_o = (1.25 \times 10^{-5} m^2) \times (0.2 m/s) \times 86400 = 0.22 m^3 / dia$$

- Numero de drenes laterales

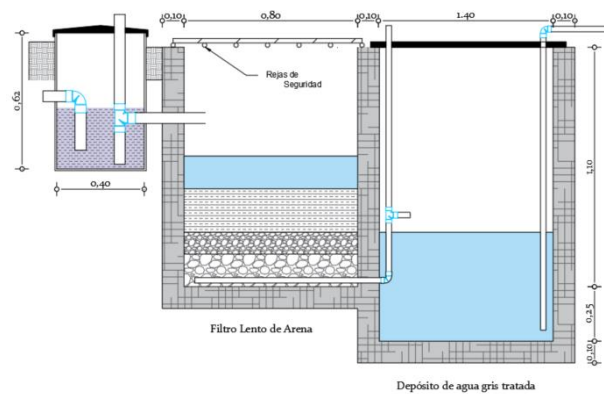
Se tomo una separación de 10 cm entre laterales, con la finalidad de ocupar la mayor área posible. De esta manera se determinó 3 perforaciones por cada dren de filtración.

Ilustración 7 Sistema de drenaje en filtro lento



Fuente. Elaborado por el autor

Ilustración 8 Detalles de filtro lento de arena y reservorio de almacenamiento



Fuente. Elaborado por el autor

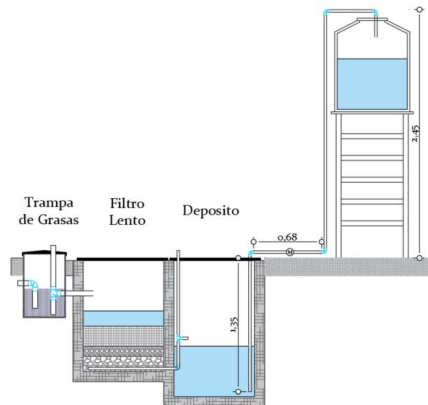
• Resumen de diseño de filtro lento de arena

Diseño de filtro lento	
Parámetros	
Dotación de consumo	200 L/Hab/Dia
Caudal medio	650 L/dia
Área de filtración	0.1 m ²
Tiempo de filtración	7.0 m ³ /(m ² . día)
Dimensiones	
Material	Concreto
Medidas	Largo = 0.80 m Ancho = 0.80 m Altura = 1.10 m
Lecho filtrante	Arena fina = 0.20 m Arena Gruesa = 0.10 m Grava = 0.15 m
Tubería para el afluente	75 mm
Tubería de salida	75 mm
Número de drenes	6
Separación de laterales	10 cm
Separación de orificios	10 cm

Fuente. Elaborado por el autor

Anexo D. Esquema de sistema de aguas grises

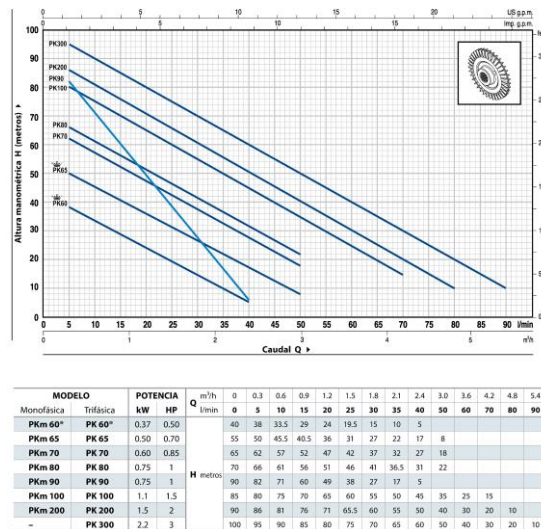
Ilustración 9 Sistema de tratamiento de aguas grises para vivienda unifamiliar



Fuente. Elaborado por el autor

- Selección de mecanismo de bombeo

Ilustración 10 Curva y datos de prestaciones de bombeo



Fuente. Elaborado por el autor

Sabiendo que el sistema propuesto alcanza una altura manométrica de 3.80m se implementa las curvas de eficiencia de bombas. En la marca Pedrola encontramos una bomba que cumple con el requerimiento.

