



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS PARA EL DESALOJO DE AGUAS
RESIDUALES Y DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES PARA EL
PROYECTO DE VIVIENDA INDUSTRIALIZADA SUSTENTABLE, VIS
CASA UNAM**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN INGENIERIA SANITARIA

PRESENTA:

ING. MARCOS SIMÓN CRUZ

DIRECTOR DE TESINA: **M.I. CRISTIAN EMMANUEL GONZÁLEZ REYES**

CIUDAD DE MÉXICO

MARZO 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Programa Único de Especialización en Ingeniería por la formación académica y personal que me han brindado.

Al proyecto 255273 “CASA, Prototipo de Vivienda Sustentable” por la oportunidad que me brindaron al participar en este proyecto y poder aplicar mis conocimientos.

Diseño de los sistemas para el desalojo de aguas residuales y de tratamiento de aguas grises para el proyecto de Vivienda Industrializada Sustentable, VIS CASA UNAM.

Índice

1.	Introducción.....	7
1.1.	Objetivo.....	8
1.2.	Objetivos Particulares.....	8
1.3.	Justificación.....	8
1.4.	Alcances.....	9
2.	Concepto VIS CASA UNAM (Vivienda Industrializada Sustentable).....	10
2.1.	Problemática.....	11
2.2.	Diseño conceptual.....	13
2.2.1.	Mercado.....	13
2.2.2.	Requerimientos.....	14
2.2.3.	Movilidad.....	16
2.2.4.	Dimensionamiento.....	18
2.3.	Configuración Final.....	20
3.	Marco teórico.....	23
3.1.	Sistema Sanitario.....	23
3.1.1.	Cálculo de diámetros.....	24
3.2.	Sistema de ventilación.....	26
3.3.	Tipos de aguas residuales.....	28
3.3.1.	Aguas grises.....	28
3.3.1.1.	Características físicas de las aguas residuales gris.....	30
3.3.1.2.	Características químicas de las aguas residuales grises.....	30
3.3.1.3.	Características microbiológicas de las aguas residuales grises.....	32
3.3.2.	Aguas negras.....	32
3.4.	Humedales artificiales.....	33

3.5.	Tipos de humedales artificiales	34
3.6.	Componentes de un humedal artificial o biofiltro	36
3.6.1.	Sustrato poroso	36
3.6.2.	Vegetación.....	36
3.6.3.	Biopelícula (microorganismos)	37
4.	Metodología.....	37
4.1.	Alternativas para el desalojo de las aguas residuales producidas dentro de la vivienda. 37	
4.2.	Selección de la solución óptima	39
4.3.	Establecimiento de las rutas de evacuación de aguas grises y aguas negras.	40
4.3.1.	Muebles sanitarios que generan aguas negras	41
4.3.2.	Muebles sanitarios que generan aguas grises.....	42
4.4.	Cálculo de diámetros de tuberías para aguas negras y aguas grises.....	43
4.4.1.	Aguas negras.....	43
4.4.2.	Aguas grises	45
4.5.	Análisis de la demanda de agua.	48
4.6.	Características de calidad de las aguas grises	51
4.7.	Elección del sustrato.....	54
4.8.	Dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas grises.	54
4.9.	Tanque de regulación y tanque de almacenamiento.	58
4.10.	Elección de la vegetación.	60
4.11.	Material de fabricación	60
4.12.	Mantenimiento del sistema	61
5.	Conclusiones	62
6.	Bibliografía.....	64
7.	Anexos	66
7.1.	Análisis FODA de las alternativas propuestas.	66
7.2.	Temperaturas en la CDMX	70
7.3.	Planos desalojo aguas negras.....	71
7.4.	Planos desalojo aguas grises	72
7.5.	Humedal Artificial.....	73

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Características de las áreas: pública, privada y de trabajo, en VIS CASA.</i>	14
<i>Tabla 2. Mobiliario y equipamiento necesario para el Habita- Mueble.</i>	15
<i>Tabla 3. Dimensiones máximas de la envolvente del Habita-Mueble</i>	18
<i>Tabla 4. Clasificación de instalaciones sanitarias.</i>	24
<i>Tabla 5. Unidades de descarga para algunos muebles sanitarios.</i>	25
<i>Tabla 6. Número máximo de unidades de descarga para ramales y bajadas.</i>	26
<i>Tabla 7. Tipos de ventilación</i>	27
<i>Tabla 8. Características de las aguas residuales grises según su origen.</i>	29
<i>Tabla 9. Alternativas de solución para el desalojo de las aguas residuales de VIS CASA UNAM.</i>	38
<i>Tabla 10. Calidad del agua de entrada y de salida según mueble sanitario.</i>	40
<i>Tabla 11. Evacuación de las aguas negras.</i>	44
<i>Tabla 12. Evacuación de las aguas grises.</i>	47
<i>Tabla 13. Producción de agua gris en algunos países.</i>	52
<i>Tabla 14 Características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas grises.</i>	52
<i>Tabla 15. Valores bajos, medios y altos de DBO, SST, PT y NT de las aguas grises en función de la producción de aguas grises.</i>	53

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Sistema para el transporte del Habita-Mueble.</i>	17
<i>Figura 2. Sistema de rodamiento y arrastre.</i>	17
<i>Figura 3. Volumen máximo del Habita-Mueble</i>	18
<i>Figura 4. Generación del segundo nivel a través de espacios compartidos</i>	19
<i>Figura 5. Vista planta inferior del Habita- Mueble. (Cocina)</i>	21
<i>Figura 6. Vista planta inferior del Habita- Mueble. (Comedor)</i>	21
<i>Figura 7. Vista planta inferior del Habita- Mueble. (Sala)</i>	21
<i>Figura 8. Vista planta superior del Habita- Mueble. (Área de Trabajo)</i>	22
<i>Figura 9. Vista planta superior del Habita- Mueble. (Baño completo)</i>	22
<i>Figura 10. Vista planta superior del Habita- Mueble. (Dormitorio)</i>	23
<i>Figura 11. Trampa hidráulica</i>	27
<i>Figura 12. Clasificación de los humedales artificiales.</i>	35
<i>Figura 13. Diferencias entre humedales de flujo superficial y subsuperficial.</i>	35
<i>Figura 14 Planta, planta baja. Muebles que generan aguas negras.</i>	41
<i>Figura 15. Planta, primer nivel. Muebles que generan aguas negras.</i>	41

<i>Figura 16. Planta, planta baja. Muebles que generan aguas grises.</i>	42
<i>Figura 17. Planta, primer nivel. Muebles que generan aguas grises.</i>	42
<i>Figura 18. Planta baja. Diagrama de evacuación de aguas negras.</i>	43
<i>Figura 19. Planta, primer nivel. Diagrama de evacuación de aguas negras.</i>	44
<i>Figura 20. Isométrico. Sistema de evacuación de aguas negras</i>	45
<i>Figura 21. Planta baja. Diagrama de la evacuación de las aguas grises.</i>	46
<i>Figura 22. Planta segundo nivel. Diagrama de evacuación de las aguas grises.</i>	46
<i>Figura 23. Isométrico. Sistema de evacuación de aguas grises.</i>	47
<i>Figura 24 Consumo de agua domestica según la OMS.</i>	48
<i>Figura 25 Consumo de aguas domésticas, según Aguas de Mérida, Venezuela.</i>	49
<i>Figura 26 Consumo de agua doméstico en Barcelona España, según la Universidad Autónoma de Barcelona.</i>	50
<i>Figura 27. Circulación del agua dentro de VIS CASA UNAM.</i>	51
<i>Figura 28. Cortes del humedal artificial propuesto.</i>	57
<i>Figura 29 Sistema de tuberías del humedal artificial.</i>	58
<i>Figura 30. Sistema de tratamiento propuesto.</i>	59

1. Introducción

El proyecto Vivienda Industrializada Sustentable, VIS CASA UNAM, tiene como propósito ser una opción para subsanar los problemas de vivienda presentes en zonas urbanas, haciendo énfasis en las condiciones particulares de la CDMX. La casa o Habita-Mueble, como inicialmente se conoció al prototipo de VIS CASA UNAM responde a las necesidades de servicios básicos que toda vivienda requiere con la calidad que los procesos industrializados brindan tomando en cuenta la sustentabilidad en todos sus procesos.

En el presente trabajo se presentan los resultados de diseño de los sistemas de desalojo de aguas residuales que se generan en una vivienda, evaluando las distintas alternativas de evacuación y seleccionando la que mejor responda a las condiciones externas e internas de la morada. Con base en este análisis, se definieron las trayectorias de las aguas residuales que permiten un desalojo eficiente, seguro y confortable. Además, las trayectorias deben adaptarse a las limitantes espaciales y arquitectónicas inherentes del proyecto.

Se propuso y se diseñó como una alternativa para el tratamiento de las aguas grises un humedal artificial o biofiltro, tecnología de bajo costo y fácil operación que ha demostrado ser eficiente en el tratamiento de aguas con baja carga orgánica. Se diseñó con base en la disminución de DBO tomando como parámetros el gasto, la calidad deseada y la reutilización que se le pretende dar. Esta propuesta no está integrada dentro del espacio del Habita-Mueble sino funge como un módulo alternativo adaptable y flexible que podrá ser adquirido e instalado si las condiciones lo permiten y el usuario así lo desea. El diseño pretende seguir la misma línea de industrialización, por lo que el prototipo se ajustará en materiales y en procesos manufactureros.

1.1. Objetivo

Diseñar los sistemas para el desalojo de aguas residuales y de tratamiento de aguas grises para el proyecto de Vivienda Industrializada Sustentable, VIS CASA UNAM.

1.2. Objetivos Particulares

- Evaluar las alternativas de sistemas y materiales para el desalojo de aguas.
- Diseñar el sistema de evacuación de aguas negras.
- Diseñar el sistema de evacuación de las aguas grises.
- Diseñar el sistema para el tratamiento de las aguas grises, mediante la aplicación de un humedal artificial de flujo horizontal.
- Elaborar planos de diseño de los sistemas de evacuación y tratamiento.

1.3. Justificación

El concepto tradicional de utilizar grandes volúmenes de agua para diluir y transportar los residuos domésticos lejos de los hogares está siendo reconsiderado a causa de las implicaciones en costos e impactos ambientales que conlleva el tratar las aguas residuales en plantas de tratamiento centralizadas.

Este proyecto plantea una alternativa de vivienda urbana que emplee procesos y métodos que ayuden, al separar y tratar las aguas residuales, a minimizar los efectos que causamos al medio ambiente. Estas acciones son una parte integral de la gestión de la demanda de agua que promueve la preservación y conservación de las fuentes de abastecimiento. La CDMX, por ejemplo, en esfuerzo por suministrar de agua potable a sus habitantes ha sobreexplotado sus acuíferos produciendo efectos adversos como hundimientos regionales, además de haber invertido recursos en subsanar el déficit al importar agua de otras cuencas.

Los cambios de actitud y los recientes avances tecnológicos respecto de la reutilización de las aguas residuales proponen la reutilización de éstas para los inodoros, lo cual representa un ahorro considerable de agua dentro de la vivienda.

Existen otras aplicaciones como el riego de áreas verdes, patios, lavado de autos, etc.

1.4. Alcances

Debido a la complejidad del proyecto y a las limitantes del espacio, las aguas residuales generadas en VIS CASA UNAM serán separadas en dos categorías: aguas grises y aguas negras. Se considerarán aguas grises las aguas residuales provenientes del lavabo y de la lavadora únicamente. El agua residual generada en la regadera será considerada como agua negra debido a que contiene un porcentaje mayor de materia orgánica derivado de la piel, cabello, orina y materia fecal (Morel & Diener, 2006). El agua residual procedente de la tarja de la cocina también será considerada como agua negra por contener una mayor concentración de DBO a causa de los residuos de alimentos y grasas. Las aguas negras serán captadas y conducidas para ser dispuestas directamente en el sistema de drenaje municipal.

El desalojo del agua pluvial es parte de la instalación sanitaria, sin embargo, debido a que en el proyecto la captación de este tipo de agua es un eje importante, los elementos que componen el sistema de recolección, transporte y almacenamiento serán considerados como parte del sistema de suministro de agua, por lo que no se considera en el desarrollo de este proyecto.

Se diseñará el tratamiento de las aguas grises mediante la implementación de un humedal artificial (HA) para su reutilización en riego de plantas y limpieza, con el propósito de disminuir el consumo de agua para estos fines. Este humedal artificial no estará integrado en VIS CASA UNAM, ya que se considerará como un módulo alternativo que podrá ser anexado al complejo de vivienda si es requerido.

La calidad de agua, base de este proyecto, se tomará de experiencias documentadas; no se realizará ningún análisis de las propiedades físicas, químicas ni microbiológicas de las aguas a tratar mediante humedales artificiales.

2. Concepto VIS CASA UNAM (Vivienda Industrializada Sustentable)

VIS CASA UNAM es un proyecto de vivienda que pretende ser una solución a la problemática que enfrentan las grandes ciudades en este rubro. La propuesta se fundamenta en las necesidades de algunos sectores de la población de la Ciudad de México cuyas características y condiciones son particularmente diferentes a las de otras ciudades de la República Mexicana y del mundo, en términos constructivos y de factores económicos y sociales.

La solución pretende utilizar los beneficios de los sistemas industrializados para generar altos volúmenes de producción a costos accesibles y con una calidad mejorada de los productos. Los procesos industriales disminuyen considerablemente los costos y tiempos de entrega, gracias a que los objetos a ser fabricados están cuidadosamente diseñados, tratando de aprovechar al máximo el material y así evitar el desperdicio (Fernández B., 2011).

Además, VIS CASA UNAM es un proyecto comprometido con el desarrollo sustentable por lo que pretende disminuir el impacto que tendría éste al incorporarse a los servicios proporcionados por el municipio (luz, agua, drenaje, residuos sólidos), obteniendo un grado de autonomía al tratar de no depender de ellos para su funcionamiento. Pretende gestionar, conjuntamente, procesos integrales para disminuir el impacto ambiental mediante la implementación de nuevas tecnologías para el ahorro de energía.

Contrario a una vivienda de índole tradicional, el proyecto pretende romper la dependencia de la casa hacia el suelo, permitiéndole una movilidad y versatilidad de configuraciones espaciales. No obstante, la vivienda planteada tiene varias limitantes, principalmente arquitectónicas, que ponen en riesgo su aceptación por el usuario. Estas son:

- Los diferentes diseños arquitectónicos que traen los sistemas constructivos tradicionales no serán posibles. Se tendrá que definir sólo uno o varios

diseños, por lo tanto, la comodidad interior deberá ser eficiente y atractiva, dando versatilidad en acabados y equipamiento.

- Las dimensiones serán limitadas, ya que el producto se moverá dentro de las naves industriales conforme se vaya materializando y una vez terminado tendrá que transportarse por calles, avenidas y carreteras para su venta y distribución.
- No podrá estar manufacturada con materiales pétreos como cemento y cerámica por ser materiales con pesos altos que además tardan en fraguar.
- Se utilizarán materiales estandarizados y procesos constructivos de alta calidad, como maderas finas, vidrios inastillables, alfombras de lana, moldeados pulidos y acabados horneados.
- El mobiliario y equipamiento dentro de la vivienda serán inamovibles puesto que serán parte integral de los pisos, paredes y techos.

Finalmente, hay que aclarar que la propuesta no pretende ser un sustituto de la vivienda actual o plantear las bases de la vivienda futura. VIS CASA UNAM es simplemente una propuesta alternativa viable para un mercado específico y no está en contra de la construcción, adquisición de casas tradicionales, amplias e inclusive lujosas (Fernández S., 2013).

2.1. Problemática

La necesidad y provisión de vivienda en México es una problemática que no ha sido resuelta de manera apropiada. El adquirir una morada digna resulta poco accesible para varios sectores de la población del país. En un intento de solución a esta problemática varios organismos gubernamentales, como el INFONAVIT, han optado por desarrollar complejos habitaciones más asequibles para un mayor número de personas, conllevando la disminución de la calidad de los procesos constructivos y materiales. Inclusive, han decidido reducir los espacios habitables a proporciones extremas, olvidándose de la comodidad y bienestar de los clientes/usuarios (Fernández S., 2013).

La industria de la construcción ha desarrollado procesos poco innovadores, si bien ha habido avances tecnológicos en maquinaria y materiales que permiten una mayor rapidez y seguridad de construcción, en esencia, sigue siendo un sistema tradicional en donde el proceso constructivo es lento y conlleva altos costos y riesgos. La implementación de construcciones de cemento, por ejemplo, implica procesos con tiempos fijos altos, a causa del fraguado. Asimismo, el desperdicio de materiales es muy común en este tipo de sistemas, por una variabilidad en la experiencia de la mano de obra, y una mala gestión. Finalmente, las operaciones están expuestas a fenómenos naturales como la precipitación pluvial que retrasan aún más los tiempos programados de término.

La vivienda, además, requiere de servicios para su correcto funcionamiento, como energía eléctrica, abastecimiento de agua potable, evacuación de aguas residuales y manejo de residuos sólidos, servicios que son responsabilidad del municipio. Al construir complejos habitacionales y al no asumir responsabilidades para generar estrategias para el suministro de dichos servicios, se provoca problemas de deficiencia. En el caso de las aguas residuales, por ejemplo, los sistemas de transporte están diseñados para evacuar una proyectada cantidad de aguas residuales, y pluviales, si el gasto a evacuar aumenta, las tuberías se saturan y empiezan a funcionar bajo presión provocando inundaciones, fugas, malos olores, una incorrecta evacuación de los residuos, entre otros. De igual forma los sistemas de tratamiento instalados para tratar dichas aguas son rebasados, viéndose en la necesidad de ampliar sus instalaciones en el mejor de los casos o en dejar de tratar dicha agua en el peor.

