

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño y prototipado de sistema de filtrado de aguas grises y  
lluvia para descarga en un sanitario de una casa**

Trabajo de graduación presentado por Jean Carlo André Arauz Estrada  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica  
Industrial

Guatemala,

2023



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño y prototipado de sistema de filtrado de aguas grises y  
lluvia para descarga en un sanitario de una casa**

Trabajo de graduación presentado por Jean Carlo André Arauz Estrada  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica  
Industrial

Guatemala,

2023

Vo.Bo.:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Luis Diego Casteñeda Fernandez

Tribunal Examinador:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Luis Diego Casteñeda Fernandez

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Cesar Alberto Rosales Gomez

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Laura Maria Roldan Reyes

Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de enero de 2023.

<b>Lista de figuras</b>	<b>X</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>XI</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Justificación</b>	<b>3</b>
<b>3. Objetivos</b>	<b>5</b>
3.1. Objetivo general . . . . .	5
3.2. Objetivos específicos . . . . .	5
<b>4. Marco teórico</b>	<b>7</b>
4.1. Escasez de agua . . . . .	7
4.1.1. Distribución de gastos de agua en una casa promedio . . . . .	7
4.1.2. Aguas grises . . . . .	8
4.1.3. Agua de lluvia . . . . .	8
4.1.4. Usos de agua reutilizada y captada, es decir, proveniente de ducha y lluvia . . . . .	8
4.2. Características del agua, normas y riesgos . . . . .	9
4.2.1. Definición de características físicas, organolépticas, químicas y micro- biológicas . . . . .	9
4.2.2. Características físicas / químicas del agua . . . . .	9
4.2.3. pH: . . . . .	9
4.2.4. Oxígeno disuelto (DO, siglas en inglés): . . . . .	9
4.2.5. Sólidos totales en suspensión (TSS, siglas en inglés): . . . . .	9
4.2.6. Turbiedad: . . . . .	10
4.2.7. Conductividad: . . . . .	10
4.2.8. Sólidos totales disueltos (TDS): . . . . .	10

4.2.9.	Demanda de oxígeno bioquímico (BOD, siglas en inglés): . . . . .	10
4.2.10.	Demanda química de oxígeno (COD, siglas en inglés): . . . . .	11
4.2.11.	Metales pesados: . . . . .	11
4.2.12.	Sulfato: . . . . .	11
4.2.13.	Nitrato: . . . . .	11
4.2.14.	Nitrito: . . . . .	11
4.2.15.	Características y microbiológicas . . . . .	12
4.2.16.	Escherichia coli: . . . . .	12
4.2.17.	Norma guatemalteca sobre calidad del agua “COGUANOR NTG 29001” en comparación con normas Internacionales . . . . .	12
4.2.18.	Norma Nacional Agua para Consumo Humano, COGUANOR NTG 29001 de la Comisión Guatemalteca de Normas: . . . . .	12
4.2.19.	Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano, según COGUANOR NTG 29001C . . . . .	13
4.2.20.	Características químicas que debe tener el agua para consumo hu- mano, según COGUANOR NTG 29001 . . . . .	13
4.2.21.	Características microbiológicas, valores guía para verificación de la calidad microbiológica que debe tener el agua para consumo humano, según COGUANOR NTG 29001 . . . . .	13
4.2.22.	Normas internacionales . . . . .	14
4.2.23.	EPA: . . . . .	15
4.2.24.	Riesgos de reúso de aguas grises y de lluvia en la salud humana . . . . .	16
4.3.	Métodos para tratar el agua . . . . .	16
4.3.1.	Filtración . . . . .	16
4.3.2.	Tipos de filtros para purificación de agua . . . . .	16
4.3.3.	Tipos de procesos o tratamientos químicos para purificación . . . . .	18
4.3.4.	Tipos de procesos o tratamientos: . . . . .	19
4.4.	Esquemas de sistemas de reutilización de agua de ducha y lluvia . . . . .	20
4.4.1.	Esquemas de sistema de reutilización de agua de duchas . . . . .	20
4.4.2.	Esquema de sistema de captación de lluvia . . . . .	21
<b>5.</b>	<b>Metodología</b> . . . . .	<b>23</b>
5.1.	Proceso metodológico . . . . .	23
5.2.	Toma de muestras . . . . .	24
5.3.	Selección de filtro de agua . . . . .	26
5.4.	Selección de bomba de agua . . . . .	27
5.5.	Construcción de prototipo de sistema de filtrado para saneamiento del agua . . . . .	28
5.6.	Agua de ducha filtrada . . . . .	33
5.7.	Agua de lluvia filtrada . . . . .	36
5.8.	Definición de componentes en diseño propuesto . . . . .	41
5.9.	Definición de requisitos . . . . .	43
5.10.	Diseños preliminares: . . . . .	44
5.11.	Diseño final en función de la casa modelo . . . . .	45
5.12.	Cálculos . . . . .	49
5.13.	Costos . . . . .	58
5.14.	Costos de componentes en diseño propuesto . . . . .	62
5.15.	Recuperación de inversión . . . . .	63

<b>6. Resultados</b>	<b>65</b>
<b>7. Discusión de los resultados</b>	<b>73</b>
<b>8. Conclusiones</b>	<b>75</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>77</b>
<b>10. Bibliografía</b>	<b>79</b>
<b>11. Anexos</b>	<b>83</b>



---

## Lista de figuras

---

1.	Distribución de gasto de agua en el hogar . . . . .	7
2.	Requisitos de características físicas y organolépticas . . . . .	13
3.	Requisito de características químicas, tomada de COGUANOR NTG 29001 . . . . .	13
4.	Requisito de características microbiológicas . . . . .	13
5.	Criterios de calidad del agua para la descarga de inodoros . . . . .	14
6.	Criterios de calidad del agua para la descarga de inodoros China . . . . .	15
7.	Criterios para la reutilización de tecnologías de tratamiento, EPA United States Environmental Protection Agency, 2012 . . . . .	15
8.	Barreras de filtrado . . . . .	17
9.	Sistema de reutilización de agua de ducha . . . . .	20
10.	Sistema de reutilización de agua de ducha . . . . .	21
11.	Esquema captación de agua de lluvia . . . . .	21
12.	Esquema captación de agua de lluvia . . . . .	22
13.	Toma de muestra de agua de ducha . . . . .	24
14.	Embasado agua de ducha sin filtrar 1 . . . . .	25
15.	Embasado agua de ducha sin filtrar 2 . . . . .	25
16.	Captación de agua de lluvia por láminas . . . . .	26
17.	Cartucho de filtro de bloque de carbón activado . . . . .	27
18.	Curva característica bomba seleccionada . . . . .	28
19.	Componentes sistema de prototipado de etapa de filtrado . . . . .	28
20.	Teflón . . . . .	29
21.	Teflón en uniones . . . . .	29
22.	Adaptor en bomba . . . . .	29
23.	Tubería de descarga en bomba . . . . .	29
24.	Codo 90° . . . . .	30
25.	Cartucho de filtro en housing . . . . .	30
26.	Housing con adaptadores en los extremos de 1/2" . . . . .	30
27.	Unión de tuberías . . . . .	31
28.	Llave de cierre de paso . . . . .	31
29.	Tubería de soporte . . . . .	31
30.	Sistema completo . . . . .	32
31.	Recipientes para toma de agua de ducha . . . . .	33

32.	Recipiente llenado con agua de ducha . . . . .	33
33.	Cebado de bomba con agua de ducha . . . . .	34
34.	Toma de muestra de agua filtrada de ducha . . . . .	35
35.	Embudo para muestras . . . . .	35
36.	Conservación de muestras filtrada . . . . .	36
37.	Recolección de agua de lluvia por láminas 1 . . . . .	37
38.	Recolección de agua de lluvia por láminas 2 . . . . .	37
39.	Agua de lluvia previo a filtrar . . . . .	38
40.	Agua de lluvia en proceso de filtrado . . . . .	38
41.	Cebado de bomba con agua de lluvia . . . . .	38
42.	Toma de muestra de agua de lluvia filtrada . . . . .	39
43.	Llenado de recipiente de muestra . . . . .	39
44.	Embasado de muestra de agua de lluvia filtrada 1 . . . . .	40
45.	Embasado de muestra de agua de lluvia filtrada 2 . . . . .	40
46.	Propuesta inicial de diseño con tejado . . . . .	44
47.	Propuesta inicial de diseño con casa con tejado . . . . .	45
48.	Propuesta inicial con techo plano . . . . .	45
49.	Propuesta diseño final sistema . . . . .	46
50.	Modelo 3D sistema-proyecto . . . . .	47
51.	Modelo 3D del sistema de tuberías . . . . .	48
52.	Sistema canaleta y bajante . . . . .	52
53.	Diseño de tuberías . . . . .	54
54.	Comprobación software . . . . .	57
55.	Curva característica de bomba seleccionada . . . . .	59
56.	Filtro de carbón activado de bloque . . . . .	69
57.	Muestra de ducha antes (derecha) y después (izquierda) de filtrado . . . . .	69
58.	Muestra de lluvia antes (derecha) y después (izquierda) de filtrado . . . . .	70
59.	Bomba de agua . . . . .	70
60.	Modelo 3D sistema-proyecto . . . . .	71
61.	Modelo 3D del sistema de tuberías . . . . .	71

---

## Lista de cuadros

---

1.	Componentes . . . . .	41
2.	Accesorios . . . . .	42
3.	Definición de requisitos . . . . .	43
4.	Diámetros sugeridos para bajantes pluviales . . . . .	51
5.	Pendientes y diámetros sugeridos para canaletas pluviales . . . . .	51
6.	Coefficiente de pérdidas de accesorios de tuberías . . . . .	56
7.	Componentes . . . . .	62
8.	Caracterización física, organoléptica, química y microbiológica del agua de ducha . . . . .	65
9.	Caracterización física, organoléptica, química y microbiológica del agua de lluvia . . . . .	66
10.	Caracterización física, organoléptica, química y microbiológica del agua de ducha filtrada . . . . .	67
11.	Caracterización física, organoléptica, química y microbiológica del agua de lluvia filtrada . . . . .	68



El proyecto propone un sistema de reutilización de aguas provenientes de la ducha y lluvia para ser empelada en la descarga de inodoros de una casa, que ayudarán a mitigar la cantidad de agua innecesariamente potabilizada utilizada en esta actividad. El diseño se basa en el uso de la adaptación de canaletas, tuberías, una bomba hidráulica y un método de tratamiento de las aguas procedentes de la ducha y lluvia que serán almacenadas en un tanque; todos estos elementos se utilizaran para realizar un sistema capaz de abastecer parcial o totalmente la demanda de agua de descarga de un inodoro por persona en el hogar en donde se instale.

Para lograrlo se recopilaron muestras de agua de ducha y lluvia, posteriormente se realizó un análisis de características físicas, organolépticas, químicas y microbiológicas. Se calculó la cantidad de agua a ser tratada proveniente de lluvia y ducha en términos de volumen. Se determinó con base en los resultados de análisis el tipo de filtro para el saneamiento de dichas fuentes de agua que cumpla con el límite máximo permisible, según la norma seleccionada. Luego, se definió los tipos, tamaños y materiales que se emplearan en cada componente del sistema. Asimismo, el diseño del proyecto incluye un mecanismo para desviar el caudal de lluvia y/o ducha al drenaje cuando el tanque llegue a capacidad máxima, y que además este sistema de cierre funciona a voluntad de los usuarios en cualquier vía.

Con el filtro seleccionado se logró que 18 de los 20 parámetros medidos en laboratorio cumplieran con la norma comparada. Finalmente se elaboró una representación 3D del sistema y un análisis de recuperación de inversión inicial del diseño.



The project proposes a system for reusing water from showers and rain to be used to flush toilets in a house, which will help mitigate the amount of unnecessarily potable water used in this activity. The design is based on the use of the adaptation of gutters, pipes, a hydraulic pump and a method of treating the water from the shower and rain that will be stored in a tank; All these elements will be used to create a system capable of partially or totally supplying the demand for flushing water from a toilet per person in the home where it is installed.

To achieve this, samples of shower and rain water were collected, later an analysis of physical, organoleptic, chemical and microbiological characteristics was carried out. The amount of water to be treated from rain and showers was calculated in terms of volume. Based on the analysis results, the type of filter for the sanitation of said water sources that complies with the maximum permissible limit, according to the selected standard, was determined. Then, the types, sizes and materials used in each component of the system were defined. Likewise, the design of the project includes a mechanism to divert the flow of rain and/or showers to the drain when the tank reaches maximum capacity, and that this closure system also works at the will of the users in any way.

With the selected filter it was achieved that 18 of the 20 parameters measured in the laboratory complied with the compared standard. Finally, a 3D representation of the system and an initial investment recovery analysis of the design were developed.



Un quinto de la población mundial enfrenta escasez de agua y esta cifra sigue en aumento, siendo el acceso al agua un derecho humano esencial, convirtiéndolo en uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2014). Por lo que, partiendo de esta premisa, con este proyecto se propone un sistema de reutilización de aguas grises y pluviales para descargar en el inodoro y así lograr reducir el consumo de agua potabilizada en las casas. Como objetivo general se tiene que esta agua reutilizada previamente sea purificada y que cumpla con los límites permisibles de la Norma “COGUANOR NTG 29001”, sin embargo, dicha norma hace referencia al consumo de agua humano y no sobre una regulación de la calidad de agua para ser descargada en inodoros. Según cálculos estimados desarrollados más adelante, se demuestra que la cantidad de agua captada por ambas fuentes supera con creces la demanda de agua destinada para inodoros en un año.

Con el fin de medir la calidad del agua de ducha y de lluvia, se debe de caracterizar de manera física, organoléptica, química y microbiológica. Conociendo las condiciones de estas, se selecciona un filtro que permita purificarlas. Luego, con el propósito de comparar se réplica la medición para ambas fuentes filtradas. Para llevar a cabo este sistema en un modelo de casa de dos niveles y con techo plano; se desarrolla un diseño de captación de agua de lluvia a través de la instalación de bases metálicas unidas a láminas de policarbonato con una pendiente de aproximadamente de 10 grados para encarrilar la lluvia a la canaleta y esta a su vez a un bajante que la dirige a un tanque de almacenamiento. Este mismo deposito tiene la función de acopiar el agua de ducha, que en un proceso posterior, mediante una bomba de agua, la conduce por un filtro de carbón activado de bloque de  $5 \mu m$ , para después ser llevada a el inodoro en cuestión. En este sentido, se presentan los cálculos de tamaño de todos los componentes antes mencionados y de otros accesorios, así como esquemas de la red de tuberías en todas las direcciones de la casa modelo.



Para el 2025 se prevé que la mitad de la población mundial vivirá en escasez de agua (WHO, 2021). Únicamente 77.8 % de la población de Guatemala tiene acceso a agua domiciliar, bajando hasta un 64.4 % en las áreas rurales (INE, 2019). Hasta la fecha, en el país no existe una ley que regule el uso del agua y saneamiento, siendo el único país de Centroamérica en no tenerla (EFE, 2017). Una de las consecuencias de ello es que se desperdicia agua potabilizada en descarga de los inodoros.

Se sabe que un inodoro habitual emplea entre 10 y 16 litros de agua por cada descarga, mientras que un inodoro eficiente consume únicamente 4.8 litros (ACUALOGICA, 2020). Agregado a esto, una persona en promedio va al baño de 6 a 7 veces al día (Mercado, 2020), por lo que si tomamos una media arbitraria de un inodoro de 8 litros con 6 veces por día de uso se estarían empleando 48 litros de agua sólo en un inodoro por persona al día, en un mes 1,440 litros y en un año 17,280 litros de agua. Un sistema de reutilización de aguas provenientes de la ducha y de la lluvia para descarga de inodoros ayudará a mitigar la cantidad de agua antes descrita. Una persona consume 50 litros de agua en una media de 5 minutos en la ducha (Ramos et al., 2017); con esta cantidad se lograría cubrir el gasto de agua.

Una limitante del proyecto es que, considerando sus restricciones como cantidad de lluvia en un día, cantidad de duchas tomadas o duración de cada ducha por persona, se debe prever el caso en que la demanda total de descargas no se pueda satisfacer. Por lo que será necesario añadir al sistema de tuberías un diseño que también permita la admisión de agua de la fuente principal de la casa, es decir, de la red de abastecimiento de agua potable. El diseño de este trabajo está basado en la adaptación de canaletas, tuberías, una bomba hidráulica y un método de tratamiento de aguas procedentes de la ducha y lluvia que serán almacenadas en un tanque; las que proveerán de un sistema capaz de suplir parcial o totalmente la cantidad de agua de descarga de un inodoro por cada persona dentro de la casa en donde se instale.



### 3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de almacenaje y filtrado de aguas provenientes de la captación de lluvia y aguas grises de ducha para su uso en sanitarios que cumpla con el Límite Máximo Permisible (LMP) de la norma "Agua para consumo humano, COGUANOR NTG 29001" de la Comisión Guatemalteca de Normas.

### 3.2. Objetivos específicos

- Estimar la calidad del agua procedente de lluvia y ducha por medio de un estudio de características físicas, organolépticas, químicas y microbiológicas.
- Seleccionar el filtro para agua de lluvia y ducha capaz de cumplir con los requisitos del LMP con base en los resultados de la calidad de esta.
- Calcular el tamaño de las canaletas, tuberías, bomba de agua y tanque de almacenamiento según los caudales existentes en ducha y el área de captación del techo para lluvia.
- Definir un esquema de tuberías y válvulas para el transporte del agua desde su origen hasta su desemboque en tanque del inodoro.
- Diseñar un modelo en 3D que permita visualizar el funcionamiento del proyecto.
- Realizar un análisis de costos y recuperación de inversión inicial del diseño.



## Definiciones

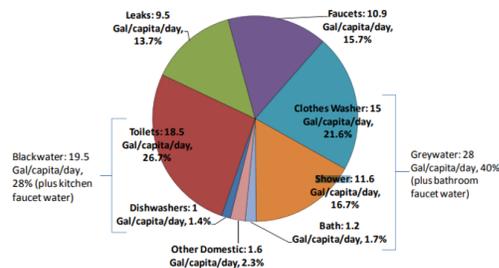
### 4.1. Escasez de agua

La escasez de agua es un fenómeno natural e inducido por el hombre (UNESCO, 2015). Además, menciona que la escasez es debido al uso excesivo y la distribución desigual de los recursos hídricos, conjunto de la contaminación del agua. Sumado a esto, el cambio climático agrava la escasez de agua, especialmente en zonas áridas.

#### 4.1.1. Distribución de gastos de agua en una casa promedio

En promedio en una casa, del total de gastos de agua, solo el 40% representa aguas grises. De la Figura 1 es posible concluir que la ducha representa un 16.7% y la utilizada en inodoros representa un 26.7%. Entonces si utilizamos el agua de ducha, podemos suplir el 62.5% del agua requerida para los inodoros. (Allen et al., 2010)

Figura 1: Distribución de gasto de agua en el hogar.



Fuente: Allen et al., 2010

#### **4.1.2. Aguas grises**

Las aguas grises, pueden variar ligeramente su definición en función del país, pero en general hace referencia a las aguas residuales generadas de los usos domésticos como la ducha y el lavado de ropa. Estas aguas residuales se distinguen de las “aguas negras” más contaminadas de los inodoros. En la mayoría de los sistemas de servicios públicos de todo el mundo, las aguas grises se combinan con las aguas negras en una sola corriente de aguas residuales. Sin embargo, las aguas grises tienen una mayor calidad, ya que están significativamente menos contaminadas dando un potencial de reutilización de estas. El porcentaje de aguas grises con respecto al agua total doméstica utilizada varía según la región y entre los hogares. (Allen et al., 2010)

#### **4.1.3. Agua de lluvia**

La captación de agua de lluvia ha existido desde hace varios miles de años y se puede definir como una tecnología empleada para recolectar y almacenar agua de lluvia de tejados, superficies terrestres o captaciones de rocas, utilizando técnicas simples como estanques, embalses naturales y/o artificiales. (Helmreich & Horn, 2009)

La recolección de agua de lluvia se percibe como un enfoque de diseño sostenible porque se espera que mejore la resiliencia y la eficiencia de la infraestructura al descentralizar la fuente de agua, haciendo coincidir la calidad del agua con su uso previsto (y, por lo tanto, sin tratar el agua en exceso). Las municipalidades abastecen a las ciudades con agua de una sola calidad para fines tanto potables como no potables. El agua de lluvia recolectada es una fuente de agua alternativa para las edificaciones, especialmente para usos no potables como irrigación y descarga de inodoros. (Devkota et al., 2015)

#### **4.1.4. Usos de agua reutilizada y captada, es decir, proveniente de ducha y lluvia**

Como se ha mencionado antes, el nivel de pureza alcanzada mediante tratamientos al agua dependerá del uso que se necesite dar. Por ejemplo, las aplicaciones de las de aguas grises van desde el riego alrededor de hogares, campos de golf, parques y otros espacios abiertos, descarga de inodoros, recarga de aguas subterráneas y enfriamiento evaporativo industrial. (Pinto et al., 2010) Por su parte las aplicaciones del agua de lluvia no son muy diferentes, riego de campos al aire libre o para usos interiores, como la descarga de inodoros. (Sample et al., 2013)

## **4.2. Características del agua, normas y riesgos**

### **4.2.1. Definición de características físicas, organolépticas, químicas y microbiológicas**

A continuación, se definen las características principales con las que se mide la calidad del agua, según las normas tomadas de referencia que se encuentran citadas en las próximas secciones. Las siguientes definiciones se tomaron del libro *Water quality monitoring and management: Basis, technology and case studies*; de los autores Li y Liu, 2019. Además, los mismos autores mencionan que la calidad del agua es una combinación de sus características químicas, físicas y biológicas. Asimismo, indican que cambios mínimos en estos parámetros pueden poner en peligro las vidas y las industrias que dependen del agua. Finalmente aseguran que “Para preservar su calidad el monitoreo preciso de los parámetros del agua como la conductividad, el pH, la salinidad, la temperatura, el oxígeno disuelto, y la turbidez son cruciales”.

### **4.2.2. Características físicas / químicas del agua**

#### **4.2.3. pH:**

El valor del pH representa la actividad de los iones de hidrógeno en soluciones acuosas, normalmente en una escala de 0-14. Con base en esta escala de pH, los líquidos se identifican por ser ácidos, alcalinos o neutros; una solución que no es ni ácida ni alcalina es neutra, lo que corresponde a un valor de 7 en la escala de pH. La acidez indica una mayor actividad de los iones de hidrógeno y un valor de medición de pH inferior a 7. Las soluciones alcalinas se caracterizan por una menor actividad de iones de hidrógeno o una mayor actividad de iones de hidróxido, respectivamente, y un valor de medición de pH superior a 7.

#### **4.2.4. Oxígeno disuelto (DO, siglas en inglés):**

El oxígeno disuelto hace referencia al nivel de oxígeno libre no compuesto presente en el agua u otros líquidos. Es una medida importante en la evaluación de la calidad del agua debido a su influencia sobre los organismos que viven dentro de un cuerpo de agua.

#### **4.2.5. Sólidos totales en suspensión (TSS, siglas en inglés):**

El sólido suspendido total hace referencia a las partículas de más de 2 micrómetros que se hallan en la columna de agua. Cualquier partícula con un tamaño menor de 2 micrómetros (tamaño medio del filtro) se considera como un sólido disuelto. En general los sólidos en suspensión se componen de materiales inorgánicos, aunque las bacterias y las algas también pueden contribuir a la concentración total de sólidos. Estos sólidos incluyen cualquier elemento que se desplace o flote en el agua, desde sedimentos, limo y arena, hasta planc-ton y algas. Las partículas orgánicas de los materiales en descomposición también pueden

contribuir a la concentración de TSS. A medida que las algas, las plantas y los animales se descomponen, el proceso de descomposición permite que pequeñas partículas orgánicas se desprendan y entren en la columna de agua como un sólido en suspensión.

#### **4.2.6. Turbiedad:**

La turbidez es una determinación óptica de la claridad del agua. El agua turbia tiene un aspecto oscuro, sin posibilidad de ver a través de ella, lo que afectará el aspecto físico del agua. Los sólidos en suspensión y el material coloreado disuelto reducen la claridad del agua al crear una apariencia opaca, brumosa o lodosa. Las mediciones de turbidez se utilizan a menudo como un indicador de la calidad del agua en función de la claridad y el total estimado de sólidos en suspensión en el agua. La turbidez del agua se basa en la cantidad de luz dispersada por las partículas en la columna de agua. Cuantas más partículas estén presentes, más luz se dispersará. Como tal, la turbidez y el total de sólidos en suspensión están relacionados. Sin embargo, la turbidez no es una medida directa del total de materiales suspendidos en el agua. En cambio, como medida de claridad relativa, la turbidez se usa a menudo para indicar cambios en la concentración total de sólidos suspendidos en el agua sin proporcionar una medida exacta de sólidos.

#### **4.2.7. Conductividad:**

La conductividad de un material es una propiedad inherente, es decir, el agua pura a una temperatura particular siempre tendrá la misma conductividad. La conductancia de una muestra de agua pura depende de cómo se realice la medición: qué tan grande es la muestra, qué tan separados están los electrodos de medición, etc. Se define como el recíproco de la resistencia en ohmios, medida entre las caras opuestas de un cubo de 1 cm de líquido a una temperatura específica. La unidad básica de conductancia es el siemens ( $S$ ), antes llamado mho.

¿Cómo se mide la conductividad? En la disposición más simple (una celda de dos electrodos), se aplica un voltaje a dos placas planas sumergidas en la solución y se mide la corriente resultante.

#### **4.2.8. Sólidos totales disueltos (TDS):**

Cantidad de sales inorgánicas y material orgánico con un tamaño menor a 2 micrómetros presentes en el agua.

#### **4.2.9. Demanda de oxígeno bioquímico (BOD, siglas en inglés):**

La DBO se define como la cantidad de oxígeno, dividida por el volumen del sistema, absorbida a través de la actividad respiratoria de los microorganismos que crecen en los compuestos orgánicos presentes en la muestra (por ejemplo, agua o lodos) cuando se incuban a una temperatura especificada. La temperatura a la cual se maneja generalmente la muestra

es de 20°C durante 5 días. Es una medida de la contaminación orgánica del agua que puede degradarse biológicamente. En la práctica, suele expresarse en miligramos de O<sub>2</sub> por litro.

#### **4.2.10. Demanda química de oxígeno (COD, siglas en inglés):**

DQO es la cantidad de materia medida con un método químico que debe oxidarse en agua, especialmente la contaminación orgánica. En el contexto de la DQO, no existe diferenciación entre la materia orgánica biológicamente disponible y la inerte, y la DQO es en gran parte, una medida de la cantidad total de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica en dióxido de carbono y agua.

#### **4.2.11. Metales pesados:**

Los metales pesados como el mercurio, el cadmio, el plomo, el cromo y el cobre están ampliamente distribuidos en el medio ambiente y se originan principalmente en la descarga de aguas residuales industriales. Estas sustancias pueden causar una variedad de enfermedades humanas, particularmente cánceres, debido a su alta toxicidad, largo tiempo residual y rápida velocidad de difusión. Además, los metales pesados en ambientes acuáticos podrían acumularse en organismos acuáticos incluso en concentraciones bajas porque son difíciles de degradar. Y existen muchos informes de sistemas altamente sensibles y versátiles para la detección de trazas de metales pesados tóxicos.

