



**Modelado de red hidrosanitaria de aprovechamiento de aguas lluvias y agua grises
para la ciudad de Bogotá en edificios multifamiliares tipo VIS**

Erika Katerin Ovalle Giraldo

Código. 10 481712346

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Ciudad, Colombia

2022-II

**Análisis de red hidrosanitaria de aprovechamiento de aguas lluvias entre agua grises
para la ciudad de Bogotá en edificios multifamiliares tipo VIS**

Erika Katerin Ovalle Giraldo

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director (a):

I.C. M.Sc. July Estefany Carmona Álvarez

Codirector (a):

I.C. Ph.D. Juan Pablo Rodríguez

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

Bogotá D.C., Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Ciudad, Día Mes Año.

Contenido

	Pág.
1. Preliminares	XIX
2. Resumen	7
3. Introducción	8
4. Objetivos	10
5. Planteamiento del problema	10
6. Justificación	12
7. Estado del arte	14
8. Marco conceptual	29
9. Marco teórico	31
10. Metodología	41
11. Análisis y resultados	42
12. Conclusiones	60
13. Anexos	62
14. Bibliografía	70

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Diseño de filtro ascendente bajo presupuesto(Silva Vieira et al., 2013).	16
Figura 2. Sedimentador o prefiltros con retención de sólidos y líquidos extraños del agua. (Adler et al., 2008)	17
Figura 3.Sedimentador con dos contenedores (Adler et al., 2008)	18
Figura 4. Sistema de captación con un solo contendor y bomba hidroneumático (Adler et al., 2008)	18
Figura 5. Filtro granulado (Teixeira & Ghisi, 2019)	19
Figura 6. Sistema total con filtros (Teixeira & Ghisi, 2019)	19
Figura 7. Funcionamiento Ecohoe Aqus. Nota: Fuente propia	20
Figura 8. Diseño de instalación Ecohoe Aqus (Ecohoe, n.d.).	21
Figura 9. Filtro de cerámica, proceso de limpieza a través de arcilla.	22
Figura 10. Funcionamiento del destilador solar. Fuente propia.	22
Figura 11. Funcionamiento del destilador solar. (Mohd Fazly Yusofl, 2022)	23
Figura 12. Proceso de desinfección de aguas grises Universidad Birjand.	24
Figura 13. Trampa grasa simple(Agencia Suiza Para El Desarrollo y La Cooperación, n.d.-b).	25
Figura 14. Trampa de grasa con depósito de acumulación de grasa (Agencia Suiza Para El Desarrollo y La Cooperación, n.d.-b).	26
Figura 15. Diseño de red de distribución de aguas grises para ser tratadas por plantas fitodepuradoras. (Gómez-González et al., 2011).	27
Figura 16. Curvas IDF, estación La Macarena.	35
Figura 17. Equipo hidroneumático (Hector-Alfonso,2006)	39
Figura 18. Modelo isométrico de red agua potable por apartamento. (Fuente propia)	43
Figura 19. Catálogo de bomba.(Evans, n.d.)	48
Figura 20. Tabla de ciclos y periodo de trabajo de una bomba hidroneumática según su potencia.(Rafael Pérez Carmona, 2010)	48
Figura 21. Bomba hidroneumática seleccionada (Evans, n.d.)	56

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Tabla de longitudes de acometida de agua potable del apartamento.	44

Tabla 2. Tabla de unidades de consumo requeridos para utilizar el método Hunter. (NTC 1500,2021)	44
Tabla 3. Tabla de cálculos método de Hunter modificado basando en el libro de Héctor Alfonso acometida apartamento (Fuente propia)	44
Tabla 4. Tabla de cálculos método de Hunter modificado basando en la NTC 1500 acometida apartamento. (Fuente propia)	45
Tabla 5. Tabla de velocidad y perdidas de carga tubería interna de aptos.	45
Tabla 6. Tabla de cálculos método de Hunter modificado basando en el libro de Héctor Alfonso acometida domiciliaria (Fuente propia)	46
Tabla 7. Tabla de cálculos método de Hunter modificado basando en la NTC 1500 acometida domiciliaria (Fuente propia)	46
Tabla 8. Tabla de velocidad final y perdidas por longitud por tramo de tubería por nivel. (Fuente propia)	47
Tabla 9. Tabla de perdidas por accesorios tubería de agua potable de apartamentos.	47
Tabla 10. Tabla de perdidas por accesorios tubería de agua potable de acometida domiciliaria.	47
Tabla 11. tabla de perdidas en tubería de agua potable.	47
Tabla 12. <i>Tabla de método de Hunter para acometida RHW de apartamentos (Fuente propia)</i>	53
Tabla 13. Calculo de perdidas por Hazen Williams y Flamant para acometida RHW de apartamentos. (Fuente propia)	53
Tabla 14. Cálculo de método de Hunter modificado NTC 1500 para acometida domiciliaria RHW. (Fuente propia)	53
Tabla 15. Cálculo de perdidas por Hazen Williams y Flamant para acometida domiciliaria RHW. (Fuente propia)	54
Tabla 16. Perdidas por accesorios tubería RHW para apartamentos.	54
Tabla 17. Perdidas por accesorios tubería RHW para acometida domiciliaria.	54
Tabla 18. Perdidas de tubería de aprovechamiento de aguas pluviales	54
Tabla 19. Características de trampa de grasas.	55
Tabla 20. Características de la tubería horizontal de desagüe sin uso del Ecohoe(propia)	58
Tabla 21. Características de la tubería horizontal de desagüe con el Ecohoe(propia)	58
Tabla 22. Características de bajante de desagüe sin uso del Ecohoe(propia)	59
Tabla 23. Características de bajante de desagüe sin uso del Ecohoe(propia)	59

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Letras	Definición	Unidad	Observación
A_c	Ancho de la cubierta	m	Depende del diseño
A_p	Área de tubería	m^2	Ecuación. 56-Ecuación. 57
A_s	Área superficial	m^2	Ecuación. 15
A_{STP}	Área de superficie de trampa de grasas	m^2	Ecuación. 27
A_t	Área transversal	m^2	Relación L/W_h
B	Demandas de flujo estimadas para cada ocupante	$\frac{m^3}{dia}$	
B_{STP}	Ancho de trampa de grasas	m	Ecuación. 29
BW_{ef}	Eficiencia de retro lavado	%	Ecuación. 7
C	Capacidad del tanque de aguas lluvias	m^3	Toma de datos en campo
C1, C2	Datos de curvas IDF	1	Datos de curvas IDF
C_c	Coefficiente de escorrentía adimensional	1	Depende del material del área de captacion
C_e	Concentración en el efluente	$\frac{mg}{L}$	49,5
C_g	Descarga estimada de aguas grises basada en el número total de ocupantes	$\frac{m^3}{dia}$	Ecuación. 38
C_o	Concentración en el afluente	$\frac{mg}{L}$	495
D	Duración de la lluvia	min	Según datos de curvas IDF
D_c	Diámetro comercial de tubería	in	Ver catálogo de proveedor
D_i	Diámetro interior de tubería	m	Ver catálogo de proveedor
D_p	Diámetro de tubería	m	
$D_{l,t}$	Demanda de agua para sistema de lluvias y aguas grises	$\frac{m^3}{dia}$	Según diseño teniendo en cuenta curvas IDF