El reto está en poder solucionar una vivienda sin involucrar procesos tradicionales o haciéndolos más eficientes, que permitan la reducción de tiempos, costos y riesgos en la producción, satisfaciendo con calidad y asequibilidad la necesidad de vivienda en el país, y que, además, minimicen la necesidad de los servicios básicos, haciéndola sustentable, autónoma e independiente.

2.2. Diseño conceptual

El proceso conceptual de VIS CASA UNAM tiene sus inicios en el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, a través de un grupo multidisciplinario de arquitectos, ingenieros y diseñadores industriales. El propósito es dar una solución innovadora a los retos de vivienda presentes en la CDMX y otras ciudades del país. Dado que la propuesta es un modelo experimental con características y especificaciones técnicas obligadas, lo más recomendable fue establecer un mercado enfocándose en un usuario(s) para así identificar los requerimientos y cualidades que VIS CASA debe contener (Fernández B., 2011).

2.2.1. Mercado

El sector de la población elegido para el cual se diseñará VIS CASA corresponde a familias uni y bi-personales cuyas edades van de los 18 a los 30 años. Este grupo se halla conformado por parejas jóvenes sin hijos que inician una vida productiva e independiente o por personas que por ciertas razones están viviendo solas, o en compañía de algún familiar. Datos proporcionados por el INEGI indican que esta porción de la población está integrada por dos millones de habitantes en la CDMX y conjuntamente, este tipo de vivienda es la que ha tenido un incremento mayor en los últimos años, con tasas de crecimiento anuales mayores al 5%, lo cual representa una gran oportunidad de negocio (Fernández S., 2013).

Para los jóvenes que inician su vida económicamente activa, la adquisición de un inmueble para habitar resulta difícil y sus opciones de vivienda son limitadas. Estos jóvenes están más abiertos al cambio y les gusta experimentar, Asimismo, son desapegados a los bienes materiales. VIS CASA UNAM ofrece para estos jóvenes la oportunidad de adquirir una vivienda fácilmente transportable a un precio mucho más accesible que solo se vincule con el suelo mediante esquemas de arrendamiento de espacios y que impacte mínimamente a la construcción o terreno que lo reciba, restando la carga de servicios de energía, agua y desechos que se producen (Fernández B., 2011).

2.2.2. Requerimientos

Para conocer los requerimientos indispensables en VIS CASA, se hizo un estudio objetivo del mercado. Se realizaron encuestas a 250 jóvenes entre edades de 25 y 30 años de ambos sexos. A través de dos tipos de encuestas (cerradas polinómicas con escala de Likert [desde totalmente de acuerdo a totalmente en desacuerdo] y numéricas con escalas de puntos) a los encuestados se le preguntó qué características consideraban esenciales para una vivienda en la que les gustaría iniciar su vida independiente o en pareja. Los resultados de dichas encuestas determinaron los elementos y por ende la configuración del Habita-Mueble a diseñar (Fernández S., 2013).

A partir de las encuestas se llegó a la conclusión de que la vivienda debería contar con tres espacios independientes: uno social o público, uno privado y uno de trabajo. La Tabla 1 resume las características y requerimientos de cada una de las áreas identificadas en las encuestas aplicadas al mercado objetivo.

Tabla 1. Características de las áreas: pública, privada y de trabajo, en VIS CASA.

Fuente: (Fernández B., 2011)

Área	Características
Área Social	<ul style="list-style-type: none">• Con la capacidad de albergar de 4 a 10 personas simultáneamente.• Contar con espacio para el almacenaje, lavado y preparación de alimentos y otra zona destinada al consumo de los mismos.• Un espacio para el entretenimiento y descanso que permita albergar 6 personas simultáneamente.

Área Privada	<ul style="list-style-type: none"> • Área destinada para el aseo personal y necesidades fisiológicas. • Espacio para dormir que cuente con espacio para dos personas (espacio para una cama matrimonial). • Espacio suficiente vestir y guardarropa.
Área de Trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Tener espacio suficiente para que dos personas pueden trabajar cómodamente. • Capacidad para albergar equipo de cómputo y almacenaje de documentos. • Dotada de buena iluminación.

Otra información que las encuestas proporcionaron fue el tipo de muebles indispensables para la vivienda y aditamentos considerados necesarios para realizar sus actividades diarias. En la Tabla 2 se enlistan los objetos que los encuestados identificaron.

Tabla 2. Mobiliario y equipamiento necesario para el Habita- Mueble.

Fuente: (Fernández B., 2011)

Mobiliario	Equipamiento
<ul style="list-style-type: none"> • Cama doble • Mesa para comer de mínimo cuatro personas • Mesa de trabajo para 2 personas • Mesa para la preparación de alimentos • Sillones para seis personas • Muebles de guardado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Refrigerador • Horno de microondas • Estufa • Fregadero • Lavadora/secadora • Excusado • Lavabo • Calentador de Agua • Televisión • Equipo de sonido

2.2.3. Movilidad

Una de las características principales del VIS CASA es su facilidad de transporte. Se contempla que el usuario pueda ir a comprar su vivienda en el lugar de distribución y que este se entregue en el domicilio donde será instalado. Si el usuario tiene la necesidad de transportar su vivienda a otra zona cercana a su trabajo, el inmueble podrá desmontarse y transportarse por la ciudad hasta el nuevo domicilio sin ningún problema. Esta flexibilidad de movilidad tiene implicaciones operacionales, los conductos de las aguas residuales de VIS CASA al exterior tendrán que ser adaptables a distintas configuraciones de espacio, y vencer barreras y obstáculos particulares del contexto donde será instalado.

La conexión al servicio municipal será otra solución que tendrá que ser igualmente flexible, adaptable y única en cada caso; la instalación y desinstalación deberá ser fácil y económica provocando las mínimas perturbaciones al sitio.

El tratamiento para aguas residuales difícilmente será viable para todos los contextos principalmente por la limitante de espacio. Esto obliga que la solución para el desalojo de las agua residuales y su respectivo tratamiento difiera en cada caso. Para darle flexibilidad a la solución, se deberá instalar sistemas que permitan evacuar de manera conjunta o separadas los distintos tipos de aguas residuales que CASA VIS produzca.

En la Figura 1 se observa cómo se vería la vivienda transportada por las carreteras, mientras que la Figura 2 ilustra el sistema de arrastre y rodamiento.



Figura 1. Sistema para el transporte del Habita-Mueble.

Fuente: (Fernández B., 2011)



Figura 2. Sistema de rodamiento y arrastre.

Fuente: (Fernández B., 2011)

2.2.4. Dimensionamiento

El dimensionamiento VIS CASA está dado por las limitantes de espacio establecidas por las calles, avenidas, caminos y carreteras de la República Mexicana. Los datos fueron recabados de los distintos reglamentos vigentes tanto a nivel municipal como federal. El resultado se resume la Tabla 3 (Fernández B., 2011). La Figura 3 nos muestra la envolvente máxima establecida por los reglamentos.

Tabla 3. Dimensiones máximas de la envolvente del Habita-Mueble

Dimensiones	Condicionante
Ancho, un máximo de 2.6 m	<ul style="list-style-type: none">Definido por la anchura de las avenidas y calles.
Largo, un máximo de 7.20 m	<ul style="list-style-type: none">Definido por posibles vueltas o giros en calles o avenidas
Altura, un máximo de 3.6 m	<ul style="list-style-type: none">Definidos por las cubiertas de casetas, cableado, puentes, etc., que pudieran representar un obstáculo para el libre tránsito

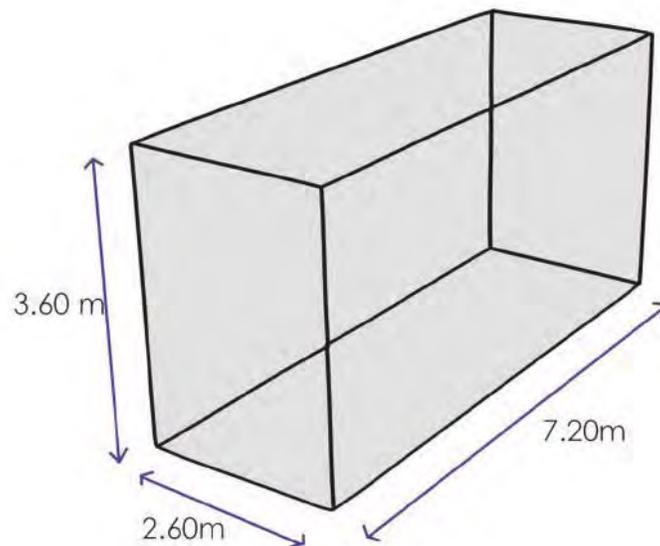


Figura 3. Volumen máximo del Habita-Mueble

Para no desperdiciar espacio y al no contar con la altura requerida para generar dos pisos completos, se opta por establecer dos niveles compartidos generando dos plantas habitables. Esto permite aprovechar con mayor eficiencia el espacio generando composiciones más dinámicas y versátiles. La figura 4 ilustra cómo fue posible la generación de este segundo nivel y como pueden interactuar los dos espacios al mismo tiempo.

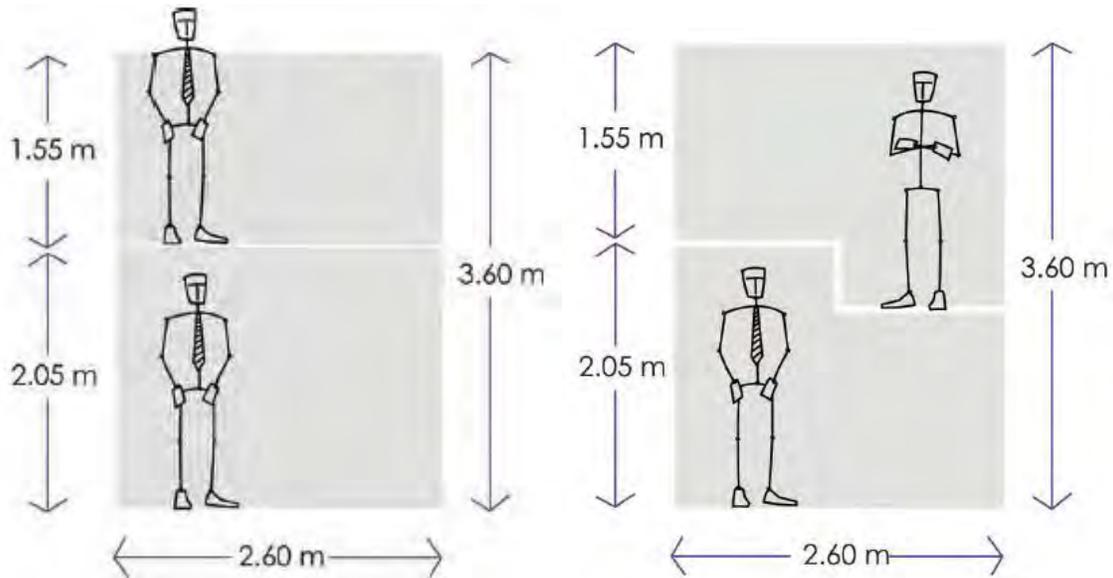


Figura 4. Generación del segundo nivel a través de espacios compartidos

. Fuente: (Fernández B., 2011)

Esta solución que permite optimizar el uso del espacio representa un reto para realizar una configuración funcional, atractiva y viable. Para materializar esta propuesta, se procedió a determinar las actividades que se pueden realizar a una menor altura (1.55 m) y las actividades que requieren de una altura mayor (2.05 m). Utilizando simuladores y mediciones a escala 1:1 se determinaron los espacios mínimos necesarios para realizar las actividades domésticas de una manera cómoda y confortable.

Las actividades identificadas fueron las siguientes.

A pie

- Circular
- Bañar
- Vestir
- Cocinar

Acostado

- Dormir
- Trabajar
- Descansar
- Comer

Las propuestas de configuración espacial generadas fueron dinámicas tratando de establecer claramente los espacios públicos, privados y de trabajo requeridos por los encuestados.

2.3. Configuración Final

La configuración final satisface los requerimientos planteados en los procesos anteriores, generando espacios interesantes y atractivos. La solución final se establece a continuación:

La cocina está ubicada justo a la entrada del inmueble, localizada en una de las fachadas laterales. Esta zona pública contará con un refrigerador, horno de microondas, estufa con cuatro quemadores y una tarja para el lavado de alimentos y utensilios de cocina. Junto a la cocina se contemplaba un medio baño, pero se tomó la decisión de utilizarla para albergar un pequeño centro de lavado. La zona de la cocina está compartida por la recámara en el segundo piso sin intervenir uno con el otro. La ubicación cerca de la entrada se consideró por la factibilidad de almacenar los alimentos de manera rápida (Fernández B., 2011).



Figura 5. Vista planta inferior del Habita- Mueble. (Cocina)

El pasillo principal que nos permite circular dentro del inmueble se encuentra sobre uno de los costados. Esto permitió que en la parte superior se instalaran muebles de resguardo de ropa, muebles que no necesitan de una altura completa.

Siguiendo con la zona social del inmueble se encuentra el comedor con capacidad para cuatro personas y una sala para 6. Debajo de estos muebles existe espacio para cualquier tipo de instalación que necesite ser instalada (Fernández B., 2011).



Figura 6. Vista planta inferior del Habita- Mueble. (Comedor)



Figura 7. Vista planta inferior del Habita- Mueble. (Sala)

Justo al lado de la sala se encuentran las escaleras que permiten el acceso al segundo nivel. Al llegar esta nos hallamos con el área de trabajo. Este escritorio cuenta con espacio para que dos personas puedan trabajar al mismo tiempo y anaqueles para el soporte de impresoras o libros.

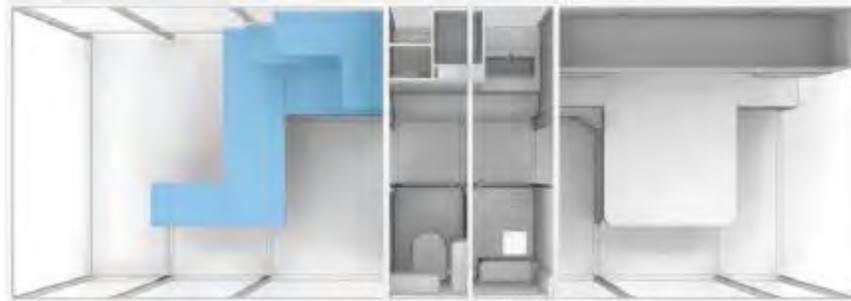


Figura 8. Vista planta superior del Habita- Mueble. (Área de Trabajo)

El pasillo de circulación del segundo piso está localizado en la parte central, aprovechando el espacio generado por la sala y el comedor. Este pasillo permite entrar a la parte priva del Habita- Mueble. Dentro de esta zona encontramos el baño completo. El W.C. y la regadera de un lado del pasillo y el lavabo en el lado contrario.



Figura 9. Vista planta superior del Habita- Mueble. (Baño completo)

Al final del pasillo tenemos la recámara, con una cama doble colocada al centro del espacio, generando así un pasillo perimetral. Cuenta con burós para el guardado de

objetos personales. En la parte superior de la cabecera de la cama tenemos espacio para el resguardo de ropa de cama.



Figura 10. Vista planta superior del Habita- Mueble. (Dormitorio)

3. Marco teórico

3.1. Sistema Sanitario

El sistema sanitario es un conjunto de elementos compuesto por tuberías, piezas especiales y accesorios, que tienen como función principal desalojar las aguas residuales y pluviales del inmueble hacia un lugar apropiado, el cual puede ser un sistema de tratamiento o al drenaje municipal. La instalación debe ser apta para desalojar las aguas de manera adecuada, segura y confortable. Es por esto por lo que requiere de ser completamente hermética y contar con obturadores o trampas hidráulicas para evitar que los malos olores, producidos por la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales, escapen (Becerril, 2009).

De manera general y tradicional las instalaciones sanitarias pueden clasificarse en tres categorías, dependiendo de su función (Harper, 2002):

- Instalación sanitaria de aguas residuales o servidas. Evacuan las aguas utilizadas por los muebles sanitarios con el fin de eliminar exposición a contaminantes y producción de malos olores.
- Instalación sanitaria de agua pluvial. Evacua las aguas provenientes de las precipitaciones pluviales con el fin de evitar encharcamientos que producirían una carga extra sobre el inmueble.

- Instalación sanitaria de aguas combinadas. Evacua en conjunto las aguas residuales y las aguas pluviales.

3.1.1. Cálculo de diámetros

El cálculo de los diámetros para desalojo de aguas residuales se realizó a través de la aplicación de métodos estadísticos y empíricos para inmuebles, y no exclusivamente mediante los principios y ecuación de la mecánica de fluidos, como es en el caso del diseño del drenaje municipal. Para su cálculo se utiliza un concepto conocido como unidad de descarga y se define por convención como a la descarga de agua residual de un lavabo de uso doméstico que tenga un caudal de 20 L por minuto (Pérez C., 2015). Este valor sirve como referencia para estimar las descargas de los restantes muebles sanitarios.

Para poder realizar un buen diseño, es necesario identificar el tipo de uso que se le dará al inmueble. Para esto se recurre a la clasificación de tres clases establecidas por (Harper, 2002). En la tabla 4 se define cada clase de esta clasificación.

Tabla 4. Clasificación de instalaciones sanitarias.

Fuente: (Harper, 2002).