#### **4.2.12. Sulfato:**

El sulfato, que está muy extendido en las aguas residuales, las aguas residuales industriales y los residuos de plaguicidas, representa una gran amenaza para los organismos acuáticos y la salud humana. Además, las soluciones desechadas producen una gran cantidad de sales (tiocianato de amonio, tiosulfato de amonio y sulfato de amonio) que quedan después de los métodos de desulfuración, decianación y purificación en gas de horno de coque, que se ha demostrado que son dañinos.

#### **4.2.13. Nitrato:**

Se ha descubierto en la naturaleza nitrato, un contaminante ambiental generalizado, particularmente en agua vaporizada, agua superficial o subterránea, agua de acuicultura, cuerpos de plantas, animales y alimentos.

#### **4.2.14. Nitrito:**

El nitrito existe ampliamente en ambientes acuáticos como ríos, lagos, agua mineral, agua potable y agua de acuicultura, y el nitrito es un intermedio esencial en el ciclo biológico del nitrógeno. Sin embargo, el nitrito no es deseable en el medio acuático debido a su toxicidad.

#### **4.2.15. Características y microbiológicas**

Bacterias coliformes: Las bacterias coliformes se definen como bacterias gramnegativas (que no se pigmentan de azul), no formadoras de esporas y móviles o inmóviles que son capaces de fermentar la lactosa con la producción de ácido y gas cuando se incuban a una temperatura entre 35 y 37 ° C. Son un indicador de uso común de la calidad sanitaria de los alimentos y el agua. Si bien los coliformes en sí mismos no suelen ser causa de enfermedades graves, son fáciles de cultivar y su presencia se utiliza para indicar que pueden estar presentes otros organismos patógenos de origen fecal. Dichos patógenos incluyen bacterias, virus o protozoos que causan enfermedades y muchos parásitos multicelulares. Los procedimientos de coliformes se realizan en condiciones de respiración aeróbica o anaeróbica.

#### **4.2.16. Escherichia coli:**

*E. coli* existe ampliamente en el medio ambiente natural y contamina al agua. En la evaluación y control de la calidad de la salud, la *E. coli* se usa generalmente como indicador de bacterias para comprender la contaminación del agua. La cantidad de *E. coli* en el agua generalmente se expresa como la cantidad contenida en 1 L de agua.

#### **4.2.17. Norma guatemalteca sobre calidad del agua “COGUANOR NTG 29001” en comparación con normas Internacionales**

La norma Agua para Consumo Humano, COGUANOR NTG 29001 de la Comisión Guatemalteca de Normas, prevé de ciertos parámetros de los cuales aseguran la calidad del agua para su consumo. Sin embargo, esta norma prevé valores para agua potable (consumo humano) por lo que se toman de referencia y se comparan con valores de normas internacionales específicas para la reutilización de agua para descarga de inodoros.

#### **4.2.18. Norma Nacional Agua para Consumo Humano, COGUANOR NTG 29001 de la Comisión Guatemalteca de Normas:**

##### **Límite Máximo Aceptable (LMA):**

Valores de concentración de cualquier característica del agua, abajo de la cual estas características no implican un daño para la salud, según la norma descrita.

##### **Límite Máximo Permisible (LMP):**

Valores de concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual estas características, el agua no es adecuada para consumo humano, según la norma descrita.

4.2.19. Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano, según COGUANOR NTG 29001C

Figura 2: Requisitos de características físicas y organolépticas

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u <sup>(a)</sup>
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT <sup>(b)</sup>
Conductividad eléctrica	750 $\mu$ S/cm	1500 $\mu$ S/cm <sup>(d)</sup>
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 <sup>(c)(d)</sup>
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto  
 (b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).  
 (c) En unidades de pH  
 (d) Límites establecidos a una temperatura de 25 C.

Fuente: Álvarez et al., 2009

4.2.20. Características químicas que debe tener el agua para consumo humano, según COGUANOR NTG 29001

Figura 3: Requisito de características químicas, tomada de COGUANOR NTG 29001

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre <sup>(a)</sup>	0,5	1,0
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	100,0	500,0
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0
Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe) <sup>(b)</sup>	0,3	-----

a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.  
 b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

Fuente: Álvarez et al., 2009

4.2.21. Características microbiológicas, valores guía para verificación de la calidad microbiológica que debe tener el agua para consumo humano, según COGUANOR NTG 29001

Figura 4: Requisito de características microbiológicas

Microorganismos	Límite Máximo Permisible
<b>Agua para consumo directo</b> Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
<b>Agua tratada que entra al sistema de distribución</b> Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
<b>Agua tratada en el sistema de distribución</b> Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua

Fuente: Álvarez et al., 2009

#### 4.2.22. Normas internacionales

##### Comparación de valores de normas y/o estándares en distintos países

Criterios de calidad del agua para la descarga de inodoros y otros usos urbanos en varios países, (Lazarova et al., 2003)

Figura 5: Criterios de calidad del agua para la descarga de inodoros

	FC (CFU/100 ml)	TC (CFU/100 ml)	E. coli (CFU/100 ml)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/L)	DO (% saturation)	PH	Cl <sub>2</sub> residual (mg/L)
US.EPA <sup>1</sup> (g)	14 for any sample 0 for 90% samples		1	10	2			6-9	1 CT = 30
Florida <sup>1</sup> (m)	25 for any sample 0 for 75% samples			20		5			1
Texas <sup>1</sup> (m)	75 (m)			5	3				
Canada, BC <sup>2</sup> (m)	2.2 median 14 any sample			10	5	10			
Germany <sup>1</sup> (g)	100 (g)	500 (g)		20(g)	1-2 (m)	30	80-120	6-9	
Japan <sup>1</sup> (m)	10 for any sample	10		10	5			6-9	
S. Australia <sup>3</sup>			<10	<20	<2				
WHO <sup>1</sup> lawn irrigation	200 (g) 1000 (m)								
EC bathing water <sup>1,4</sup>	100 (g) 2000 (m)	500 (g) 10,000 (m)			2 (g) 1 (m)		80-120 (g)	6-9	
UK BSRIA <sup>5</sup> proposed (g)	14 for any sample 0 for 90% samples								

Fuente: Lazarova et al., 2003

Criterios de calidad del agua para la descarga de inodoros en China, según Chen et al., 2017:

Figura 6: Criterios de calidad del agua para la descarga de inodoros China

Parameter	Toilet flushing
pH	6-9
Color	30
Turbidity (NTU)	5
SS (mg/L)	–
TDS (mg/L)	1500
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	10
COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	–
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	10
Anionic surfactant (mg/L)	1
Iron (mg/L)	0.3
Manganese (mg/L)	0.1
DO (mg/L)	≥ 1
TN (mg/L)	–
TP (mg/L)	–
Total coliform (cfu/L)	3
Faecal coliform (cfu/L)	–
Chlorine residual (mg/L)	≥ 1.0 after :

Fuente: Chen et al., 2017

#### 4.2.23. EPA:

“EPA” una agencia del gobierno federal de los Estados Unidos cuya misión es proteger la salud humana y ambiental. EPA es la encargada de establecer normas y leyes que protejan la salud de las personas y el medio ambiente. Este ente toma de referencia valores de las normas ANSI / NSF 350 y 350-1 para afluyentes. A continuación, la Figura No.7 muestra valores, siendo la clase C de aceptación de uso domiciliario restringido (como descarga de inodoros).

Figura 7: Criterios para la reutilización de tecnologías de tratamiento, EPA United States Environmental Protection Agency, 2012

Parameter	Class R		Class C	
	Test Average	Single Sample Maximum	Test Average	Single Sample Maximum
CBOD <sub>5</sub> (mg/L)	10	25	10	25
TSS (mg/L)	10	30	10	30
Turbidity (NTU)	5	10	2	5
E. coli <sup>2</sup> (MPN/100 mL)	14	240	2.2	200
pH (SU)	6.0 – 9.0	NA <sup>1</sup>	6.0 – 9.0	NA
Storage vessel disinfection (mg/L) <sup>3</sup>	≥ 0.5 – ≤ 2.5	NA	≥ 0.5 – ≤ 2.5	NA
Color	MR <sup>4</sup>	NA	MR	NA
Odor	Nonoffensive	NA	Nonoffensive	NA
Oily film and foam	Nondetectable	Nondetectable	Nondetectable	Nondetectable
Energy consumption	MR	NA	MR	NA

<sup>1</sup> NA: not applicable  
<sup>2</sup> Calculated as geometric mean  
<sup>3</sup> As total chlorine; other disinfectants can be used  
<sup>4</sup> MR: Measured reported only

Fuente: EPA, 2012

#### **4.2.24. Riesgos de reúso de aguas grises y de lluvia en la salud humana**

Hay una gran cantidad de gérmenes que podrían ser la causa de epidemias de origen hídrico. Según, la publicación “Soluciones para un mundo con escasez de agua. Population Reports” de la Escuela de Salud Pública de Johns Hopkins, las enfermedades transmitidas por el agua contaminada son: cólera, fiebre tifoidea, shigella, poliomielitis, meningitis y hepatitis A y E. (Chauca Chicaiza & Orozco Cantos, 2012) Desafortunadamente, el agua de lluvia también puede estar contaminada por bacterias y productos químicos peligrosos que requieren tratamiento antes de su uso. (Helmreich & Horn, 2009)

### **4.3. Métodos para tratar el agua**

#### **4.3.1. Filtración**

El objetivo de la filtración es no permitir la marcha de las partículas en suspensión en un fluido (líquido o gas) por medio de la interposición de un material poroso con un tamaño de poro conveniente. (Guzzini, 2015)

Existen dos tipos, según Guzzini, 2015

##### **Superficial, mecanismo físico:**

Cuando las partículas o materia en suspensión tienen un tamaño mayor al tamaño del poro, y de esta manera quedan detenidas en la superficie del filtro

##### **En volumen, mecanismo químico:**

Es la retención de partículas en el interior de la masa porosa que se crea en el material de soporte dado a otros mecanismos como coagulación o fuerzas de Van der Waals, entre otras. Esta técnica o método se conoce también como filtración en profundidad.

#### **4.3.2. Tipos de filtros para purificación de agua**

##### **Por mecanismos físico (filtro):**

Las barreras serán la combinación de varios factores, de acuerdo con Guzzini, 2015:

##### **Obstrucción:**

Se da cuando una partícula es de un mayor tamaño, que los poros del medio filtrante.

### **Sedimentación:**

Se da por una combinación de diferentes factores, los cuales son: alta cantidad de material suspendido, baja velocidad del fluido, y zonas con baja carga hidráulica en comparación al medio.

### **Intercepción:**

Separación de partículas por el contacto de entre estas con los granos o con partículas acumuladas o adheridas a los granos del filtro.

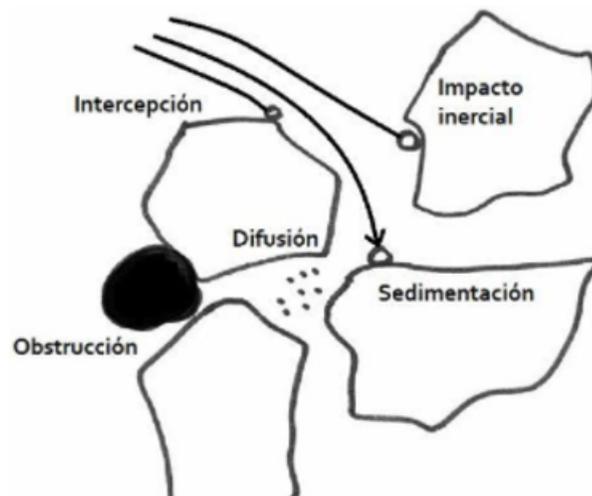
### **Impacto por inercia:**

La partícula (principalmente si es de gran tamaño) tiene la tendencia de continuar trayectorias distintas, lo que provoca que al pasar cerca de un obstáculo y al curvarse las líneas de flujo, las otras partículas pueden colisionar por inercia.

### **Difusión:**

Las partículas con tamaño reducido generalmente se difunden desde áreas con alta concentración hacia zonas con baja concentración.

Figura 8: Barreras de filtrado



Fuente: Guzzini, 2015

### **Tipos de filtros:**

La filtración es posible llevarse a cabo por medio de varias maneras:

**Según su tipo de carga:**

- Con alta carga superficial (filtros rápidos)
- Con baja carga superficial (filtros lentos)

**Según sus medios o materiales:**

- En distintos medios porosos como arena, antracita, granate, etc.

**Según la composición:**

- Con un único medio (lecho simple).
- Con varios medios (lecho mixto).

**Según la dirección del flujo:**

- Con flujo ascendente.
- Flujo descendente.

**Según su forma de trabajar:**

- Por presión.
- Por gravedad

(Pérez et al., 2013)

**4.3.3. Tipos de procesos o tratamientos químicos para purificación****Por mecanismos químicos:**

Las partículas suspendidas también pueden quedar retenidas por factores químicos:

- Fuerzas de Van der Waals: Las partículas del filtro y las partículas suspendidas generan fuerzas de atracción dado el movimiento de los electrones en sus órbitas, por lo cual hace que se unan entre ellas.
- Fuerzas electrostáticas: Al pasar sólidos suspendidos con carga contraria al medio filtrante, generan una fuerza de atracción entre sí. Incluso si los granos del filtro son negativos y los sólidos son neutros, todo contacto puede producir retención.

- **Puente químico:** Se genera adhesión debido a las cadenas de los polímeros que se forman en la coagulación-floculación dejando en libertad sus segmentos extendidos.

(Pérez et al., 2013)

#### **4.3.4. Tipos de procesos o tratamientos:**

##### **Ozonización:**

La ozonización se define como “procesos de oxidación que implican la generación de hidroxilo en cantidad suficiente para interactuar con los compuestos orgánicos del medio” Se basa en llevar oxígeno en forma gaseosa por medio de dos electrodos espaciados por un dieléctrico y un hueco de descargas. Se emplea un voltaje a los electrodos, provocando que un electrón fluya a través del hueco de descargas. (Castañeda Jimenez, 2014)

##### **Procesos Fenton:**

Esta entre los procesos de oxidación avanzada, es uno de los más económicos y efectivos. Consiste en la adición de sales de en medio ácido para promover la descomposición catalítica, los cuales son capaces de oxidar la materia orgánica y compuestos inorgánicos, como sulfuros presentes en el agua residual. (Castañeda Jimenez, 2014)

##### **Oxidación electroquímica:**

Es otro proceso avanzado de oxidación, dado que los electrones se trasladan al compuesto orgánico a través de la intervención de radicales de hidroxilo. La ventaja más importante de este tipo de proceso es evitar la introducción de reactivos en disolución. (Castañeda Jimenez, 2014)

##### **Cloro:**

Es un elemento habitual para la desinfección del agua y es posible aplicarlo para la desactivación de la actividad de la mayoría de los microorganismos. Sumado a ello, comparado a otros métodos es relativamente económico, práctico y efectivo al momento de entrar en contacto con los microorganismos patogénicos. (Chauca Chicaiza & Orozco Cantos, 2012)

## 4.4. Esquemas de sistemas de reutilización de agua de ducha y lluvia

### 4.4.1. Esquemas de sistema de reutilización de agua de duchas

Un sistema de reutilización de agua de duchas necesita de un tanque o cisterna para el almacenamiento del agua, sin embargo, en el camino entre estos dos deben existir los filtros y/o tratamientos químicos a dar. Además, es necesario contar con una bomba hidráulica para el desplazamiento de este fluido. Un esquema de un sistema de reutilización de aguas común es el que se muestra en la figura:

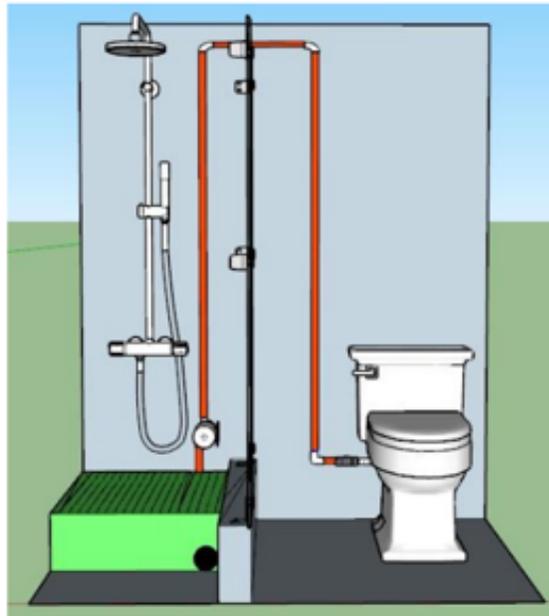
Figura 9: Sistema de reutilización de agua de ducha



Fuente: García-Rodríguez y Herrera-Novoa, 2021

El mismo autor, también prevé de otra alternativa más simple, siendo:

Figura 10: Sistema de reutilización de agua de ducha

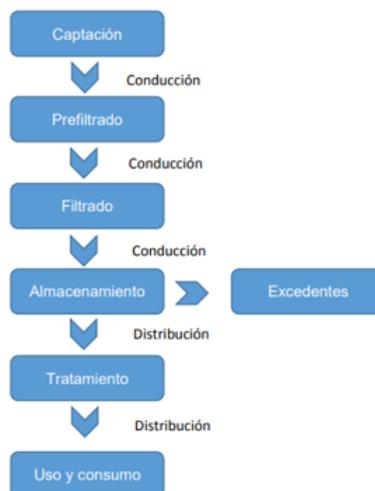


García-Rodríguez y Herrera-Novoa, 2021

#### 4.4.2. Esquema de sistema de captación de lluvia

Un diseño de captación de lluvia básico se basa en una superficie inclinada (como un tejado), canaletas, tuberías, filtros y/o turbamientos químicos y un tanque de almacenamiento. Recomendable una pendiente para el área de captación entre 5% y 15% (Robayo Parga & Pérez Martínez, 2016)

Figura 11: Esquema captación de agua de lluvia



Fuente: (Colorado Guevara, 2015)

Figura 12: Esquema captación de agua de lluvia



Fuente: Colorado Guevara, 2015

### 5.1. Proceso metodológico

El proceso de diseño se basó en distintas fases, de las cuales en su mayoría dependió una de la otra. Como punto de partida se optó por investigar el requerimiento máximo permisible de características del agua de reutilización en inodoros para descarga, tanto en leyes y normas nacionales como internacionales, que aseguren la salud de las personas que lo utilicen. Además, se exploró los diseños más efectivos para captar agua de lluvia en techos con la menor cantidad posible de área, mecanismos que permitan adaptarse a tuberías existentes para desviar el agua de ducha a los procesos del diseño propuesto, materiales empleados en canaletas y tanque de almacenamiento que toleren la exposición al sol, o en su lugar productos terminados como tinacos para implementar al proyecto.

La siguiente fase consistió en determinar el tipo de filtro para el saneamiento de aguas provenientes de la lluvia y de ducha que cumpliera con el máximo permisible, según la norma seleccionada. Para ello, se caracterizaron las muestras de agua de ducha y lluvia in situ. Posterior a eso, se realizó un prototipo para la etapa de filtrado cuyo único objetivo era conocer la efectividad del filtro seleccionado mediante la caracterización de las muestras de agua de ducha y lluvia después de pasar por este. Luego, se definió el tipo, tamaño y material de las canaletas, tuberías, tanque de almacenamiento del sistema de captación de agua. Igualmente, las características de la bomba de agua basada en los criterios que esta selección requiere como caudal, distancia entre bomba y punto de uso, entre otros; en un tipo de casa de dos niveles.

Posterior a ello, se definió un sistema que desvíe el caudal de lluvia y/o ducha al drenaje cuando el tanque llegue a su capacidad máxima, así como un mecanismo que permita cortar el flujo de agua a voluntad en dos vías, es decir, tanto del tanque a los inodoros como de las tuberías de techo y ducha al tanque. Con estos parámetros, se diseñó un modelo CAD del sistema que representa la casa modelo que incluye laminas para captación, canaletas, tuberías, filtro, bomba, válvulas y tanque.

En la última fase se realizó un análisis de costos directos, indirectos, fijos, variables y operativos de todos los componentes del sistema, con ello se efectuó un análisis de recuperación de inversión inicial del diseño.

## 5.2. Toma de muestras

Para tomar la primera muestra de agua de ducha, se procedió a colocar un balde de aproximadamente 5 galones en el piso de la ducha. Cabe mencionar, que dicho balde estaba previamente hervido con agua para eliminar cualquier suciedad que provocará un efecto ajeno a la sustancia de interés de la prueba. Luego, se procedió a tomar una ducha a manera que el agua utilizada cayera en él y no se fuera por el drenaje. Se trató de mantener condiciones normales para esta prueba, es decir, la prueba se hizo en la primera ducha del día de la persona de quien se tomó la muestra, habiendo sido su ducha más reciente la de un día anterior. Después de llenar el balde lo suficiente como para poder llenar los frascos para ser examinados, se procedió a utilizar un embudo para dirigir el agua a cada uno de los frascos. Por requerimientos del laboratorio donde se enviaron las muestras, se utilizaron dos frascos: uno esterilizado de farmacia y otro sin esterilizar, esto debido a las exigencias de las distintas pruebas físicas, químicas y organolépticas a las cuales fueron sometidas las muestras.

Figura 13: Toma de muestra de agua de ducha



Figura 14: Embasado agua de ducha sin filtrar 1

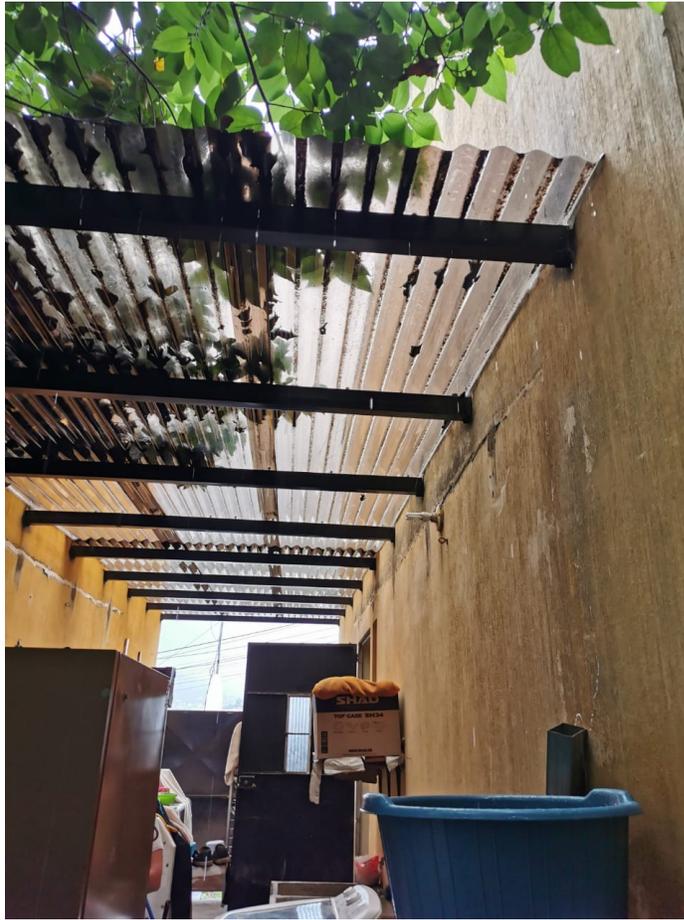


Figura 15: Embasado agua de ducha sin filtrar 2



Con respecto a la muestra de agua de lluvia, se recolectó por medio de la lámina de policarbonato, que se encuentra instalada en el área de lavandería. Este mismo tipo de lámina se desea utilizar para el diseño de la captación de agua de lluvia para el proyecto. Por lo que se considera un buen parámetro para medir las características del agua de lluvia. El proceso con respecto al llenado de frascos de agua de ducha se repite aquí.

Figura 16: Captación de agua de lluvia por láminas



### 5.3. Selección de filtro de agua

De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización física, organoléptica, química y microbiológica de las muestras de agua de ducha y lluvia respectivamente, se investigó un filtro que fuera de fácil mantenimiento, de bajo costo y que pudieran disminuir la cantidad de cloro, bacterias coliformes, olor y metales pesados en el agua de ambas fuentes. Como resultado de esta exploración se halló los tipos de filtro de carbón activado, altamente populares dado a sus buenos resultados en este tema. Asimismo, otra característica de estos filtros es que tienen la capacidad purificar el agua a través de la adsorción, haciendo que el carbón activado funcione como un imán hacia los contaminantes aumentando su efectividad.

Sin embargo, se encontró que existen dos tipos de filtros de carbón; filtros de bloque de carbón y filtros de carbón GAC (carbón activado granular). Se escogió este primero dado que estudios anteriores confirman que tiene un gran impacto en limpiar y disminuir la contaminación del agua residual. (Maldonado Mite, 2020)

Figura 17: Cartucho de filtro de bloque de carbón activado



Este tipo de filtro se selecciona en función de la cantidad de micrones, siendo un micrón una unidad de longitud del sistema internacional que equivale a  $1 \times 10^{-6}$  metros. Por lo que una menor cantidad de micrones denotaran una mayor cantidad de contaminantes que puede filtrar. El filtro escogido es de 5 micrones siendo de su categoría de los de mayor capacidad de filtrado tiene, considerando los rangos de venta de estos productos van desde los 50 hasta los 0.5 micrones.

#### 5.4. Selección de bomba de agua

Para la selección de la bomba del sistema, se basó en la altura requerida a la cual se debe llevar el agua del tanque de almacenamiento hacia el filtro y luego hacia el inodoro del segundo nivel. Siendo las pérdidas relativamente pequeñas (cálculos mostrados más adelante) y la altura al segundo nivel de la casa no mayor a 3 metros, se optó por la selección de una bomba de una fuente; ya que esta tiene una altura máxima de 5 metros. De esta manera se aseguraba que su curva característica se ajustara mejor a las necesidades del sistema, además que su consumo energético es menor comparado al de una bomba convencional de agua, de por ejemplo  $\frac{1}{2}$  hp. Se seleccionó el modelo "FP1" de la marca Little GIANT.



Figura 20: Teflón



Figura 21: Teflón en uniones



Posterior a ello se introdujo el primer adaptador macho en la succión de la bomba, para luego introducir un metro de tubo del mismo diámetro para poder realizar un cambio de diámetro cuando el fluido se comporta de forma laminar. Después, se incorporó un codo de 90° con un reductor de tamaño de 1" a  $\frac{1}{2}$ ", la cual serviría para instalar el housing con dicha medida para la entrada y salida.

Figura 22: Adaptador en bomba



Figura 23: Tubería de descarga en bomba



Figura 24: Codo 90°



Para ello, se introdujo el cartucho del filtro dentro del housing, y se colocaron los adaptadores de cada lado del housing.

Figura 25: Cartucho de filtro en housing



Figura 26: Housing con adaptadores en los extremos de 1/2"



Al finalizar este primer tramo se advirtió que el peso del housing más el filtro vacío (sin agua aún); deflataban de manera significativa el sistema en la parte superior, por lo que se optó por integrar un soporte en medio de la tubería. Para ello, se empleó un adaptador tipo T, un tubo de un metro de 1" con una válvula tipo bola del mismo diámetro.

Figura 27: Unión de tuberías



Figura 28: Llave de cierre de paso



Figura 29: Tubería de soporte



Figura 30: Sistema completo



Para finalizar el proceso, se añadió un metro de tubo hacia abajo para la tubería de succión un con una válvula de retención con un adaptador macho para restringir el flujo de agua en una sola vía.