Letras	Definición	Unidad	Observación
D_t	Demanda diaria de agua	$\frac{m^3}{dia}$	Ver Norma técnica según el país
$D_{teorico}$	Diámetro teórico de tubería	m	Ecuación. 18
d	Profundidad del agua	m	
E	Energía anual requerida por la bomba	kWh	Ecuación. 6
EF	Eficiencia del riego	%	50
E_t	Evaporación	m^3	Ver curvas IDF
F	Caudal de agua del aparato	$\frac{m^3}{s}$	0,000252
f	Factor de simultaneidad	1	0,5
f_r	Coefficiente de fricción	1	Depende según material de tubería
F_R	Froude		Ecuación. 51
F_t	Fuerza tractiva		Ecuación. 50
g_{bf}	Espacio entre bafle y fondo	m	Ecuación. 35
HP	Potencia de bomba hidroneumática		Ecuación. 45
H_{req}	Altura requerida de la bomba	m	Ecuación. 12
H_{STP}	Altura de trampa de grasas	m	Ecuación. 31
H_b	Altura de bafle de trampa de grasas	m	Ecuación. 34
H_{tub}	Altura de tubo de trampa de grasas	m	Ecuación. 37
h_b	Perdidas de carga	m	Ecuación. 21
h_e	Altura de elevación	m	Toma de datos en campo
h_f	Perdida por longitud	m	Es 0,2 veces la longitud de la tubería según Journal Of Cleaner Production
h_m	Perdidas por accesorios	m	
h_p	Altura de presión proporcionada por la bomba	m	Ver Características de bomba según proveedor
I	Intensidad de la lluvia	$\frac{L}{Ha}$	Ecuación. 24

Letras	Definición	Unidad	Observación
IP	Periodo de riesgo el césped	1	El periodo en el que normalmente se aplica riego es: mayo a septiembre
I_t	Escorrentía del techo	m^3	Toma de datos en campo
k	Factor de conversión	$\frac{Kgm}{s}$	75
k_i	Valor unitario de perdida por accesorio	1	Ver tabla de perdida por accesorios
K_r	Rugosidad absoluta	m	Según material de tubería
K_s	Coefficiente de conductividad hidráulica del medio	$\frac{\frac{m^3}{m^2}}{dia}$	7,5
K_t	Constante a la temperatura del agua residual a 14° C	(s^{-1})	$9,005 \times 10^{-6} s^{-1}$
LA	Área del césped	m^2	Según diseño
L_c	Largo de la cubierta	m	Según diseño
L_h	Longitud del humedal	m	
L_{STP}	Largo de trampa de grasas	m	Ecuación. 31
$L_{T(tuberia)}$	Longitud de tubería	m	
L_t	Filtración o fuga	m^3	Toma de datos en campo
L_v	El uso de agua de lavandería	$\frac{m^3}{\frac{persona}{dia}}$	Según diseño se determina
N	El número de dormitorios	1	Según diseño
NF	Número de accesorios en el edificio	1	Accesorios estimados dividido 2

Letras	Definición	Unidad	Observación
N_r	Número de Reynolds	1	Ecuación. 19
n	Eficiencia mecanizada y eléctrica combinada de la bomba	1	Ver Características de bomba según proveedor
n_p	Porosidad del medio filtrante	%	Datos de proveedor
n_o	Número de ocupantes	1	Depende del diseño de la vivienda
OC	La ocupación promedio	1	Según diseño
P	Potencia entregada a la bomba	W	Ecuación. 5
PE	Eficiencia de la bomba	1	Depende de la bomba que se elija
PF	Factor de plantas	1	0,8
P_h	Potencia hidráulica requerida por la bomba	W	Ecuación. 11
P_t	Precipitación incidente recibida por el tanque	m^3	Toma de datos en campo
Q	Caudal	$\frac{m^3}{s}$	Volumen / tiempo
Q_c	Caudal de comprobación	$\frac{m^3}{s}$	Ecuación. 15
Q_e	Caudal de captación de aguas pluviales	$\frac{m^3}{s}$	
Q_{max}	Caudal máximo	$\frac{L}{s}$	Ecuación. 8
Q_{med}	Caudal promedio	LPS-LPM	Ecuación. 39
Q_o	Caudal de tubería llena sanitaria		Ecuación. 47
Q_{on}	Caudal máximo de bomba encendida	LPS-LPM	Curvas de nivel según proveedor
Q_{of}	Caudal mínimo de bomba encendida	LPS-LPM	Curvas de nivel según proveedor
Q_{tc}	Caudal de tubería zona común	$\frac{m^3}{s}$	

Letras	Definición	Unidad	Observación
Q_{ti}	Caudal de tubería interna	$\frac{m^3}{s}$	Ecuación. 16
R_h	Radio hidráulico	m	Ecuación. 53
S	Gradiente hidráulico	%	10
S_1	Factor de simultaneidad		Corresponde a la tabla 6.3 de libro(Hector-Alfonso, 2006)
$S_{GW,t}$	El agua gris diaria recolectada en el tanque	m^3	Ecuación. 9
SH_t	El uso de agua ducha	$\frac{m^3}{\text{persona día}}$	Según diseño
S_p	Pendiente de escorrentía	%	Según diseño de superficie
S_t	Cantidad de derrame por desbordamiento del tanque	m^3	Toma de datos en campo
S_v	Cantidad de volumen disponible en tanque al día	m^3	Según diseño
SU_t	El uso de agua de fregadero	$\frac{m^3}{\text{persona día}}$	Según diseño se determina
T	Tamaño el tanque	m	Según caudal de diseño
Te	Tiempo de entrada	min	Ecuación. 26
Tt	Tiempo de transporte	min	
t	Tiempo de retención hidráulico	S	Ecuación. 13
U_b	Ubicación de baffle trampa de grasas	m	Ecuación. 33
U_{tub}	Ubicación de tubería	m	Ecuación. 36
UC	Unidades de consumo	1	Tabla 7.4.4(NTC 1500)
V	Velocidad de la tubería	m/s	1.5- 2 según el Ras
VR	Volumen de regulación	Litros	
VT	Volumen del tanque de succión	Litros-galón es	Ecuación. 41
Vhc	Volumen de tanque hidroneumático	Litros-galón es	Ecuación. 44
V_o	Velocidad de tubería sanitaria a tubo lleno	m/s	Ecuación. 46
V_d	Velocidad de tubería sanitaria	m/s	Ecuación. 48