Clase	Definición
1 ^a	Se refiere a instalación de uso privado, como casa habitación, locales que cuenten con un baño privado o instalaciones en las que habiten una persona o una familia.
2 ^a	Es de uso semipúblico y abarca instalaciones como edificios de oficinas, fábricas, o cualquiera otra instalación donde el número de personas a las que se les dará el servicio es mayor, pero es limitado.
3 ^a	Son instalaciones de uso público donde el número de usuarios es ilimitado, y donde encontramos los baños públicos, centros deportivos, centros comerciales, centros de entretenimiento, etc.

Se identifican las unidades de descarga de cada mueble sanitario dependiendo de la clase de edificación a la que darán servicio. Asimismo, se identifican los diámetros mínimos requeridos en la salida o sifón de cada mueble por lo que no podrán ser conectados con tuberías de diámetro inferior (Tabla 5).

El diámetro de los las derivaciones (tuberías de drenaje que transporta el agua residual de un solo nivel hacia las bajadas) y las bajadas(tuberías de drenaje vertical que transporta el agua residual de los niveles a un colector) se calcula a partir de contabilizar el número de unidades mueble al que dará servicio dicha tubería, esto a través de la sumatoria de las unidades de descarga de cada uno de los muebles sanitarios que desalojarán en dicha derivación. Con este valor y utilizando la Tabla 6 se determina el diámetro nominal de la tubería.

Tabla 5. Unidades de descarga para algunos muebles sanitarios.

Fuente: (Harper, 2002)

Mueble	Unidad de Descarga			Diámetro mínimo [mm]		
	Clase			Clase		
	1a	2a	3a	1a	2a	3a
Lavabo	1	2	2	32	32	32
W.C.	4	5	6	75	75	75
Tina	3	4	4	38	50	50
Bide	2	2	2	32	32	32
Regadera	2	3	3	38	50	50
Urinario	2	2	2	38	38	38
Fregadero (vivienda)	3	-	-	38	-	-
Fregadero (comercio)	-	8	8	-	75	75
Lavadero	3	3	-	38	38	-
Vertedero	-	8	8	100	100	-
Bebadero	1	1	1	32	32	32
Lavaplatos (vivienda)	2	-	-	32	-	-
Lavaplatos (comercio)	-	4	-	-	-	50

Nota: El diámetro mínimo es el nominal de la tubería y puede variar dependiendo el diseño del mueble.

Tabla 6. Número máximo de unidades de descarga para ramales y bajadas.

Fuente: (Harper, 2002)

Unidades Mueble			Más de tres pisos	
Diámetro Mm	Cualquier ramal horizontal	Bajada de tres pisos o menos	Total, en la Bajada	Total, en un piso
32	1	2	2	1
38	3	4	8	2
50	6	10	24	6
63	12	20	42	9
75	20	30	60	16
100	160	240	500	90
125	360	540	1100	200

3.2. Sistema de ventilación

El sistema de ventilación permite transportar hacia el exterior los gases que se producen en las aguas residuales debido a descomposición de la materia orgánica. Asimismo, una buena ventilación del sistema sanitario permite mantener una presión positiva dentro de las tuberías. De lo contrario, cuando en un instante se desaloja un volumen considerable de agua, caso de la descarga de un WC, se efectuará una succión del aire contenido en los tubos, removiendo los sellos de agua. La ventilación protege el sello de agua de cada uno de los muebles sanitarios que conforman el sistema. Estos sellos o trampas hidráulicas evitan que los gases, que suelen tener un olor ofensivo, entren a la vivienda a través del mueble. En la Figura 11 se observa el mecanismo de funcionamiento de las trampas o sellos hidráulicos.

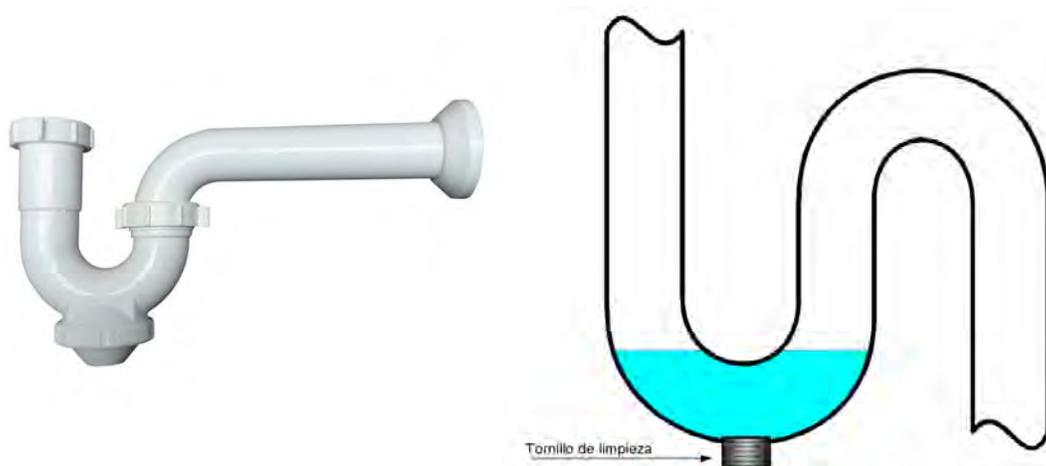


Figura 11. Trampa hidráulica

Los tubos de ventilación horizontales deben tener una pendiente uniforme no menor a 1 %, de tal forma que, si algún vapor llegara a condensarse, escurra libremente hacia un conducto de desagüe.

Existen tres tipos de sistemas de ventilación, las cuales se explican mediante la tabla 6.

Tabla 7. Tipos de ventilación

Tipos de Ventilación	Descripción
Primaria	Está compuesta por las tuberías de bajadas de aguas negras que deben extenderse hasta el techo. También se le conoce como ventilación vertical. Permite ventilar los gases del sistema.
Secundaria	Se le conoce como ventilación Individual y se conecta cerca de los muebles sanitarios para evita la ruptura de los sellos hidráulicos y para facilitar la circulación del agua.
Doble	Este tipo de ventilación se completa cuando las derivaciones o ventilación secundaria se conectan a una ventilación primaria. Tiene un funcionamiento más eficiente.

3.3. Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que resultan de haber utilizado el agua potable en cualquier actividad. En el caso de las aguas residuales domésticas, son aquellas utilizadas en casa habitación en los distintos muebles y aparatos sanitarios. Por su composición, típicamente las aguas residuales domésticas se dividen en dos: aguas negras y aguas grises.

3.3.1. Aguas grises

Las aguas grises, también conocidas como aguas jabonosas, son aquellas aguas residuales domiciliarias que no incluyen la descarga de los inodoros, por lo que la presencia de heces y orina es casi nula. Las aguas grises son producto de la operación de aparatos y muebles sanitarios, tales como lavabos, lavadoras, regaderas, fregaderos, lavaplatos, y tarjas de cocina (Kubba, 2012). Algunos autores excluyen a las aguas provenientes de las cocinas de las aguas grises, debido a su alto contenido de materia orgánica, grasas y aceites a causa de residuos de alimentos (Morel & Diener, 2006).

Por otro lado, el agua gris puede estar contaminada por microorganismos patógenos debido a los hábitos propios de los usuarios que contaminan las aguas grises con excretas (Hoffmann, Platzer, Winker, & von Muench, 2011).

Las aguas grises son susceptibles de contaminarse con patógenos por las siguientes actividades:

- Lavado de la zona anal en la regadera.
- Cuando el usuario orina mientras se está bañando.
- Lavado de la ropa interior o pañales

Las características de agua gris que se espera en la descarga de una casa habitación dependerán, en gran medida, de la calidad del agua del suministro y de las actividades que se desarrollen dentro de la vivienda. Estas actividades obedecen a hábitos de consumo, el número y edad de los habitantes, el nivel socioeconómico, tipos y cantidad de químicos utilizados, etc. (Hernández, Temmink, Zeeman, &

Buisman, 2011). Pese a lo anterior, se pueden generalizar algunas características de algunas fuentes. En la Tabla 4 se resumen dichas características.

Tabla 8. Características de las aguas residuales grises según su origen.

Fuente: (Morel & Diener, 2006)

Fuente de agua gris	Característica
Fregadero de cocina y lavatrastos	Presenta residuos de comida con alto contenido de grasas, aceites y sólidos suspendidos. Además, contiene detergentes para el lavado de trastes y alimentos; y en ocasiones limpiadores y blanqueadores. Presenta altas concentraciones de nutrientes.
Baño	Se considera el agua gris que presenta menos contaminación de toda la vivienda. Presenta residuos de productos para el aseo personal como lo son, jabones, champú, pasta de dientes y enjuague bucal, espumas depiladoras, etc. Por otra parte, hay residuos de cabello, piel, grasa corporal, y residuos de materia fecal y urinaria.
Centro de lavado	El agua gris del centro de lavado tiene un alto contenido de químicos provenientes de detergentes (sales, fosfatos, surfactantes, nitrógeno) y blanqueadores. Hay presencia de sólidos suspendidos, aceites, disolventes, pinturas y fibras no biodegradables de ropa.

3.3.1.1. Características físicas de las aguas residuales gris

Temperatura

La temperatura del agua gris es por lo general mayor al agua del suministro, con rangos que van desde los 18 °C a los 30° C ocasionado por el calentamiento del agua para el aseo personal y al drenar agua que se utilizó para la cocción de alimentos. La temperatura no tiene ningún efecto negativo en los procesos microbianos aerobios y anaerobios, ya que estos desarrollan óptimamente sus procesos metabólicos en temperaturas que van de los 15 a 50 °C (Morel & Diener, 2006).

Sólidos suspendidos

Existe una gran cantidad de partículas y coloides en el agua residual gris, lo que produce turbiedad, además de provocar que los componentes de los sistemas de tratamiento se obturen y operen ineficientemente. La concentración de sólidos suspendidos en aguas grises varía dependiendo de la cantidad de agua utilizada, encontramos rangos que van de los 50 a 300 mg/L; incluso se han registrado concentraciones que alcanzan los 1500 mg/L. Esto, en casos aislados donde se tienen una menor dotación de agua y los usos de esta son distintos (Morel & Diener, 2006).

3.3.1.2. Características químicas de las aguas residuales grises

pH

El pH del agua residual gris depende en gran medida del pH de agua de suministro. Es de suma importancia, sobre todo en los procesos de tratamiento y reutilización para el riego de plantas. Este debe entrar dentro del rango que va de los 6.5 y 8.4 unidades (Morel & Diener, 2006). Los pH de las aguas provenientes de la cocina y de la lavadora son mayores, teniendo valores de 10+/-0.2 y 8.3+/-0.8, respectivamente, mientras que el agua proveniente de la regadera y lavabo presentan pH de 7.5 (Noutsopoulos, y otros, 2017).

DBO y DQO

La demanda biológica y química de oxígeno (DBO, DQO) son parámetros para medir indirectamente la contaminación orgánica en el agua. La DQO describe la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente toda la materia orgánica, susceptible a ser oxidada, que se encuentra en las aguas grises. La DBO describe la oxidación biológica a través de bacterias dentro de un cierto período de tiempo que generalmente son 5 días (DBO₅). Los principales grupos de sustancias orgánicas que se encuentran en las aguas residuales comprenden proteínas (principalmente de alimentos), carbohidratos (como azúcar o celulosa), grasas y aceites, así como diferentes moléculas orgánicas sintéticas tales como surfactantes que no son fácilmente biodegradables. Las concentraciones de DBO y DQO en aguas grises dependen en gran medida de la cantidad de agua y productos utilizados en el hogar, por ejemplo, en zonas donde el consumo de agua es relativamente bajo, y las concentraciones de DBO y DQO son altas.

Nutrientes

Las aguas grises, a comparación de las aguas negras, contienen menos concentración de nitrógeno y fósforo. La principal fuente de nitrógeno, a nivel doméstico, es la orina, seguido del agua proveniente de la cocina. La menor concentración de nitrógeno la encontramos en el agua de la regadera y lavadora. El nitrógeno proviene del amoníaco presente en productos de limpieza o de la proteína de las carnes y vegetales. Produce concentraciones que van de los 5 a 50 mg/L.

Se tienen mayores concentraciones de fósforo en aguas grises, debido a productos de limpieza y surfactantes. Se tienen concentraciones típicas de 4-14 mg/L cuando se utilizan productos de limpieza bajos en fósforo, sin embargo, estos valores pueden llegar desde 45 a 280 mg/L donde todavía se utilizan detergentes con fósforo.

Grasas y Aceites

La cantidad de grasas y aceites encontrados en aguas grises dependen principalmente de las actividad y costumbres que realice el usuario. Existe una concentración alta de aceites y grasas en aguas grises debido a las actividades realizadas en la cocina, lo que ocasiona concentraciones de 37 a 78 mg/L; en aguas proveniente de lavadoras y regaderas, contracciones de 8 a 35 mg/L.

3.3.1.3. Características microbiológicas de las aguas residuales grises

Se espera que la concentración de patógenos en aguas grises sea diminuta. Sin embargo, los patógenos, como los virus, bacterias, protozoos y parásitos intestinales, pueden estar presentes. Estos terminan en las aguas grises a través del lavado de manos después del uso del baño, lavado de bebés y niños después de la defecación, cambios o lavado de pañales. Algunos patógenos también pueden ingresar al sistema de aguas grises mediante el lavado de verduras y carne cruda, aunque los de origen fecal representan el principal riesgo para la salud,

3.3.2. Aguas negras

Las aguas negras son propiamente las aguas que se desechan de los inodoros y representan aproximadamente a un tercio del agua residual doméstica. Contienen, por lo tanto, orina, heces y en algunos casos papel higiénico. Las aguas negras son ricas en nitrógeno y fósforo, de hecho, aproximadamente el 97 % de nitrógeno total y el 90% de fósforo puede ser aislado si separamos las heces y la orina del agua residual (Jin, y otros, 2018).

El nulo o mal tratamiento de las aguas negras provoca grandes problemas de contaminación, debido a su alto contenido de materia orgánica y patógenos. Los patógenos presentes en las heces humanas pueden provocar problemas gastrointestinales en la población, sobre todo en los sectores más vulnerables. Por tal motivo, un adecuado tratamiento es indispensables para evitar estos impactos.

Actualmente, los procesos de tratamiento comúnmente usados para agua negra incluyen tratamiento biológico aeróbico y anaerobio, biorreactores de membrana, infiltración subterránea de tanques sépticos y humedales construidos, entre otros; técnicas que requieren de gran uso de energía o de grandes espacios para albergar los reactores.

3.4. Humedales artificiales

Los beneficios que los humedales naturales proporcionan al ambiente y al ser humano han sido estudiados y reconocidos. Se sabe que los humedales son capaces de eliminar y transformar contaminantes a través de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar dentro del medio. Se han desarrollado tecnologías para explotar las funciones purificantes de los humedales naturales en beneficio de la humanidad. (Stefanakis, Akrotos, & Tsihrintzis, 2014)

Se han diseñado humedales artificiales con el simple propósito de replicar los procesos antes mencionados de una manera controlada y con mayor eficiencia, y así obtener los beneficios que los humedales naturales proporcionan.

Los humedales artificiales se pueden definir como sistemas complejos de medio saturado, diseñados y construidos por el hombre, con vegetación sumergida y emergente y vida animal acuática, que simulan un humedal natural para el uso y beneficio humano (Hammer, 1989).

De acuerdo con su propósito y función, los humedales artificiales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Humedales artificiales para la creación de un ecosistema.** Diseñados para proveer de un hábitat a la vida silvestre zonas verdes que serán punto de atracción para animales, especialmente las aves.
- **Humedales artificiales para la prevención de inundaciones.** Diseñados para recibir avenidas producto de tormentas

- **Humedales naturales para el tratamiento de aguas residuales.** Con el propósito de purificar el agua mediante procesos físicos, biológicos y químicos.

Los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales son sistemas que consisten en el desarrollo de plantas acuáticas (macrofitas) que se desarrollan y extienden sus raíces en un lecho de grava o algún otro material pétreo. Con la interacción de la vegetación en el lecho pétreo se llevan a cabo procesos que permiten mejorar la calidad. (Garzón-Zúñiga, Buelna, & Moeller-Chávez, 2012)

Esos humedales han sido construidos y se han mostrado eficientes para el tratamiento de diversos tipos de agua residuales:

- Aguas domésticas y municipales
- Aguas industriales
- Aguas producto de la extracción minera
- Aguas agrícolas y ganaderas
- Tratamiento de lodos de plantas convencionales

3.5. Tipos de humedales artificiales

La clasificación de los humedales artificiales se basa en la dirección del flujo del agua. De manera general encontramos dos tipos de humedales:

- **Los humedales de flujo superficial**, cuya superficie está cubierta por agua con una profundidad de unos centímetros. El agua por lo tanto se encuentra en contacto directo con la atmósfera. Los humedales de flujo superficial se dividen a su vez en otras cuatro categorías dependiendo del tipo de planta que emplea para su funcionamiento.
- **Los humedales de flujo subsuperficial** son los más utilizados a nivel mundial. Son aquellos en los que el flujo del agua se realiza a través del sustrato, permaneciendo por debajo de la superficie del lecho. Se encuentran, dentro de esta categoría, a los de flujo horizontal y los de flujo vertical (Kadlec & Wallace, 2008) (Stefanakis, Akratos, & Tsihrintzis, 2014).