Asimismo, se hace la aclaración que los cálculos mostrados más adelante (sección 5.4) y otras cuestiones de diseño harán referencia exclusivamente al sistema completo de la casa y no a este esquema de prototipado, sin embargo, en anexos se adjunta la ficha técnica de la bomba empleada en estas pruebas.

## 5.6. Agua de ducha filtrada

Figura 31: Recipientes para toma de agua de ducha



Figura 32: Recipiente llenado con agua de ducha



Para esta parte se repitió los pasos de la etapa anterior de toma de muestras de ducha, a diferencia que esta vez se llenó múltiples veces un recipiente con mayor capacidad para lograr que la bomba de agua tuviera al menos 50 cm de profundidad de succión de acuerdo con las instrucciones del manual de esta para su funcionamiento.

Una vez llenado el contenedor se siguió con la cebado, siendo este el proceso de purgar el aire de la bomba y de la línea de succión para permitir que el fluido fluya hacia la bomba.

Figura 33: Cebado de bomba con agua de ducha



Luego, se siguió con la toma de muestras filtradas y para ello se utilizó el mismo recipiente, pero antes se limpió con agua hervida para no mezclar partículas.

Figura 34: Toma de muestra de agua filtrada de ducha



Figura 35: Embudo para muestras



Figura 36: Conservación de muestras filtrada



Una vez finalizado el proceso de filtrado se procedió a preservar las muestras de acuerdo con las condiciones solicitadas por el laboratorio de exámenes de calidad del agua.

## 5.7. Agua de lluvia filtrada

De igual manera que la etapa anterior, para esta fase se siguió con la misma metodología para captar agua de lluvia. Tomando en cuenta que el diseño propuesto considera el uso de láminas de policarbonato en el techo para captar lluvia, se tomó de una misma fuente las muestras, es decir, de una sección con techo de lámina del mismo material para poder considerar el efecto de esta en las muestras.

Figura 37: Recolección de agua de lluvia por láminas 1



Figura 38: Recolección de agua de lluvia por láminas 2



Considerando que en esta etapa de filtrado se requieren también 50cm de profundidad de succión se aprovechó el día lluvioso para recolectar la mayor cantidad de agua posible para filtrar.

Figura 39: Agua de lluvia previo a filtrar



Figura 40: Agua de lluvia en proceso de filtrado



Figura 41: Cebado de bomba con agua de lluvia



Figura 42: Toma de muestra de agua de lluvia filtrada



Figura 43: Llenado de recipiente de muestra



Siguiendo con el proceso de uso de la bomba de agua se purgo previo a ser conectada. Seguido de ello, fueron tomadas las muestras para luego conservarlas hasta su traslado al laboratorio.

Figura 44: Embasado de muestra de agua de lluvia filtrada 1

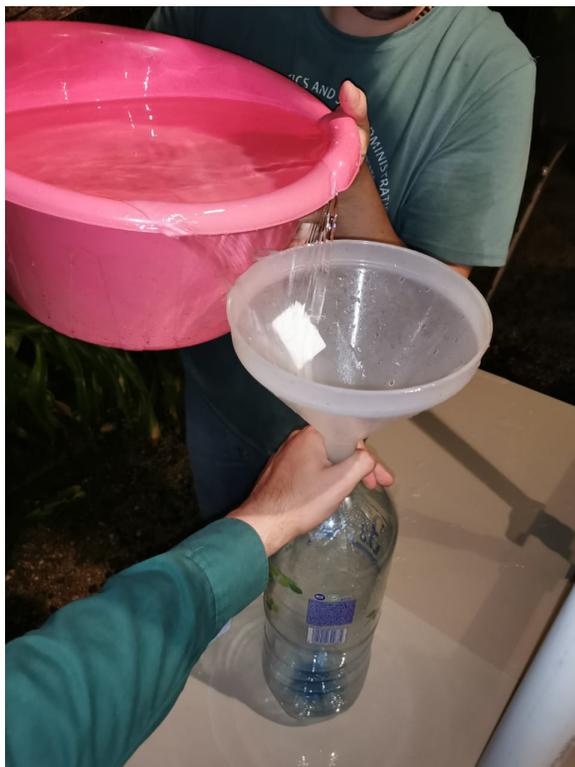


Figura 45: Embasado de muestra de agua de lluvia filtrada 2



## 5.8. Definición de componentes en diseño propuesto

Cuadro 1: Componentes

Componente	Descripción	Aplicación	Foto
Bomba de agua	Tipo: bomba periférica, potencia: 106 Watts, marca: Little GIANT.	Bombear el agua desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque del inodoro.	
Housing	Entrada y salida: 1/2", altura: 10", diámetro para cartucho: 2.5", marca: Hidronix.	Porta cartucho de filtro.	
Switch de nivel	Marca: Foset.	Parar la bomba para evitar que trabaje en seco cuando sea bajo el nivel de agua.	
Switch de presión	Marca: Genebre.	Accionar o detener la bomba según presión.	
Tanque de almacenamiento	Tinaco, de 750 L, altura: 1.10 m, diámetro: 1.02 m, marca: Rotoplas.	Almacenar el agua recolectada de lluvia y ducha.	
Sifón	Tipo: PVC, marca/ferretería: EPA (Gt).	Evitar la salida de malos olores del tanque.	
Llaves de paso	Tipo: llave de bola de 2", marca/ferretería: EPA (Gt).	Cerrar los flujos de agua de techo y/o ducha al tanque y viceversa.	
Canaleta	Material: PVC, tipo: MaxiCanal, marca: Durman, ancho: 164 mm.	Dirigir el agua del área de captación hacía el bajante.	
Bajante	Tipo: PVC, marca/ferretería: Durman, diámetro: 2 pulgadas.	Bajar el agua de la canaleta al tanque de almacenamiento.	
Base de laminas para captar	Tipo: acero chapa 14, diseño: propio.	Base para las laminas de captación considerando un diseño de techo plano.	

...Continuación Cuadro 1

Componente	Descripción	Aplicación	Foto
Láminas	Policarbonato greca bronce largo: 2.64 metros marca/ferretería: EPA (Gt).	Captar el agua de lluvia en el techo plano de la casa.	
Cartucho de filtro	Carbón activado de bloque, de 5 micrones, marca: Hidronix, en Aquasistemas (Gt).	Eliminar la mayor cantidad de contaminantes del agua de ambas fuentes (ducha y lluvia).	
Tuberías	Tipo: PVC, Marca/ferretería: EPA (Gt) diámetro: 3 pulgadas.	Sistema de tuberías para el transporte del agua de ducha y lluvia a tanque.	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2: Accesorios

Componente	Descripción	Aplicación	Foto
Adaptadores	Adaptador rosca-do de PVC Marca/ferretería: EPA (Gt)	Entradas y salidas de tanque y del housing.	
Codos	Tipo: PVC Marca/ferretería: EPA (Gt)	Cambios de dirección en el sistema de tuberías.	
Reductores varios para cambio de diámetro	Tipo: PVC Marca/ferretería: EPA (Gt)	Unir tuberías con cambios de diámetros.	
Unión bajante	Tipo: PVC, Maxi-Canal Marca: Durman	Conectar el bajante con la canaleta.	
Soporte de canaletas	Tipo: PVC, Maxi-Canal Marca: Durman	Cargar todo el tramo de la canaleta conectada al borde del techo.	
Tapa canaleta	Tipo: PVC, Maxi-Canal Marca: Durman	Tapar los extremos derecho e izquierdo de la canaleta.	

Fuente: Elaboración propia

## 5.9. Definición de requisitos

Cuadro 3: Definición de requisitos

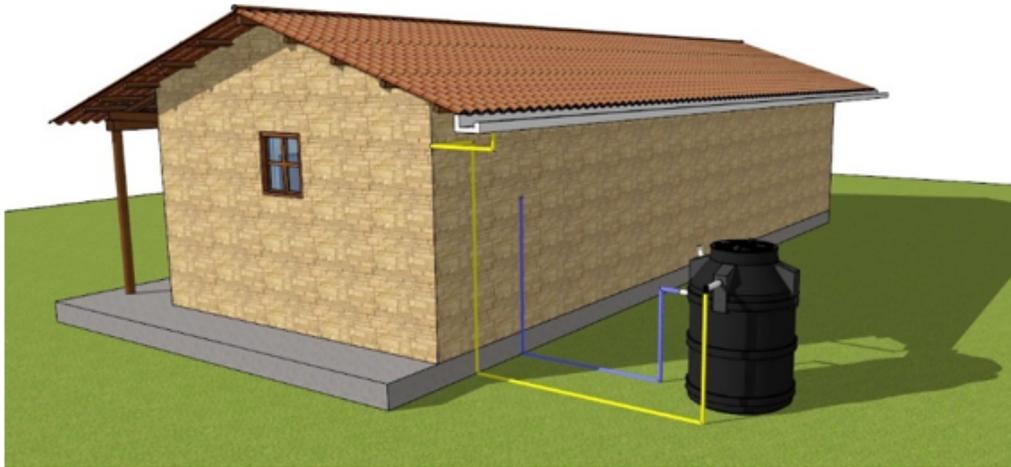
Código	Requisito
A	Debe contar con un sistema que desvíe el caudal de lluvia y/o ducha al drenaje cuando la altura del agua llegue a su capacidad máxima (rebalse).
B	Debe tener un mecanismo (de llave) que permita cortar el flujo de agua a voluntad en dos vías, es decir, tanto del tanque a los inodoros como de las tuberías del techo y ducha al tanque.
C	Debe contar con un sistema de filtrado. Tiene que ser capaz de purificar el agua a manera que cumpla con los requisitos de la norma COGUANOR 29001.
D	Debe contar con al menos una bomba que sea lo suficientemente capaz de trasladar el agua del tanque hasta el inodoro.
E	Debe tener un sistema de tuberías capaces de transportar el agua desde la ducha y la canaleta (techo) hasta el tanque y desde el tanque al inodoro.
F	Debe poseer una estructura de canaleta que se integre al techo y desde esta a la tubería.
G	En caso la casa no cuente con un techo inclinado tipo teja o similar con pendiente al suelo; debe integrar bases, que unidas a láminas simulen un techo inclinado.

Fuente: Elaboración propia

## 5.10. Diseños preliminares:

Para un diseño de casa con teja, la propuesta sería como la que observa en la Figura 47, es decir, para este tipo de casas no se tendrá que enfocar en el diseño de adaptaciones de bases metálicas con el fin de captación de agua desde el techo; únicamente en el diseño de la canaleta y bajante.

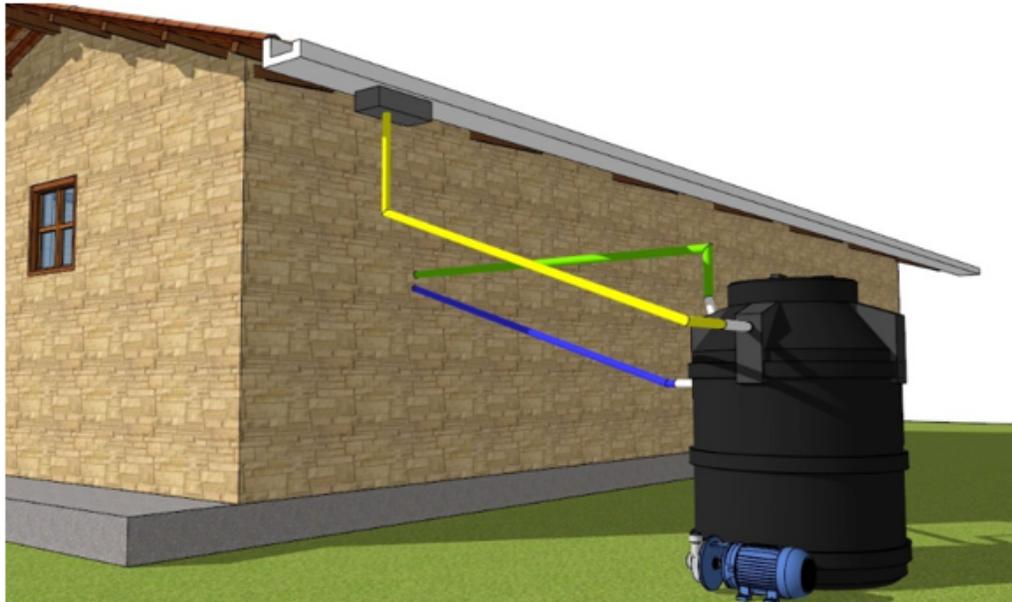
Figura 46: Propuesta inicial de diseño con tejado



Fuente: Elaboración propia

En esta imagen se plasma el diseño para una casa con tejado inclinado, que hace la función para captar el agua. Sin embargo, conforme fue avanzando el proyecto se optó por diseñar el proyecto en un modelo de casa de tipo techo plano.

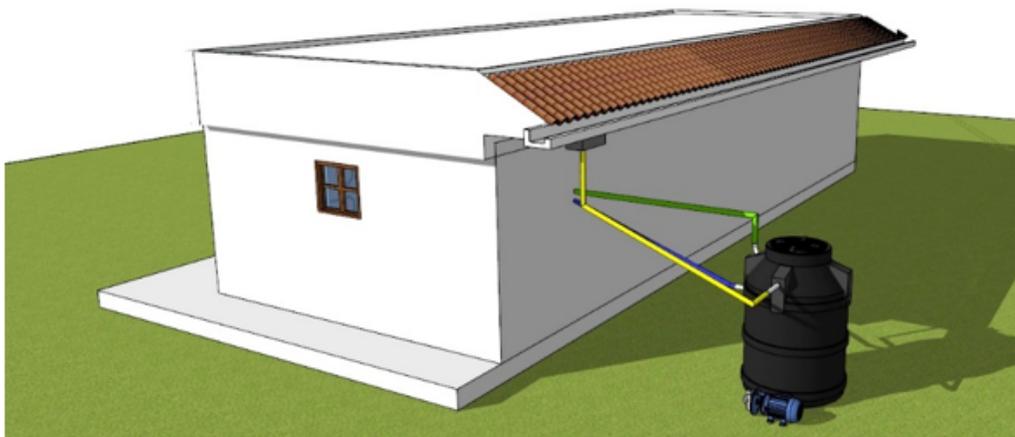
Figura 47: Propuesta inicial de diseño con casa con tejado



Fuente: Elaboración propia

La propuesta para casas con techo plano era incorporar teja en estas mediante una fundición. Este diseño se desechó, debido a la complejidad de realizar un trabajo de este tipo en cualquier techo.

Figura 48: Propuesta inicial con techo plano



Fuente: Elaboración propia

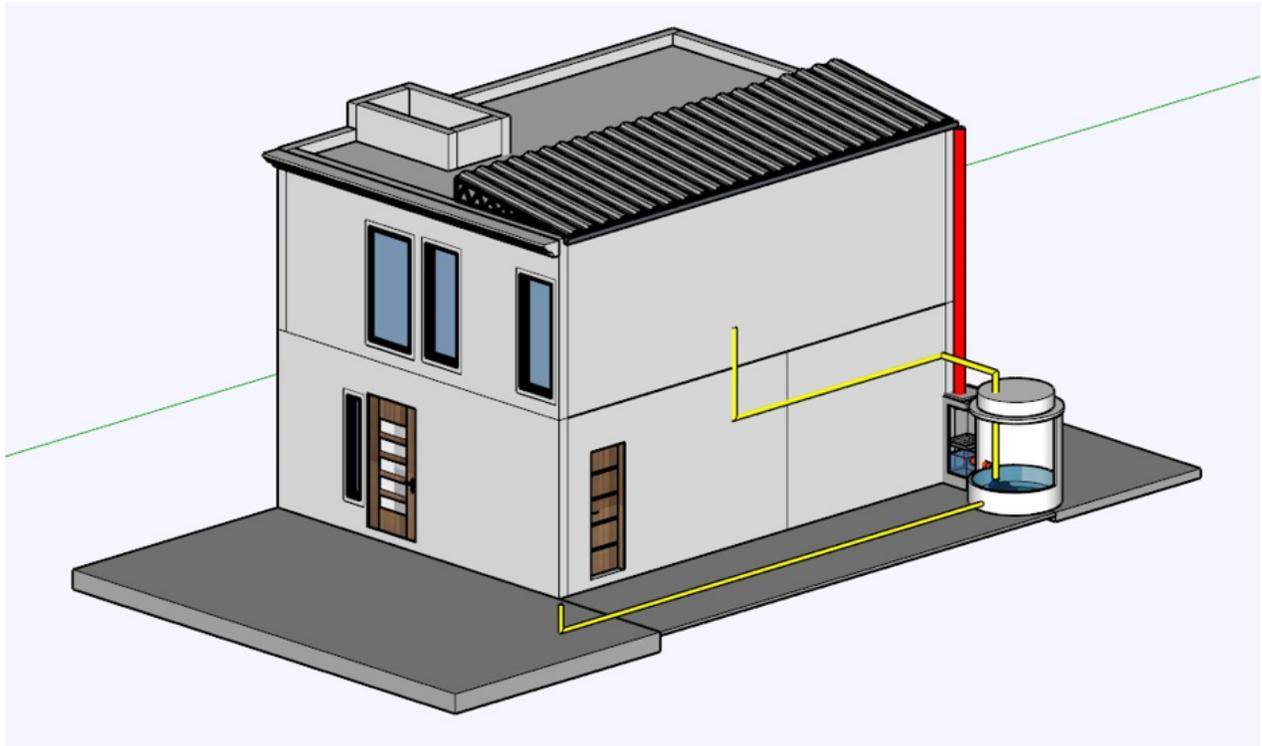
### 5.11. Diseño final en función de la casa modelo

En esta propuesta se considera una casa con techo plano, siendo la casa modelo, una casa real para asemejar las condiciones de diseño a las más objetivas. En esta propuesta se

sugiere la instalación de una lámina de policarbonato de extremo a extremo, mediante bases de metal para dar la inclinación necesaria.

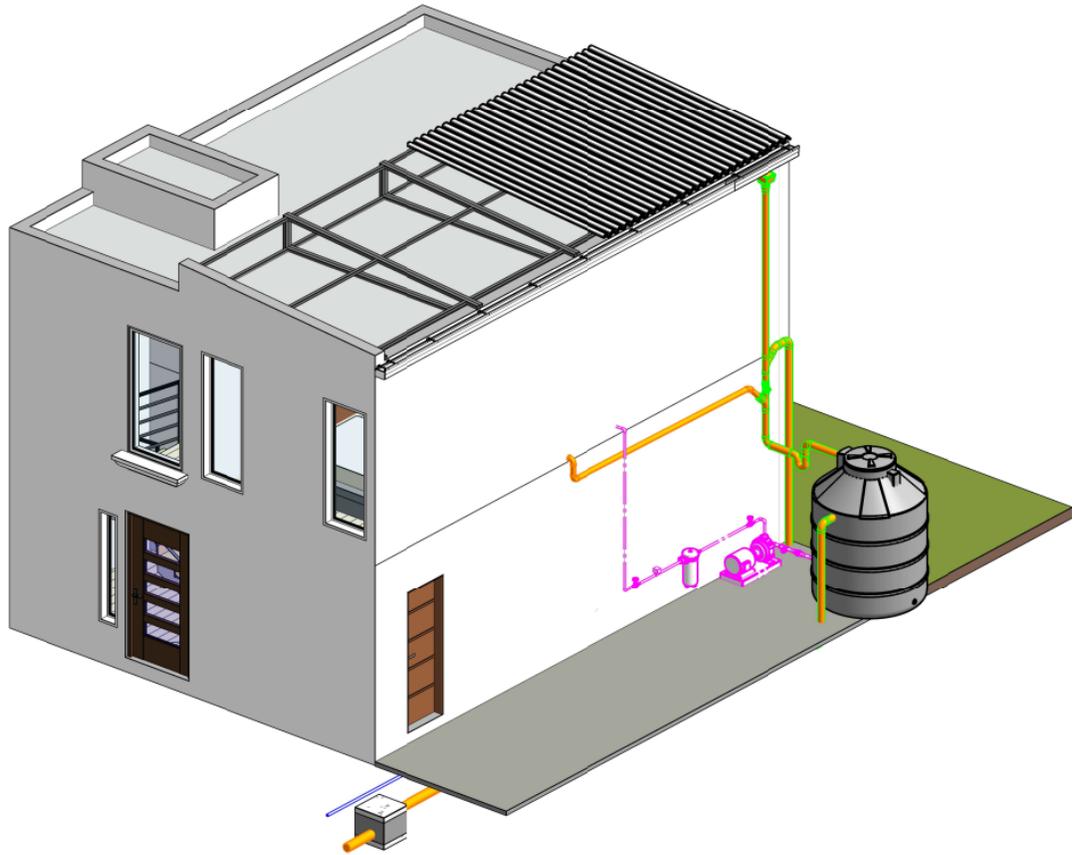
Tomando este modelo como base, se fue mejorando hasta tener un nivel de detalle suficiente para elaborar los planos de tuberías.

Figura 49: Propuesta diseño final sistema



Fuente: Elaboración propia

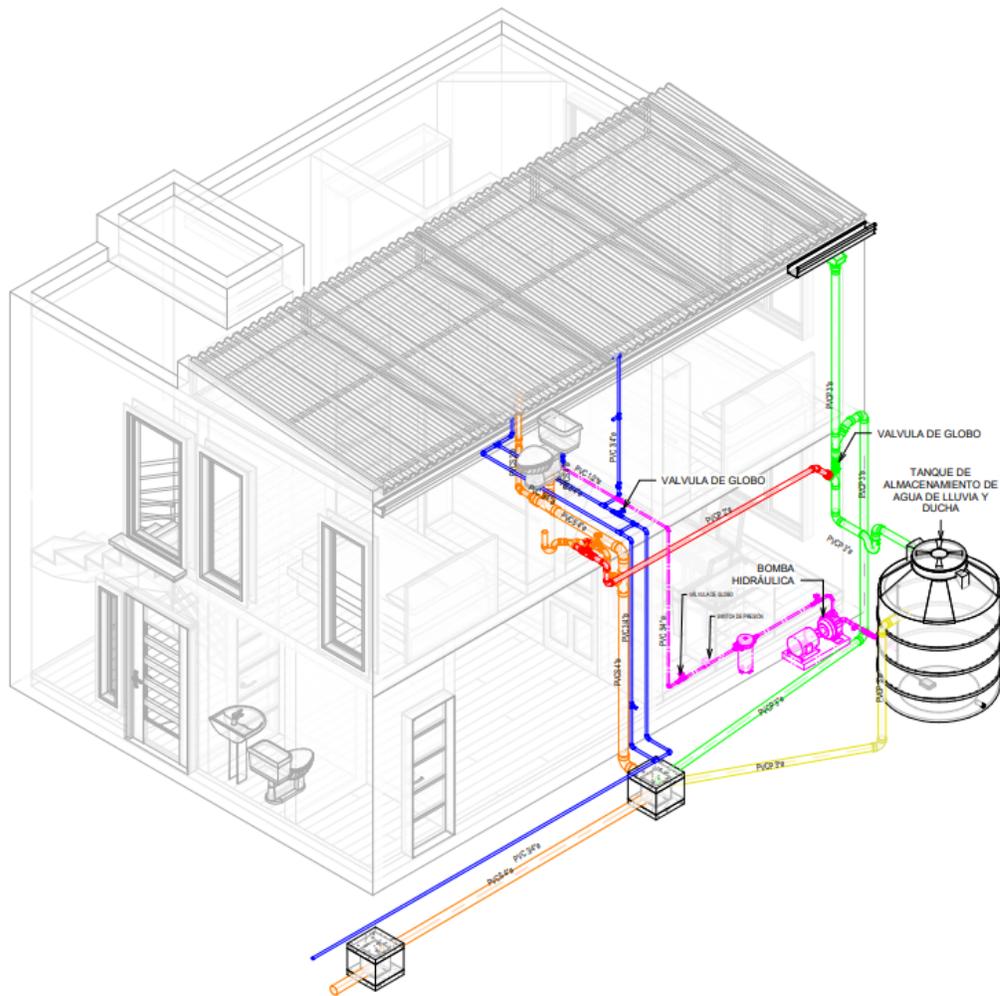
Figura 50: Modelo 3D sistema-proyecto



Fuente: Elaboración propia

El sistema de tuberías:

Figura 51: Modelo 3D del sistema de tuberías



Fuente: Elaboración propia

Se identifican las tuberías del proyecto de reutilización de agua que se incorporan al sistema de la casa, como:

- Roja: tubería que transportará el agua de ducha a tubería verde, para su posterior almacenamiento en tanque.
- Verde:
  - Hacia a tanque: tubería que transportará el agua del techo y ducha a tanque.
  - Con curva hacia la derecha, antes de tanque: tubería para desechar el agua de lluvia cuando válvula de globo (de bajante) este cerrada.
- Magenta: tubería que llevará el agua del tanque de almacenamiento a bomba y de bomba al inodoro.
- Amarillo (después del tanque): tubería de rebalse para desechar el agua excedente al drenaje.

Cabe destacar que la tubería roja de ducha se incorpora al sistema debajo de la llave de globo de la tubería verde, esto para que el usuario tenga más control sobre el paso de agua de las diferentes fuentes, es decir, de esta manera se asegura que se pueda desviar el flujo de agua de lluvia al drenaje y a la vez, dejar fluir únicamente el agua de la ducha en caso se requiera.

De forma similar, en el sistema se agregan dos válvulas de globo en la tubería naranja y roja. Ambas reciben y transportan el agua de ducha, pero para destinos diferentes. Una hacia el tanque de almacenamiento y la otra para drenaje. Estas deben funcionar de manera inversa, es decir, cuando una válvula este abierta la otra debe de estar cerrado.

## 5.12. Cálculos

En esta sección se muestra los cálculos de demanda total del sistema y definición de componentes por capacidades máximas.

Se calculó la cantidad de agua a ser tratada proveniente de la lluvia en términos de volumen con el supuesto de ubicación del proyecto en Ciudad de Guatemala y con el mes de septiembre por ser el más húmedo y lluvioso, según estadística climatológica, para obtener valores máximos. Se calculó la cantidad de agua a ser tratada proveniente de ducha en términos de volumen con el supuesto de un hogar conformado por cuatro personas, considerando el valor promedio según el último censo hecho en Guatemala en 2018.

- Caudal de ducha

Se calculó el caudal en ducha de casa (segundo nivel), esto se hizo mediante la medición del tiempo a la cual se llenaba un recipiente con un volumen delimitado.

$$\frac{4L}{21 \text{ seg}} = 0.19 \text{ L/seg} \quad (1)$$

Convertido a galones por minuto:

$$3.01 \text{ gal/min}$$

Considerando una media de 5 minutos, se obtiene:

$$57 \text{ Litros}$$

En el año (365 días), se obtiene por ducha:

$$20,805 \text{ Litros}$$

*Cantidad de agua de ducha captada anual, por cuatro habitantes:*

$$83,220 \text{ Litros}$$

- Cantidad de agua lluvia

Para calcular la cantidad de agua de lluvia que se puede recolectar, es necesario conocer la precipitación promedio en milímetros [ $mm$ ] por metro cuadrado caído (luego,  $mm$  convertido a metros) de la locación en el año, por el área de la superficie del techo en metros cuadrados [ $m^2$ ]. Esto da la cantidad de lluvia captada por metros cúbicos [ $m^3$ ] al año.

$$\text{Cantidad de lluvia captada} = P_{prom} * S \quad (2)$$

Donde:

$P_{prom}$ : Precipitación promedio (de la región) en  $mm \div 1000$

$S$ : Superficie del techo en  $m^2$

1805mm es la cantidad de lluvia promedio al año en ciudad de Guatemala, en la locación del proyecto (Bardales Espinoza et al., 2019). Por lo que considerando un área de captación de  $25 m^2$ ;

$$1.805m * 25m^2 = 45.12m^3$$

*Cantidad de lluvia captada al año, con  $25m^2$  y una media de 1805 mm caídos:*

$$45.12m^3 = 45,120 \text{ Litros}$$

*Suma total captada anual por lluvia y ducha, por cuatro habitantes:*

$$45,120 \text{ Litros} + 83,220 \text{ Litros} = 128,340 \text{ Litros}$$

La cantidad estimada de gasto anual de agua en descargas de inodoros por una familia de cuatro personas con un uso diario entre 3 y 6 veces al día (cálculo mostrado en la sección 5.5, cálculo ajustado), con un inodoro de 13L, siendo este el tamaño de referencia de la casa modelo, dando:

*Consumo de agua por descargas por cuatro habitantes al año*

$$72,852 \text{ Litros}$$

La suma entre la cantidad de agua de ducha y lluvia capatada anual sobrepasa la cantidad estimada de gasto anual de agua en descargas.