Letras	Definición	Unidad	Observación
V_{STP}	Volumen de tanque trampa de grasas	$\frac{m^3}{s}$	Ecuación. 32
V_t	Volumen del tanque de aguas lluvias al final de cierto recorrido	m^3	Ecuación. 1
V_{t-1}	Volumen de llenado del tanque antes que se inicie llenar por las lluvias	m^3	Toma de datos en campo
W	Densidad del agua	$\frac{Kg}{m^3}$	1000
W_h	Ancho tanque		
X0	Dato de curva IDF	1	Dato de curva IDF
Y_t	Volumen de agua lluvia	m^3	Ecuación. 2

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Definición	Unidad	Observación
γ	Peso específico del agua	$\frac{N}{m^3}$	1000 $\frac{N}{m^3}$
α	Porcentaje de energía perdida por fricción	%	3
μ	Viscosidad cinemática del agua	$\frac{m^2}{s}$	constante 1,4 X10 ⁻⁶
θ	Teta de radio hidráulico		

Subíndices

Subíndice	Definición
EPA	United States Environmental Protection
NTC	Norma Técnica Colombiana
RHW	Rainwater harvesting

Subíndice	Definición
------------------	-------------------

<i>VIS</i>	Vivienda de interés social
------------	----------------------------

Superíndices

Superíndice	Definición
--------------------	-------------------

<i>n</i>	Exponente, potencia
----------	---------------------

Abreviaturas

Abreviatura	Definición
--------------------	-------------------

<i>EPA</i>	United States Environmental Protection
------------	--

<i>NTC</i>	Norma Técnica Colombiana
------------	--------------------------

<i>RHW</i>	Rainwater harvesting
------------	----------------------

<i>VIS</i>	Vivienda de interés social
------------	----------------------------

1. Preliminares

(Dedicatoria)

Su uso es opcional y cada autor podrá determinar la distribución del texto en la página, se sugiere esta presentación. En ella el autor del trabajo dedica su trabajo en forma especial a personas y/o entidades.

Por ejemplo:

A mis padres

o

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

Agradecimientos

2. Resumen

Se modela un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales y aguas grises con el fin de generar disminución en la explotación de agua potable en la ciudad de Bogotá de Colombia para un edificio multifamiliar tipo VIS de 7 niveles con 4 apartamentos por piso; este modelo comprende de redes independientes de abastecimiento de aguas pluviales y agua potable, sistema de bombeo hidroneumático para estas redes, pretratamiento de trampa de grasas para el agua pluvial antes de abastecer la red y aparato de aprovechamiento de aguas grises.

Para el cálculo de la red de agua potable y aguas pluviales se realiza una comparación entre los datos de cálculos y datos recopilación de la Normativa Colombiana (NTC) 1500 versus el Libro de Héctor Alfonso los cálculos dieron similares para el diámetro de la tubería, aunque las velocidades eran diferentes, por lo tanto, se optó por utilizar la normativa, ya que la idea del proyecto es fundamentarse en la norma colombiana. Luego se calculan las pérdidas de carga por Flamant vs. Hazen Williams de este comparativo se tiene en cuenta la normativa la cual por criterio indica que se deben usar los datos registrados por la fórmula de Hazen, por otro lado, las perdidas por Flamant fueron menores que las de Hazen, pues si las perdidas dan menor a lo que puede ser se corre el riesgo de elegir una bomba con poca potencia la cual tal vez abastecería la red hasta el aparato más desfavorable. Por último, se analiza las características necesarias para la bomba hidroneumática para ambos sistemas.

Se utiliza como aprovechamiento de aguas grises aparato Ecohoe el cual se abastece del desagüe del lavamanos esta agua se suministra al sanitario; sin embargo, las unidades de descarga del sanitario son mayores a las del lavamanos, por lo tanto, este aparato tiene un sensor el cual permite que el sanitario de paso al agua que se suministre por la red, para evaluar la disminución de explotación de agua se debe calcular el caudal de descarga de la red normal con la del uso del Ecohoe , se evidencia una disminución de explotación del agua 7,36%.

Se realiza análisis del rendimiento de caudal de suministro de agua por apartamento y por el edificio se evidencia una gran diferencia, pues el caudal de diseño de ambos se realiza teniendo en cuenta que los aparatos no van a estar simultáneamente en uso, pues entre más aparatos la simultaneidad disminuye, se opta como rendimiento real de la red el cálculo por edificio el cual da un valor del 37,45 %. Cabe mencionar que el agua pluvial abastece el sanitario y el lavadero, estos dos aparatos en caso tal que no haya disponibilidad de aguas pluviales se cuenta con el acceso al agua potable.

3. Introducción

En este trabajo se va a investigar la efectividad de un modelo de reutilización de aguas pluviales y grises para Vivienda de Interés Social(VIS) en la ciudad de Bogotá con el fin de disminuir los metros cúbicos de consumo de agua potable, en la actualidad el consumo de recursos hídricos se hace más costoso por la gran demanda y la poca oferta ; esto conlleva a generar nuevas alternativas de consumo de agua, pues para disminuir el consumo de agua potable se puede optar por suministrar agua lluvias y grises para uso sanitario, la idea es enfocarse en la ciudad de Bogotá . El trabajo se divide en cálculos de caudal de consumo, modelo de tubería hidráulica de agua potable, modelo tubería pluvial (recolección), modelo tubería pluvial (aprovechamiento), modelo de aprovechamiento de aguas grises, al final de los anteriores procesos realizar un análisis de eficacia.

Se revisan los diferentes artículos, documentos e investigaciones de procesos de tratamiento o pretratamiento de aguas lluvias o aguas grises que puedan ayudar a crear un modelo adecuado para las características de la ubicación y la población; se encontraron procesos de limpieza por medio de filtros granulares y de geotextiles, sedimentación, adsorción, prototipos de tratamientos aguas grises, atrapa grasas, Fito depuradoras, entre otros.