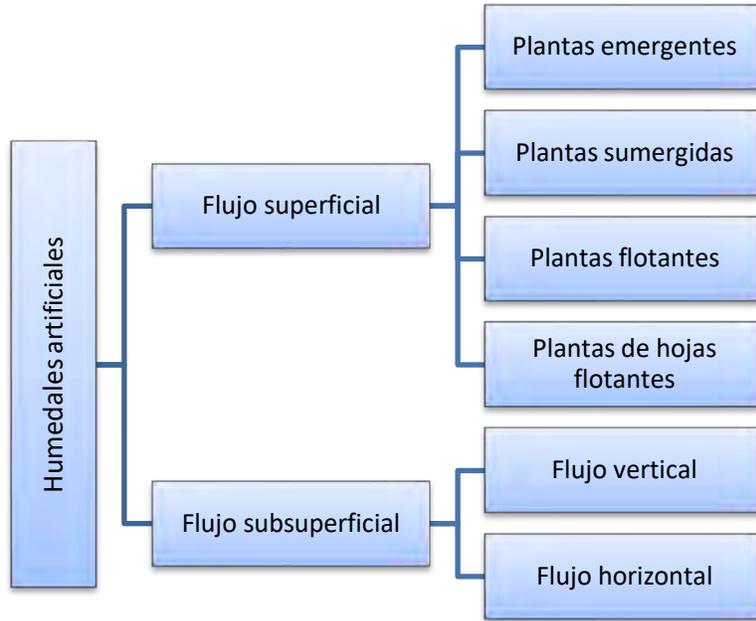
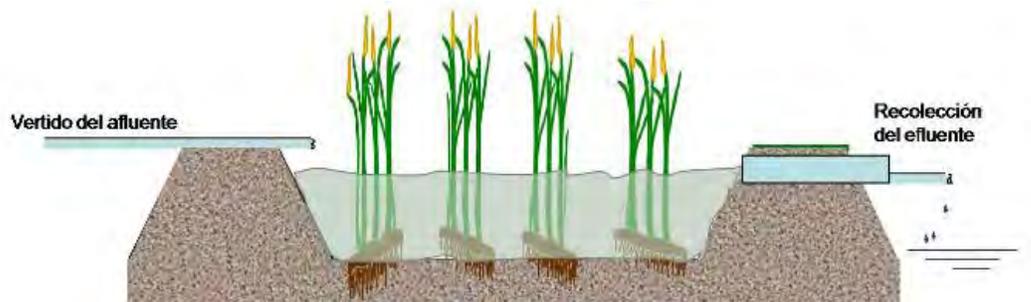
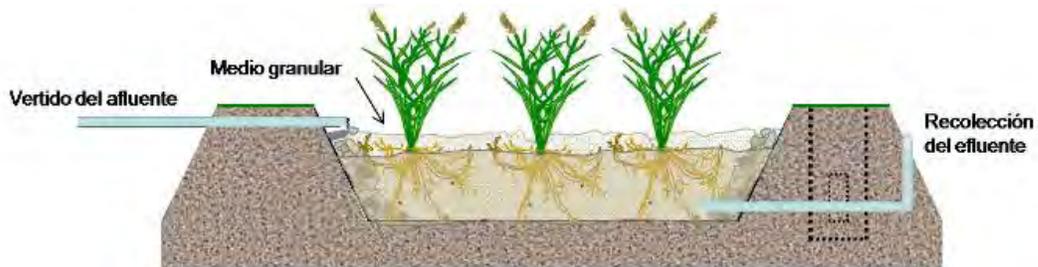


Figura 12. Clasificación de los humedales artificiales.

Fuente: (Stefanakis, Akratos, & Tsihrintzis, 2014)



Humedal artificial de flujo superficial



Humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial

Figura 13. Diferencias entre humedales de flujo superficial y subsuperficial.

Fuente: (Lara B., 1999)

3.6. Componentes de un humedal artificial o biofiltro

3.6.1. Sustrato poroso

El sustrato o lecho filtrante funciona como soporte para las plantas acuáticas y el medio para los distintos procesos químicos, tiene un efecto filtrante en donde partículas suspendidas quedan retenidas (Hammer, 1996). Además, al ser un sustrato poroso presenta una mayor área para albergar a los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica

3.6.2. Vegetación

Las plantas acuáticas (macrofitas) también conocidas como plantas vasculares son de los elementos más importantes en los humedales (Arias, Betancur , Gómez , Salazar, & Hernández Marta, 2010). Han desarrollado estructuras físicas especializadas llamadas aerénquimas que le permiten crecer en suelos semisaturados o saturados. Estas estructuras les permiten transportar los gases presentes en la atmósfera, especialmente el oxígeno, desde las hojas y tallos hacia las raíces permitiendo su respiración (Cronk & Fennessy, 2001).

Cronk y Fennessy (2001) clasifican a las macrofitas con base en su forma de crecer.

- Plantas emergentes (a). Desplantan sus raíces en el suelo poroso y saturado; pero sus hojas, tallos y órganos reproductivos se desarrollan en un medio aéreo.
- Plantas sumergidas. (b) Se desarrollan por debajo de la superficie de agua. La mayoría de sus raíces se desplantan en el sustrato.
- Plantas con hojas flotantes (c). Las hojas flotan sobre la superficie del agua mientras que sus raíces se anclan en sustrato.
- Plantas flotantes (d). Sus hojas y tallos al igual que sus raíces están flotando en el agua.

Las plantas actúan como filtros o trampas biológicas que descomponen y metabolizan los contaminantes presentes en el agua y suelo, fijándolos a su

estructura. Asimismo, estabilizan los compuestos al convertirlos en elementos menos peligrosos, como en dióxido de carbono, minerales y agua. (Arias et al., 2016)

Las plantas más utilizadas en humedales horizontales de flujo subsuperficial son las emergentes. Las plantas generan las condiciones necesarias que afectan directamente e indirectamente a la eficiencia.

Las raíces de la planta contribuyen a la disminución de la velocidad del agua, como consecuencia los contaminantes tienen un mayor tiempo de contacto con el sustrato, las raíces y la película microbiana mejorado la remoción.

3.6.3. Biopelícula (microorganismos)

La biopelícula es un consorcio de microorganismos que se forma sobre la superficie del lecho filtrante y las raíces de las plantas. Está formado por bacterias anaerobias, aerobias y facultativas, que mediante sus procesos aerobios y anaerobios hacen posible la degradación de la materia orgánica. Son los responsables de la remoción de la transformación de los contaminantes en biomasa, CO₂, CH₄ y agua.

4. Metodología

4.1. Alternativas para el desalojo de las aguas residuales producidas dentro de la vivienda

Uno de los ejes importantes del proyecto VIS CASA UNAM es el desarrollo sustentable, por lo que se buscan las soluciones más eficientes, que conlleven el óptimo aprovechamiento de los recursos, desde los procesos de producción hasta la operación del sistema. Para el caso de la gestión integral del agua, el grupo de trabajo, integrado por alumnos de la Facultad de Ingeniería, de Arquitectura y de Diseño Industrial, buscó posibles soluciones que permitiesen resolver y dar autonomía al proyecto, buscando, en la medida de lo posible, disminuir la dependencia de los servicios municipales. Estas opciones fueron evaluadas a

través de un análisis FODA (Ver Anexo 7.1) para determinar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de cada uno de estas, y con ello tomar la mejor decisión. En la Tabla 8 se describen de manera general las soluciones propuestas para la gestión de los residuos dentro de la casa.

Tabla 9. Alternativas de solución para el desalojo de las aguas residuales de VIS CASA UNAM.

Nombre de la alternativa	Descripción general del sistema
Drenaje municipal	<ul style="list-style-type: none"> • Corresponde a un sistema convencional y requiere solamente de una conexión al sistema municipal. • Las aguas residuales generadas serán dispuestas directamente hacia el drenaje sin recibir ningún tratamiento • La separación de las aguas residuales es inexistente al tener un sistema de arrastre municipal mixto.
Drenaje municipal complementado con muebles interconectados.	<ul style="list-style-type: none"> • Plantea la separación de las aguas residuales en grises y negras. • Las aguas residuales grises generadas en el lavabo serán recolectadas y transportadas hacia el mueble con un alto requerimiento de agua y que no requiere de una calidad potable, es decir, el inodoro. • El resto de las aguas generadas por los muebles restantes serán dispuestas hacia el sistema de drenaje municipal.
Drenaje municipal complementado con baño seco.	<ul style="list-style-type: none"> • Se plantea que el sistema de manejo de las excretas sea a través de un baño seco reduciendo a la cantidad de agua potable requerida en la vivienda. • Las aguas residuales de los otros muebles sanitarios serán dispuestas al sistema de drenaje municipal sin ningún tratamiento.
Drenaje municipal complementado con humedales.	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema se separa en aguas grises y aguas negras. • Se dará tratamiento a las aguas grises mediante un humedal artificial, pudiendo ser este de flujo horizontal o flujo vertical. • Las aguas residuales negras solo serán dispuestas al drenaje municipal.

**Biodigestor + filtración +
desinfección + recirculación=
descarga cero.**

- Las aguas serán recolectadas y tratadas anaerobiamente por un biodigestor para posteriormente pasar por un proceso de filtración. El metano producido durante la digestión anaerobia será conducido hacia la estufa o se quemará.
- El agua se recirculará hacia los demás muebles teniendo una recirculación del agua.

4.2. Selección de la solución óptima

Después de evaluar el análisis FODA de las distintas alternativas propuestas para la gestión de las aguas residuales producidas en VIS CASA UNAM, se llegó a las siguientes conclusiones.

- El proporcionar un tratamiento a toda el agua residual generada, buscando la independencia de los servicios municipales, es impráctico, a causa de las limitantes de espacio declaradas en la concepción del VIS CASA. Los procesos biológicos necesarios para degradar la materia orgánica requieren de tiempos de retención muy altos, lo que se traduce en una necesidad de reactores de mayores extensiones.
- Al existir ya un sistema de drenaje municipal mixto, que opera de manera adecuada más no ideal, el tratar el agua antes de su disposición generaría un costo innecesario. Sin embargo, incrementar el caudal de agua desechada, pone en riesgo la operabilidad de las plantas de tratamiento, si la carga hidráulica supera su capacidad instalada.
- Para un sistema centralizado, como el que tenemos en la CDMX, resultaría más eficiente tener plantas de tratamiento centralizadas, cuya operación sea eficiente. De hecho, la construcción de la PTAR de Atotonilco incluye como parte de sus criterios tratar toda el agua producida en la ciudad.

Debido a las limitantes de espacio, se separarán las aguas residuales de VIS CASA UNAM, solamente en dos categorías: aguas residuales grises y aguas residuales negras. Las aguas grises estarán compuestas por las aguas producto del lavabo y

del centro de lavado, mientras que las aguas negras por las aguas provenientes de la regadera, fregadero, y el excusado (Tabla 9). El agua de la regadera será considerada como negra, por tener altos contenidos de materia orgánica como piel, cabellos, e incluso materia fecal (Morel & Diener, 2006). Las aguas negras al contener una mayor cantidad de materia orgánica requieren procesos con tiempo de retención más altos. Esto se traduce en reactores de mayor volumen, lo que pone en riesgo la suficiencia del espacio considerado.

Tabla 10. Calidad del agua de entrada y de salida según mueble sanitario.

Mueble	Tipo de agua de entrada	Tipo de agua de salida
Regadera	Potable	Agua negra
W.C.	<i>Potable y agua gris tratada (Opcional)</i>	Agua negra
Lavabo	Potable	Agua Gris
Fregadero	Potable	Agua negra
Lavadora	<i>Potable y Agua gris tratada (Opcional)</i>	Agua Gris

Las aguas grises serán tratadas a través de un humedal artificial o biofiltro, para ser posteriormente utilizadas en riego de plantas y limpieza, exclusivamente. Sin embargo, se deja abierta la posibilidad de que en otros modelos/variantes de CASA VIS, que pudieran generarse debido a condiciones particulares, las aguas grises tratadas sean recirculadas hacia muebles que no requieren de calidad potable, tal es caso del inodoro. Esto permitirá, aún más, disminuir la cantidad de agua potable requerida.

4.3. Establecimiento de las rutas de evacuación de aguas grises y aguas negras.

La ruta de las tuberías se planteó tomando en cuenta el diseño arquitectónico, la interferencia con otros servicios, muebles y los principios que conlleva la industrialización, que incluye la facilidad de instalación y la posibilidad de la producción en serie.

4.3.1. Muebles sanitarios que generan aguas negras

En la planta baja se localiza el fregadero de cocina (Figura 14) y en el primer nivel tenemos al inodoro y a la regadera (Figura 15). Este acomodo fue la base para el diseño del sistema sanitario.

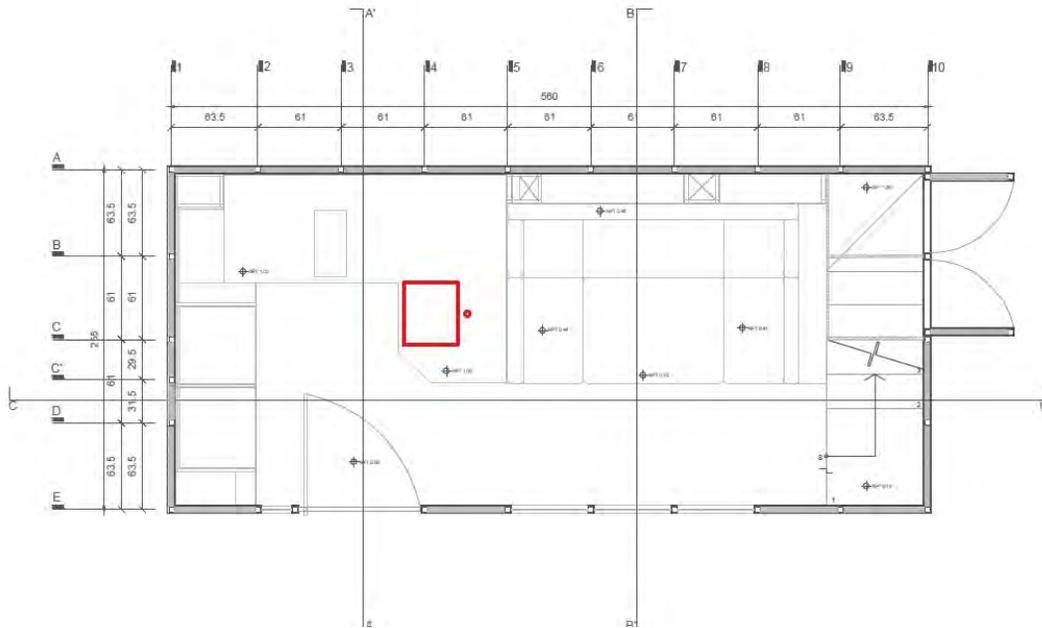


Figura 14 Planta, planta baja. Muebles que generan aguas negras.

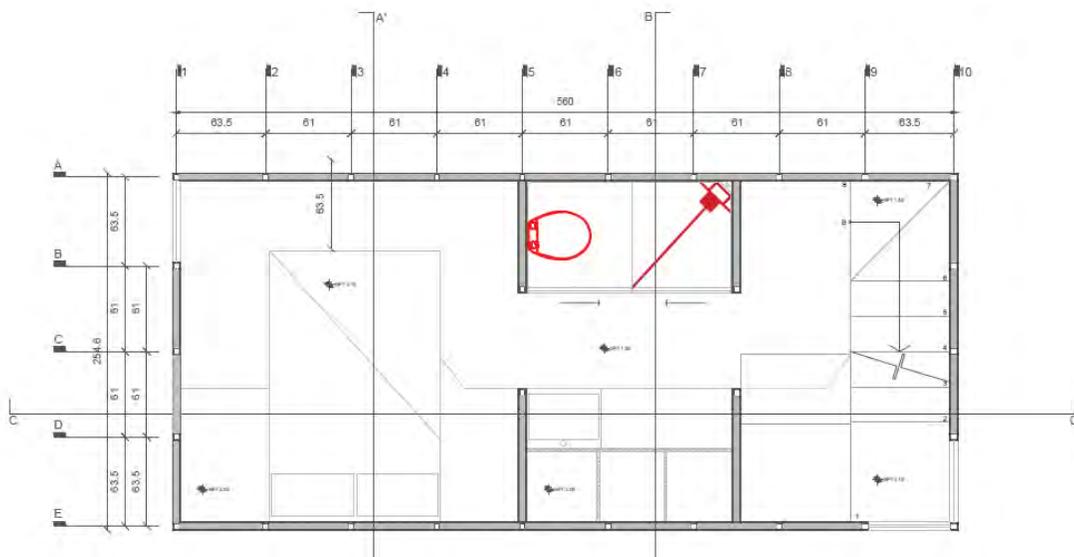


Figura 15. Planta, primer nivel. Muebles que generan aguas negras.

4.3.2. Muebles sanitarios que generan aguas grises

En la planta baja se encuentra la lavadora (Figura 16) y en el primer nivel tenemos únicamente el lavabo (Figura 17).