- Bajada de agua pluvial

Para la casa empleada en este estudio, por ser el techo plano se adaptará lámina a manera de simular un tejado inclinado, este se instalará utilizando como base una estructura metálica. Esta instalación se hará únicamente para la mitad del área total del techo, siendo la mitad del techo y área de captación de  $25 m^2$ . Se hace la notación también, que en promedio en Ciudad de Guatemala y sus alrededores, entiéndase por sus municipios, el promedio del mes con más lluvia es septiembre con 163 mm de lluvia. (El clima y el tiempo promedio en todo el año en Ciudad de Guatemala, 2022) Según las Normas de planificación y construcción del FHA, 2021 para calcular el diámetro del bajante pluvial (tubería que baja del techo a tanque):

Cuadro 4: Diámetros sugeridos para bajantes pluviales

Diámetro (pulgadas)	Área máxima ( $m^2$ )
2	30
2 1/2	60
3	100
4	210
6	625

Fuente: Elaboración propia con datos del FHA, 2021

Para un área máxima de  $30 m^2$  y una intensidad de lluvia de 200mm mensuales se recomienda un diámetro de 2 pulgadas. Por lo que se selecciona este tamaño, tomando en cuenta los 25 metros cuadrados de área que se tienen y los 162 mm de lluvia promedio mensual en septiembre (mes con mayor cantidad media). A pesar de que estas dimensiones sobrepasan las cantidades máximas promedio mensuales en condiciones normales, se consideran pertinentes para un diseño robusto (sobredimensionado) para escenarios fuera del promedio como tormentas, por ejemplo.

Asimismo, el FHA proporciona el tamaño requerido de las tuberías horizontales, siendo estas los canalones o canaletas del sistema. Estas se calculan con base en el área a drenar ( $25 m^2$ ) y la pendiente. Para ello nos proporciona la siguiente tabla:

Cuadro 5: Pendientes y diámetros sugeridos para canaletas pluviales

Diámetro (pulgadas)	Pendiente	Área máxima a drenar en $m^2$
4	3%	$\leq 143$

Fuente: Elaboración propia con datos del FHA, 2021

Se tomó el diámetro con el área más cercana a la de captación de  $25 m^2$ , es decir, la de hasta  $143 m^2$  con una inclinación del 3%, que da como resultado un diámetro de sección semicircular de 4 pulgadas; por lo que esta se considera idónea y suficiente para el sistema.

- Razonamiento para selección del tamaño de tanque de almacenamiento:

Sabiendo que las personas emplean el baño de 3 a 6 veces, tomando la cantidad máxima diaria estimada de agua en descargas por una persona es de 78L (considerando meramente 6 veces al día, por 13L por descarga). Asimismo, recordando que la cantidad de agua captada por ducha por 5 minutos sería de aproximadamente 57L. De esta manera la cantidad de agua demandada sería mayor por lo que un tanque de varios litros de capacidad no se le podría sacar provecho al menos en los meses menos lluviosos, sin embargo, se debe sopesar que generalmente las duchas son por la mañana por lo que básicamente el agua se estaría recolectando la mayor parte al inicio de cada día por lo que se debe tener una capacidad mínima de 228L (57L por cada uno) de almacenaje para cuatro habitantes, considerando que no esté lloviendo. De esta forma, únicamente en los días lluviosos se podrá sacar ventaja de un tanque de almacenamiento mayor.

No obstante, se debe saber que el consumo real de agua en descargas de inodoros usualmente será menor, tomando en cuenta que las personas generalmente siempre se

bañan en casa, pero no siempre van las 6 veces promedio al baño en la misma, sino que lo hacen entre el trabajo y la casa. Esto lleva a considerar un cálculo ajustado de consumo de agua en descargas de inodoro (explicado más adelante, sección 5.5). Se concluye de este cálculo que 72,852L anuales por cuatro personas serán necesarios para descargas en inodoro. De esa cantidad una persona, consumiría en descargas aproximadamente 50L de agua al día en la casa (72,852L entre 365 días y 4 habitantes), siendo una diferencia de 7L por persona con respecto a la cantidad de agua captada solo por ducha.

Por lo que, considerando cuatro habitantes, se están almacenando 28L de agua diarios en el tanque después de cumplir con la demanda. Con ello, en 27 días aproximadamente se estaría llegando a la capacidad máxima de un tanque de 750L, estimando que la captación de agua será constante (duchas diarias). De esta forma se concluye que cualquiera que sea el caso, un tanque de almacenamiento por arriba de 750L no se le podría sacar provecho. Ya sea porque la demanda supere a la captación (oferta de agua) o que la cantidad captada exceda en cualquier día a la demanda por lo que no valdría la pena emplear más recursos en un tanque de mayor tamaño para almacenar agua que se está generando al menos por ducha todos los días. Se selecciona la medida de 750L debido a que la siguiente superior a esta medida en depósitos es de 1100L.

En resumen, se requiere:

- Una canaleta con una pendiente del 3% y un diámetro de sección semicircular de 4 pulgadas.
- Un bajante (tubería que conecta con la canaleta) de diámetro de 2 pulgadas.
- Un tanque de almacenamiento de 750L.

Figura 52: Sistema canaleta y bajante



Fuente: Canalonesen, 2014

De referencia, se identifica al bajante como el elemento azul y la canaleta de color gris.

- Cálculo de tuberías y bomba

Se midió el caudal al que se llena normalmente el tanque del inodoro de la casa modelo y se obtuvo

$$Q = 0.082 \frac{L}{s} \quad (8.2 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}) \quad (3)$$

Esto concuerda con lo que el Código Técnico de la Edificación menciona, que este tipo de dispositivos (inodoros), requieren un aproximado de  $0.1L/s$  para operar. (CTE, 2022)

Aplicando la ecuación de continuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1}{2g} + z_1 + h_{bomba} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2}{2g} + z_2 + h_L \quad (4)$$

Donde:

$P$ : presión

$V$ : velocidad

$\rho$ : densidad

$g$ : gravedad

$h_{bomba}$ : carga de bomba útil necesaria

$h_L$ : pérdida de carga total

Sabiendo que ambos tanques estarán abiertos a la atmósfera, ya que no son herméticos. Por lo que las presiones se igualan a la presión atmosférica y se cancelan ( $P_1 = P_2 = P_{atm}$ ). Por otra parte, se considera que la velocidad en la salida y entrada de cada tanque es cero; ya que es casi estático en esos puntos, se desprecia. (ÇENGEL & CIMBALA, 2006)

Luego de las simplificaciones:

$$h_{bomba} = z_2 - z_1 + h_L \quad (5)$$

Sabiendo esta ecuación, se encuentra el valor de  $h_L$  Siendo  $h_L$ :

$$h_L = \left( f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Donde:

$f$ : factor de fricción

$L$ : Largo de la tubería

$D$ : diámetro de la tubería

$K_L$ : pérdidas de presión menores en el sistema

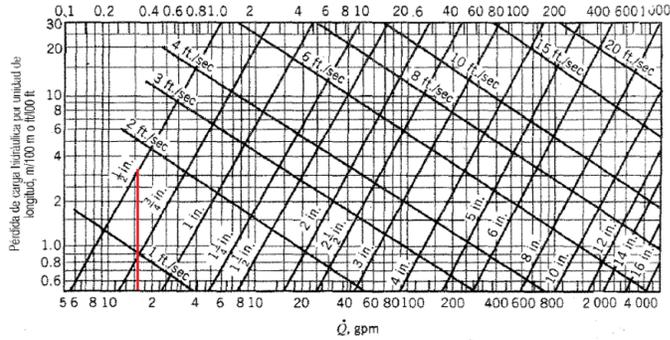
$V$ : velocidad

$g$ : gravedad

Para encontrar  $D$ :

Se definió el diámetro de la tubería por medio de la siguiente figura, además este se comprobó más adelante mediante la comparación de los resultados obtenidos con software.

Figura 53: Diseño de tuberías



Fuente: McQuiston et al., 2007

Los criterios de selección se basan en que para tuberías de 2" o menos la velocidad máxima es de 4 pies/s y de acuerdo con los resultados se cumple con esto. Luego, con el caudal del sistema convertido a galones por minuto, se obtiene 1.3 aproximadamente. Con ello, mediante la Figura 53; los diámetros posibles encontrados son de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de pulgada. Finalmente, se escogió el de  $\frac{1}{2}$ ", esto debido a que al tener un menor tamaño aumentará la velocidad provocando que arrastre el aire atrapado en la tubería, evitando problemas de caídas de presión. (McQuiston et al., 2007)

Para ese tamaño se encuentra el diámetro interior correspondiente a ese tamaño, siendo en 0.0154 metros. (Monterrey, 2015)

Para encontrar  $V$ :

$$V = \frac{Q}{A_{\text{transversalCircular}}} \quad (7)$$

Convirtiéndose en

$$V = \frac{Q}{\pi D^2/4} \quad (8)$$

Donde:

$V$  : Velocidad

$Q$  : Caudal

$D$  : Diámetro

Sustituyendo:

$$V = \frac{(8.2 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s})}{\pi(0.0154m)^2/4}$$

$$V = 0.44 \text{ m/s}$$

Para determinar el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (9)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad

$\mu$  : Viscosidad dinámica del agua

$D$ : Diámetro

$V$  : Velocidad

Se considera la densidad y viscosidad dinámica del agua a 20°C

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.002 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$$

$$Re = \frac{998 \text{ kg/m}^3 (0.44 \text{ m/s}) (0.0154 \text{ m})}{1.002 \times 10^{-3} \text{ kg/m}} \quad (10)$$

$$Re = 6,748.95 \text{ m/s}$$

Se advierte que  $Re > 4000$  se considera turbulento, por lo que se emplea un factor de fricción de:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{\xi/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (11)$$

Donde:

$\xi$  : rugosidad del material en cuestión (PVC)

$f$  : factor de fricción

$D$  : diámetro tubería

$Re$  : número de Reynolds

Sin embargo, el valor de rugosidad para plástico es despreciable, según ÇENGEL y CIMBALA, 2006 y así se confirma con el valor de rugosidad específicamente del PVC con su valor de 0.0015 mm por lo que al dividirla en el diámetro y luego por 3.7 (de la ecuación 11), este valor sí es aproximadamente cero (Páez Pedraza, 2013). Por lo que se simplifica a:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (12)$$

Resolviendo para  $f$ :

$$f = 0.034$$

Regresando al valor de hL:

$$\begin{aligned} \sum K_L = & K_{L,entrada} + 6K_{L,codo90} + 3K_{L,vlvulaglobo} + K_{L,filtro} \\ & + K_{L,conexionT,enlinea} + K_{L,conexionT,deriv} + K_{L,reducidor3/4a1/2} \\ & 2K_{L,check} + K_{L,filtroY} + KL, salida \quad (13) \end{aligned}$$

Cuadro 6: Coeficiente de pérdidas de accesorios de tuberías

Tipo de Coeficiente	Valor
$K_{L,entrada}$	0.5
$K_{L,codo90}$	0.3
$K_{L,vlvulaglobo}$	10
$K_{L,conexionT,enlinea}$	0.2
$K_{L,conexionT,deriv}$	0.1
$K_{L,reducidor3/4a1/2}$	0.2
$K_{L,check}$	0.3
$K_{L,valvulaY}$	0.2
$KL, salida$	1

Fuente: Elaboración propia con datos de ÇENGEL y CIMBALA, 2006 y McQuiston et al., 2007

Con respecto a la caída de presión del filtro, esta depende de grado de filtración (tamaño del poro), el caudal, el tiempo de vida del filtro (ya que aumenta la cantidad de suciedad en su membrana), entre otros factores. Siendo la curva de caída de presión más parecida a la de la válvula de globo por la constricción que existe al momento de pasar un fluido por este. Es por ello, que se toma de referencia este valor y al ser el más alto entre todos los accesorios asegura un diseño robusto y sobredimensionado, en cuanto a caída de presión. (Hydraulic, 2021)

$$\sum K_L = 0.5 + 6(0.3) + 3(10) + 10 + 0.2 + 0.1 + 0.2 + 2(0.3) + 0.2 + 1$$

$$\sum K_L = 44.6$$

Teniendo todos los valores para calcular hL y hbomba:

$$h_L = \left( 0.034 * \frac{7m}{0.0154m} + 44.6 \right) \frac{0.44^2 m^2/s^2}{2(9.8m/s^2)}$$

$$h_L = 0.59m$$

Conociendo este valor es posible calcular en la ecuación (4):

$$h_{bomba} = z_2 - z_1 + h_L$$

$$h_{bomba} = 2.8 - 0 + 0.59$$

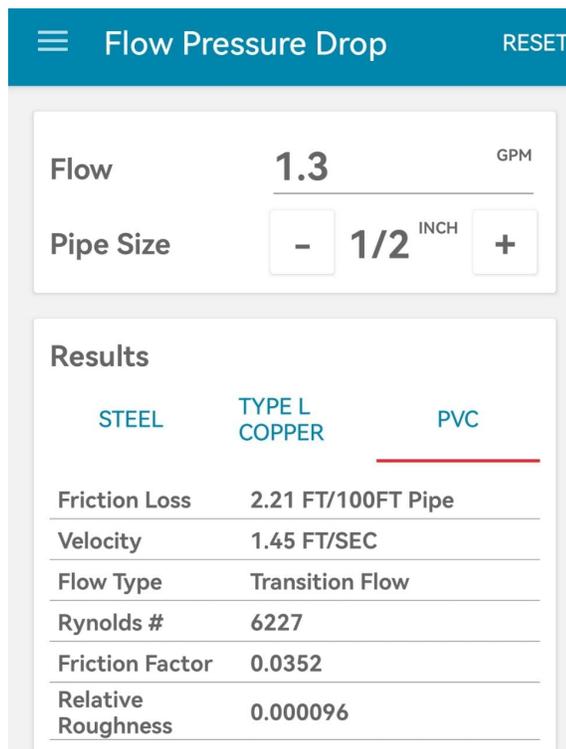
$$h_{bomba} = 3.39m$$

Equivalente a:

$$h_{bomba} = 11.12 \text{ pies}$$

Como comprobación se emplea el software especializado en cálculos de tuberías:

Figura 54: Comprobación software



Fuente: Elaboración propia en software Syzer, 2022

El factor de fricción y la velocidad coinciden con el software (considerando su conversión a  $m/s$ ), sin embargo, el valor del número de reynolds varía ligeramente debido a que el software emplea un valor de viscosidad dinámica a otra temperatura que no se pudo modificar. Lo que nos indica este resultado del software, es que el diámetro seleccionado es el correcto dadas nuestros parámetros. Con base en estos resultados, en la sección de resultados (capítulo 6) se hace la selección de la bomba.

## 5.13. Costos

Los costos mostrados en esta sección hacen referencia únicamente a proyectos de construcción nuevos, por lo que para una vivienda ya existente tendría que considerarse los costos de obra civil para realizar las modificaciones necesarias a la vivienda, y así lograr replicar el proyecto propuesto.

- Costo de abastecimiento de agua

El costo según la última factura de agua recibida en la casa modelo por parte de la empresa encargada de suministrar el agua (abastesa) fue por un costo aproximado de Q0.0073 por litro.

- Cálculo ajustado

Se debe considerar que la mayor parte del tiempo tanto en el caso de la casa modelo como en general, las personas trabajan al menos de lunes a viernes, por lo que solo se hace uso del inodoro en las mañanas y por la tarde noche en estos días. Tomando de las 6 veces en promedio que una persona va al baño, es posible considerar que se emplea el baño una vez por la mañana antes de salir de la casa y otras dos veces más al regresar de sus labores por la noche, siendo un total de 3 veces al día en una semana laboral.

Tomando de referencia que un año generalmente tiene 52 semanas, siendo 102 días entre sábado y domingo; quedando 263 días laborales. Asimismo, se sabe que por cada descarga se requieren cerca de 13 L según sus dimensiones de 30 x 26 x 17 cm.

- Costo de abastecimiento de agua ajustado:

*Cálculo de consumo en días laborables*

$$3 \text{ veces de uso} * 13 \text{ L} = 39 \text{ L}$$

Por lo que:

*Consumo de litros al año en días laborables*

$$39 \text{ L} * 263 \text{ días} = 10,257 \text{ L}$$

*Consumo de agua por cuatro habitantes al año en días laborables*

$$10,257 \text{ L} * 4 = 41,028 \text{ L}$$

*Cálculo de consumo en días de fin de semana*

$$6 * 13 \text{ L} = 78 \text{ L}$$

Al año

$$78 \text{ L} * 102 \text{ días} = 7,956 \text{ L}$$

*Consumo de agua por cuatro habitantes al año en días de fin de semana*

$$7,956 \text{ L} * 4 = 31,824 \text{ L}$$

*Consumo de agua por cuatro habitantes al año en días laborables + Consumo de agua por cuatro habitantes al año en días de fin de semana*

$$41,028 L + 31,824 L = 72,852 L$$

Por lo que un costo estimado en términos de abastecimiento de agua para cuatro integrantes:

*Costo de agua anual ajustado*

$$72,852 L * Q 0.0073/L = Q 531.82$$

*Costo de agua mensual ajustado*

$$Q 531.82/12 meses = Q 44.31$$

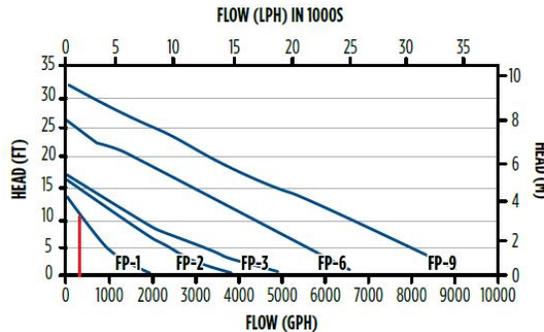
- Costo de energía ajustado

El caudal demandado por el sistema es de:  $8.2 \times 10^{-5} m^3/s$ . En litros por segundo:

$$Q = 0.082 \text{ litros/s}$$

Sin embargo, dado que la bomba seleccionada (modelo “FP1” de la marca Little GIANT) tiene una altura máxima de 14.5 pies, y que el sistema demanda 11.12 pies, mediante la curva de característica de la bomba se intercepta para saber cuantos litros por segundo entregará realmente.

Figura 55: Curva característica de bomba seleccionada



Fuente: Gráfico extraído del manual del fabricante en Aquasistemas, 2022

Por lo que se sabe que aproximadamente entregará 400 galones por hora, lo que es  $0.42 l/s$ . Considerando el tanque de inodoro de 13 L, se llenaría en aproximadamente 31 segundos a este flujo. Por su parte, el costo del uso al día por persona se toma conforme a la última actualización de la empresa eléctrica “EEGSA” a partir de febrero de 2022, la tarifa es de  $Q 1.36 / kWh$ . (EEGSA, 2022). Además, conociendo que las especificaciones de la bomba seleccionada indican 106W, aproximadamente  $0.11kW$ :

*Tiempo de uso de bomba en días laborables*

$$31 \text{ seg} * 3 \text{ usos} = 93 \text{ segundos}$$

en horas

$$0.03 \text{ h}$$

*Costo e. eléctrica por día en días laborables*

$$Q \ 1.36/kWh * 0.11kW * 0.03 \text{ h} = Q \ 0.004$$

Al mes

$$Q \ 0.004 * 30 = Q \ 0.12$$

Al año (263 días laborales)

$$Q \ 0.004 * 263 \text{ días} = Q \ 1.05$$

Por cuatro habitantes es:

$$Q \ 0.48 \text{ (mensual)}$$

$$Q \ 4.20 \text{ (anual)}$$

*Tiempo e. eléctrica por día en fin de semana*

$$31 \text{ seg} * 6 \text{ usos} = 186 \text{ segundos}$$

En horas:

$$0.05 \text{ h}$$

*Costo e. eléctrica por día en fin de semana*

$$Q \ 1.36/kWh * 0.11kW * 0.05 \text{ h} = Q \ 0.007$$

Al mes

$$Q0.007 * 30 = Q \ 0.21$$

Al año (102 días de fin de semana)

$$Q \ 0.007 * 102 = Q \ 0.71$$

Por cuatro habitantes es:

$$Q \ 0.84 \text{ (mensual)}$$

$$Q \ 2.84 \text{ (anual)}$$

*Costo de energía total ajustada mensual*

$$Q0.84 + Q0.48 = Q1.32$$

*Costo de energía total ajustada anual*

$$Q \ 2.84 + Q \ 4.20 = Q \ 7.04$$



## 5.14. Costos de componentes en diseño propuesto

Cuadro 7: Componentes

Cantidad	Componente	Precio unitario	Total	Cotizado en
1	Bomba de agua, 106 w, marca: little GIANT	Q 1,751.00	Q 1,751.00	Aquasistema
1	Housing de 1/2 "x 10"x 2.5", Hidronix	Q94.00	Q94.00	Aquasistema
1	Switch de nivel 3 m, marca: foset	Q 102.99	Q 102.99	Cemaco
1	Switch de presión, marca: Genebre	Q 102.99	Q 102.99	Cemaco
1	Tinaco, capacidad: 1100 litros	Q999.95	Q999.95	D. Mariscal
5	Codos de 90° de 3", PVC	Q25.00	Q125.00	Cemaco
1	Válvula de globo de 3", PVC	Q275.00	Q275.00	EPA
1	Válvula de globo de 2", PVC	Q56.95	Q56.95	EPA
7	Tubo de 1/2 PVC	Q4.75	Q33.25	EPA
1	Válvula de globo de 1/2", PVC	Q9.95	Q9.95	EPA
1	Canaleta MaxiCanal Durman, PVC de 6m	Q429.99	Q429.99	Cemaco
1	Tapa de canal durman PVC	Q24.99	Q24.99	Cemaco
1	Unión bajante durman PVC	Q39.99	Q39.99	Cemaco
6	Soporte oculto durman	Q9.99	Q59.94	Cemaco
8	Bajante y tubería de 3", 1m PVC	Q70.00	Q560.00	Cemaco
2	Tubo 2", 1m PVC	Q60.00	Q120.00	Cemaco
1	Codos de 90° de 2", PVC	Q7.99	Q7.99	Cemaco
1	Codo de 45° de 2", PVC	Q11.29	Q11.29	Cemaco
1	Reductor 3 a 2 ", PVC	Q15.00	Q15.00	Cemaco
9	Lámina de policarbonato ondulado, 12 pies,	Q169.00	Q1521.00	EPA
1	Cartucho de filtro Carbon, 10"	Q49.00	Q49.00	Aquasistema
7	Tubería estructural rectangular 6m de 60 x 40	Q275.00	Q1925.00	EPA
1	Fabricación de bases	Q1000.00	Q1000.00	NA
Total			Q9,315.27	

Fuente: Elaboración propia

## 5.15. Recuperación de inversión

Para esta estimación se considera los valores ajustados de costos. Además, recalcando que el costo por litro de agua es Q 0.0073.

- Costo del agua sin el proyecto instalado

*Costo anual de agua en descargas de inodoro por cuatro habitantes*

$$72,852 L * Q 0.0073 = Q 531.82$$

- Costo con respecto al proyecto instalado

Considerando el caudal medido en ducha y el promedio de lluvia anual encontrado para la región:

*Litros de agua de ducha almacenada por cuatro habitantes en un año*

$$83,220 \text{ Litros}$$

Y

*Litros de agua de lluvia captada en 25m<sup>2</sup> en la región del proyecto promedio en un año*

$$45,120 \text{ litros}$$

Se halla que de forma conjunta puede abastecer totalmente la demanda de agua en descarga de inodoros; por lo que no será necesario recurrir a costos de agua de la red para la descarga de inodoros. En cuanto a los costos fijos anuales previstos del proyecto se tiene que:

*Costo de energía total ajustada anual por cuatro habitantes*

$$Q 7.04$$

*Costo de cartucho de filtro*

$$Q 49$$

*Mantenimiento*

$$Q 50$$

Se concluye que:

*Costo anual de operación del proyecto instalado por cuatro habitantes = Costo de energía total ajustada anual por cuatro habitantes + Costo de cartucho de filtro + Mantenimiento*

- Recuperación de la inversión

Si tomamos el costo ahorrado anual del proyecto instalado como un ingreso anual con respecto al proyecto sin instalar, da:

*Ahorro anual = Costo anual de agua en descargas de inodoro por cuatro habitantes – Costo anual de operación del proyecto instalado por cuatro habitantes*

$$Q 531.82 - Q 106.04 = Q 425.78$$

Considerando la siguiente expresión

$$P.P = I.I / C.I \quad (14)$$

Donde:

*P.P*: Tiempo de retorno

*I.I*: Costo del proyecto (inversión)

*C.I*: Retorno (ahorro) anual

Substituyendo valores:

$$Q 9,315.27 / Q 425.78 = 21.9 \quad (15)$$

Tomará aproximadamente 22 años en recuperar la inversión.