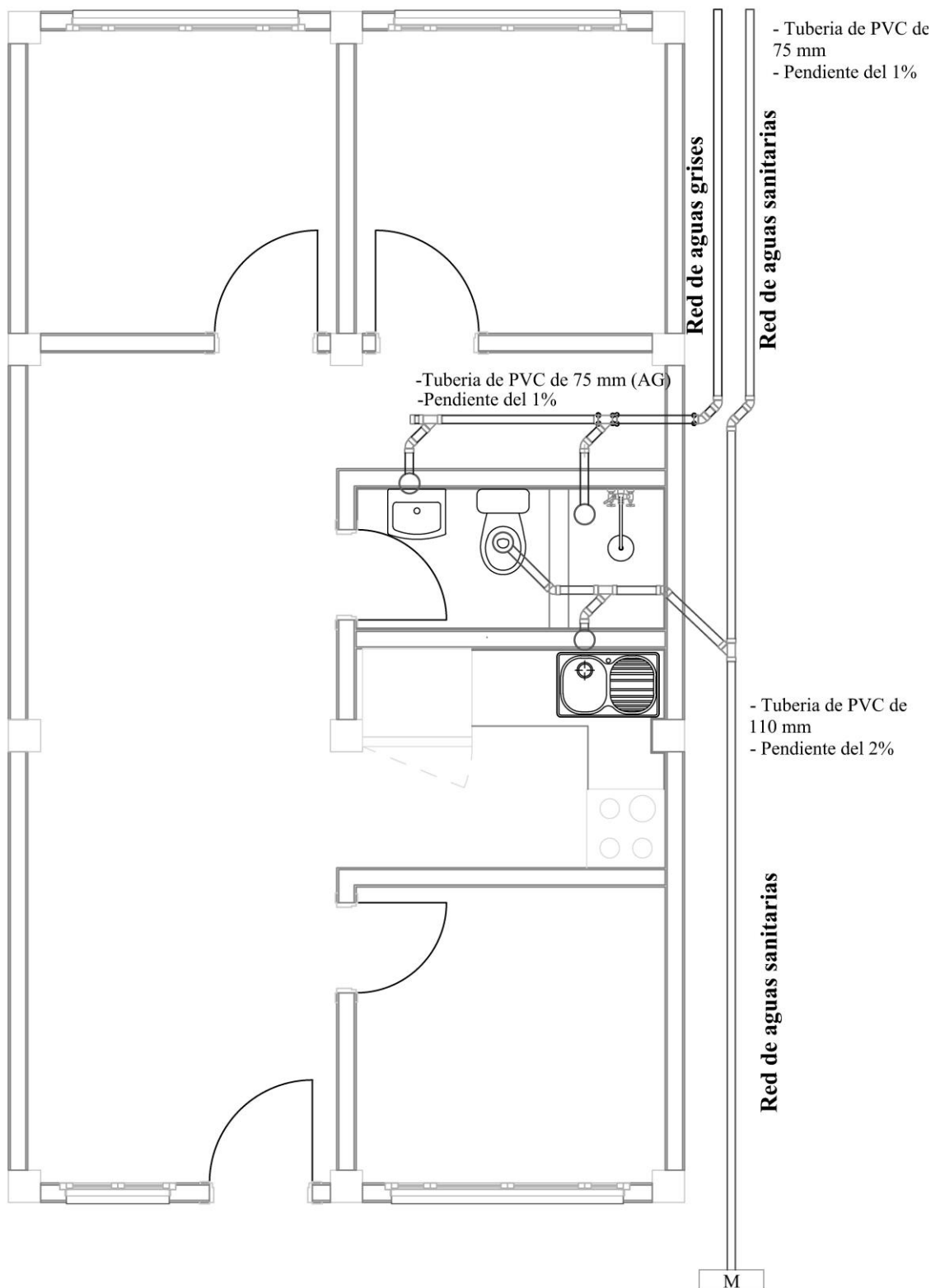
Tabla 22 Características de equipo de bombeo

Modelo	Potencia	L/ min	30	35	40
PKm 60	0.50 HP – 0.37 kW	H metros	15	10	5

Fuente. Elaborado por el autor

Anexo E. Propuesta de sistema de aguas grises y sanitario en vivienda unifamiliar

Ilustración 11 Propuesta de sistema de aguas grises para vivienda



Fuente. Elaborado por el autor