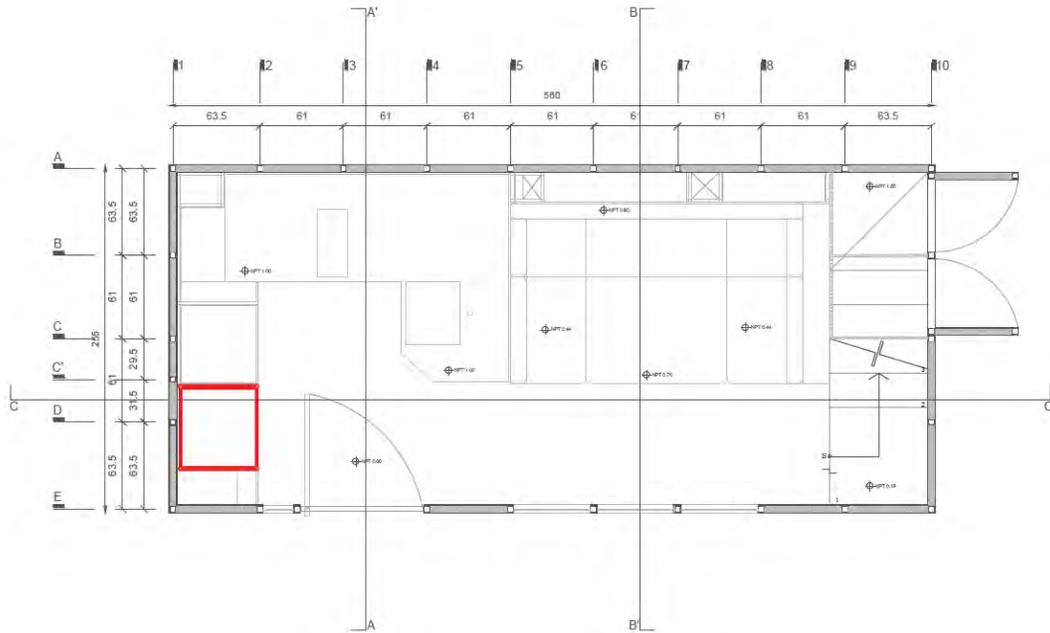


Figura 16. Planta, planta baja. Muebles que generan aguas grises.

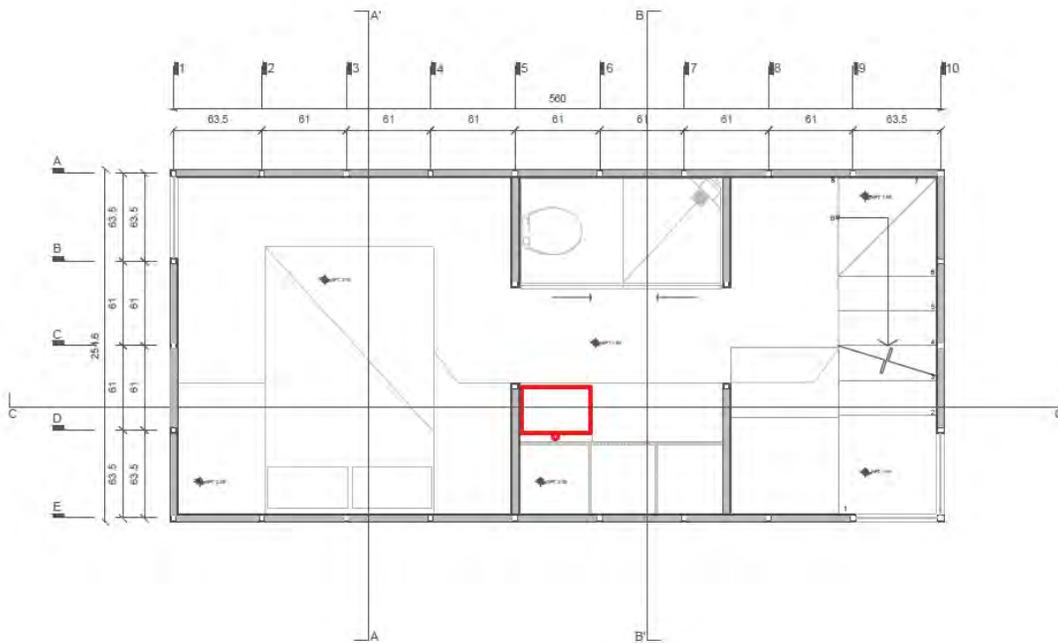


Figura 17. Planta, primer nivel. Muebles que generan aguas grises.

4.4. Cálculo de diámetros de tuberías para aguas negras y aguas grises.

El dimensionamiento de las tuberías para el desalojo de las aguas residuales, negras y grises será a través de la metodología denominada “Unidades Mueble” y la implementación de registros estadísticos de gastos de descarga. En este caso se hicieron dos sistemas por separado considerando la posibilidad de que se pueda dar hacer uso de las aguas grises (después de algún tratamiento); por lo que los dos sistemas se trabajaron por separado.

4.4.1. Aguas negras

En la Figura 18 y Figura 19 se observan las rutas y tramos establecidos para realizar los cálculos de dimensionamiento de diámetro de tuberías de aguas negras. La red de desalojo para aguas negras debe ser instalada con una pendiente mínima de 2%, acorde a lo establecido por las Normas Técnicas Complementarias del RCDF.

En la Tabla 11 se muestra los cálculos que forman parte de la aplicación del método de unidades mueble y en la Figura 23 se aprecia un isométrico con la solución lograda.

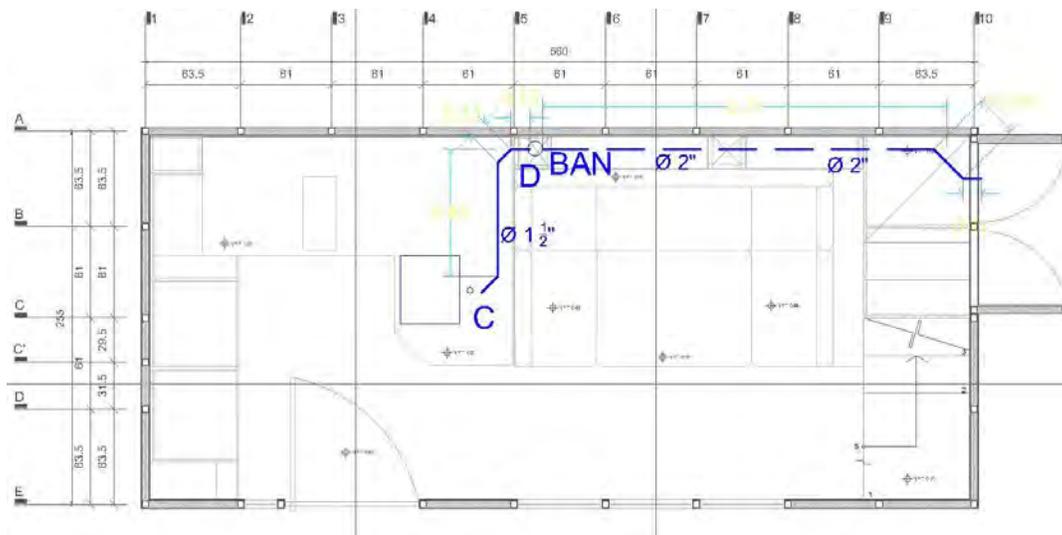


Figura 18. Planta baja. Diagrama de evacuación de aguas negras.

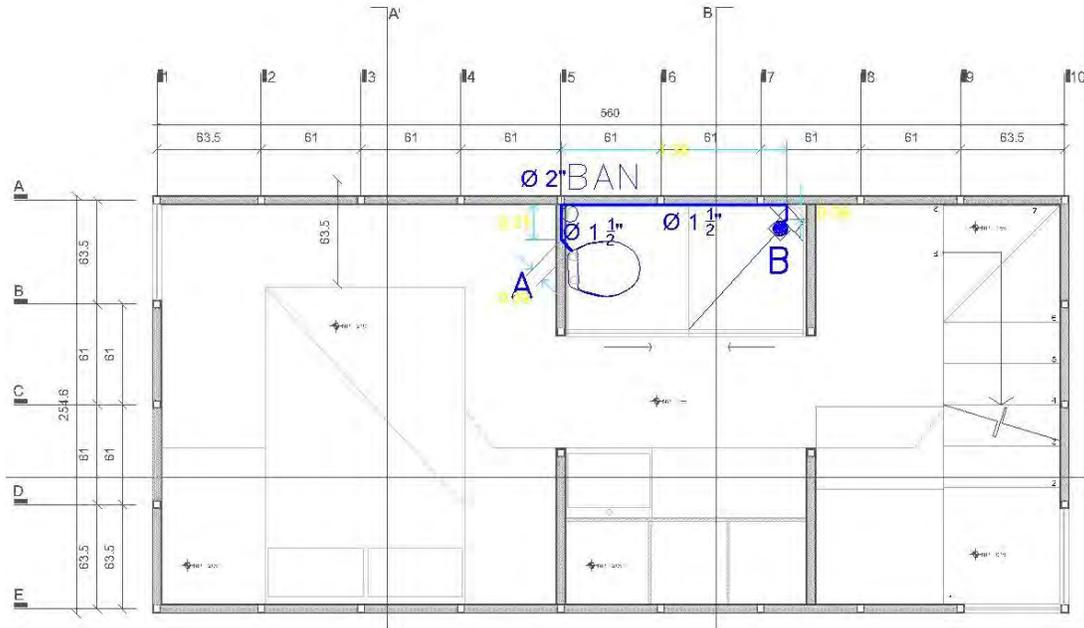


Figura 19 Planta, primer nivel. Diagrama de evacuación de aguas negras.

Tabla 11. Evacuación de las aguas negras.

Tabla de cálculo de la determinación de diámetros.

Aguas Negras							
Tramo	Mueble	Cantidad	Unidad Mueble	Suma U.M.	Pendiente [%]	Diámetro [mm]	Diámetro [in]
A-BAN	W.C.	1	4	4	2	38	1 1/2"
B-BAN	Regadera	1	2	2	2	38	1 1/2"
	W.C.	1	4	6	NA	50	2"
	Regadera	1	2				
C-D	FREGADERO	1	2	2	2	38	1 1/2"
D-ALB	W.C.	1	4	8	2	50	2"
	Regadera	1	2				
	FREGADERO	1	2				
NA=No aplica							

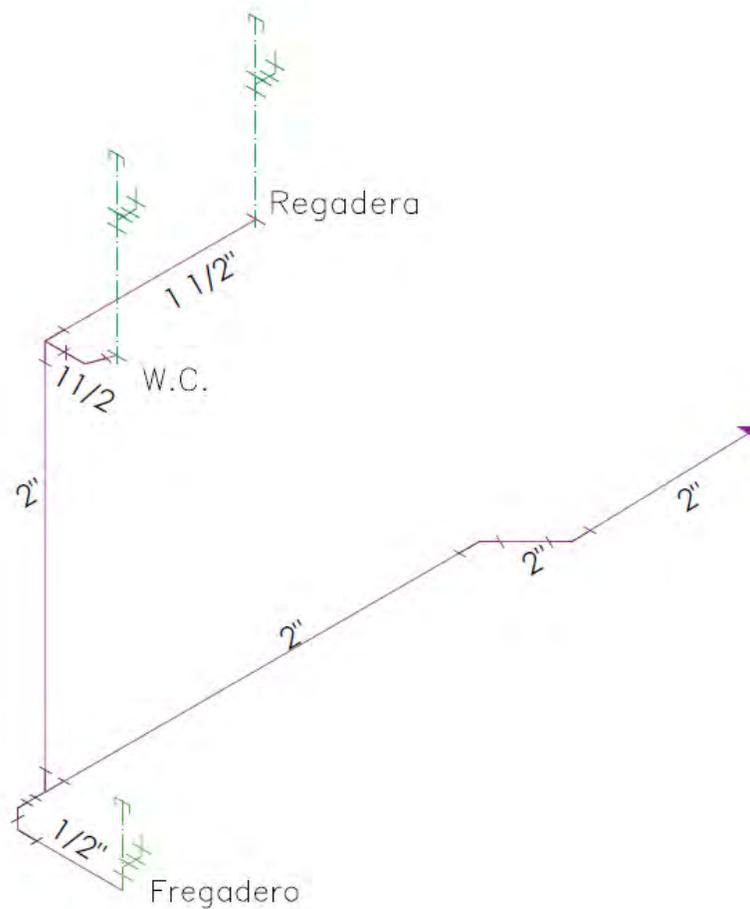


Figura 20. Isométrico. Sistema de evacuación de aguas negras

4.4.2. Aguas grises

En la Figura 18 y Figura 19 se observan las rutas y tramos establecidos para realizar los cálculos de dimensionamiento de diámetro de tuberías de aguas grises, los cuales se aprecian en la Tabla 10. La Figura 20 es una representación en isométrico que nos muestra la trayectoria y los diámetros para el sistema de desalojo. La red sanitaria debe ser instalada con una pendiente mínima de 2%, acorde a lo establecido por las Normas Técnicas Complementarias del RCDF. En el caso de aguas grises esta pendiente puede ser de hasta 1% en algunos caso mas nunca menor a este.

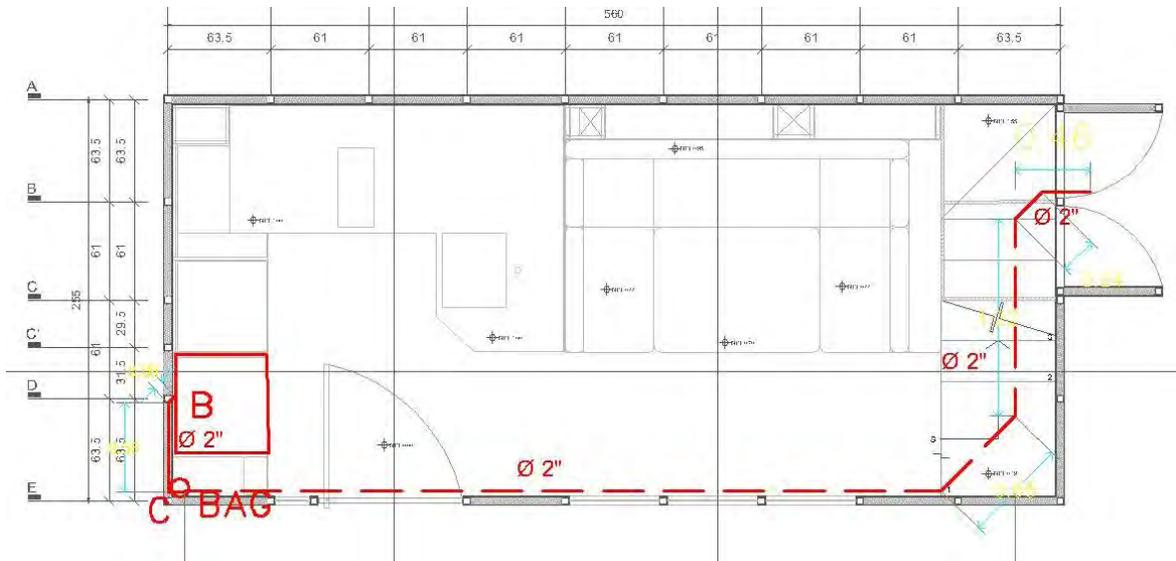


Figura 21. Planta baja. Diagrama de la evacuación de las aguas grises.

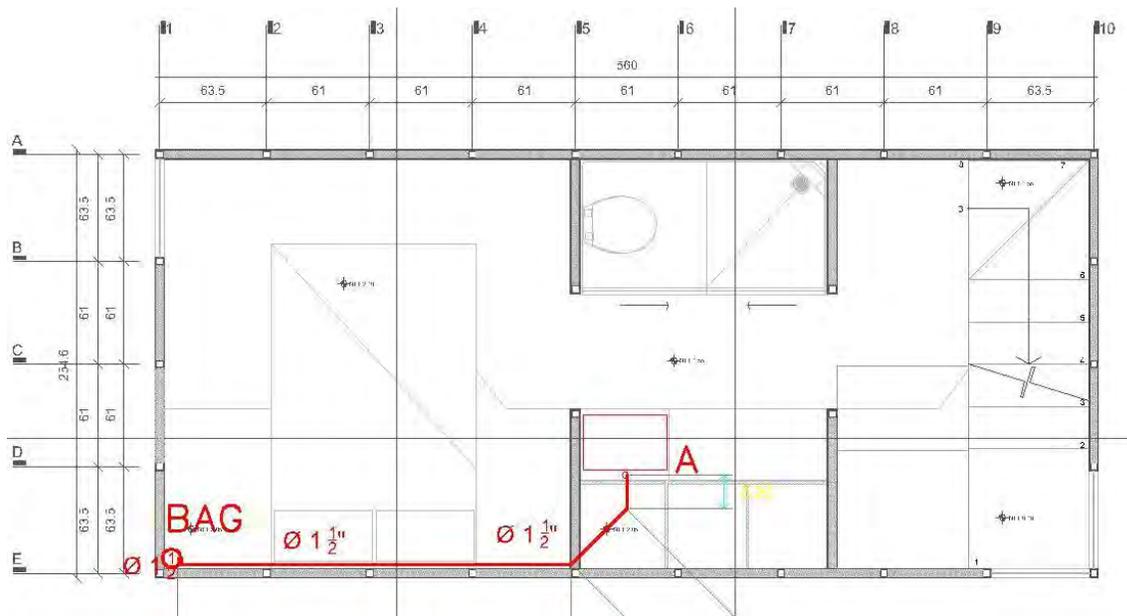


Figura 22. Planta segundo nivel. Diagrama de evacuación de las aguas grises.

Tabla 12. Evacuación de las aguas grises.

Determinación de diámetros mediante el método de unidades mueble.