Cuadro 8: Caracterización física, organoléptica, química y microbiológica del agua de ducha

Análisis	Dimensional	Límite de detección	Resultados
Cloro residual	$mg/L - Cl_2$	0.05	< 0.05
Cloruros	$mg/L - Cl_2$	0.50	11.50
Color	$uPt - Co$	1	76
Conductividad	$\mu S/cm @ 25^\circ C$	0.1	274.0
Demanda bioquímica de oxígeno	$mg/L - O_2$	4	140
Demanda química de oxígeno	$mg/L - O_2$	4	307
Nitratos	$mg/L - NO_3^-$	0.15	< 0.15
Nitritos	$mg/L - NO_2^-$	0.026	2.28
Olor	--	--	No rechazable 7
pH	--	0.01	7.20
Sólidos disueltos	$mg/L$	1.95	246.0
Sulfatos	$mg/L - SO_4^{-2}$	2	44
Turbiedad	$UNT$	0.5	87.0
Coliformes totales	$NMP/100mL$	1.1	2,400
<i>Escherichia coli</i>	$NMP/100mL$	1.1	1,400
Calcio	$mg/L - Ca$	0.666	15.82
Hierro	$mg/L - Fe$	0.070	0.111
Magnesio	$mg/L - Mg$	0.037	7.24
Manganeso	$mg/L - Mn$	0.028	< 0.028
Dureza	$mg/L - CaCO_3$	1.81	69.30

Fuente: Elaboración propia con resultados de laboratorio ECOQUIMSA

Cuadro 9: Caracterización física, organoléptica, química y microbiológica del agua de lluvia

<b>Análisis</b>	<b>Dimensional</b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Resultados</b>
Cloro residual	$mg/L - Cl_2$	0.05	< 0.05
Cloruros	$mg/L - Cl_2$	0.5	2.8
Color	$uPt - Co$	1	22
Conductividad	$\mu S/cm @ 25^\circ C$	0.1	45.8
Demanda bioquímica de oxígeno	$mg/L - O_2$	4	< 4
Demanda química de oxígeno	$mg/L - O_2$	4	< 4
Nitratos	$mg/L - NO_3^-$	0.15	2.48
Nitritos	$mg/L - NO_2^-$	0.026	0.17
Olor	--	--	No rechazable
pH	--	0.01	6.73
Sólidos disueltos	$mg/L$	1.95	246.0
Sulfatos	$mg/L - SO_4^{-2}$	2	< 2
Turbiedad	$UNT$	0.5	< 5
Coliformes totales	$NMP/100mL$	1.8	< 1.8
<i>Escherichia coli</i>	$NMP/100mL$	1.8	< 1.8
Calcio	$mg/L - Ca$	0.666	< 0.666
Hierro	$mg/L - Fe$	0.070	< 0.070
Magnesio	$mg/L - Mg$	0.037	0.089
Manganeso	$mg/L - Mn$	0.028	0.058
Dureza	$mg/L - CaCO_3$	1.81	< 1.18

Fuente: Elaboración propia con resultados de laboratorio ECOQUIMSA

Cuadro 10: Caracterización física, organoléptica, química y microbiológica del agua de ducha filtrada

<b>Análisis</b>	<b>Dimensional</b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Resultados</b>
Cloro residual	$mg/L - Cl_2$	0.05	< 0.05
Cloruros	$mg/L - Cl_2$	0.4	18.7
Color	$uPt - Co$	1	6
Conductividad	$\mu S/cm @ 25^\circ C$	0.1	384.0
Demanda bioquímica de oxígeno	$mg/L - O_2$	4	< 4
Demanda química de oxígeno	$mg/L - O_2$	4	< 4
Nitratos	$mg/L - NO_3^-$	0.15	27
Nitritos	$mg/L - NO_2^-$	0.026	12.05
Olor	--	--	No rechazable
pH	--	0.01	8.27
Sólidos disueltos	$mg/L$	1.95	272.0
Sulfatos	$mg/L - SO_4^{-2}$	2	26
Turbiedad	$UNT$	0.5	6.0
Coliformes totales	$NMP/100mL$	1.1	< 23
<i>Escherichia coli</i>	$NMP/100mL$	1.1	< 23
Calcio	$mg/L - Ca$	0.666	22.09
Hierro	$mg/L - Fe$	0.070	< 0.070
Magnesio	$mg/L - Mg$	0.037	10.42
Manganeso	$mg/L - Mn$	0.028	< 0.028
Dureza	$mg/L - CaCO_3$	1.81	98.05

Fuente: Elaboración propia con resultados de laboratorio ECOQUIMSA

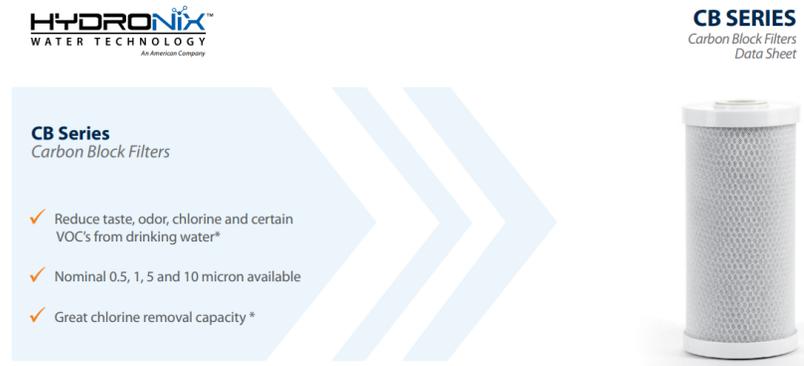
Cuadro 11: Caracterización física, organoléptica, química y microbiológica del agua de lluvia filtrada

<b>Análisis</b>	<b>Dimensional</b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Resultados</b>
Cloro residual	$mg/L - Cl_2$	0.05	< 0.05
Cloruros	$mg/L - Cl_2$	0.4	< 0.4
Color	$uPt - Co$	1	6
Conductividad	$\mu S/cm @ 25^\circ C$	0.1	42.3
Demanda bioquímica de oxígeno	$mg/L - O_2$	4	< 4
Demanda química de oxígeno	$mg/L - O_2$	4	< 4
Nitratos	$mg/L - NO_3^-$	0.15	12.57
Nitritos	$mg/L - NO_2^-$	0.026	1.26
Olor	--	--	No rechazable
pH	--	0.01	6.87
Sólidos disueltos	$mg/L$	1.95	56.0
Sulfatos	$mg/L - SO_4^{-2}$	2	< 2
Turbiedad	$UNT$	0.5	3
Coliformes totales	$NMP/100mL$	1.1	> 23
<i>Escherichia coli</i>	$NMP/100mL$	1.1	< 3.6
Calcio	$mg/L - Ca$	0.666	1.37
Hierro	$mg/L - Fe$	0.070	< 0.070
Magnesio	$mg/L - Mg$	0.037	0.497
Manganeso	$mg/L - Mn$	0.028	< 0.028
Dureza	$mg/L - CaCO_3$	1.81	5.47

Fuente: Elaboración propia con resultados de laboratorio ECOQUIMSA

- Filtro seleccionado  
Se seleccionó “CB - 25 - 10052”, de 5 micras, filtro de carbón activado de bloque

Figura 56: Filtro de carbón activado de bloque



Fuente: Hidronix, 2021

- Muestra de ducha antes y después de filtrado

Figura 57: Muestra de ducha antes (derecha) y después (izquierda) de filtrado



Fuente: Elaboración propia

- Muestra de lluvia antes y después de filtrado

Figura 58: Muestra de lluvia antes (derecha) y después (izquierda) de filtrado



Fuente: Elaboración propia

- Bomba seleccionada

Se seleccionó la “FP1” de la marca Little GIANT, esta bomba cuenta con una altura máxima de aproximadamente 5 metros.

Figura 59: Bomba de agua

**WATER PUMPS**

**Little GIANT**

MENU

**WET ROTOR PUMPS - FP-SERIES**

Our wet rotor water feature pumps are energy efficient and ideal for powering water features and pond filtration systems with flow requirements from 1,000 gph to 8,100 gph. These pumps are rated for continuous duty to operate in the most rigorous applications.

**FEATURES**

- Fitting adapters included
- Use with a screen or skimmer recommended
- Energy efficient
- Clog resistant and capable of passing 1/5" solids
- Can be used externally or submerged
- Rated for continuous duty

**ORDERING INFORMATION**

FP1

CSP US

FP9

5 YEAR WARRANTY

Fuente: Catálogo del proveedor extraída de Aquasistemas, 2022

- Modelo 3D del proyecto





---

### Discusión de los resultados

---

Los resultados obtenidos de las muestras de los parámetros de calidad del agua fueron en su mayoría satisfactorios, luego de la etapa de filtrado; a excepción de los coliformes totales y *Escherichia coli* para ambas fuentes. Sin embargo, se debe destacar que estos parámetros provienen de la norma “Agua para consumo humano, COGUANOR NTG 29001”, siendo esta específica para un consumo directo y no sobre descarga en inodoros como el proyecto en cuestión propone. De igual manera, comparando con otras normas internacionales reguladas para la reutilización del agua estos dos parámetros no cumplen. No obstante, dichas bacterias salieron positivas en los resultados de la caracterización de agua de ducha empleada previo a su filtración, por lo que existe la posibilidad de que en el agua que proviene de la red municipal que se emplea actualmente ya provenga con estas bacterias. Esta suposición se refuerza aún más con los resultados de las muestras de agua municipal en una zona aledaña a ciudad de Guatemala en donde se confirma la presencia de estas bacterias y más parámetros microbiológicos que no cumplen con esta norma, según Barahona Santos, 2017.

Para bajar el número más probable por 1000 mililitros (dimensional empleada para esta medición) de dichas bacterias es posible recurrir a otro filtro con una menor porosidad como lo podría ser uno de 0.5 micras, considerando que el empelado para las pruebas fue de 5 micras.

A pesar de ello, se estima que el propósito principal del proyecto se alcanza porque se logran los objetivos del proyecto, dado que fue posible caracterizar el agua de lluvia y ducha en los parámetros físicos, organolépticos, químicos y microbiológicos. Asimismo, se seleccionó un filtro que logró satisfacer el 90 % (18 de 20) de los criterios de calidad de agua de relativo bajo costo comparado con los de osmosis inversa. Se consiguió calcular el tamaño de las canaletas, tuberías, y potencia de la bomba de agua, así como un sistema completo de tuberías pluviales, drenajes y de agua reutilizada. Se alcanzó a construir un prototipo para etapa de filtrado, y se logró conceptualizar el sistema completo por medio de un modelo 3D. De acuerdo con el diseño de las canaletas, en el proyecto se propuso que éstas fueran de unas

ya existentes en el mercado, ya que facilita el proceso de instalación, además estas cumplen por arriba del tamaño requerido según cálculos, por lo que estas están sobredimensionadas. Mismo caso para la capacidad de la bomba, ya que según su ficha técnica tiene una altura máxima de 5m de los cuales 3.39m son necesarios por lo que esto podría considerarse como un factor de seguridad para un diseño más robusto.

Dada la forma del techo plano de la casa modelo para la elaboración del proyecto, se tuvo que diseñar un sistema de captación de agua de lluvia en el techo, este sistema está conformado por bases metálicas de extremo a extremo a lo largo que unidas a láminas estas podrán acarrear el agua hacia la canaleta. De esta manera, se considera suficiente tomar únicamente la mitad del techo, siendo  $25m^2$ , ya que se tendría que emplear más de una canaleta, un bajante y un mayor tanque de almacenamiento para una mayor cantidad de metros cuadrados de captación. Asimismo, tomando en cuenta que la temporada de lluvia es estacional por lo que los días lluviosos estarán concentrados en ciertas fechas en los cuales será mayor el desperdicio de agua captada que lo que se puede almacenar con un tanque limitado por espacio.

Se constató que el costo por la adaptación de bases metálicas con láminas, canaleta y bajante eleva el costo de manera considerable del proyecto, y que el aporte de estas es exclusivo a la recolección de agua de lluvia, sin embargo, como se comprobó anteriormente los litros captados con el promedio de lluvia en la región de 1805 mm anuales y los  $25 m^2$  no podrían satisfacer de forma individual la demanda de agua por descargas de inodoro. Por su parte, la cantidad de agua de ducha almacenada sí es suficiente de manera individual para poder satisfacer la demanda de agua; por lo que podría limitarse el proyecto a la recolección únicamente de esta fuente. Sin embargo, esto podría cambiar en una región de mayor cantidad de lluvia y un modelo de casa que no sea de techo plano, para no incurrir en gastos de adaptación como este.

1. La cantidad de agua captada en conjunto es suficiente para abastecer la demanda de agua en descargas de inodoros en una casa, en las condiciones de uso de tres a seis descargas por día al inodoro, una ducha diaria de media de cinco minutos y una media de 1805 mm de lluvia anuales en la región del proyecto.
2. El retorno de inversión de este proyecto es de aproximadamente 22 años. Por lo que este proyecto tiene un mayor impacto ecológico que económico.
3. Todos los parámetros de calidad del agua según la norma “COGUANOR NTG 29001” fueron satisfactorios con el filtro seleccionado, a excepción de Coliformes totales y *Escherichia Coli* que se encuentra tanto en las muestras de lluvia como de ducha.
4. El esquema propuesto de tuberías para la captación y transporte del agua presentan una manera viable de integrar las distintas fuentes para su posterior almacenamiento y uso en inodoros a través de una bomba de agua.
5. Es posible captar agua de lluvia en un modelo de casa de techo plano, mediante la incorporación de bases metálicas y láminas con una pendiente para dirigir el agua.



---

### Recomendaciones

---

El número de Coliformes totales y *E.Coli* podría reducirse con un filtro del mismo tipo, pero con una menor porosidad, siendo el más pequeño del mercado de 0.5 micras. Asimismo, se recomienda limitar el proyecto a una sola fuente de captación de agua; siendo la de agua de ducha debido a que es la de mayor volumen (superando la demanda de forma individual) y de menor costo.



- ACUALOGICA. (2020). Inodoro SALVAGUA II - 2 piezas. <https://acualogica.com/portfolios/inodoro-ecologico-salvaguaii-2-piezas/>
- Allen, L., Smith, J. C., & Palaniappan, M. (2010). *Overview of greywater reuse: the potential of greywater systems to aid sustainable water management*. [https://pacinst.org/wp-content/uploads/sites/21/2013/02/greywater\\_overview1.pdf](https://pacinst.org/wp-content/uploads/sites/21/2013/02/greywater_overview1.pdf)
- Álvarez, M., César, J., & Lickes, S. (2009). Agua para consumo humano (agua potable). NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA COGUANOR NTG 29001. [http://ide.segeplan.gob.gt/ranking/ranking\\_portal/documentos/MunicipioSaludable/COGUANOR-NTG-29-001.pdf](http://ide.segeplan.gob.gt/ranking/ranking_portal/documentos/MunicipioSaludable/COGUANOR-NTG-29-001.pdf)
- Aquasistemas. (2022). Bombas para fuentes. <https://aquasistemas.com.gt/wp-content/uploads/2022/05/Ficha-tecnica.pdf>
- Barahona Santos, L. O. (2017). *Análisis de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua del pozo que distribuye a una colonia de la zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala* (Tesis doctoral). Universidad San Carlos de Guatemala. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1471.pdf>
- Bardales Espinoza, W. A., Castañón, C., & Herrera Herrera, J. L. (2019). CLIMA DE GUATEMALA TENDENCIAS OBSERVADAS E ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO. <https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/05/2.-1erRepCCGuaCap2.pdf>
- Canalonesen. (2014). Dónde deben ir las bajantes de un sistema de evacuación pluvial. <https://canalonesen.com/donde-bajantes-sistema- evacuacion-pluvial/>
- Castañeda Jimenez, A. (2014). Procesos de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de agua de la industria del petróleo. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/84/POA-INDUSTRIA%20DEL%20PETROLEO.pdf?sequence=1>
- ÇENGEL, Y. A., & CIMBALA, J. M. (2006). *Mecánica de Fluidos* (1.ª ed.). McGraw-Hill.
- Chauca Chicaiza, A., & Orozco Cantos, L. (2012). *Diseño e Implementación de un Sistema Automatizado para la Dosificación de Cloro en el Tratamiento de Agua Potable en la Comunidad San Vicente de Lacas* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo) (Tesis doctoral). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/1888/1/15T00500.pdf>

- Chen, Z., Wu, Q., Wu, G., & Hu, H. (2017). *Centralized water reuse system with multiple applications in urban areas: Lessons from China's experience*. Resources, Conservation; Recycling. <https://acortar.link/cEYFNy>
- Colorado Guevara, S. (2015). *Diseño y construcción de un prototipo de aprovechamiento de agua de lluvia y de reutilización de aguas grises a nivel vivienda en la ciudad de Xalapa, Ver.* (Tesis doctoral). <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/42144/ColoradoGuevaraSandra.pdf?sequence=2>
- CTE. (2022). Sección HS 4, Código Técnico de la Edificación. <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/Salubridad.html>
- Devkota, J., Schlachter, H., & Apul, D. (2015). Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation. <https://acortar.link/bUbdca>
- EEGSA. (2022). EEGSA anuncia las tarifas autorizadas para el siguiente trimestre. <https://eegsa.com/boletin-de-prensa/eegsa-anuncia-las-tarifas-autorizadas-para-el-siguiente-trimestre-2/#:~:text=Las%20tarifas%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20que%20estar%C3%A1n%20en%20vigencia%20del,para%20la%20Tarifa%20No%20Social>
- EFE. (2017). Guatemala único país de Centroamérica que no tiene ley de aguas. *América, E., & noticias, M. EFE*. <https://www.efc.com/efe/america/sociedad/guatemala-unico-pais-de-centroamerica-que-no-tiene-ley-aguas/20000013-3215290>
- EPA. (2012). Guidelines for Water Reuse. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>
- FHA. (2021). Normas de planificación y construcción del FHA. <https://www.fha.gob.gt/wp-content/uploads/Desarrolladores/Normas%20de%20construccion/2016/Enero/Normas%20de%20planificacion%20y%20construccion.pdf>
- García-Rodríguez, P. A., & Herrera-Nova, H. (2021). *Diseño de un prototipo para la reutilización de aguas grises en viviendas*. (Tesis doctoral). [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26755/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%2063\\_3.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26755/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%2063_3.pdf)
- Guzzini, M. O. (2015). UF1667-Tratamiento de agua potable. [https://books.google.com.gt/books?hl=en&lr=&id=s8ZWDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA137&dq=UF1667+-+Tratamiento+de+agua+potable&ots=OE8EW8ywqd&sig=aOabutkvzmHtt4mrMbIqjPHxoHA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=UF1667%20%20Tratamiento%20de%20agua%20potable&f=false](https://books.google.com.gt/books?hl=en&lr=&id=s8ZWDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA137&dq=UF1667+-+Tratamiento+de+agua+potable&ots=OE8EW8ywqd&sig=aOabutkvzmHtt4mrMbIqjPHxoHA&redir_esc=y#v=onepage&q=UF1667%20%20Tratamiento%20de%20agua%20potable&f=false)
- Helmreich, B., & Horn, H. (2009). *Opportunities in rainwater harvesting*. <https://acortar.link/LgjQgM>
- Hidronix. (2021). Hydronix CB SERIES CARBON BLOCK FILTERS. <https://hydronixwater.com/carbon-block-filters/#1528038837972-fb0c8310-130d>
- Hydraulic, H. (2021). Flow resistance of filters. <https://www.hawe.com/fluid-lexicon/flow-resistance-of-filters/>
- INE. (2019). Indicadores de recursos hídricos. <https://www.ine.gob.gt/ine/estadisticas/bases-de-datos/estadisticas-ambientales/>
- Lazarova, V., Hills, S., & Birks, R. (2003). *Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing*. Water Science; Technology: Water Supply. <https://iwaponline.com/ws/article-abstract/3/4/69/25839/Using-recycled-water-for-non-potable-urban-uses-a>
- Li, D., & Liu, S. (2019). *Water quality monitoring and management: Basis, technology and case studies*. Elsevier. [https://es.scribd.com/read/390768332/Water-Quality-Monitoring-and-Management-Basis-Technology-and-Case-Studies#\\_\\_search-menu\\_845108](https://es.scribd.com/read/390768332/Water-Quality-Monitoring-and-Management-Basis-Technology-and-Case-Studies#__search-menu_845108)

- Maldonado Mite, D. J. (2020). *DISEÑO DE UN FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO A BASE DE ESTOPA DE COCO (Cocos Nucífera) PARA LA ELIMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS EN AGUAS RESIDUALES AVÍCOLAS* (Tesis doctoral). UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MALDONADO%20MITE%20DIEGO%20JOSE\\_compressed.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MALDONADO%20MITE%20DIEGO%20JOSE_compressed.pdf)
- McQuiston, F. C., Parker, J. D., & Spitler, J. (2007). *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. LIMUSA, S.A. oe C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.
- Mercado, D. (2020). ¿Cuántas veces es normal ir al baño? Clínica las Condes. <https://www.clinicalascondes.cl/BLOG/Listado/Urologia/cuantas-veces-es-normal-ir-al-bano>
- Monterrey, T. (2015). [Http://www.Tubosmonterrey.Com.Mx/home/productos/tuberia/tuberia-de-pvc/pvc-hidraulico/](http://www.Tubosmonterrey.Com.Mx/home/productos/tuberia/tuberia-de-pvc/pvc-hidraulico/). <http://www.tubosmonterrey.com.mx/home/productos/tuberia/tuberia-de-pvc/pvc-hidraulico/>
- ONU. (2014). La escasez de agua y los ODM. <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- Páez Pedraza, J. P. (2013). *Modelación de Flujo Turbulento Hidráulicamente Liso en Tuberías Largas de PVC* (Tesis doctoral). Univerisdad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/20016/u671847.pdf?sequence=1>
- Pérez, C., León, F., & Delgadillo, G. (2013). *Tratamiento de aguas* (Tesis doctoral). <https://acortar.link/6pvztL>
- Pinto, U., Maheshwari, B., & Grewal, H. (2010). *Effects of greywater irrigation on plant growth, water use and soil properties*. Resources, Conservation; Recycling. [https://www.researchgate.net/profile/Uthpala-Pinto/publication/236871967\\_Effects\\_of\\_greywater\\_irrigation\\_on\\_plant\\_growth\\_water\\_use\\_and\\_soil\\_properties/links/5aa60c5baca272d448baa2b7/Effects-of-greywater-irrigation-on-plant-growth-water-use-and-soil-properties.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Uthpala-Pinto/publication/236871967_Effects_of_greywater_irrigation_on_plant_growth_water_use_and_soil_properties/links/5aa60c5baca272d448baa2b7/Effects-of-greywater-irrigation-on-plant-growth-water-use-and-soil-properties.pdf)
- Ramos, M., Ruíz, E., Gutiérrrez, S., & Rodrigo, P. (2017). *Prototype for water reuse in house showers: savings and economics*. . In 7th IMEKO TC19 symposium on environmental instrumentation; measurements, EnvIMEKO.
- Robayo Parga, J. L., & Pérez Martínez, R. E. (2016). *ANÁLISIS DE LA CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA LLUVIA PARA UTILIZACIÓN EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA (BOGOTÁ), DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS DE SUS SEDES*. (Tesis doctoral). Universidad Católica de Colombia. Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13903/4/AN%20C3%20LISIS%20DE%20LA%20CAPTACI%20C3%20Y%20APROVECHAMIENTO%20DEL%20AGUA%20LLUVIA%20PARA%20UTILIZACI%20C3%20EN%20EL%20CAMPUS%20DE%20LA%20UNIVERSIDAD%20CAT%20LICA%20DE%20CO%201.pdf>
- Sample, D., Liu, J., & Wang, S. (2013). Evaluating the dual benefits of rainwater harvesting systems using reliability analysis. [https://www.researchgate.net/profile/Jia-Liu-161/publication/242342898\\_Evaluating\\_the\\_Dual\\_Benefits\\_of\\_Rainwater\\_Harvesting\\_Systems\\_Using\\_Reliability\\_Analysis/links/5721a3a80ae82260fab4739/Evaluating-the-Dual-Benefits-of-Rainwater-Harvesting-Systems-Using-Reliability-Analysis.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jia-Liu-161/publication/242342898_Evaluating_the_Dual_Benefits_of_Rainwater_Harvesting_Systems_Using_Reliability_Analysis/links/5721a3a80ae82260fab4739/Evaluating-the-Dual-Benefits-of-Rainwater-Harvesting-Systems-Using-Reliability-Analysis.pdf)
- Syzer, S. (2022). System Syzer. <https://www.xylem.com/en-us/brands/bell-gossett/selection-sizing-cad-esp-online/system-syzer/>
- UNESCO. (2015). Water Scarcity and Quality. <https://en.unesco.org/themes/water-security/hydrology/water-scarcity-and-quality#:~:text=Water%20scarcity%20is%20>

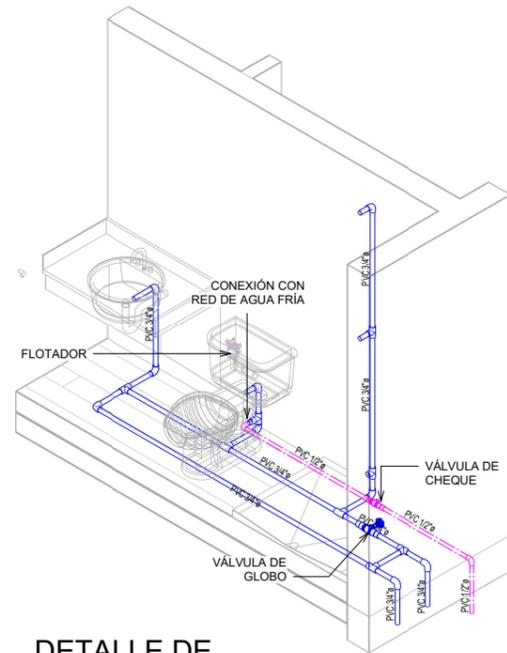
20a%20natural,as%20a%20human%2Dinduced%20phenomenon.&text=There%  
20is%20no%20global%20water,increase%20in%20the%20last%20century  
WHO. (2021). Drinking-water [publisher: World Health Organization]. [https://www.who.  
int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water)