Se explica en que consiste el proceso de limpieza de aguas lluvias como grises, además se argumenta definiendo la funcionalidad de cada uno de los subtemas de la limpieza de estas dos aguas, que pueden en algunos casos ser similares o diferentes.

Para cumplir con el propósito del trabajo se debe recopilar información, datos y valores de las diferentes fuentes confiables como son libros de modelado de instalación hidrosanitarias y las normativas colombianas vigentes, por medio de estas investigaciones se realizan cálculos de modelos de recolección agua potable, pluvial y gris los cuales con llevaran al final a evaluar la efectividad del modelo a través del cálculo del porcentaje de disminución de consumo de agua teniendo en cuenta un modelo normal vs un modelo con alternativas consumo de agua.

El edificio de apartamentos el modelo cuenta con siete pisos en el primer piso se encuentra ubicadas el sistema de trampa de grasas y bombas, se abastecerá el sanitario de aguas pluviales, grises y agua potable, en cambio la llave de lavadero se abastece de aguas pluviales y potable. El usuario a través de una válvula de paso puede elegir qué tipo de agua utilizar, excepto para el agua gris del sanitario que esta es proveniente del desagüe del lavamanos.

Para la red de aguas pluviales y potable se realizó una comparación de métodos de Hunter modificado la Normativa Técnica Colombiana NTC 1500 versus el Libro de Héctor Rodríguez 2006, los cuales los cálculos dieron similar sin embargo la idea del modelo es que cumpla con la normativa por esto se continúa como referencia la NTC; luego se calcula perdidas de accesorios se elige Hazen Williams. Se continúa eligiendo bomba hidroneumática para ambas redes, el cálculo para la elección de la bomba se soporta del libro de Héctor Rodríguez se analiza perdidas de carga de la red del aparato más desfavorable que en el caso del agua potable es la ducha, en cambio para el agua pluvial es la llave del lavadero.

El Ecohoe es un aparato que depende de las descargas del lavamanos para así suministrar agua al sanitario, para evaluar el rendimiento de esta red se debe calcular red desagüe con y sin Ecohoe.

La eficacia del sistema de aguas pluviales se calculó con referencia al caudal, es decir, se comparó el suministro del sistema normal de agua potable con el caudal de agua pluvial de la red siempre estuviera con disponibilidad de agua.

4. Objetivos

Modelar una alternativa de recolección y distribución para el aprovechamiento de las aguas lluvias y grises en una edificación de vivienda de interés social (VIS) multifamiliar de la ciudad de Bogotá

- Recopilar información, datos y valores para el diseño del sistema de recolección y distribución de las aguas pluviales y grises. Según la referencia 20 Normativa vigente de la zona de estudio (NTC 1500, RAS resolución 330 del 2017).
- Demostrar la eficiencia del sistema de recolección comparando los datos de un sistema común con el sistema propuesto por medio de la metodología de unificación de sistema de recolección y distribución de aguas lluvias y grises.
- Presentar las memorias de cálculo y diseño del sistema de recolección de aguas lluvias y grises.

5. Planteamiento del problema

En el mundo ha sido necesario implementar políticas, estrategias y acciones para el saneamiento y limpieza de las aguas, ejemplo de esto ha sido la implementación del objetivo 6 perteneciente a los objetivos de desarrollo sostenible propuesto por la

Organización de las Naciones Unidas (ONU)(Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015), el cual indica “Mejorar el acceso y saneamiento de los servicios de agua para las personas de bajos recursos”. Sin embargo, en la ciudad de Bogotá de Colombia siendo la capital, el desarrollo en edificaciones con sistemas RWH (Rainwater harvesting) son muy pocas entre estas, se encontraron El Edificio Farmacéutica Novartis Sede Multinacional en Bogotá(Novartis, n.d.), Sede Bancolombia Medellín(Bancolombia, 2021), El Centro Comercial Plaza Central(Centro comercial plaza central, 2017) y el Centro Comercial Parque La Colina(Centro comercia Parque la colina, 2018).

Según El Departamento Administrativo Nacional de Estadística(DANE) (DANE, 2020) en la cual se ha evidenciado una reducción de la población colombiana en comparación con las cifras de natalidad presentadas en 1985, aunque esto debería favorecernos pues según la revista científica *Environmental Research Letters* (Pedersen & Lam, 2018) indica que la reducción del impacto ambiental se puede lograr con la disminución de la población; pero si analizamos desde la página web de Migración Colombia(Migración Colombia, 2021) desde el 2014 al 2021 nuestra población ha aumentado de manera exponencial pues hemos acogido a 1.724.927 extranjeros donde el 40 % se ubica en las ciudades principales del país al final no podemos tener una idea concreta de cómo esto puede afectar a nuestra natalidad y consumo hídrico.

Por otra parte la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) (United States Environmental Protection Agency)(United States Environmental Protection Agency, 2012) y la empresa pública Acueducto de Bogotá(Municipio et al., n.d.) confirman que el agua que consumen las personas provienen usualmente de acuíferos, embalses, ríos y lagos, partiendo de la idea que solo el agua dulce del planeta es la que sirve para consumo humano es decir apenas 3% del planeta, sin embargo la empresa de Acueducto nos indica que el estado actual del agua es crítico gracias al gran crecimiento de la población y la explotación de los recursos naturales.

Según un estudio de la secretaria de planeación de Bogotá(Alcaldía de Bogotá, 2020) indica que los estratos más grandes en población son los estratos subsidiados (estratos 1,2

y3), por tal motivo 76,52% de demanda de agua potable es dirigida a estos estratos; por otro lado, se indica que estos estratos son los que menos ahorran agua.

En la ciudad de Bogotá según datos del Acueducto (Acueducto, 2021) entre el 2019 al 2021 se realizan cortes de agua por día mínimo en 6 barrios de Bogotá ocasionados por mantenimiento, empaques red de acueducto, cambio de válvulas, entre otros. Si evaluamos el tarifado del agua en la ciudad de Bogotá es decir precio por metro cúbico (\$/m³) desde el 2017 al 2021 se ha incrementado un 18% el valor del agua para los estratos 1, si también analizamos el estrato 6 se ha incrementado un 15% el precio del agua; por otra parte, si analizamos el aumento del salario mínimo según estadísticas del aplicativo El Empleo (el Empleo, 2020) del 2017 al 2021 apenas ha subido 6.8%, es decir que sube más el precio del agua que el mismo salario en Colombia . Si las nuevas viviendas que construyen Bogotá se construyeran con métodos alternos como recolección de aguas lluvias o grises las personas podrían ahorrarse dinero del recibo del acueducto, asimismo se tendría disponibilidad de agua para realizar algunos aceres.