Aguas Grises							
Tramo	Mueble	Cantidad	Unidad Mueble	Suma U.M.	Pendiente [%]	Diámetro [mm]	Diámetro [in]
A-BAG	LAVABO	1	2	2	2	38	1 1/2"
BAG-C (columna)	LAVABO	1	2	2	NA*	38	1 1/2"
C-B	LAVADORA	1	4	4	2	50	2"
C-ALB	LAVABO	1	2	6	2	50	2"
	LAVADORA	1	4				
NA=No aplica							

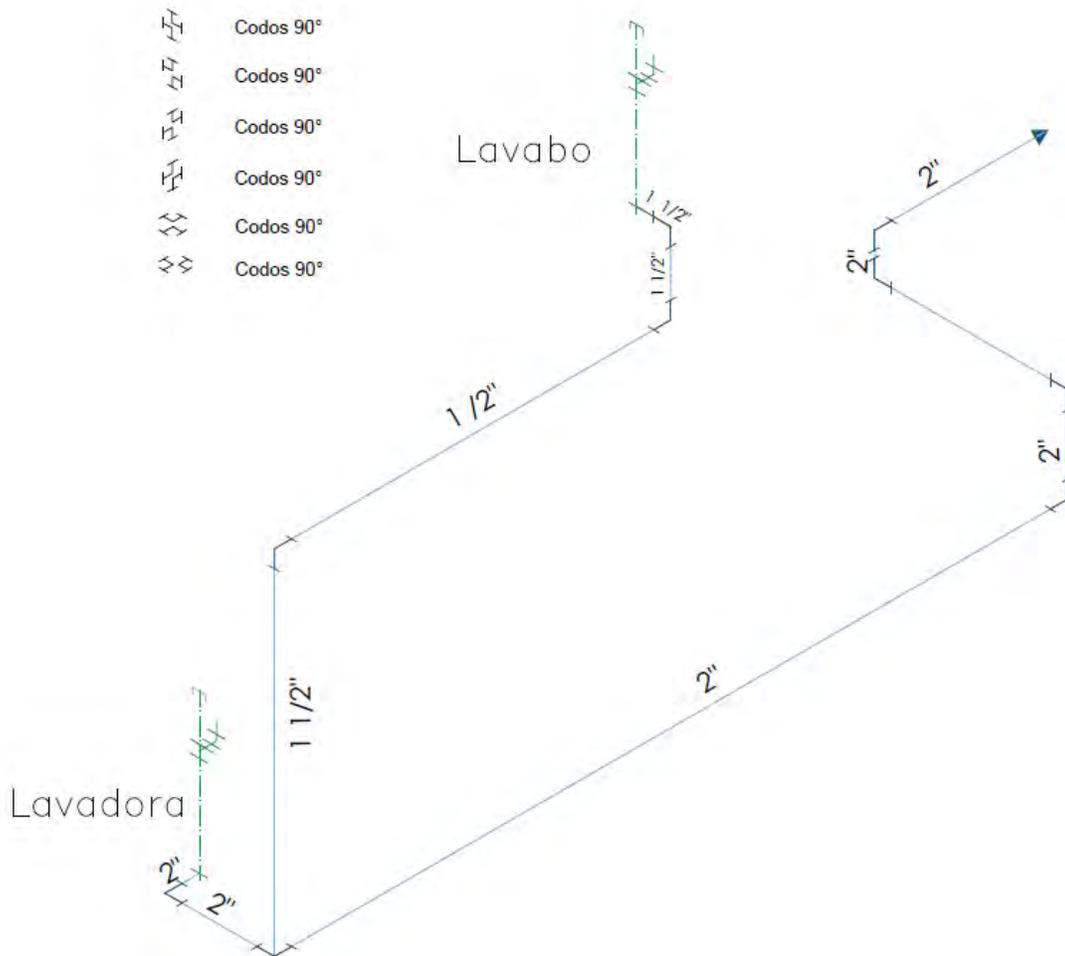


Figura 23. Isométrico. Sistema de evacuación de aguas grises.

4.5. Análisis de la demanda de agua.

La demanda de agua de los habitantes de alguna comunidad varía en términos del nivel de estrato socioeconómico, del clima, además de las costumbres y modos de uso.

Acorde con los lineamientos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a cada habitante de la Ciudad de México le corresponde un consumo de agua de 130 litros por habitante por día, esto considerando exclusivamente el clima y omitiendo la variación por estrato socioeconómico. Por otra parte, las Normas Complementarias Para el Diseño Arquitectónico establece que la cantidad mínima a la que debe dotar a una viviente en la Ciudad de México no debe ser menor a 150 litros por habitante al día. Esta cantidad mínima concuerda con lo establecido por la Organización Mundial de la Salud, la cual establece que dicha cifra es la cantidad de agua indispensable para que una persona pueda satisfacer sus necesidades básicas y prevenir enfermedades. (Organización Mundial de la Salud (OMS) , 2009)

El consumo de agua dentro de una vivienda es variado, sin embargo, existe un porcentaje de esta agua que está destinada a ciertos usos. Las gráficas de las figuras 22, 23 y 24, muestran el consumo de agua doméstico por actividad, consultado en distintas fuentes.

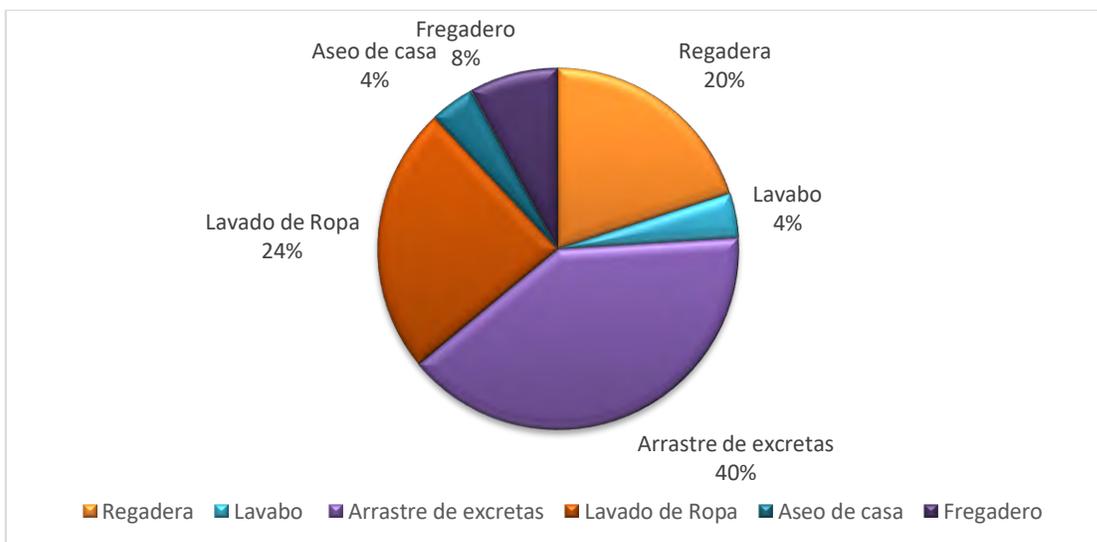


Figura 24 Consumo de agua domestica según la OMS.

Fuente: (Blanco, De Williams, Velezmoro, & Aguila, 2014)



Figura 25 Consumo de aguas domésticas, según Aguas de Mérida, Venezuela.

Fuente: (Blanco, De Williams, Velezmoro, & Aguila, 2014)



Figura 26 Consumo de agua doméstico en Barcelona España, según la Universidad Autónoma de Barcelona.

Fuente: (Gómez et al., 2009)

Como se puede notar en la figura 24, el porcentaje de agua de cada uso o mueble es variado; esto depende en gran medida de la variación del uso de consumo, costumbres, muebles sanitarios empleados, etc. El porcentaje usado para el lavabo y el lavado de ropa, según la OMS, es de 28 %, en Barcelona España es de 35 %, mientras para los venezolanos no queda claro qué porcentaje se utiliza en el lavabo, ya que está integrado junto con la regadera. Para fines de este proyecto se utilizó el mínimo valor, debido a que se utilizarán muebles sanitarios con un uso ahorrativo de agua.

Tomando como referencia una dotación de 150 L/hab/día, se tiene una producción de 42 L diarios por persona, lo que representa un total de 84 L diarios de agua gris en VIS CASA UNAM.

En la Figura 27 se observa el flujo de las aguas dentro de VIS CASA UNAM. La línea punteada indica otro posible flujo de las aguas grises tratadas.

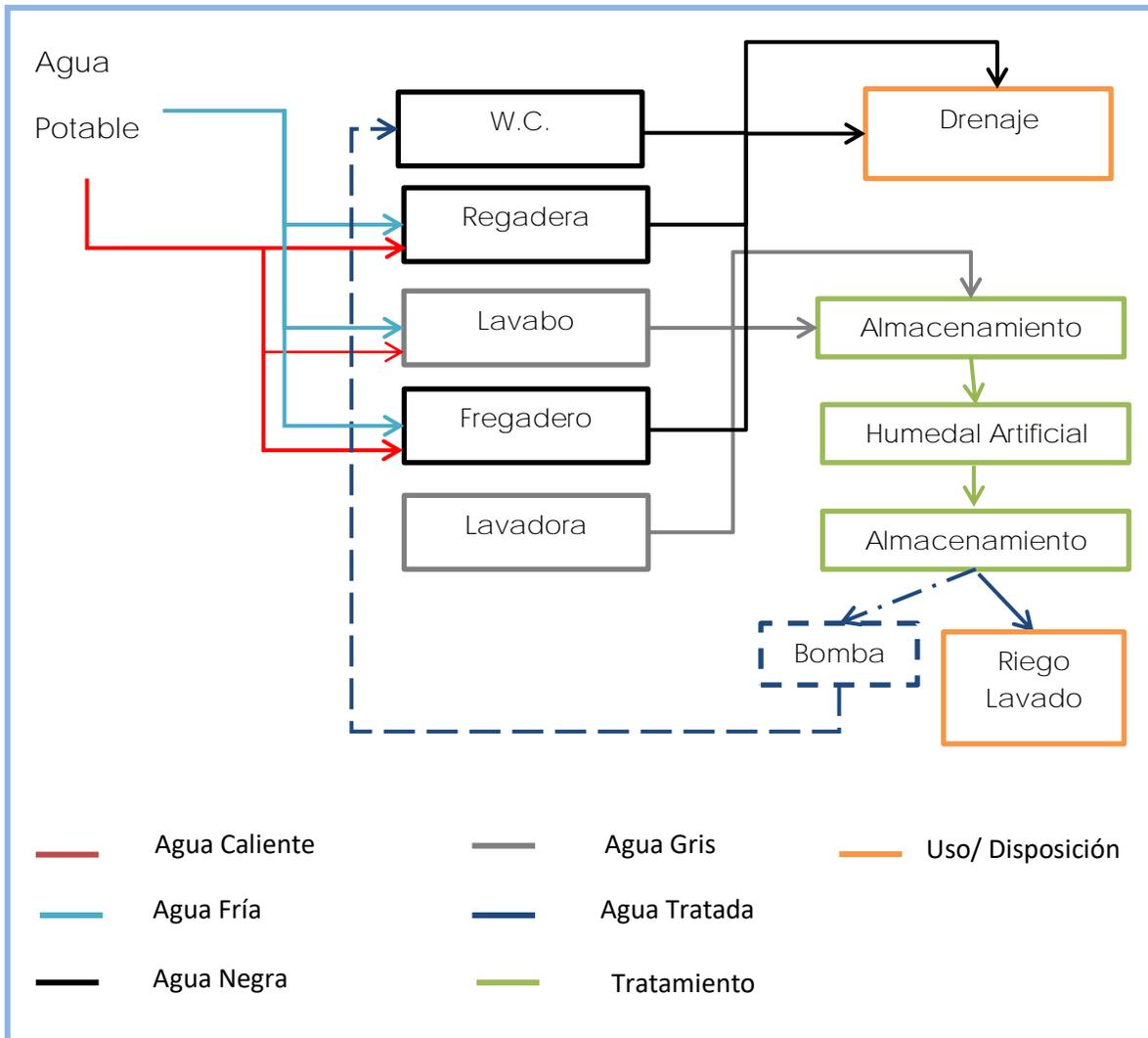


Figura 27. Circulación del agua dentro de VIS CASA UNAM.

4.6. Características de calidad de las aguas grises

La calidad de las aguas grises que el uso de VIS CASA UNAM conllevará es desconocida, debido a que es un prototipo en etapa de construcción, y dependerá de los hábitos propios de sus habitantes. Sin embargo, existen estudios que han parametrizado la calidad de las aguas residuales grises en varias partes del mundo. En la Tabla 12 se muestra el volumen de aguas grises producidos en distintos países; en la Tabla 13 se describen las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas grises, y en la Tabla 14 se aprecian los valores bajos,

típicos y altos de las concentraciones de parámetros de mayor relevancia en las aguas grises observadas en distintas ciudades.

Tabla 13. Producción de agua gris en algunos países.

Fuente: (Morel & Diener, 2006)

País	Vietnam	Jordania	Israel	Nepal	Suiza	Australia	Malasia
Producción	L/hab/día	L/hab/día	L/hab/día	L/hab/día	L/hab/día	L/hab/día	L/hab/día
Total	80 - 110	50	98	72	110	113	225
Cocina	15 - 20	-	30	-	28	17	-
Regadera/Lavab o	30 - 60	-	55	-	52	62	-
Lavado de ropa	15 - 30	-	13	-	300	34	-
Nota: Estos valores se refieren a casos específicos con condiciones particulares y no reflejan los promedios nacionales. El estilo de vida parece ser más decisivo que la ubicación.							

Tabla 14 Características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas grises.

Fuente : (Noutsopoulos, y otros, 2017)

Parámetro	Unidad	Concentración	Parámetro	Unidad	Concentración
Aluminio	mg/L	0.01 – 0.5	Alcalinidad total	mg/L	12 – 35
Arsénico	mg/L	< 0.01	ST	mg/L	20 – 126
Plomo	mg/L	1.0 – 1.31	SST	mg/L	25 – 183
Hierro	mg/L	0.1 – 0.4	Conductividad	μS/cm	82 – 1845
Calcio	mg/L	0.1 - 1.4	Fósforo total	mg/L	0.1 – 2.0
Cadmio	mg/L	< 0.03	Sulfatos	mg/L	83 – 160
Cromo Total	mg/L	< 0:05	Cloruros	mg/L	20 – 30
Plata	mg/L	< 0:05	pH	mg/L	6.3 – 8.1
Molibdeno	mg/L	0.2 – 0.5	NTK	mg/L	1.7 – 34.3
Cobre	mg/L	0.01 – 0.5	(DBO ₅)	mg/L	47 – 466
Níquel	mg/L	< 0.05	(DQO)	mg/L	100 – 700
Manganeso	mg/L	0.01 – 0.5	Grasas y aceites	mg/L	7 – 230

Sodio	mg/L	68 – 93	Coliformes fecales	CFU/ 100 ml	0.1 – 1.5 x 10 ⁸
Potasio	mg/L	0.8 – 3	Coliformes totales	CFU/ 100 ml	56 – 8.03 x 10 ⁷
Magnesio	mg/L	0.4 – 5.0	Escherichia coli	CFU/ 100 ml	0 – 2.51 x 10 ⁷
Zinc	mg/L	0.1 – 0.5	Surfactantes	mg/L	45 – 170

Tabla 15. Valores bajos, medios y altos de DBO, SST, PT y NT de las aguas grises en función de la producción de aguas grises.

Fuente: (Morel & Diener, 2006)

Producción diaria de agua gris	200 L			100 L			30-50 L		
	Baja	Típica	Alta	Baja	Típica	Alta	Baja	Típica	Alta
DBO (mg/L)	50	150	600	100	250	500	300	700	1500
SST (mg/L)	50	100	500	50	150	500	150	500	1500
PT (mg/L)	1	10	50	1	15	100	5	30	200
NT(mg/L)	1	5	30	1	10	50	1	20	80
	USA, Malasia USA			Vietnam, Suecia, Canadá, Israel, Costa Rica, Tailandia			Jordania, Palestina, Mali		
Nota: El valor del fósforo en las aguas grises depende de la presencia o ausencias de fósforo contenido en los detergentes.									

Como se observa en las tablas 12, 13 y 14, las variaciones de las características de las muestras, en estos casos particulares, son grandes. Se observa que la calidad del agua residual gris dependerá de diversos factores, tales como la calidad y cantidad del agua suministrada, frecuencia y formas uso, así como de los productos de limpieza utilizados, entre otras. Lo ideal para plantear y diseñar el tratamiento de las aguas grises es realizar un análisis de la calidad del agua gris, lo que conllevará que el resultado se acerque mucho más a las condiciones esperadas en el tiempo de vida del sistema y, por lo tanto, el diseño será más adecuado.

Para fines prácticos se analizó la Tabla 14 y se utilizó el valor típico de los valores más bajos con una producción de 200 L, ya que no estamos contemplando las aguas provenientes de la cocina y de la regadera como parte de las aguas a tratar.

Esto trae como consecuencia una menor contribución de materia orgánica en el efluente, esperando que la cantidad de DBO en el agua a tratar sea menor. El valor elegido para realizar el dimensionamiento es de 150 mg/L.

4.7. Elección del sustrato

Se utilizará tezontle ya que es un material ligero y debido a que posee una alta porosidad, permitirá el crecimiento de mayor película microbiana, lo que mejora considerablemente la eficiencia del tratamiento. El tezontle tiene un valor de porosidad de 0.45 y además permite un mejor enraizamiento de las plantas. Este enraizamiento mejorará el tratamiento de las aguas grises, porque al tener una mayor cantidad de raíces en el medio, mayor será la cantidad de oxígeno disuelto que entrará al sistema, favoreciendo el metabolismo aerobio. (Rofriguez et al., 2013).

4.8. Dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas grises.

Según el balance de masas mostrado, se estima que se generará un volumen de 93 L/día, es decir, 0.093 m³/día de agua gris, por los dos habitantes de la vivienda.

El cálculo de dimensionamiento del humedal artificial se basará en la reducción de la DBO, pero se puede ajustar si se enfoca en remover otro tipo de parámetros, como el nitrógeno o el fósforo.