# CAPÍTULO 11

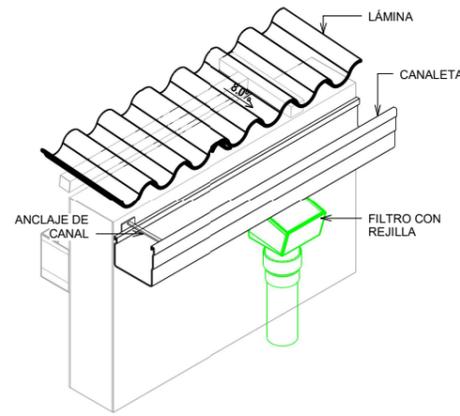
---

Anexos

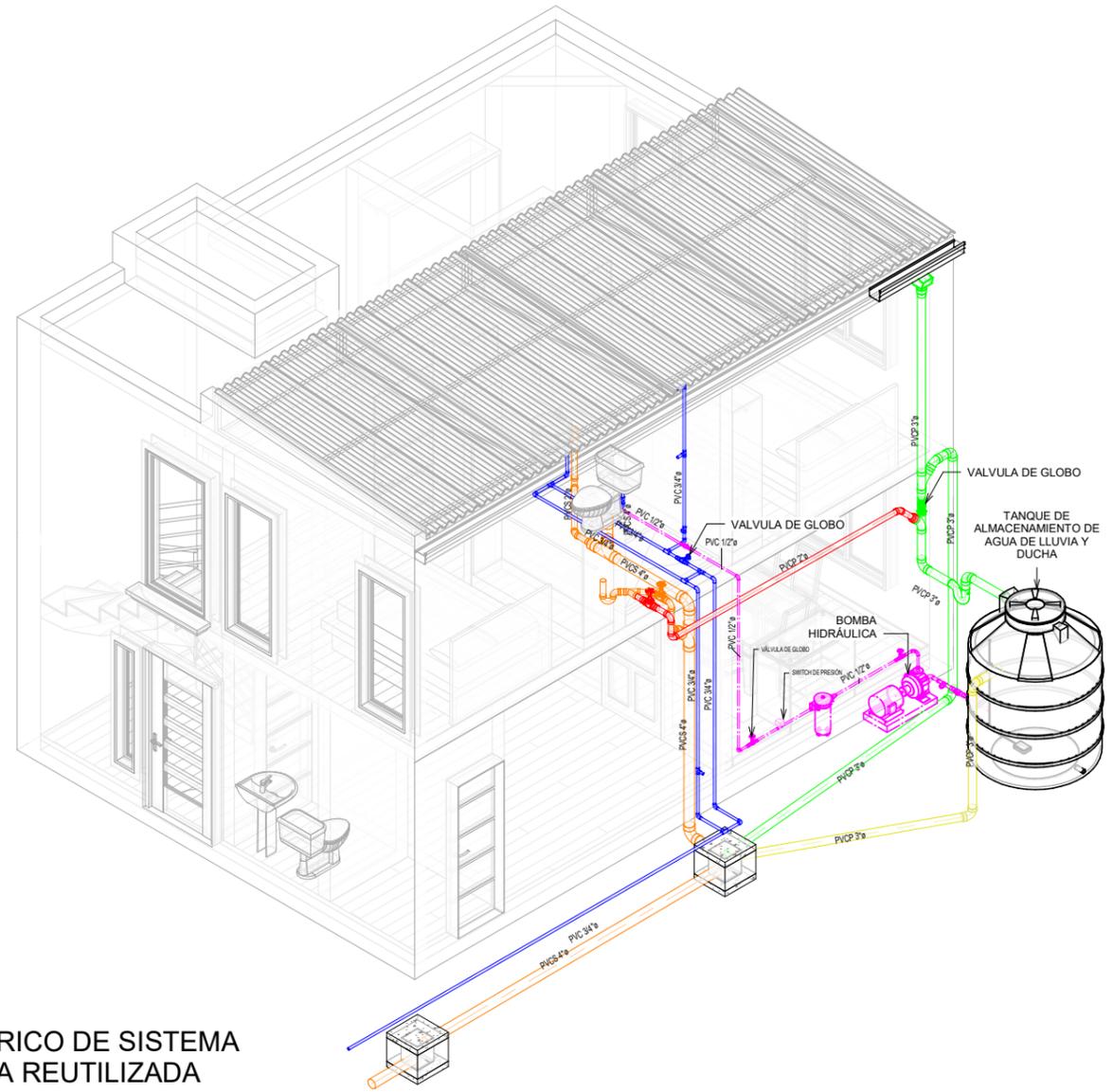
---



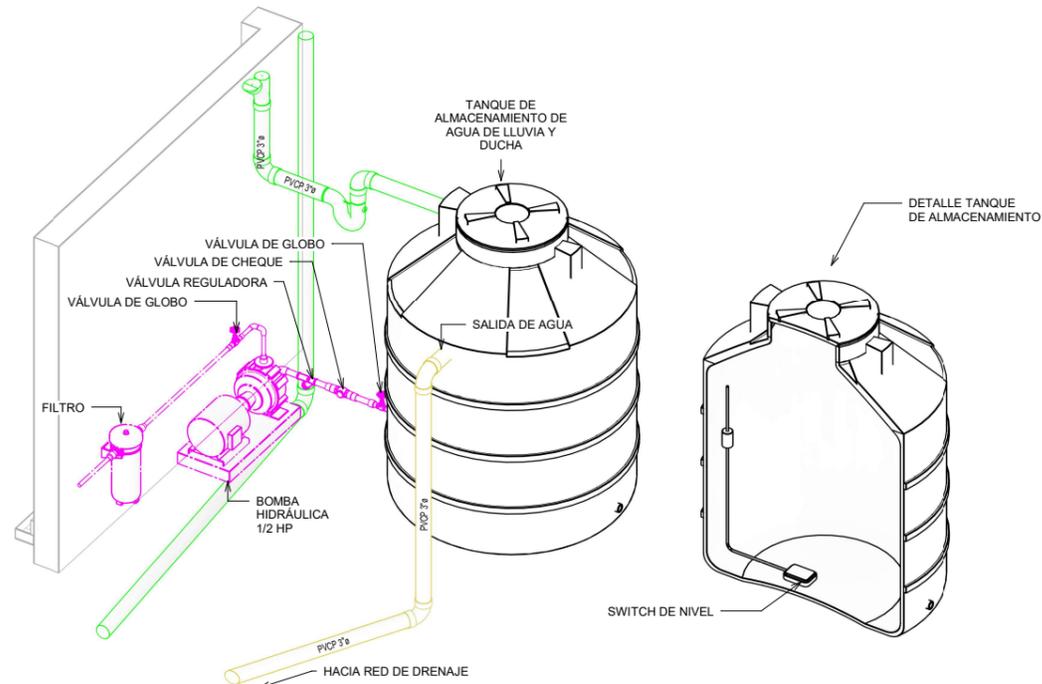
2 DETALLE DE ARTEFACTOS



4 ISOMÉTRICO DE FILTRO



1 ISOMÉTRICO DE SISTEMA DE AGUA REUTILIZADA



3 ISOMÉTRICO DE SISTEMA TANQUE Y BOMBA

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

**TOLERANCIAS GENERALES**

LINEAL .X ± 0.1  
.X X±  
.XXX ±

ANGULAR ±

**DIBUJADO POR**  
ANDRE ARAUZ

**FECHA:**  
15/09/22

**DISEÑADO POR**  
ANDRE ARAUZ

**FECHA:**  
15/09/22

**REVISADO POR**

**FECHA:**

**APROBADO POR**

**FECHA:**

1966  
**UNIVERSIDADES DEL VALLE DE GUATEMALA**  
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III  
Guatemala, Guatemala 01015  
PBX: (502 2634-0336 / 40  
0

**TÍTULO : DISEÑO DE TUBERÍAS**

MATERIAL

TRATAMIENTO

MASA: **N/A**



NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

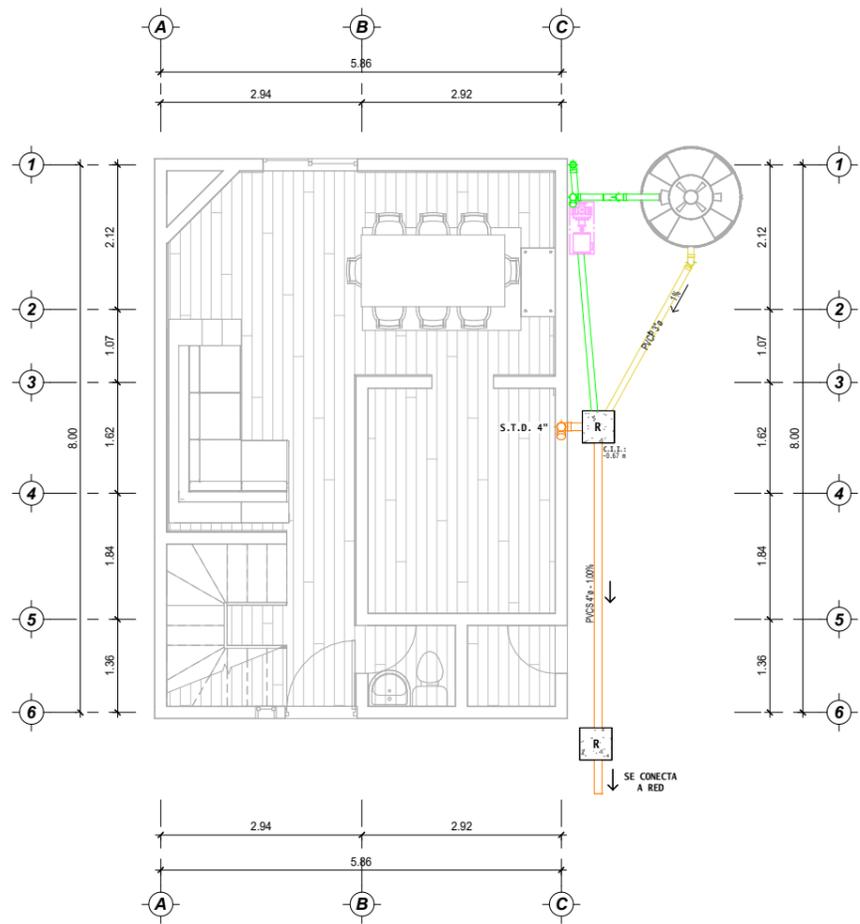
NUMERO DE DIBUJO: 01

FORMATO **A4**

ESCALA: UNIDADES: m

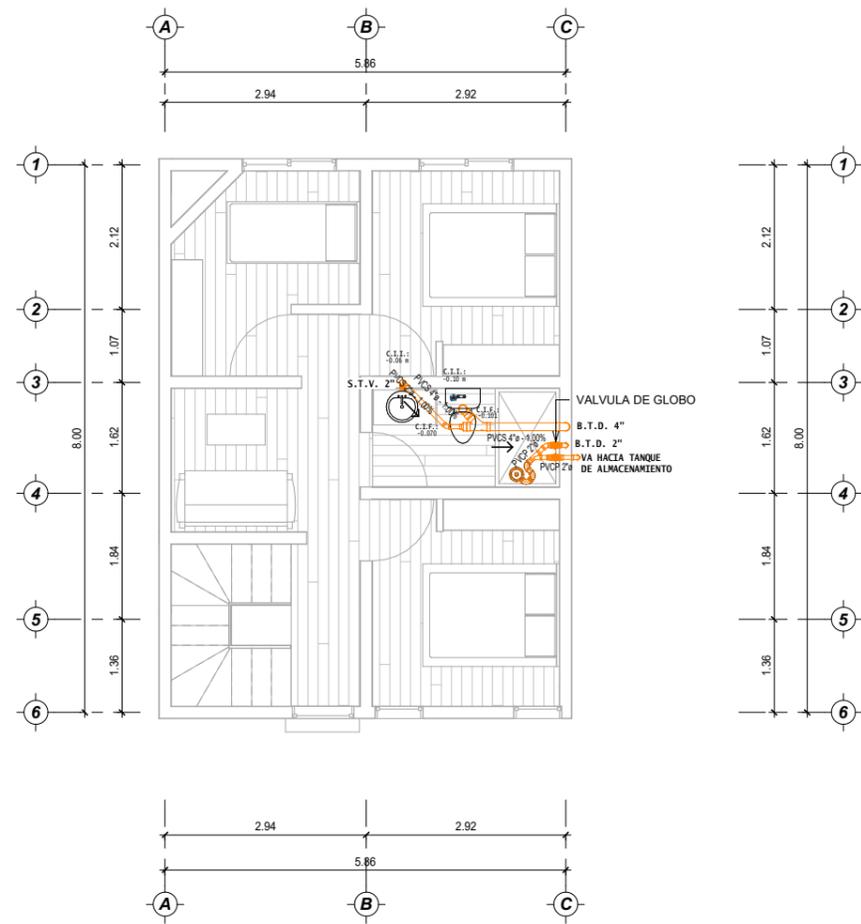
PÁGINA 01 / 06

REV



PLANTA DE DRENAJE NIVEL 1

ESCALA 1 : 50



PLANTA DE DRENAJE NIVEL 2

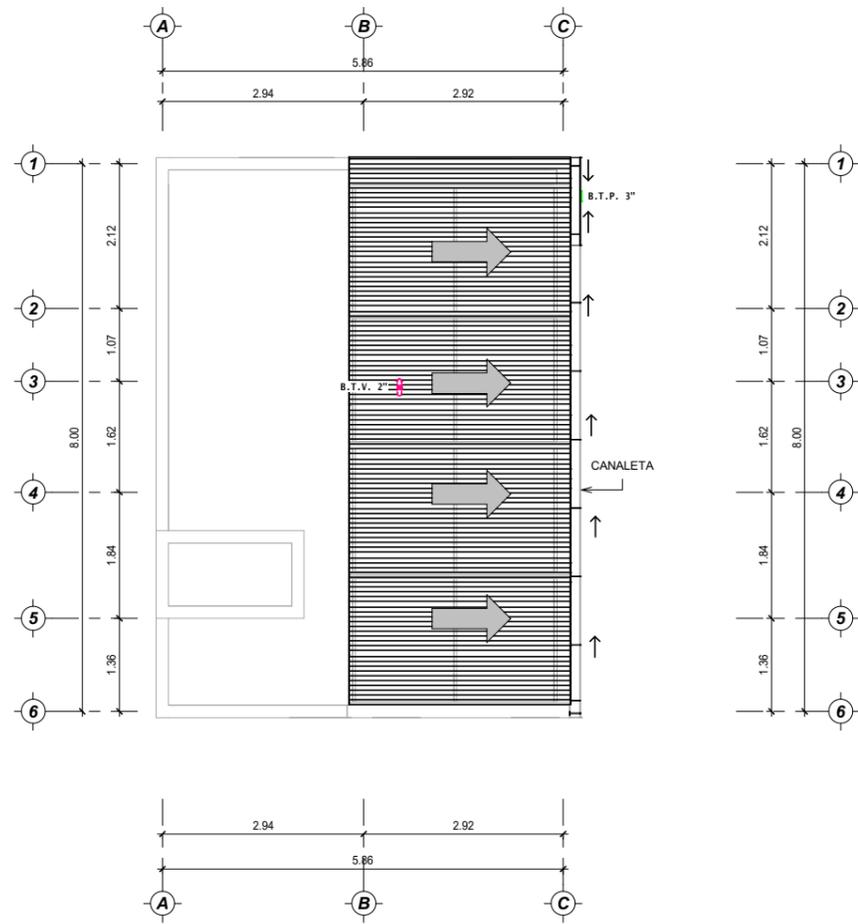
ESCALA 1 : 50

NOMENCLATURA			
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	UNION PVC A 90° EN		REDUCIDOR DE 4" A 2"
	UNION PVC A 90° EN	C.I.I	COTA INVERT INICIAL
	PERFIL YEE PVC EN PLANTA	C.I.F	COTA INVERT FINAL
	TUBO PVC DE Ø 4" Y 2" DE 2%	S.T.D. 4"	SUBE TUBERÍA DE DRENAJE
CAND.	CANDELA	B.T.D. 4"	BAJA TUBERÍA DE DRENAJE
	SIFÓN	S.T.V. 2"	SUBE TUBERÍA DE VENTILACIÓN

N\_DRENAJES

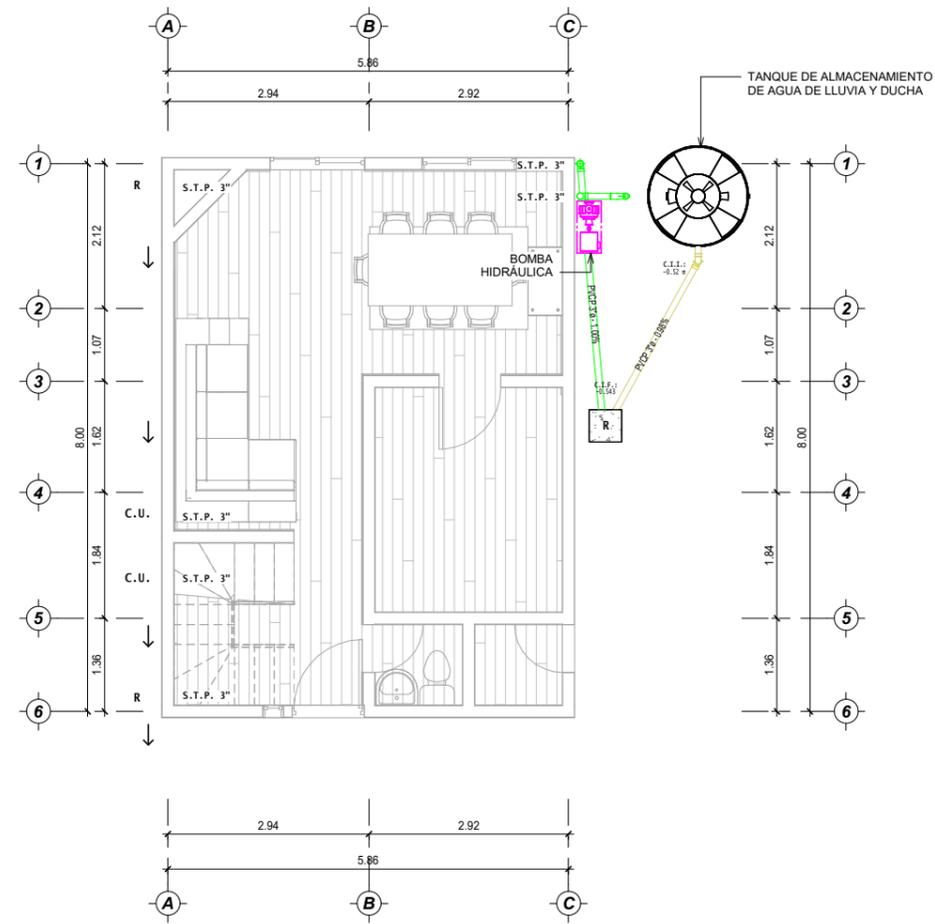
ESCALA 1 : 20

TÍTULO :		
<b>PLANTAS DE SISTEMA DE DRENAJES</b>		
NUMERO DE DIBUJO: 02		
FORMATO	ESCALA: Como se indica	UNIDADES: m
<b>A4</b>	PÁGINA 02 / 06	REV



**PLANTA DE SISTEMA PLUVIAL CUBIERTA**

ESCALA 1 : 50



**PLANTA DE SISTEMA PLUVIAL NIVEL 1**

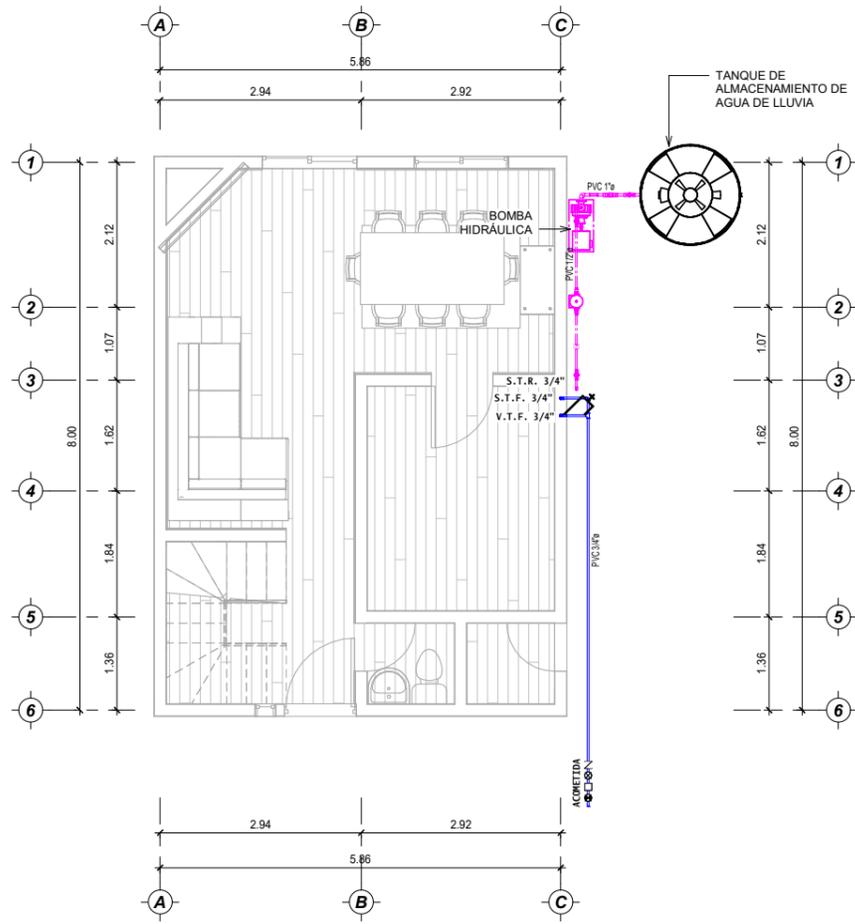
ESCALA 1 : 50

NOMENCLATURA			
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TUBERÍA DE AGUA PLUVIAL PVC/P	C.I.I.	COTA INVERTI INICIAL
	TUBO PVC DE Ø 3" EN VERTICAL	C.I.F.	COTA INVERT FINAL
C.U.	CAJA DE UNIÓN	R	CAJE DE REGISTRO
	UNION A 90° EN PLANTA	B.T.P. 3"	BAJA TUBERÍA DE AGUA PLUVIAL
	UNION A 90° EN PERFIL	S.T.P. 3"	CAJA DE UNIÓN TIPO 2
	SIFÓN		INDICA DIRECCIÓN DE TUBERÍA

TÍTULO :		
<b>PLANTAS DE SISTEMA PLUVIAL</b>		
NUMERO DE DIBUJO: 03		
FORMATO	ESCALA: Como se indica	UNIDADES: m
<b>A4</b>	PÁGINA 03 / 06	REV

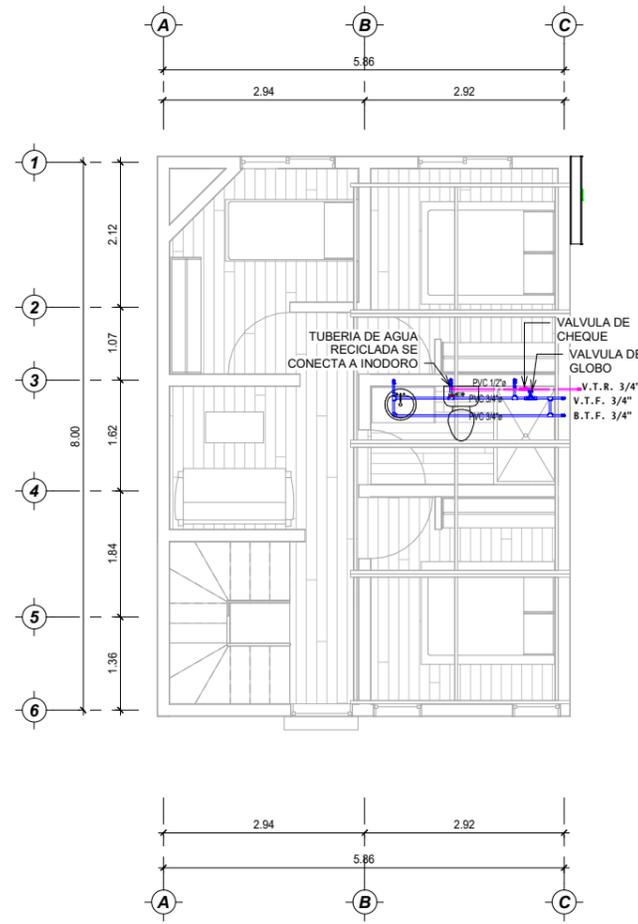
2

1



PLANTA DE AGUA POTABLE NIVEL 1

ESCALA 1 : 50



PLANTA DE AGUA POTABLE NIVEL 2

ESCALA 1 : 50

NOMENCLATURA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
●	LLAVE DE PASO Ø 3/4"
□	MEDIDOR DE AGUA Ø 3/4"
⊙	LLAVE DE CONTRAPUERTA Ø 3/4"
— — —	VALVULA DE CHEQUE HORIZONTAL Ø
— — —	3/4" PVC AGUA FRÍA DE 3/4" Y
— — —	TUBO CPVC AGUA CALIENTE DE 3/4" Y
— — —	TUBO CPVC AGUA CALIENTE DE 3/4" Y 1/2" CODO DE 90° HORIZONTAL
⊙	CODO 90° VERTICAL
— — —	TEE HORIZONTAL
⊥	GRIFO
S.T.F.	SUBE TUBERÍA DE AGUA FRÍA
B.T.F.	BAJA TUBERÍA DE AGUA FRÍA
S.T.C.	SUBE TUBERÍA DE AGUA CALIENTE
B.T.C.	BAJA TUBERÍA DE AGUA CALIENTE

N\_AGUA POTABLE

ESCALA 1 : 20

TÍTULO :

# PLANTAS DE SISTEMA DE AGUA POTABLE

NUMERO DE DIBUJO: 04

FORMATO ESCALA: Como se indica UNIDADES: m

A4

PÁGINA 04 / 06

REV

2

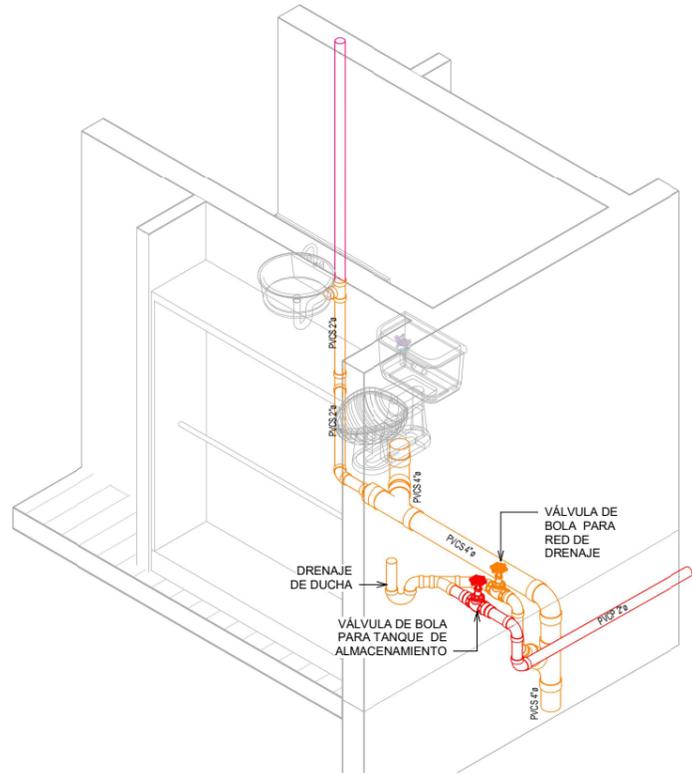
1

2

1

B

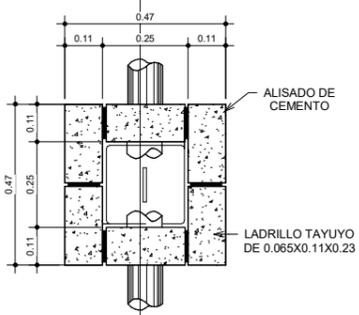
B



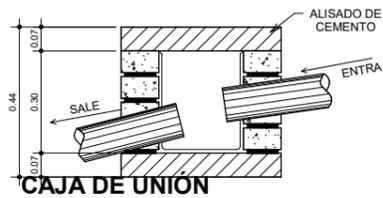
DETALLE DE ARTEFACTOS DE RED DE DRENAJE

ESCALA

A



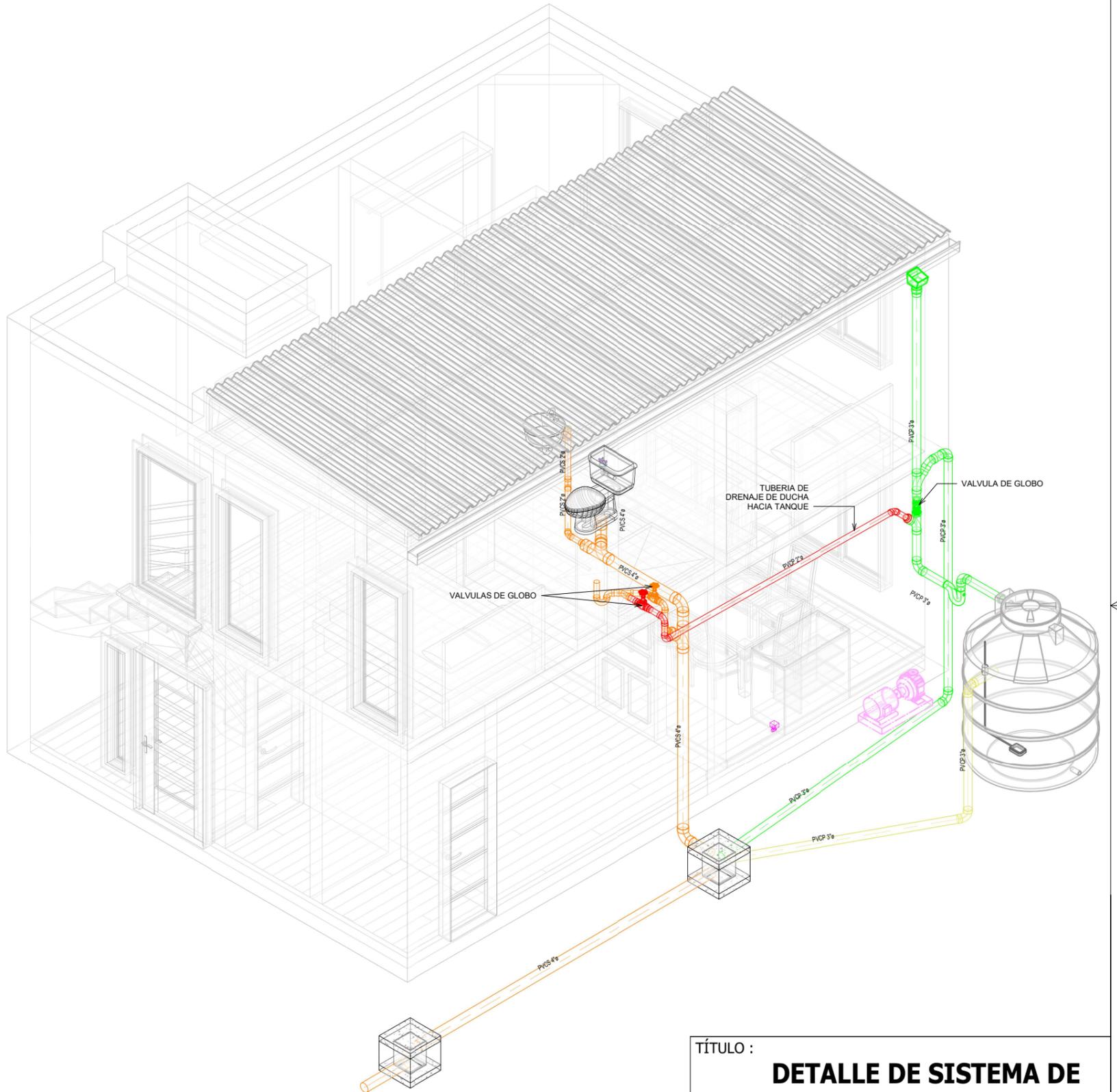
A'