¿Cuánto se podría disminuir en explotación de agua potable en la ciudad de Bogotá, si se creara un modelo unificado de aprovechamiento entre aguas lluvias y aguas grises en zonas residenciales multifamiliares tipo VIS?

6. Justificación

Según un artículo de conexión capital (Conexión capital, 2021) describe que en la ciudad de Bogotá las cuencas hidrográficas principales son Fucha, Salitre- Torca y Tunjuelo siendo esta la más grande de las cuencas. Sin embargo, Según la Universidad de los Andes (universidad de los Andes, 2020) y la página de la Alcaldía de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, n.d.) el río Tunjuelo desde el yacimiento hasta la desembocadura con el río Bogotá está siendo afectado por actividades mineras, curtiembres, lixiviados provenientes del Relleno Sanitario de Doña Juana, detergentes y sector de la construcción desde 1960. Lo más preocupante de la contaminación de este río es que si no es bien tratado la contaminación puede llegar hasta el río Magdalena, La Universidad

Nacional(Ordoñez Jaime, 2020)nos recuerda que este es el río más importante del mundo y de Colombia por su gran biodiversidad de fauna y flora, por otro lado, este es el río más grande de Colombia a traviesa 1.600 kilómetros de Colombia.

También la Alcaldía de Bogotá informa (Alcaldia de Bogotá, 2015) (Alcaldia Mayor de Bogotá, n.d.)que El río Tunjuelo proviene de Sumapaz luego se dirige hacia el Embalse de Chisacá donde se retiene cierta cantidad de agua para suministrar el 70% de agua potable a Bogotá, el agua que no se retiene en el embalse pasa por localidades de Bogotá como Usme, Ciudad Bolívar, Bosa donde también se ve afectado este cuerpo de agua por los residentes de estos sectores, pues botan los desechos de sus hogares en el río; cabe mencionar que las personas que habitan estos sectores son de estrato 1 y 2 , los mismos como anteriormente se indicó tienen un consumo excesivo de agua.

Según el observatorio regional, ambiental y del desarrollo sostenible del río de Bogotá(Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible Del Río Bogotá, 2021.) indica que Colombia no tiene futuro porque el Banco Mundial informa que hay gran cantidad de agua, no obstante, no hay calidad también que las industrias dañan la mayor parte del agua, pues los hogares e industrias cafeteras son los que más contaminan. Las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) (CAR, n.d.)confirman que es necesario construir nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que en Bogotá se están vertiendo aguas domésticas con un 80% de contaminación y el 20% hace parte de la industria.

Se quiere adquirir un modelo de reutilización de aguas lluvias y grises que se acople a las condiciones climáticas de la ciudad, se desea comprobar la eficiencia del modelo a crear en la ciudad Bogotá. Para crear igualmente comprobar modelo se debe tener en cuenta fundamentos teóricos ya aplicados en diferentes estudios, análisis y proyectos.

Enfocándose en la tasa de precipitación de lluvias de la ciudad de Bogotá se podría atribuir a disminuir el consumo de agua potable suministrada por la empresa de Acueducto, pero también se debe evaluar otra alternativa de aprovechamiento como lo son las aguas grises. Además, utilizando un método eficaz entre el sistema de distribución de aguas lluvias y

grises mientras siga subiendo el costo del agua nos podemos ahorrar este dinero, asimismo se puede usar estos métodos cuando hay alguna reparación en el barrio, pues va a tener agua no para el consumo humano, pero sí para bañarnos, hacer aseo, bajar las heces del inodoro.

Como anteriormente se mencionó actualmente existe una preocupación, la cual es el excesivo consumo de agua; si nos enfocamos en la ciudad de Bogotá se evidenció un alto consumo en los estratos 1 y 2, por este motivo es beneficioso generar un modelo que mitigue la explotación del agua.

7. Estado del arte

7.1 Modelado de aprovechamiento de aguas lluvias

El Modelado hidrológico de captación de agua lluvias en barrios urbanos según Science Of The Total Environment (Petit-Boix et al., 2018) indica que la red de aprovechamiento de aguas lluvias se debe diseñar con un tanque teniendo presente una ecuación de confiabilidad volumétrica [Vt] Ecuación. 1, también el autor tuvo en cuenta las estaciones climáticas del año, con esto se analizó el modelo de la ciudad de California (E.E.U.U) y Cataluña (España) siguiendo las ecuaciones Ecuación. 2, Ecuación. 3, Ecuación. 4.

$$Vt = \frac{\Sigma Y_t}{\Sigma Dt} \quad \text{Ecuación. 1}$$

$$Y_t = (Dt, V_{t-1} + I_t) \quad \text{Ecuación. 2}$$

$$V_t = (V_{t-1} + I_t - Y_t, C - Y_t) \quad \text{Ecuación. 3}$$

$$V_t = V_{t-1} + I_t - P_t - E_t - S_t - L_t - Y_t) \quad \text{Ecuación. 4}$$

El tanque es de planta baja por lo cual se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$P = \gamma \times Q (h_e + h_p) \times \frac{[1+\alpha]}{n} \quad \text{Ecuación. 5}$$

$$E = P \times 365 \frac{\text{days}}{\text{year}} * 24 \frac{\text{hour}}{\text{day}} * 0,001 \frac{\text{kW}}{\text{W}} * 75 \text{ years} \quad \text{Ecuación. 6}$$

α = *porcentaje de energía perdida por fricción (supuesto 0,3%)*

Se tomó un tanque donde se vierten las aguas lluvias con el agua potable para cuando no haya suficiente abasto de agua lluvias se pueda utilizar agua potable; el diseño consiste en realizar una tubería que conduzca hacia la red que suministra agua para el sanitario desde el tanque de reserva.

La South Indian University (Anchan & Shiva Prasad, 2021) analizo un sistema de recolección de aguas lluvias en el cual se recoge aguas lluvias de los diferentes techos de diferentes edificios además aprovechan la pendiente del terreno de la universidad para la conducción de aguas lluvias pre-tratadas, pues cierta cantidad de agua se propone ser llevada por gravedad sin embargo hay una zona la cual necesitaría bombeo. Además, el autor nos indica que la idea es disminuir la contaminación hídrica a un cuerpo de agua en el cual la universidad y la población vierten las aguas residuales. Por otro lado, cabe mencionar que para el tratamiento de las aguas lluvias la universidad propuso un filtro de gravas para minimizar costos.