Para determinar el tamaño del reactor es indispensable contar con la temperatura del ambiente en donde el sistema estará operando. Para identificar la temperatura de la CDMX, se examinaron los datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional. (Tablas del Anexo 1). Se tomaron los datos promedio de temperaturas medias y mínimas de todos los meses de los últimos 10 años y como dato a emplear se decidió la temperatura promedio mínima de todo el análisis. Esto con el fin de asegurar que el humedal funcionará adecuadamente cuando se presenten temperaturas bajas y favorecer el tratamiento al presentarse temperaturas más

altas. La temperatura mínima promedio registrada en los últimos 10 años fue de 11 °C (Delgado & Pérez William).

La calidad del efluente a la que se pretende llegar es una DBO₅ de 10 mg /L, esto con el fin de garantizar el cumplimiento de la NOM-003-Semanat-1996, la cual establece los límites de contaminantes en el agua tratada para uso público. Esta norma establece que el límite máximo permisibles es de 20 mg/L.

Para calcular la velocidad de reacción a la temperatura de diseño se utiliza la ecuación 1. El valor de K₂₀ es 1.104, para aguas residuales crudas. Se ha demostrado que las aguas residuales grises tienen una velocidad de reacción mayor, al estar la materia orgánica disponible (Delgado & Pérez William).

$$K_r = K_{20}(1.06^{T-20}) \text{ [Ecuación 1]}$$

K_r = Constante de velocidad de reacción a la teperatura T [día⁻¹]

K₂₀ = Constante de velocidad de reacción a la teperatura de 20 [día⁻¹]

K₂₀ = 1.106 para aguas residuales negras crudas

T = Temperatura de operación[° C]

$$K_r = 1.1(1.06^{11-20})$$

$$K_r = 1.1(1.06^{11-20})$$

$$K_r = 0.65$$

Posteriormente, se determina el tiempo de retención mediante la ecuación 2.

$$t = \frac{-\ln(C/C_0)}{K_r} \text{ [Ecuación 2]}$$

Donde

T = Tiempo de retención hidráulica TRH [días]

C₀ = DBO entrada en $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$

C = DBO salida en $\frac{\text{mg}}{\text{L}}$

$$t = \frac{-\ln(10/100)}{0.65} = 3.54 \text{ dias}$$

Se procede a calcular el área requerida para tratar el agua utilizando la siguiente expresión.

$$As = \frac{Qt}{\eta dw} [\text{Ecuación 3}]$$

Donde

As = área requerida [m^2]

t = TRH [días]

Q = Gasto [$\frac{\text{m}^3}{\text{día}}$]

η = Porosidad del sustrato [%]

dw = Profundidad de sustrato [m]

$$As = \frac{0.093 * 3.54}{0.40 * 0.60} = 1.37 \text{ m}^2$$

Se determina el ancho requerido con la siguiente expresión.

$$w = \left(\frac{As}{Ra}\right)^{1/2}$$

Donde

w = ancho del humedal [m]

Ra = Relación $\frac{\text{longitud}}{\text{ancho}}$. Se recomienda 2: 1,4: 1

Se utilizará una relación Ra de 2

$$w = \left(\frac{0.85}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.83$$

Finalmente se obtiene el largo con la expresión.

$$l = \frac{As}{w}$$

Donde

As = Area Requerida [m^2]

w = ancho del humedal [m]

l = largo del humedal [m]

$$l = \frac{1.42}{0.80} = 1.66m$$

Las dimensiones del humedal resultan en 1.66 de largo por 0.83 de ancho y 0.60 de profundidad.

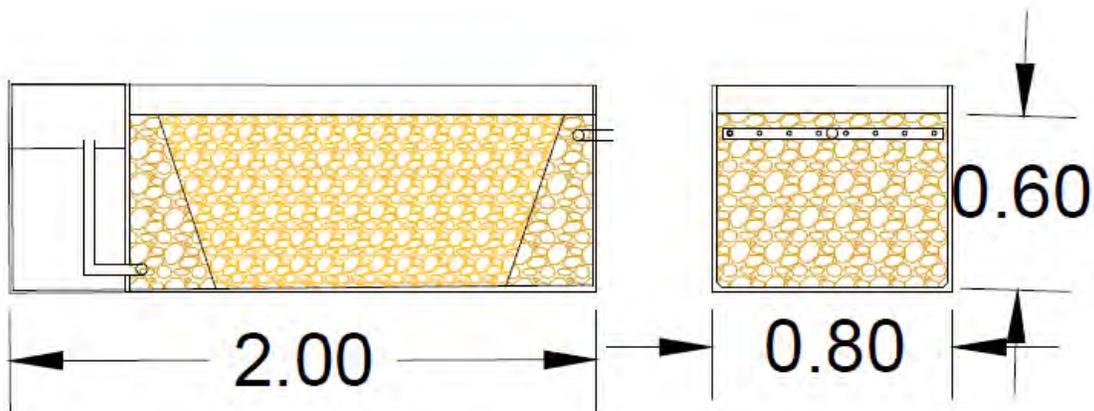


Figura 28. Cortes del humedal artificial propuesto.

El fondo del humedal deberá tener una pendiente de 0.5% para favorecer el flujo y evitar estancamientos. Por otro lado, el ingreso del agua al reactor debe garantizar

una buena distribución y evitar puntos muertos donde no exista un tratamiento. Para esto se colocará una tubería transversalmente de 38 1 ½" de diámetro la cual estará perforada con orificios de 1 cm de radio. Esto permitirá distribuir el agua uniformemente permitiendo una mejor operabilidad del sistema (Figura 29).

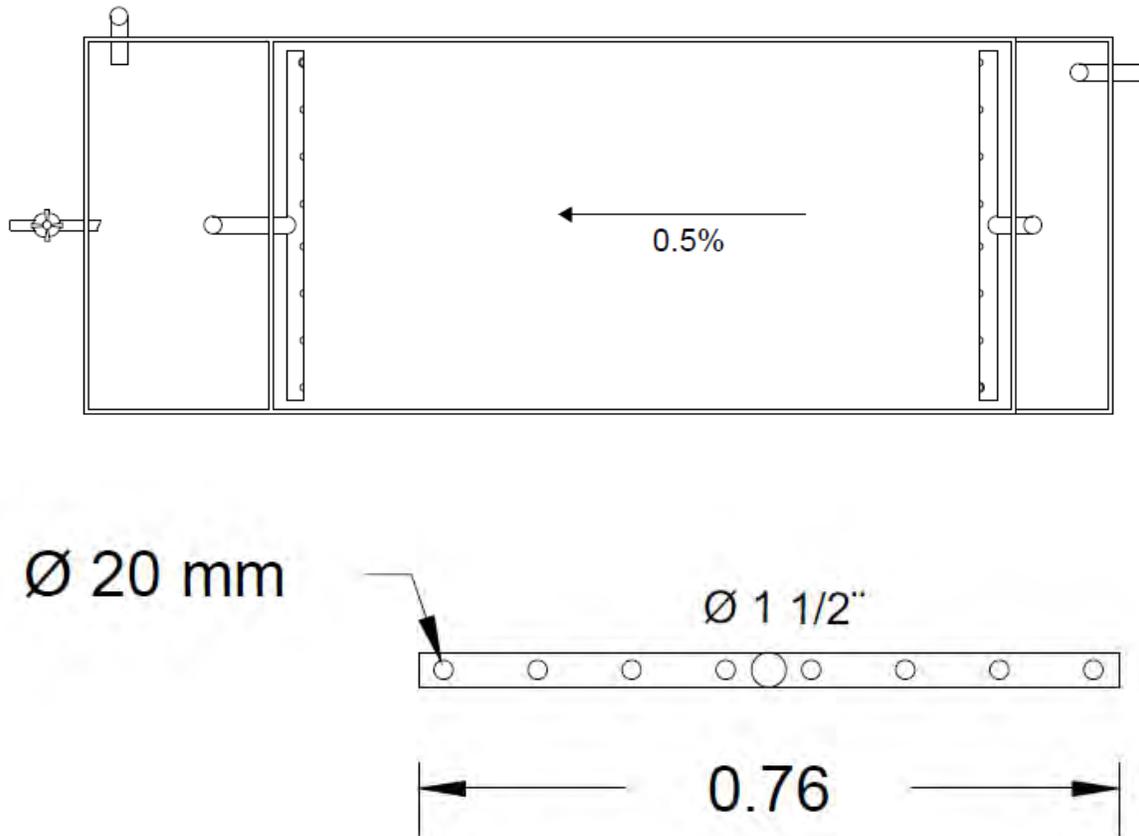


Figura 29 Sistema de tuberías del humedal artificial.

4.9. Tanque de regulación y tanque de almacenamiento.

Para regular la entrada al humedal y así evitar la entrada brusca que puedan afectar la operatividad del reactor se propone incorporar un volumen de almacenamiento a la entrada. Este volumen debe ser pequeño y solo funcionará como regulador. No se adicionará una trampa de grasas al no esperarse grandes concentraciones a la salida del efluente, debido a que la mayor fuente de grasas y aceite se encuentra en el agua producto de la cocina. Adicionalmente, a la salida de la tubería de aguas grises al tanque de regulación se incorporará una malla plástica que pueda contener

partículas (fibras textiles, vello) que sean arrastrados por las aguas grises y que puedan obstruir y afectar la eficiencia del humedal.

A la salida del humedal habrá un tanque de almacenamiento contiguo que permita contener el agua tratada. La capacidad de almacenamiento es de 176 L, lo que permitirá almacenar hasta un 47% más del agua gris generada al día. El tanque contará con una llave de paso en la parte inferior que permite extraer el agua y además con una tubería de demasías, en caso de que se trate más agua de la que se reutiliza. Esta tubería se conectará al sistema de drenaje.

Tanto el tanque de regulación como el tanque de almacenamiento tendrán tapas removibles que permitirán darle mantenimiento al sistema.

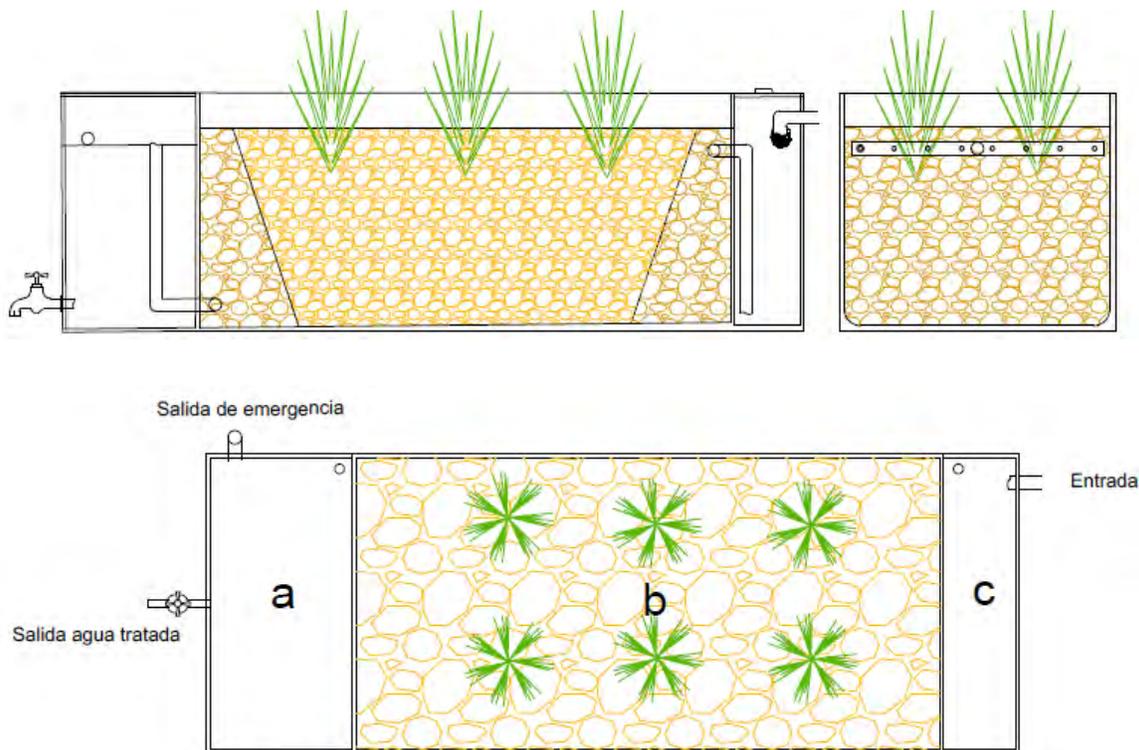


Figura 30. Sistema de tratamiento propuesto.

(a) Tanque de almacenamiento, (b) biofiltro, (c) tanque de regulación

4.10. Elección de la vegetación.

Todas las plantas actúan sobre los contaminantes de la misma manera. Todas pueden utilizar los nutrientes y la materia orgánica presente en las aguas grises, hasta cierto punto. Sin embargo, se recomienda utilizar plantas endémicas, ya que éstas ya están adaptadas al clima y estabilizarán el sistema más rápidamente (Delgado & Pérez William). Sin embargo, se puede utilizar cualquier planta de humedal que crezca apropiadamente, por ejemplo:

- Las aneas (*Typha* spp.). Es fuerte, fácil de propagar, y capaz de producir una biomasa anual grande. Típicamente quitan cantidades grandes del nitrato y del fosfato.
- Juncos (*Schoenoplectus* spp., *Scirpus* spp.) crecen en grupos y de forma óptima en agua que tiene una profundidad de 5 cm a 3 m. Estas plantas agresivas logran una eliminación alta de contaminantes.
- Céspedes de caña (*Phragmites australis*). Son plantas altas con raíces profundas, esto permite el transporte de oxígeno a mayor profundidad mejorando la eficiencia.

Se ha establecido que la elección de la vegetación podría ser opcional, de acuerdo con las preferencias del usuario, dándole la oportunidad de escoger el que más le agrade, sin que exista una variación significativa de la eficiencia del sistema. Al ser este humedal un módulo adaptable a VIS CASA que se pretende ser comercializado, debe ser atractivo para la aceptación en el mercado.

4.11. Material de fabricación

Para la selección del material con el que será construido el humedal se consideró utilizar fibra de vidrio, sin descartar la implementación de otros materiales que resulten ser una mejor alternativa, por minimizar los costos, así como optimizar el proceso de manufacturación. Las propiedades principales de la fibra de vidrio son:

- Buen aislamiento térmico
- Inerte ante el ataque de los ácidos

- Resistencia a altas temperaturas

Estas características y los bajos costos le han dado las extensas aplicaciones en la industria, esto se debe también a que es fácilmente moldeable utilizando mínimos recursos (Propiedades de la Fibra de Vidrio, 2018).

4.12. Mantenimiento del sistema

En general, se recomienda tener cuidado con los productos de limpieza utilizados en el hogar, ya que pueden ser nocivos para las plantas. También se obtendrá una mejor calidad de agua si se utilizan jabones biodegradables y no se abusa de sustancias químicas reactivas, como el cloro. Se tendrá que podar la vegetación regularmente para fomentar el crecimiento de las plantas y así incrementar la remoción de contaminantes. Se tendrá que revisar el tanque de regulación periódicamente, para revisar si la malla plástica ha retenido partículas suspendidas y de ser así hacer una limpieza.

5. Conclusiones

La limitante de espacio fue fundamental para la solución arquitectónica e ingenieril del prototipo VIS CASA UNAM; la mayoría de las alternativas propuestas para la gestión integral y aprovechamiento óptimo de las aguas residuales requieren en general de grandes volúmenes y energía. Algunas alternativas como el caso del baño seco solicita un manejo eficiente de los residuos sólidos y líquidos, de otra manera representaría un foco potencial de infección. Interconectar los muebles sanitarios, también es propenso a generar malos olores. La solución planteada pretende contribuir a la disminución del consumo de agua potable, tratando las aguas residuales grises de ser posible, y aprovechando el sistema de drenaje profundo con la que cuenta la CDMX. De esta manera no se gastan recursos innecesarios.

Para los sistemas separados de desalojo de aguas negras y grises se utilizará tuberías de PVC debido a que es un material resistente y cuya disponibilidad en el mercado es amplia, además, de que su ensamblaje es relativamente rápido. Las tuberías de aguas negras tendrán diámetros de 1 ½" para los tramos que transportan aguas producto del lavabo y el fregadero, y de 2" para aquellos tramos que transporten aguas del W.C. Por otro lado, el sistema de aguas grises tendrá diámetros de 1 ½" en tramos de tuberías que lleven agua del lavabo y de 2" para las tuberías que transportan el agua de la lavadora. Solo se necesitarán tuberías de dos diámetros (1 ½ ", 2") con sus respectivos accesorios (codos a 90°, "T", coples, etc.) para instalar los sistemas de evacuación de aguas residuales en VIS CASA UNAM.

Se dará tratamiento de las aguas residuales grises, si las condiciones de espacio lo permiten, a través de un humedal artificial debido a que es un sistema natural con bajo o nulo consumo de energía y que requieren mínimo mantenimiento. Además, estos reactores han demostrado ser eficientes para el tratamiento aguas residuales grises y son sencillos de diseñar. Tendrá un tanque de regulación y un tanque de almacenamiento integrado con el fin de que sea solo un objeto transportable. Las dimensiones generales son de 2.20 m de largo, 0.70 m de alto y 0.8 m de ancho,

por lo que requerirán un área considerable para su colocación. El material de fabricación propuesto es la fibra de vidrio debido a sus propiedades y a su practicidad en la industria; sin embargo, se está abierto a utilizar otro tipo de material(es) que se adapten a los requerimientos producción manufacturera y que no pongan en riesgo la operabilidad del sistema. Las tuberías de conducción, por otro lado, también serán de PVC, con diámetros de 1 ½ “. El sustrato empleado será tezontle por su gran porosidad y ligereza.