CAJA DE UNIÓN

ESCALA 1 : 10

2



ISOMÉTRICO DE SISTEMA DE DRENAJE

ESCALA

1

A

TÍTULO :

DETALLE DE SISTEMA DE DRENAJE Y AGUA PLUVIAL

NUMERO DE DIBUJO: 05

FORMATO

ESCALA: 1 : 10

UNIDADES: m

A4

PÁGINA 05 / 06

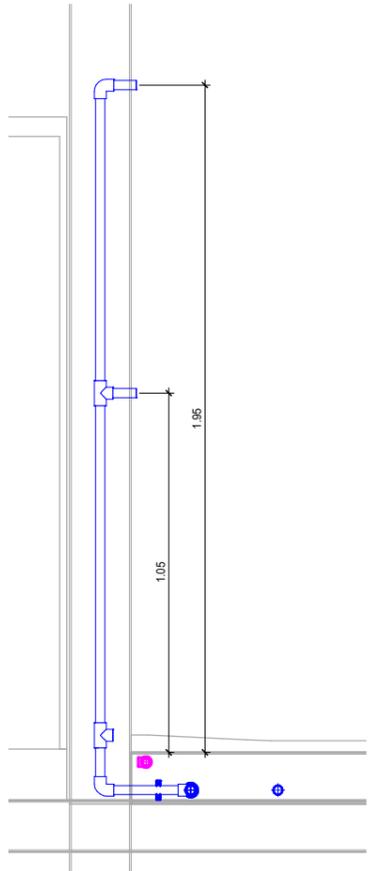
REV

2

1

B

B

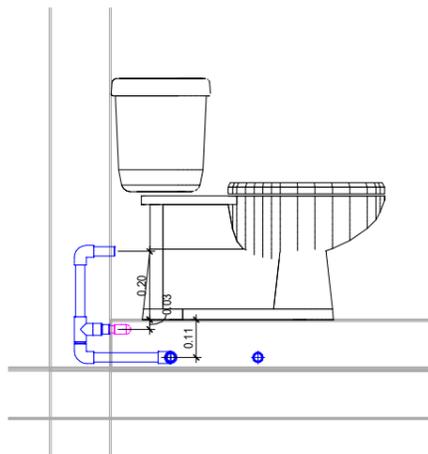


D\_03\_AGUA POTABLE DUCHA

ESCALA 1 : 10

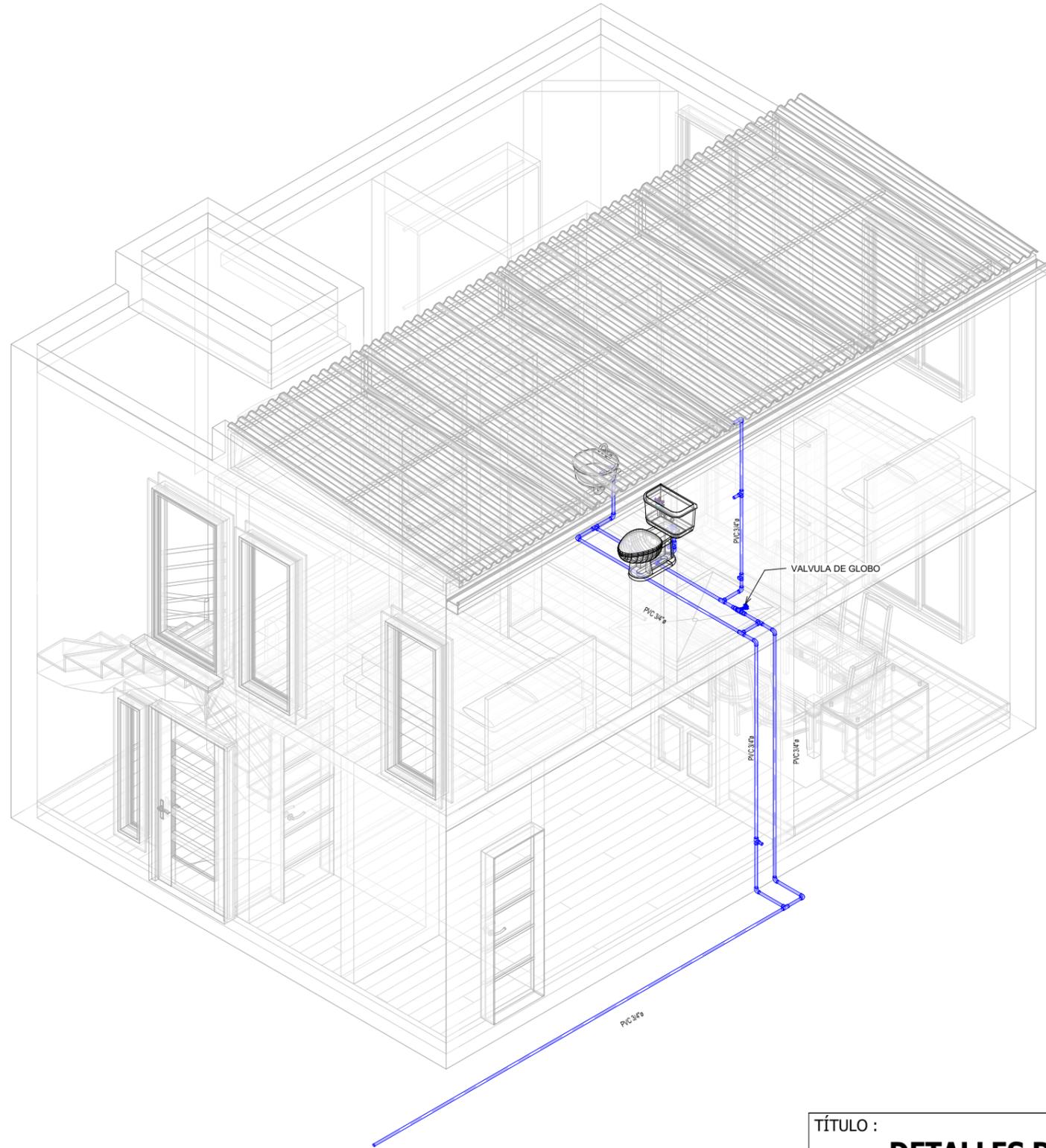
A

A



D\_03\_AGUA POTABLE-INODORO

ESCALA 1 : 10



ISOMÉTRICO DE SISTEMA DE AGUA POTABLE

ESCALA

TÍTULO :

**DETALLES DE SISTEMA DE AGUA POTABLE**

NUMERO DE DIBUJO: 06

FORMATO

ESCALA: 1 : 10

UNIDADES: m

**A4**

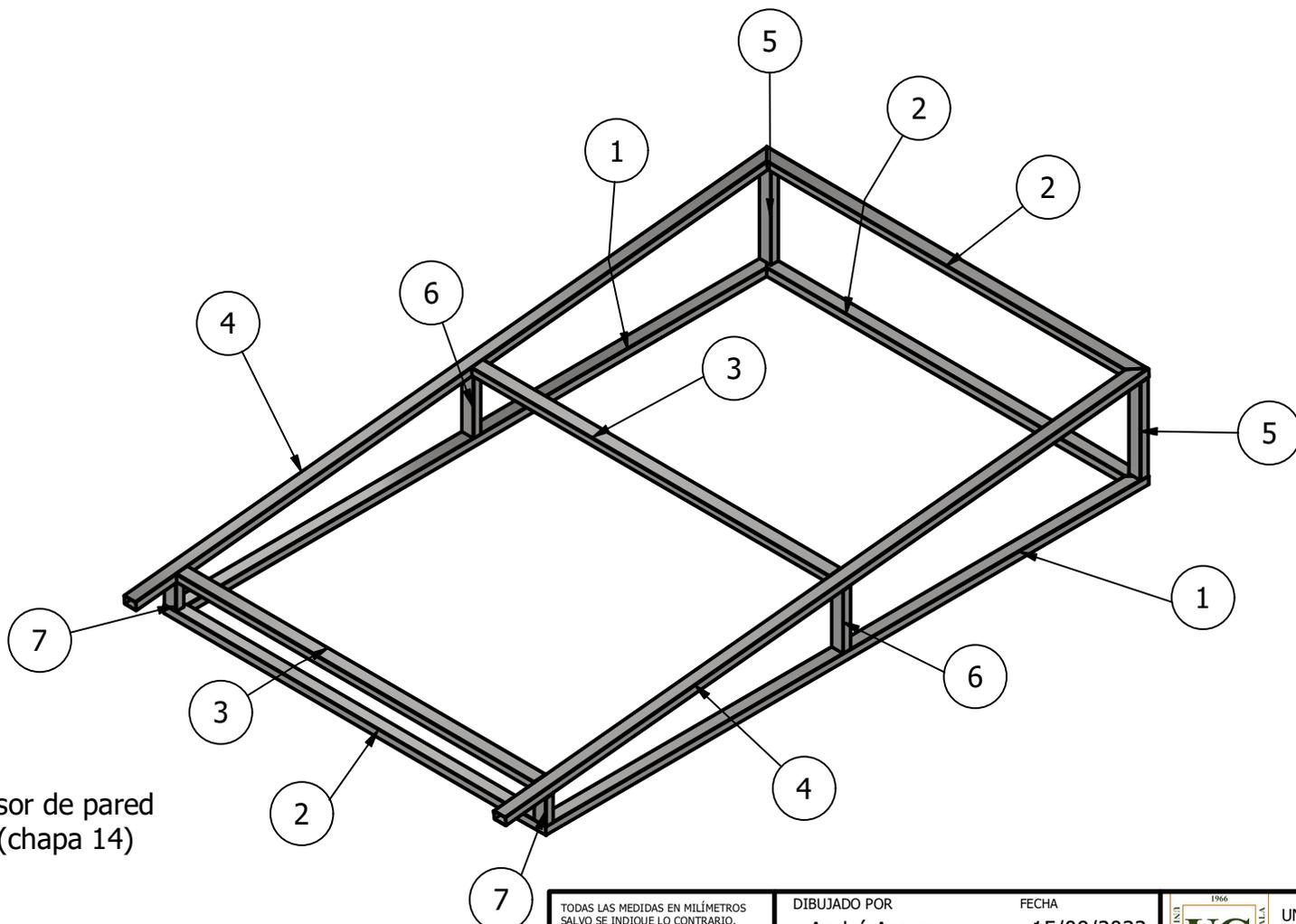
PÁGINA 06 / 06

REV

2

1





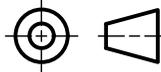
Nota: grosor de pared de 2 mm (chapa 14)

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES

LINEAL .X ±  
.XX ±  
.XXX ±  
ANGULAR ±  
FRACCIONES ±  
RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓

MATERIAL	Acero chapa 14
TRATAMIENTO	Enrolado en frío
MASA:	N/A



TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN

DIBUJADO POR	André Arauz	FECHA	15/09/2022
DISEÑADO POR	André Arauz	FECHA	15/09/2022
REVISADO POR		FECHA	
APROBADO POR		FECHA	
NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO			

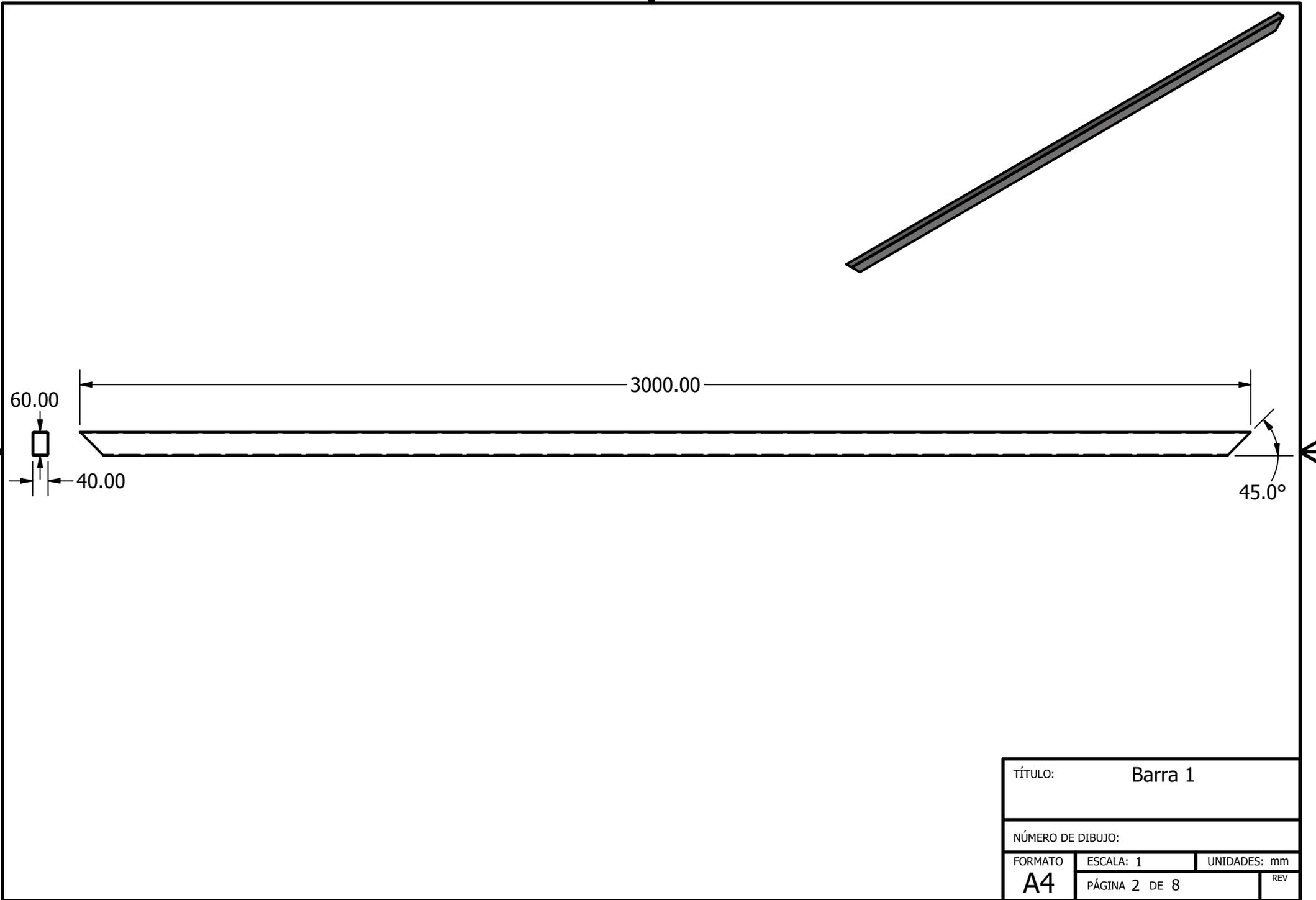
TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

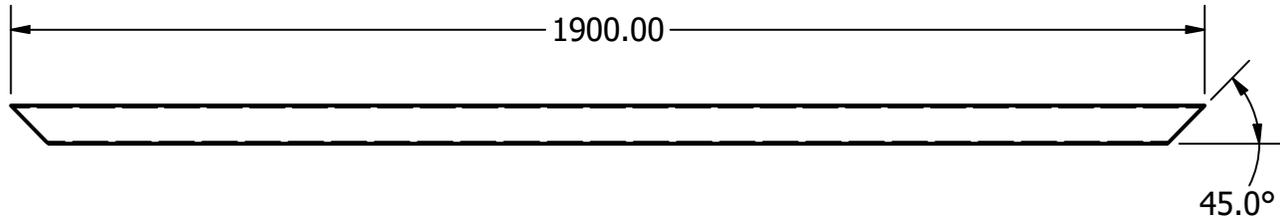
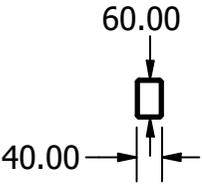


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III  
Guatemala, Guatemala 01015  
PBX: (502) 2634-0336 / 40  
info@uvg.edu.gt

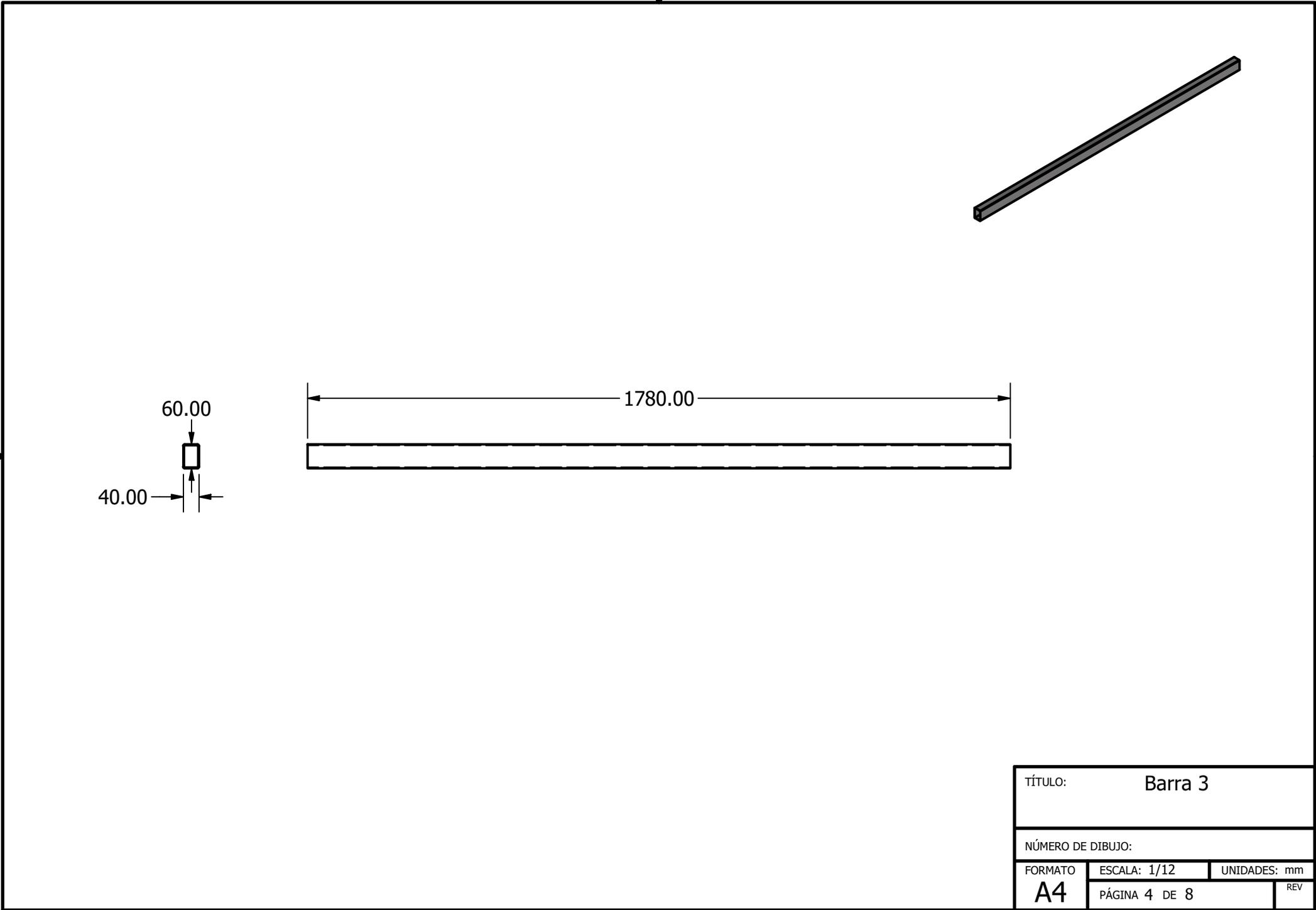
TÍTULO: **Base para láminas**

NÚMERO DE DIBUJO:		
FORMATO	ESCALA: 1 / 24	UNIDADES: mm
<b>A4</b>	PÁGINA 1 DE 8	REV

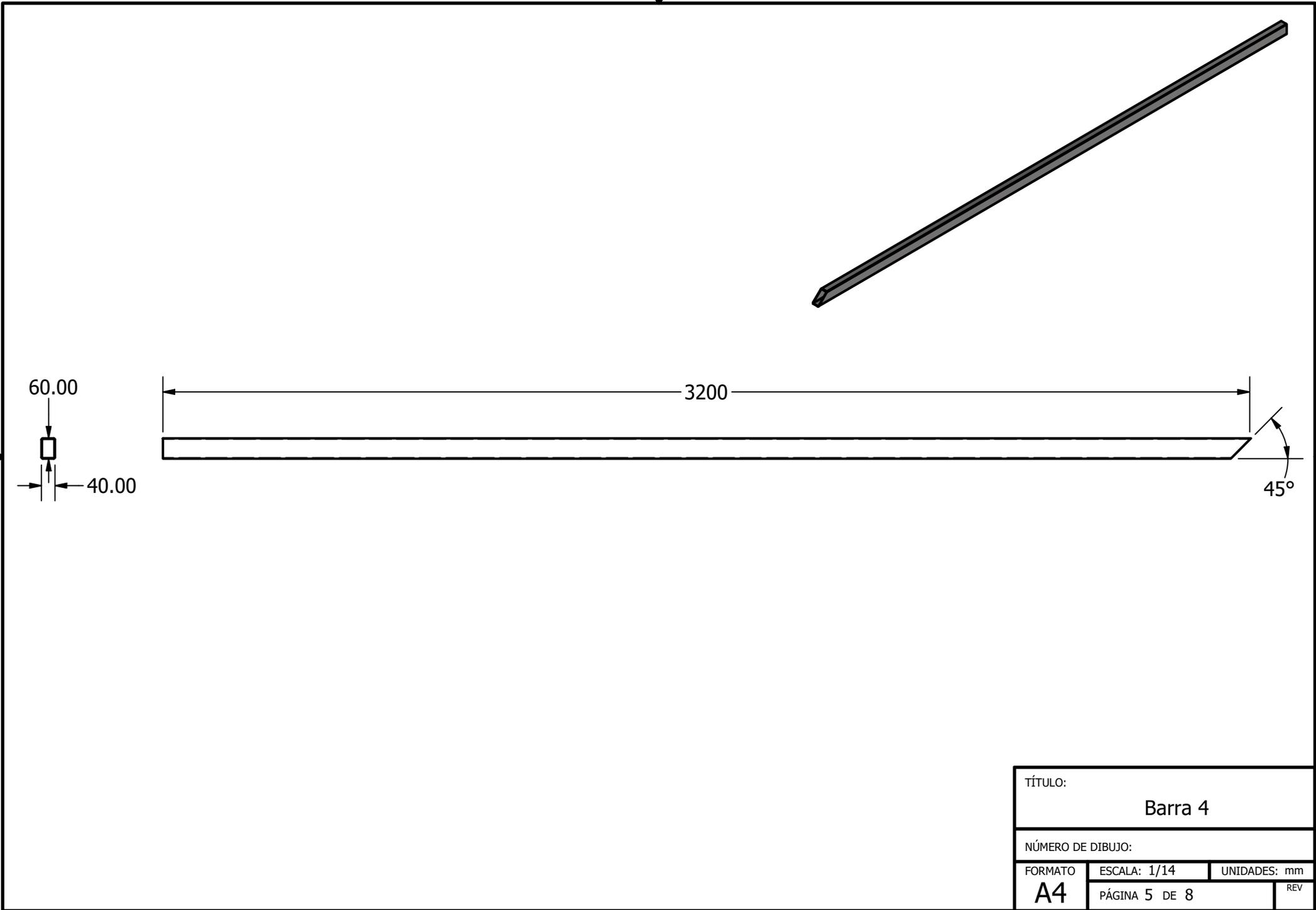


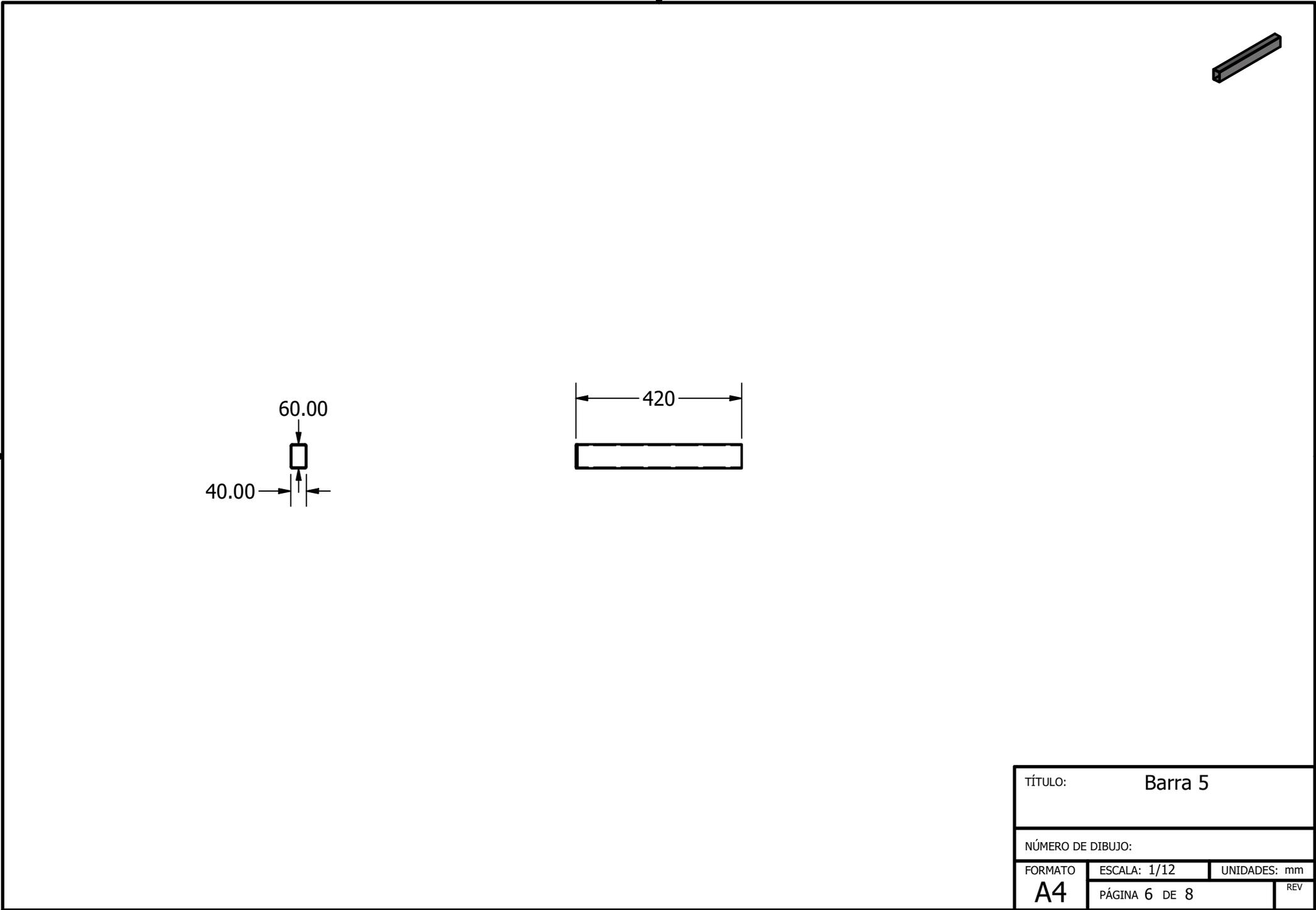


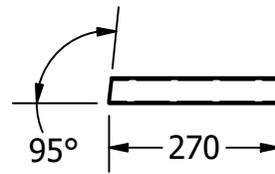
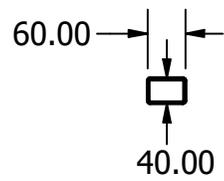
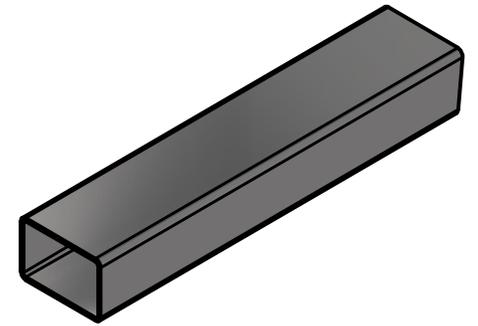
TÍTULO:		Barra 2	
NÚMERO DE DIBUJO:			
FORMATO	ESCALA: 1/12	UNIDADES: mm	
A4	PÁGINA 3 DE 8		REV