Resources, Conservation and Recycling(Silva Vieira et al., 2013) realizo un estudio de un filtro ascendente el cual generara pocos gastos de mantenimiento, no gastara energía. Por lo tanto, se optó por instalar 3 telas geotextiles de diferentes fibras como medio filtrante dentro de la tubería de aguas lluvias, se evidenció la disminución de la turbidez del agua a un 76% hasta el último medio filtrante.

La ecuación que se utilizó para la efectividad es la siguiente:

$$BW_{ef} = \left[1 - \left(\frac{HL_a - HL_i}{HL_b - HL_i} \right) \right] \times 100$$

Ecuación. 7

A. Silva Vieira et al. / Resources, Conservation and Recycling 78 (2013) 67–73

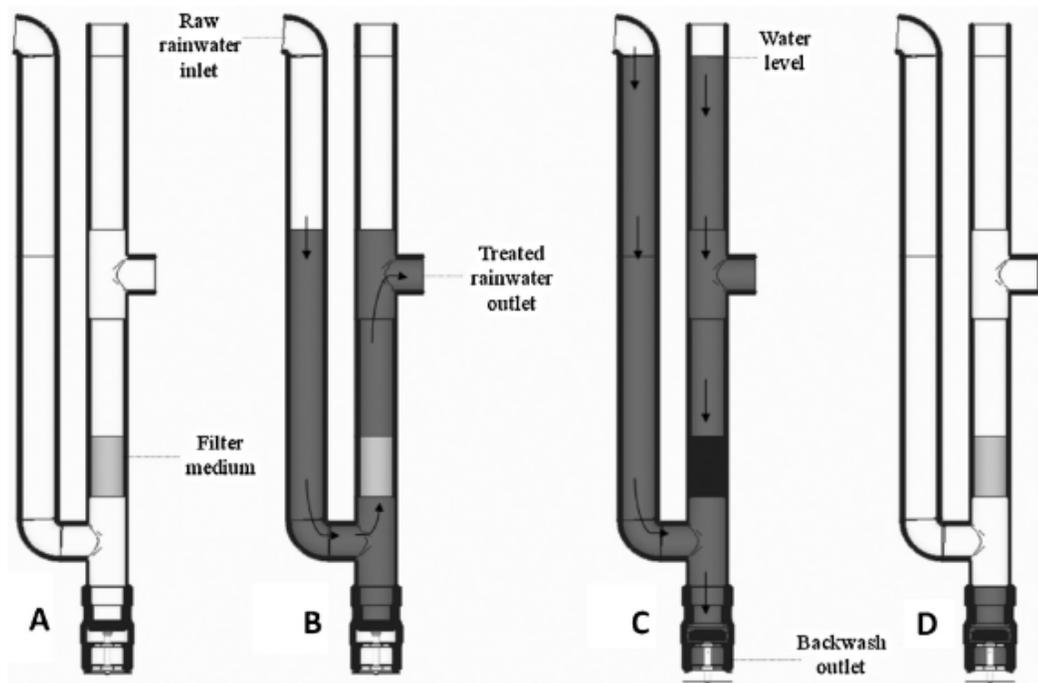


Figura 1. Diseño de filtro ascendente bajo presupuesto(Silva Vieira et al., 2013).

El International Renewable Resources Institute Mexico(Adler et al., 2008) analizo un sistema eficaz para la recolección de aguas lluvias con un proceso de tratamiento se evidencia que recomiendan los dos sistemas siguientes:

1. El primero es un sistema que contiene un sedimentador con dos contendores, es decir luego que el agua pasa por la tubería de captación el agua pasa a un sedimentador de dos compartimientos esto con el de que en el primer contenedor se atrapan las partículas sólidas y arenas, luego por un conducto funciona como atrapa grasas como se muestra en la **Figura 2** . Además, el manual nos indica que es efectivo este proceso ya que las canales se ensucian si no ha llovido continuamente así que atrapa grasas y el sedimentador nos ayuda a recolectar todos estos desechos.

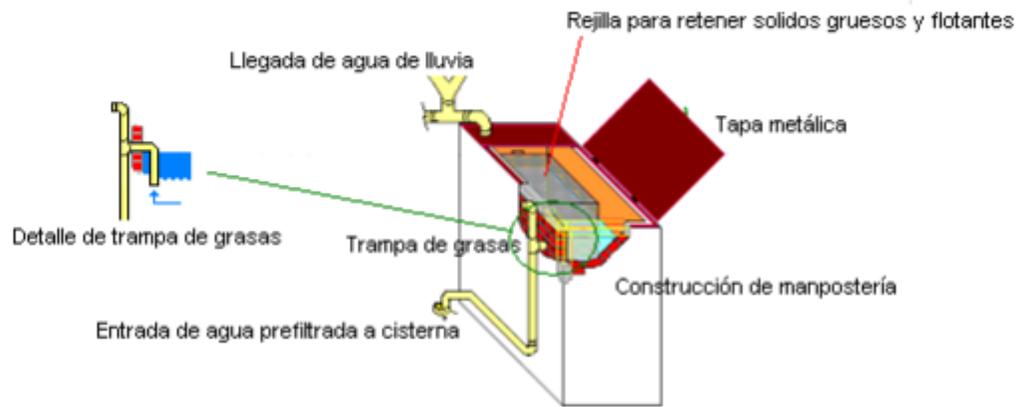


Figura 2. Sedimentador o prefiltros con retención de sólidos y líquidos extraños del agua.(Adler et al., 2008)

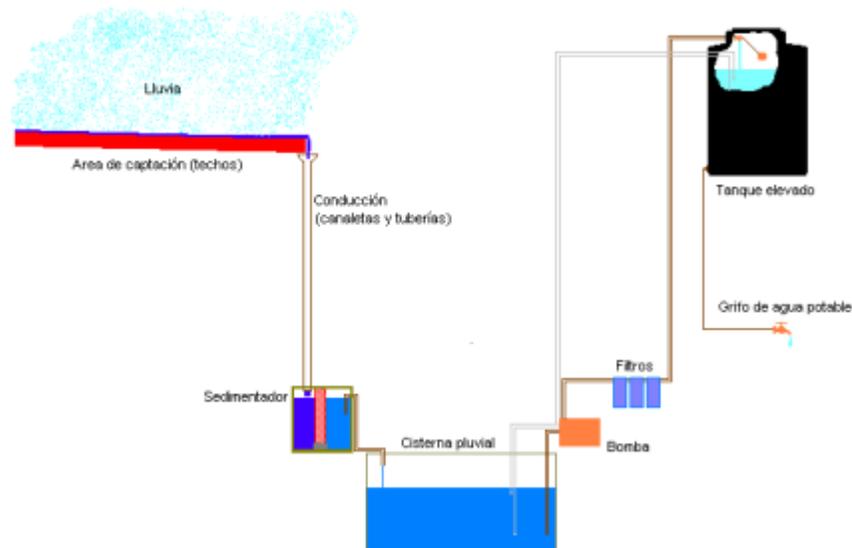


Figura 3. Sedimentador con dos contenedores (Adler et al., 2008)