Es recomendable hacer pruebas fisicoquímicas y bacteriológicas para conocer la calidad del agua proveniente del lavabo y la lavadora y poder hacer un mejor dimensionamiento del biofiltro. Por otro lado, el sistema fue diseñado para la temperatura mínima promedio anual, y se esperan una mejor calidad de agua y un aumento en su eficiencia cuando se rebase esta temperatura.

Finalmente, VIS CASA UNAM es un proyecto innovador de vivienda sustentable. Uno de sus pilares es la gestión integral del agua, pretende disminuir y eficientizar el consumo de agua dentro de sus instalaciones mediante el tratamiento y reutilización de las aguas grises para fines que no requieren una calidad potable. Con ello ayudar a disminuir la presión actual sobre los recursos hídricos y ayuda a hacer conciencia para el cuidado y preservación de nuestros recursos.

6. Bibliografía

- Cronk, J. K., & Fennessy, S. M. (2001). *Wetlands Plants: Biology and Ecology*. USA: Lewis Publishers.
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., & von Muench, E. (2011). *Technology Review of Constructed Wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment*. Eschborn: Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, GIZ Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN.
- Allen, L. (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior*. Greywater Action.
- Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J., & Hernández Marta. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas porcinas. *Informador Técnico*, 12-22.
- Bazant S., J. (2012). *Hacia un Desarrollo Urbano Sustentable: Problemas y criterios de solución*. México: Limusa.
- Becerril, O. (2009). *Datos Prácticos de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias* (2a Edición ed.). México.
- Blanco, H. A., De Williams, M. L., Velezmoro, A. C., & Aguila, V. H. (2014). Consumo de Agua en Actividades Domésticas: Caso de Estudio_Estudiantes de la Asignatura Saneamiento Ambiental de la UCV. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V*, 51-56.
- Delgado, H., & Pérez William. (s.f.). *Biofiltro Domiciliares: Filtros Biológicos para la remoción de nutrientes de aguas grises*. Nicaragua: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Vice Presidencia de la Republica de Nicaragua.
- Fernández B., F. (2011). *Habita-Mueble: Propuesta Conceptual de Vivienda*. México: Facultad de Arquitectura, UNAM.
- Fernández S., F. (2013). *Estructura Exterior del Proyecto Habita-Mueble (Tesis de Licenciatura)*. Mexico: UNAM.
- Gravita. (18 de Mayo de 2015). *Nuevas Tendencias en Materiales de construcción*. Obtenido de Gravita: <https://www.gravita.com.mx/blog/nuevas-tendencias-en-materiales-de-construccion/>
- Hammer, D. A. (1989). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultura*. USA: CRC Press.

- Hammer, D. A. (1989). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*. USA: CRS Press.
- Hammer, D. A. (1996). *Creating Freshwater Wetlands, Second Edition*. USA: CRC Press.
- Harper, E. (2002). *El ABC de las Instalaciones de Gas, Hidráulicas y Sanitarias*. México: Limusa.
- Hernández, L. L., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. (2011). Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination*, 111-115.
- Jin, Z., Xie, X., Zhou, J., Bei, K., Zhang, Y., Huang, X., . . . Zheng, X. (2018). Blackwater treatment using vertical greening: Efficiency and microbial. *Bioresource Technology*, 175-181.
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2008). *Treatment Wetlands, Second Edition*. FL: CRC Press.
- Kubba, S. (2012). *Handbook of Green Building Design and Construction*. U.S.A.: Elsevier Inc.
- Lara B., J. A. (1999). *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña, Instituto de Tecnologías.
- Morel, A., & Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries*, Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
- Noutsopoulos, C., Andreadakis, A., Kouris, N., Charchousi, D., Mendrinou, P., Galani, A., . . . Koumaki, E. (2017). Greywater characterization and loadings e Physicochemical treatment. *Journal of Environmental Management*, 1-10.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) . (2009). Guías Técnicas sobre Saneamiento, Agua y Salud: Cantidad Mínima de Agua Para Uso Doméstico. *Guía Técnica No. 9*, 1-4.
- Pérez C., R. (2015). *Instalaciones hidrosanitarias, de gas y de aprovechamiento de agua de lluvia en edificaciones*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Propiedades de la Fibra de Vidrio*. (02 de Marzo de 2018). Obtenido de Fibra de Vidrio, UNO: <http://fibravidriouno.com/propiedades-de-la-fibra-de-vidrio/index.html>
- Rofriguez D., E., Salcedo P., E., Rodriguez M., R., Gonzales E., D., & Mena M., S. (2013). Reuso del Tezontle: Efecto en sus características Físicas y en la Producción de Toamte (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Tierra Latinoamericana*, 31(4).
- Stefanakis, A., Akratos, C. S., & Tsihrintzis, V. A. (2014). *Vertical Flow Constructed Wetlands: Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment*. UK: Elsevier.

7. Anexos

7.1. Análisis FODA de las alternativas propuestas.

Nombre de la alternativa: Drenaje Municipal

	ANÁLISIS INTERNO	ANÁLISIS EXTERNO
positivos	Fortalezas	Oportunidades
	<ul style="list-style-type: none"> • Ya se cuenta con una gran distribución de servicios • La oferta comercial para accesorios es amplia. • Los costos son menores al tener una gran distribución. • El mantenimiento local por el usuario final y de sistemas absorbido por el municipio. 	<ul style="list-style-type: none"> • La ampliación y posibilidad que llegar a más personas. • Modernización del sistema aplicando nuevas tecnologías. • Fomentar la separación de tipos de residuos en nuevos asentamientos.
negativos	Debilidades	Amenazas
	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento dependiendo del aparato gubernamental. • Gran tamaño del sistema • Localización de fallas • Costos para ampliación de servicio 	<ul style="list-style-type: none"> • El abandono y poco mantenimiento • Saturación del sistema • El manejo de residuos. • Obstrucciones en el sistema

**Nombre de la alternativa: Drenaje Municipal complementado con muebles
intercomunicados**

	ANÁLISIS INTERNO	ANÁLISIS EXTERNO
positivos	Fortalezas	Oportunidades
	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión continúa de muebles. • Menos uso de espacio para instalaciones. • Menor transporte del prototipo. • 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor consumo de agua • Dicho espacio puede usarse para otras necesidades. •
negativos	Debilidades	Amenazas
	<ul style="list-style-type: none"> • Malos Olores • No cumple con el sistema de abastecimiento • Requiere mantenimiento. <ul style="list-style-type: none"> • Costos altos 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede generar una enfermedad al hacer uso continuo de la misma agua. •

Nombre de la alternativa: Drenaje Municipal complementado con baño seco

	ANÁLISIS INTERNO	ANÁLISIS EXTERNO
positivos	Fortalezas	Oportunidades
	<ul style="list-style-type: none"> • Exenta el uso de agua para la disposición de las excretas (excremento, orina). • Al disecar los residuos sólidos se limita la proliferación biológica. • Disminuye la carga orgánica a los sistemas municipales, DBO. • La orina contiene compuestos fertilizantes (Nitrógeno) • Las heces fecales son consideradas biomasa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de tecnología y red. • Permite el ahorro del 40 % del agua potable al interior de la casa. • Mejor la cultura o el desarrollo de un interés por el medio ambiente. • La orina y las heces pueden ser un residuo con valor agregado. • Se puede suministrar energía a partir del proceso de los biosólidos. • Innovar positivamente.
negativos	Debilidades	Amenazas
	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere la generación de una red e infraestructura que garantice el uso adecuado de los residuos. • No existe la tecnología adecuada para garantizar la seguridad e higiene. • La aceptación social no es adecuada. • No existe una reglamentación adecuada al respecto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser un foco de infección debido a un mal uso. • Se requiere grandes inversiones sin la garantía de existir. • Se puede tener un proceso encarecido el cual no genera la rentabilidad adecuada. • Se puede colapsar sistemas colaterales.

Nombre de la alternativa: _Drenaje Municipal complementado con biodigestor.

	ANÁLISIS INTERNO	ANÁLISIS EXTERNO
positivos	Fortalezas	Oportunidades
	<ul style="list-style-type: none"> • Se aprovechan los residuos para producción de gas y fertilizantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución del gasto energético de los usuarios. • Funcionaria en sistemas colectivos.
negativos	Debilidades	Amenazas
	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupa mucho espacio. • Los gases producidos son venenosos e inflamables. • Demanda mantenimiento • Eleva el costo energético de producción de alimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de explosión e incendio por el mal manejo. • Aumentaría el peso a una construcción ligera. •

Nombre de la alternativa: _Drenaje Municipal complementado con Humedales

	ANÁLISIS INTERNO	ANÁLISIS EXTERNO
positivos	Fortalezas	Oportunidades
	<ul style="list-style-type: none"> • La vegetación funciona como ornamento. • Muy bajo costo de mantenimiento. • Reutilización del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de tratar el agua. • Para climas cálidos puede funcionar como colchón térmico. •
negativos	Debilidades	Amenazas
	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de uso de suelo. • Requiere tiempo para operar eficientemente. • No se puede transportar 	<ul style="list-style-type: none"> • Plaga de animales. • Liberación de CO2

7.2. Temperaturas en la CDMX

Temperatura Media Promedio [° C]													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
2007	15.3	16.0	17.6	18.9	19.4	19.6	18.6	18.5	17.1	16.2	15.3	15.3	17.3
2008	14.5	16.6	17.2	19.8	19.8	18.4	17.2	18.5	17.7	16.4	14.7	14.2	17.1
2009	14.3	15.7	17.5	19.9	20.1	19.8	18.5	19.3	18.3	18.3	15.7	15.4	17.7
2010	13.1	14.6	18.2	18.8	20.8	20.5	18.1	18.4	17.9	16.6	14.9	12.8	17.1
2011	14.6	16.7	17.2	20.1	21.4	18.9	18.0	18.6	17.6	16.2	15.5	14.1	17.4
2012	13.9	15.1	17.5	17.9	19	18.8	17.7	18.1	17.5	17.5	15.1	15.6	17.0
2013	15.1	17.7	16.8	20.5	20.5	19.8	19.0	18.6	18.3	18.3	16.3	15.8	18.1
2014	13.9	17.3	18.7	19.7	18.9	18.9	18.2	18.7	18.6	17.3	16.8	15.2	17.7
2015	14.7	16.0	16.9	19.3	19.1	19.1	18.9	19.2	18.6	18.1	17.6	16.3	17.8
2016	14.1	15.8	17.4	20.1	20.9	18.9	18.8	19.2	18.9	17.9	15.7	16.6	17.9
2017	15.5	16.9	17.3	19.3	21.3	20.3	18.7	19.6	18.5	17.6	16.2	14.6	18.0

Temperatura Media Promedio

17.6

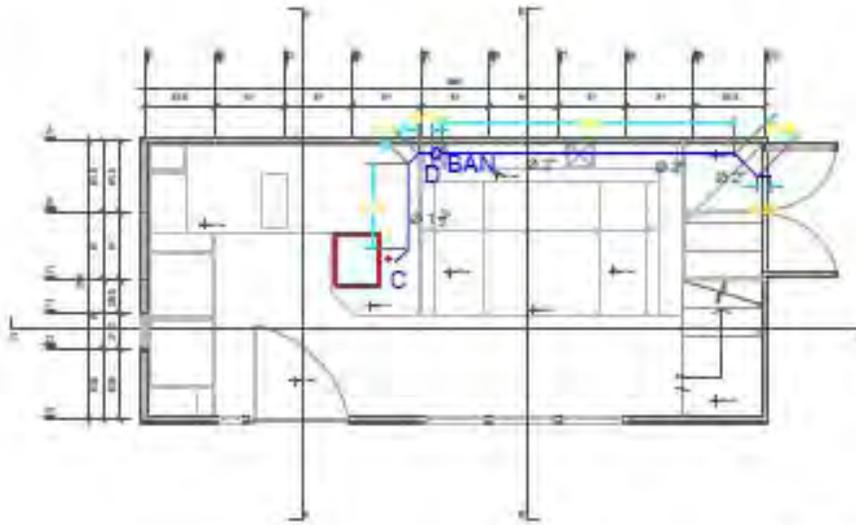
Temperatura Mínima Promedio [° C]

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
2007	8.4	8.8	10.2	12.3	12.9	13.3	13	13.2	10.7	10.6	8.4	8.7	10.9
2008	7.3	9.2	10.1	12.8	13.1	12.6	11.9	12.7	13	10.5	7.5	6.1	10.6
2009	6.9	7.5	9.4	12.2	13.2	13.5	12.2	13.3	13.5	12.9	9.1	8.9	11.1
2010	7.1	8.0	10.2	11.6	13.5	14.1	13.3	13.2	13.2	9.7	7.3	4.9	10.5
2011	6.7	9.0	9.1	12.4	14.1	13	12.7	12.7	12.1	9.8	9.0	6.3	10.6
2012	7.2	9.3	10.0	11.0	11.9	13.1	12.3	13.4	11.8	10.8	8.7	7.9	10.6
2013	8.2	9.6	9.5	13.0	13.4	13.7	13.1	13.1	13.4	12.6	10.2	8.9	11.6
2014	6.9	9.6	11.5	12.7	12.7	13.7	12.7	13.2	13.7	12	10.5	9.2	11.5
2015	8.2	9.2	10.7	12.4	12.9	13.7	13.1	13.3	13.3	12.4	11.8	9.7	11.7
2016	7.5	8.1	10.8	12.9	14.1	13.3	13.1	13.6	13.7	12.2	10	9.9	11.6
2017	7.7	9.4	10.1	12.2	14.5	14.2	13.1	14.1	13.6	12	8.8	6.8	11.4

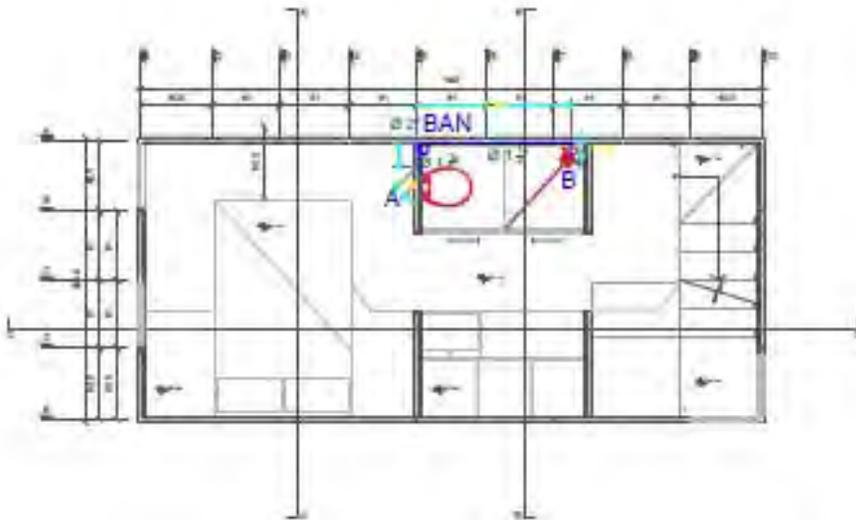
Temperatura Mínima Promedio

11.1

7.3. Planos desalojo aguas negras

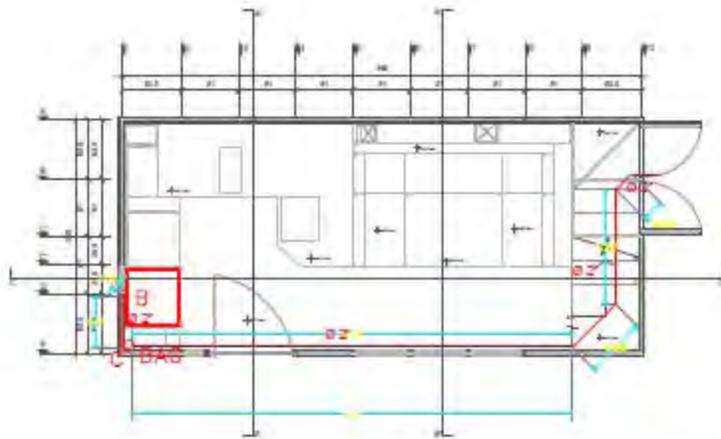


Planta baja

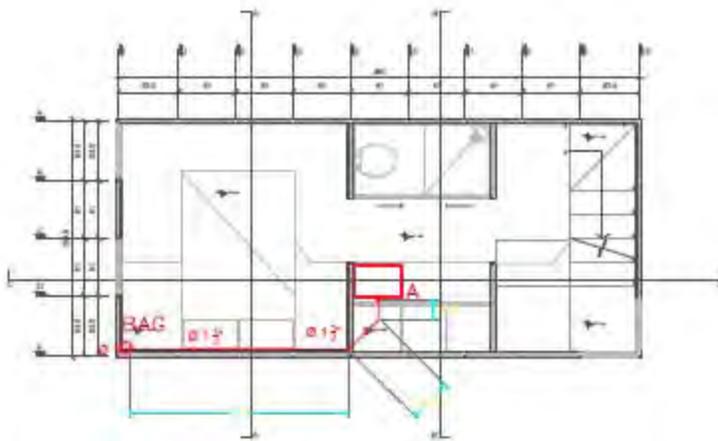


Primer nivel

7.4. Planos desalojo aguas grises



Planta baja



Primer nivel

7.5. Humedal Artificial