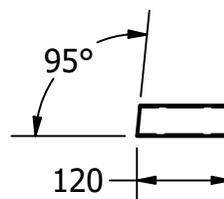
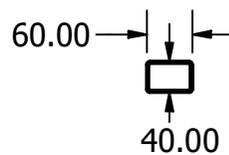
TÍTULO:		Barra 3	
NÚMERO DE DIBUJO:			
FORMATO	ESCALA: 1/12	UNIDADES: mm	
A4	PÁGINA 4 DE 8		REV







TÍTULO:		Barra 6	
NÚMERO DE DIBUJO:			
FORMATO	ESCALA: 1/12	UNIDADES: mm	
A4	PÁGINA 7 DE 8		REV



TÍTULO:		Barra 7	
NÚMERO DE DIBUJO:			
FORMATO	ESCALA: 1/10	UNIDADES: mm	
A4	PÁGINA 8 DE 8		REV

## WET ROTOR PUMPS - FP-SERIES

Our wet rotor water feature pumps are energy efficient and ideal for powering water features and pond filtration systems with flow requirements from 1,000 gph to 8,100 gph. These pumps are rated for continuous duty to operate in the most rigorous applications.



FP1



FP9

### FEATURES

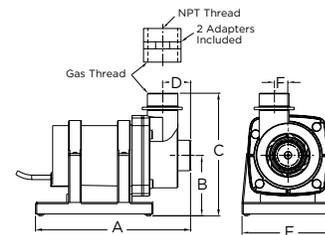
- Fitting adapters included
- Use with a screen or skimmer recommended
- Energy efficient
- Clog resistant and capable of passing 1/5" solids
- Can be used externally or submerged
- Rated for continuous duty

### ORDERING INFORMATION

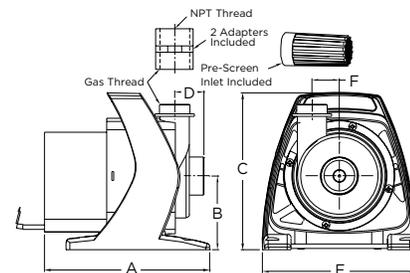
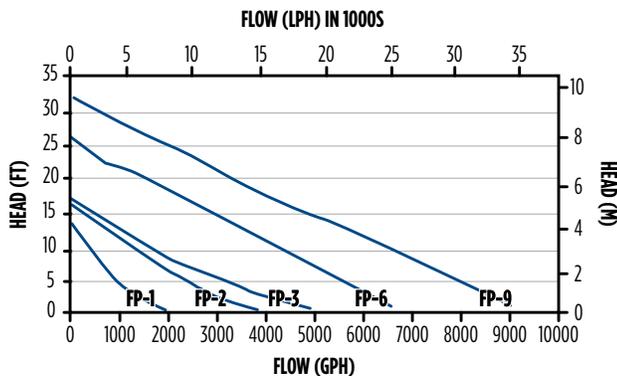
FP-Series	Item No.	Amps	Watts	Cord (ft)	Submerged Use	Inline Use	Inlet FNPT	Discharge FNPT	Gallons Per Hour (GPH) @ Height					Shut-off (ft)
									5'	10'	15'	20'	25'	
FP1	566132	0.9	106	26	✓	✓	1-1/4"	1-1/4"	1000	390	-	-	-	14
FP2	566133	1.45	167	26	✓	✓	1-1/2"	1-1/2"	2220	1210	400	-	-	16
FP3	566134	1.85	226	26	✓	✓	2"	2"	3200	1640	690	-	-	17
FP6	566135	4.6	557	26	✓	✓	2"	1-1/2"	5760	4380	3000	1730	350	27
FP9	566137	6.5	730	26	✓	✓	2"	2"	8100	6580	4860	3290	1930	31

### DIMENSIONS

Dimensions (in)	A	B	C	D	E	F
FP1	9.2	3.8	7.7	1.6	5.7	1.0
FP2	9.5	3.8	7.7	1.7	5.7	0.85
FP3	10.3	3.8	7.8	2.1	5.7	1.0
FP6	10.0	4.4	9.6	1.8	9.5	1.7
FP9	10.0	4.4	9.6	2.1	9.5	1.7



### PERFORMANCE



FP1, FP2, FP3, FP6, FP9

ABASTESA  
C.C. Alta Vista Local 2  
Guatemala, Tels. 3126-6684 3126-6717  
No Recibo: 3005392 - Servicio: 092022  
Fecha de Emision: 27-09-2022

Cuenta: [REDACTED] A1 Contador: [REDACTED]  
JESSICA LORENA ARAUZ SANDOVAL  
[REDACTED]

Mes1: 12  
Mes2: 11  
Mes3: 10

Promedio: 11

Lec. Anterior: 2700 Actual: 2715  
Consumo M3: 15

Consumo Mes	Q. 110.00	
Acumulado	Q. 0.00	
Total consumo		Q. 110.00
-----		
Total Accesorios/Reconexion	Q. 0.00	
-----		
Total Cuota servicio	Q. 0.00	
-----		
Total a pagar		Q. 110.00

Le agradecemos, nos proporcione su correo electronico, para la recepcion de su factura o puede avocarse a las oficinas de servicio al cliente.

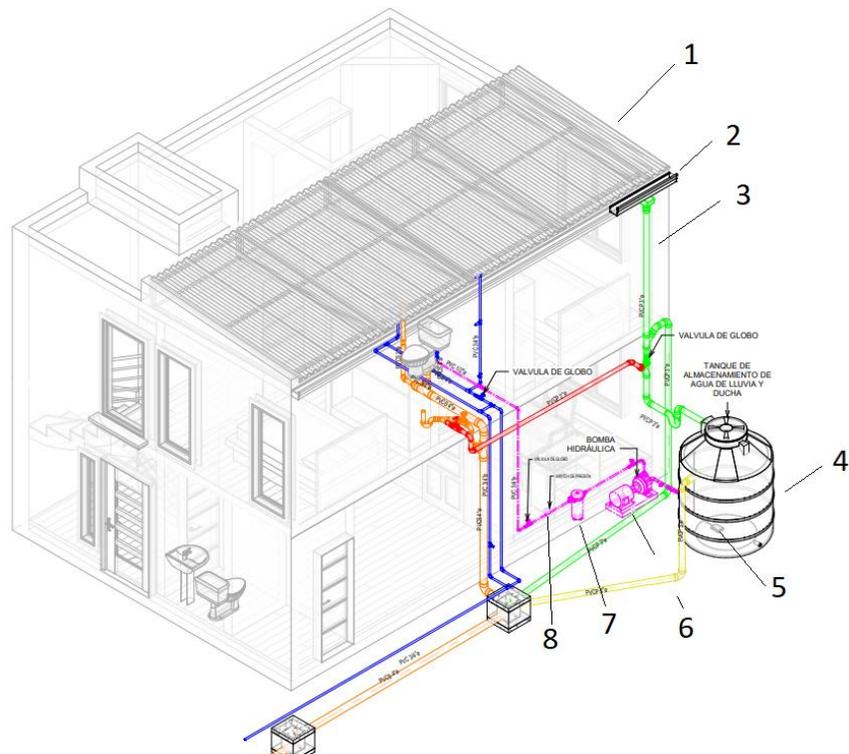
Fugas y emergencia: 30040174-31266900  
31266789

Atencion al cliente WhatsApp: 31266684  
31266717

Si Cancela despues de: 20-10-2022  
Tiene un recargo por mora

Pagos en el Banco Industrial Convenio 250  
Pagos en el BanRural ATX-249-169  
.....

## Mantenimiento



No	Sistema	Mantenimiento	Frecuencia
1	Láminas captadoras de lluvia	Remoción de hojas y suciedad con una escoba con jabón	Semestral
2	Canaleta	Remoción de hojas u otras partículas mediante un rastrillo y manguera con jabón	Semestral
3	Bajante	Emplear una mezcla de vinagre y bicarbonato para limpiar las tuberías de entrada y salida al tanque	Semestral
4	Tanque de almacenamiento	Con una altura de 20 cm de agua para cepillar el fondo, paredes y tapa del tanque con cloro	Semestral
5	Switch de nivel	Revisar funcionamiento y conexión	Semestral
6	Bomba de agua	Examinar sellos, de ser posible lubricación de cojinetes (llamar a un experto de ser necesario) y comprobar acoplamientos	Semestral
7	Cartucho de filtro	Cambiar catucho	Semestral
8	Switch de presión	Revisar circuito, presión de apertura y cierre	Semestral

**PRETUL®**



CÓDIGO: 27019 CLAVE: BOAP-1/2P3

## Bomba periférica 1/2 HP, Pretul

- Genera mayor presión y sube el agua a una mayor altura
- Altura máxima: **20 m**
- Flujo máximo: **30 L/min**
- Profundidad máxima de succión: **8 m**
- Se utiliza cuando se requiere subir el agua a lugares altos (arriba de 15 m aproximadamente). Puede ser usada con sistemas hidroneumáticos para incrementar la presión

**USO AGRÍCOLA**  
Sin I.V.A.



Capacitor para mayor potencia al arranque



Impulsor de latón



Balero metálico

### Certificaciones y garantías

- Cumple con la norma NOM-003-SCFI



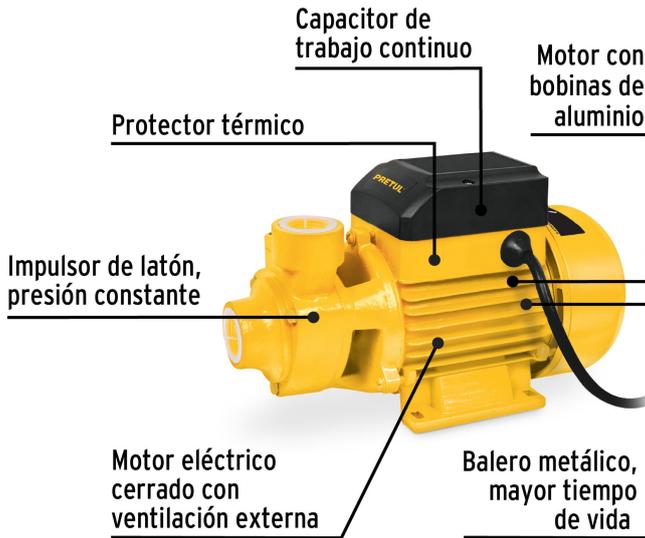
### Especificaciones

<b>Potencia</b>	1/2 HP
<b>Altura máxima</b>	20 m
<b>Flujo máximo</b>	30 L/min
<b>Profundidad máxima de succión</b>	8 m
<b>Diámetro de Entrada / Salida</b>	1" NPT
<b>Velocidad</b>	3,450 rpm
<b>Material del embobinado de motor</b>	Aluminio
<b>Ciclo de trabajo</b>	20 minutos de trabajo por 15 minutos de descanso. Máximo diario 6 horas
<b>Tensión /Frecuencia</b>	127 V / 60 Hz
<b>Consumo</b>	3 A
<b>Dimensiones (Base x Altura x Fondo)</b>	12 x 15 x 24 cm
<b>Peso</b>	3.4 kg
<b>Empaque individual</b>	Caja

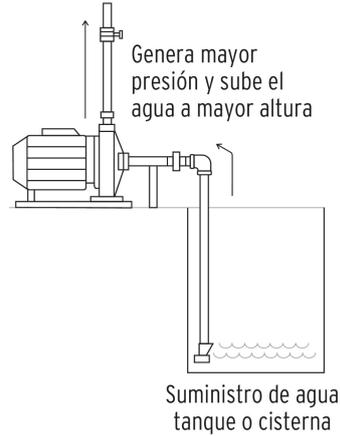
## Refacciones y/o accesorios disponibles en catálogo (no incluidas)

Código	Clave	Descripción
28255	CJ-BOAP-1/2P3	Caja de empaque de repuesto para BOAP-1/2P3, Pretul

## Imágenes complementarias

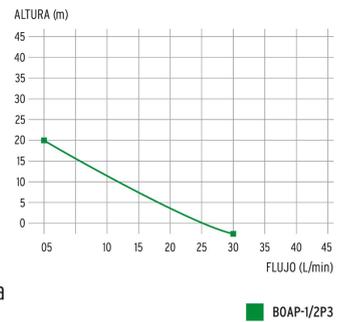


### Funcionamiento



### Curva de rendimiento

Para una mejor selección de acuerdo a sus necesidades compare el rendimiento entre Altura y Flujo que brinda cada uno de los modelos.



### Recomendaciones



Instalar las bombas en lugares cubiertos.



Secos y bien ventilados.



En ambientes cuya temperatura no sobrepase los 40° C.



Llenar por completo la bomba con agua limpia antes de encender por primera vez.



Colocar las bombas en posición horizontal en lugares planos y sujetarlas con tornillos.



Imágenes complementarias



## CB Series Carbon Block Filters

- ✓ Reduce taste, odor, chlorine and certain VOC's from drinking water\*
- ✓ Nominal 0.5, 1, 5 and 10 micron available
- ✓ Great chlorine removal capacity \*



### HYDRONIX CB SERIES CARBON BLOCK FILTERS

are manufactured with high purity coconut shell activated carbon and are available in a wide range of lengths, diameters, and micron ratings. Hydronix blocks provide an exceptional cost-to-performance value. With high chlorine reduction, great dirt-holding capacity, and greatly reduced carbon fines, you will soon make the CB series your carbon block of choice.

### HYDRONIX CB SERIES CARBON BLOCK FILTERS

are ideal for point-of-use (POU) and reverse osmosis applications. These cartridges can be used in a wide range of applications such as residential, food service, commercial, and industrial. The CB Series carbon blocks are great for displacing traditional GAC (Granular Activated Carbon) and PAC (Powder Activated Carbon) filters in applications where high chlorine reduction is needed.



Tested and certified by NSF International to ANSI/NSF Standard 42 for material requirements only.

2.5" DIAMETER SPECIFICATIONS									
	Part Number	Description	Chlorine Capacity* (GALLONS)	Micron Rating Nominal*	Initial ΔP (psi) at Flow Rate (gpm)	Case Quantity	Box Dimension (Inches)	Weight (lbs)	Weight (kgs)
5"	CB-25-0505	2.5" x 4 7/8"	3,000 at 1.0 gpm	5μ	2.0 psid at 1.0 gpm	40	16 x 13 x 11	22	9.98
	SMCB-2510	2.5" x 9 7/8"	20,000 at 0.5 gpm	0.5μ	4.0 psid at 0.5 gpm	20	16 x 13 x 11	22	9.53
10"	CB-25-1001	2.5" x 9 7/8"	6,000 at 0.75 gpm	1μ	4.0 psid at 0.75 gpm	20	16 x 13 x 11	21	9.53
	CB-25-1005	2.5" x 9 7/8"	6,000 at 1.0 gpm	5μ	2.0 psid at 1.0 gpm	20	16 x 13 x 11	20	9.07
	CB-25-1010	2.5" x 9 7/8"	6,000 at 1.5 gpm	10μ	2.0 psid at 1.0 gpm	20	16 x 13 x 11	16	7.36
	SMCB-2520	2.5" x 20"	40,000 at 1.0 gpm	0.5μ	4.0 psid at 1.0 gpm	20	16 x 13 x 22	43	19.50
20"	CB-25-2001	2.5" x 20"	12,000 at 1.5 gpm	1μ	4.0 psid at 1.5 gpm	20	16 x 13 x 22	43	19.50
	CB-25-2005	2.5" x 20"	9,000 at 2.0 gpm	5μ	2.0 psid at 2.0 gpm	20	16 x 13 x 22	37	16.78
	CB-25-2010	2.5" x 20"	9,000 at 2.5 gpm	10μ	2.0 psid at 2.0 gpm	20	16 x 13 x 22	36	16.33
30"	CB-25-3005	2.5" x 30"	15,000 at 3.0 gpm	5μ	3.0 psid at 3.0 gpm	12	12 x 10 x 31	38	17.23

4.5" DIAMETER SPECIFICATIONS									
	Part Number	Description	Chlorine Capacity* (GALLONS)	Micron Rating Nominal*	Initial ΔP (psi) at Flow Rate (gpm)	Case Quantity	Box Dimension (Inches)	Weight (lbs)	Weight (kgs)
10"	SMCB-4510	4.5" x 9 7/8"	50,000 at 2.0 gpm	0.5 μ	4.6 psid at 2.0 gpm	9	15 x 15 x 11	31	14.06
	CB-45-1001	4.5" x 9 7/8"	20,000 at 2.5 gpm	1μ	7.0 psid at 2.5 gpm	9	15 x 15 x 11	31	14.06
	CB-45-1005	4.5" x 9 7/8"	12,000 at 3.5 gpm	5 μ	4.0 psid at 3.5 gpm	9	15 x 15 x 11	27	12.25
	CB-45-1010	4.5" x 9 7/8"	12,000 at 4.0 gpm	10 μ	4.0 psid at 4.0 gpm	9	15 x 15 x 12	24	10.89
20"	SMCB-4520	4.5" x 20"	100,000 at 2.6 gpm	0.5 μ	8.2 psid at 2.6 gpm	6	17 x 11 x 23	43	19.50
	CB-45-2001	4.5" x 20"	17,000 at 1.0 gpm	1μ	6.5 psid at 5.0 gpm	6	17 x 11 x 23	43	19.50
	CB-45-2005	4.5" x 20"	26,000 at 7.0 gpm	5 μ	4.5 psid at 7.0 gpm	6	17 x 11 x 23	38	17.24
	CB-45-2010	4.5" x 20"	26,000 at 8.0 gpm	10 μ	4.5 psid at 8.0 gpm	6	17 x 11 x 23	35	15.87

\*Weights, chlorine capacity, micron rating, pressure drop, percent efficiency and initial ΔP (PSI) at flow rate tested by manufacturer and independent laboratory. Not performance tested or certified by NSF.  
**WARNING:** Do not use with water that is microbiologically unsafe or of unknown quality without adequate disinfection before or after the system.



# CB SERIES

Carbon Block Filters  
Data Sheet

## Materials of Construction

Carbon:	Coconut shell	Inner wrap:	Polypropylene
End caps:	Polypropylene	Netting:	Polypropylene
Outer wrap:	Polypropylene	Gaskets:	Neoprene

## Temperature Rating

40 °F to 180 °F (4.4 °C to 82.2 °C)

## Pressure Rating

Maximum Operating Pressure:	250 psi (17 bar)
Maximum Differential Pressure:	100 psid (6.8 bar)
Collapse Pressure:	200 psid (13.8 bar)

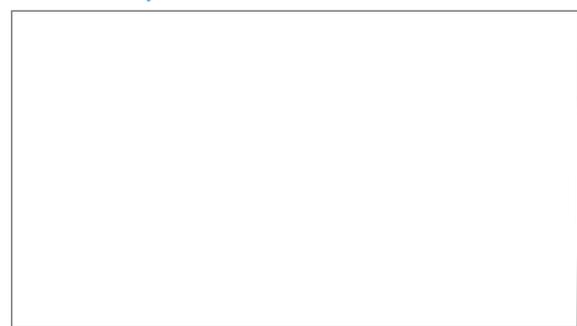
## Maximum Flow Rates (gpm)

Microns	2.5" x 10"	2.5" x 20"	4.5" x 10"	4.5" x 20"
0.5	0.5	1	2	2.6
1	0.75	1.5	2.5	3
5	1	2	3.5	7
10	1	2	4	8

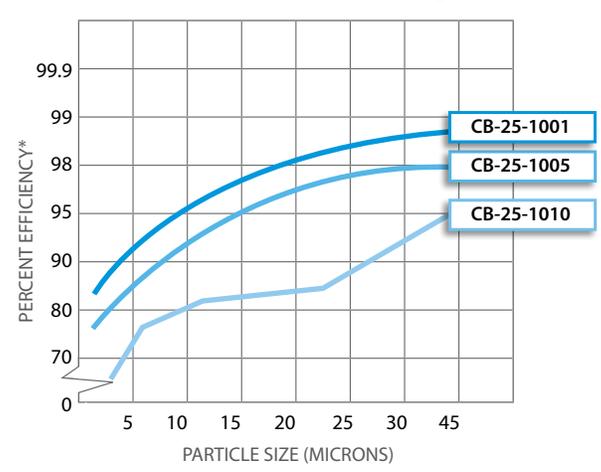
**NOTE:** Performance capacity depends on system design, flow rate and certain other application conditions. CB series cartridges will contain a very small amount of carbon fines (very fine black powder). After installation, follow the instructions for flushing the cartridge to remove all traces of the fines before using the water. You should run (flush) the tap at least 20 seconds prior to using water for drinking or cooking purposes. This is particularly important if the tap has not been used daily.

**NOTE:** Micron ratings based on 85% or greater removal of given particle size.

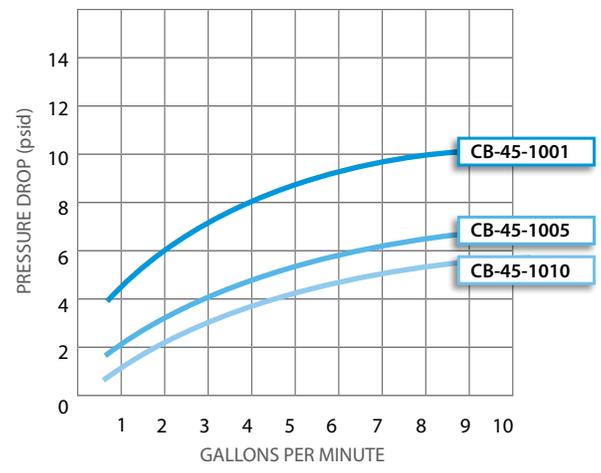
## Distributed by:



2.5" Diameter x 9 7/8" Length



4.5" Diameter x 9 7/8" Length



JUST ADD WATER™

P.O. Box 2235 Chino Hills, CA 91709 | USA  
 sales@hydronixwater.com • www.HydronixWater.com

# Durman®

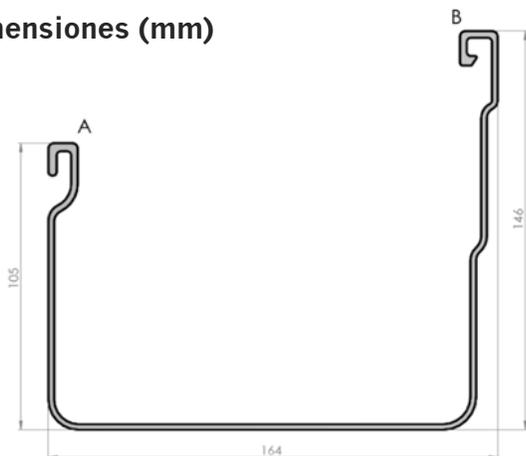
by **alixis**

## FT MaxiCanal

### Descripción

El sistema de canales o canoas para techo de alta capacidad hidráulica, para la evacuación de las aguas de lluvia en las cubiertas o techos de las edificaciones con caudales máximos.

### Dimensiones (mm)



### Características técnicas

- Gracias a su sistema de soportes ocultos, el desarrollo lineal de la canaleta no se altera, queda continuo y sin interrupciones.
- La materia prima utilizada en el proceso de fabricación es de máxima calidad, garantizando estabilidad en el color y una larga duración.
- Se utilizan aditivos especiales que brindan una resistencia a los rayos ultravioletas por lo que el producto resiste las inclemencias del tiempo por muchos años.

### Valores recomendados para el uso de Bajante

Para una correcta instalación y funcionamiento del sistema, consulte la *Guía de Instalación*.

Tubo 75 mm - 3"	1 para cada 60m <sup>2</sup> de techo
-----------------	---------------------------------------

Tubo 100 mm - 4"	1 para cada 120 m <sup>2</sup> de techo
------------------	---

### Componentes del Sistema



Canao PVC con dimensiones en 3, 4 y 6 m de longitud.



Unión Bajante con descargas en 3" y 4".



Tapa canoa/canal izquierda y derecha



Tapa bajante izquierda y derecha



Unión canoa a canoa cementar



Unión dilatación canoa a canoa (con empaque)



Soporte oculto



Esquinero externo



Esquinero interno



Gaza para tubería bajante de 3" y 4"



Codo 90° para tubería bajante en 3" y 4"



Tubería bajante en 3" y 4"

### Unión del sistema unión cementar

Utilice Pegamento PVC Transparente para las uniones entre canoas, accesorios y tuberías de bajante.