2. Sistema de captación con un solo contenedor y bomba hidroneumático.

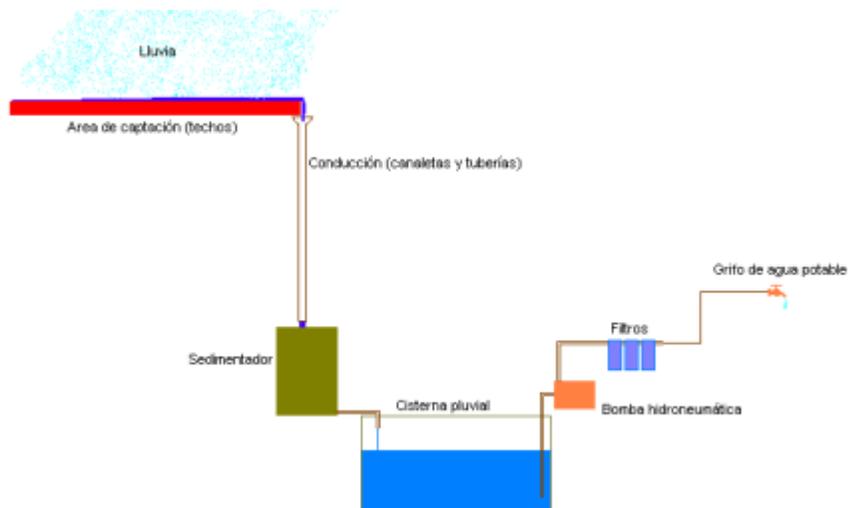


Figura 4. Sistema de captación con un solo contenedor y bomba hidroneumática (Adler et al., 2008)

Segun Universidad Tecnológica Federal de Paraná (Teixeira & Ghisi, 2019) hicieron una investigación sobre el uso de filtros granulares para realizar un pre-tratamiento de aguas lluvias utilizaron la norma vigente de este país para llegar a los cálculos de que granulometrías utilizarían indica el texto que la idea es que ingrese el agua por un

conducto el cual llevara el agua hacia dos filtros apenas suceda esto el agua será enviada hacia un tanque 360 litros. El análisis que se realizo fue que a comparación a otros sistemas de limpieza no hay gran diferencia, sin embargo, el método sirve.

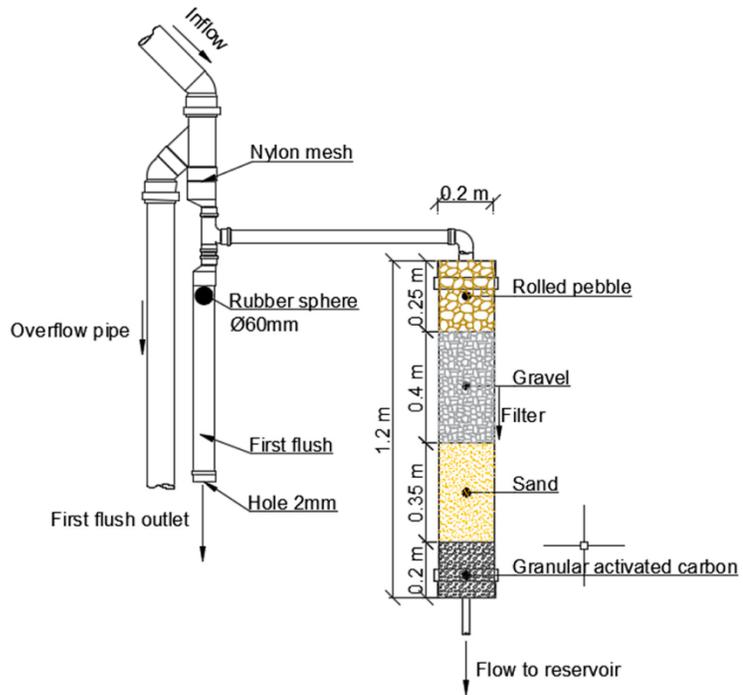


Figura 5. Filtro granulado (Teixeira & Ghisi, 2019)

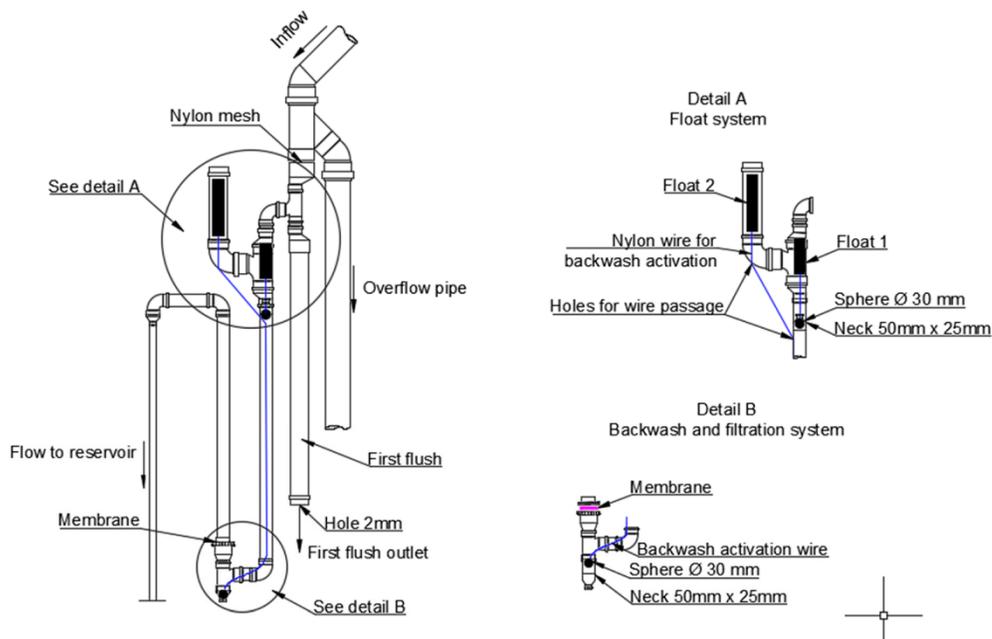


Figura 6. Sistema total con filtros (Teixeira & Ghisi, 2019)

7.2 Modelado de aprovechamiento de aguas grises

La empresa Ecohoe Solutions S.L. (Ecohoe, n.d.) Diseño un sistema de recolección de aguas grises el cual hace el tratamiento de estas aguas para que puedan ser utilizadas en la descarga del sanitario, esta empresa diseño en base que el mayor consumo del agua en una vivienda se evidencia en la ducha y en el sanitario, la idea de ellos no es solamente apoyar al medio ambiente disminuyendo la explotación de recursos hídricos, sino también generar ahorro esta máquina.

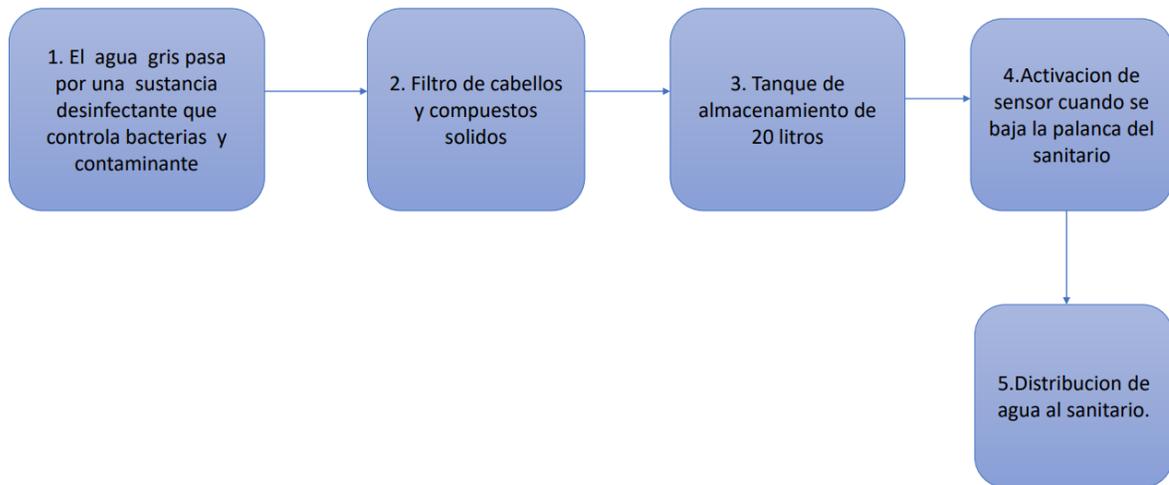


Figura 7.Funcionamiento Ecohoe Aqus. Nota: Fuente propia

Del diagrama anterior cabe decir que cuando el tanque AQUUS no está suficientemente lleno para la descarga el sensor permite el paso de agua potable en el tanque del inodoro para la descarga.

Para una mejor comprensión sobre la instalación del AQUUS se va a dejar referencia la siguiente imagen:

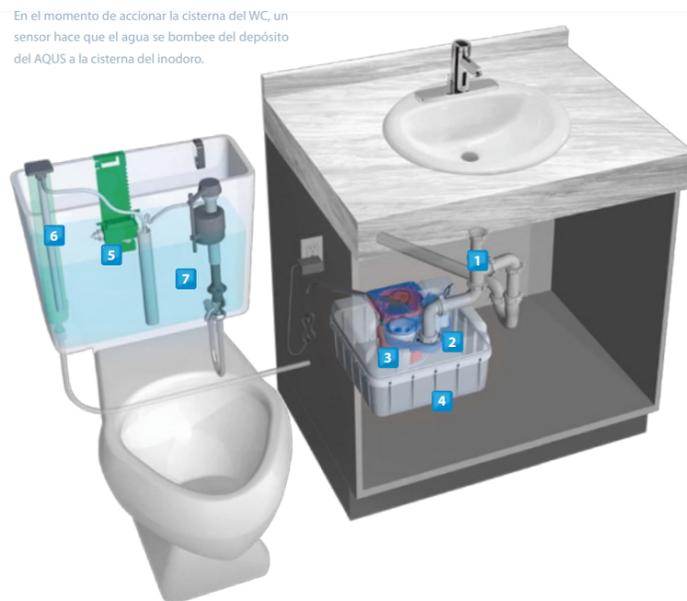


Figura 8. Diseño de instalación Ecohoe Aquus (Ecohoe, n.d.).

AQUS nos da la opción también de la conexión de la ducha con el inodoro esta caja si es más grande que la del lavamanos, pues esta caja tiene una bomba poco más grande porque tanque de almacenamiento de aguas grises de la ducha es mucho más grande.

Según Environmental Science and Pollution Research (Khajvand et al., 2021) indica que existe métodos de limpieza de aguas grises por medio de la absorción el más eficaz es a través del carbón activo que se utiliza para eliminación de materia orgánica, tensioactivos, metales pesados y colorantes. Se tiene en cuenta porque disminuye el costo de uso de floculantes, pues además de ser económico se puede dar varios usos al finalizar. También en el texto se indica que otro método de limpieza es el uso de las arcillas y los minerales arcilloso sirve para eliminar tensioactivos, los cuales Mentactiva define (Tensioactivos En Cosmética Natural _ Mentactiva, n.d.) como materiales híbridos porque contienen moléculas de hidrófila y otra hidrófoba pues esto genera que dos sustancias aumenten su atracción entre moléculas; un ejemplo es el detergente encapsula la suciedad para luego arrástrala cuando se aplica agua.

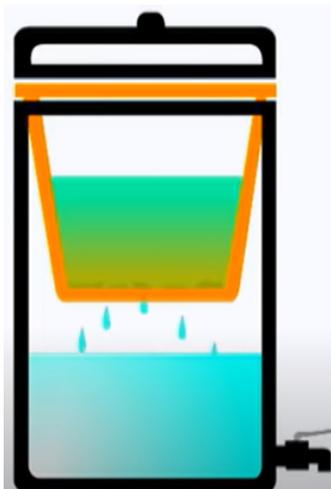


Figura 9. Filtro de cerámica, proceso de limpieza a través de arcilla.

Según la University Sains Malaysia (Mohd Fazly Yusof1, 2022) indica que se puede realizar un destilador solar para limpiar el agua gris pues por medio de un recipiente de fibra de vidrio se puede crear este diseño, sin embargo es importante tener en cuenta que el agua condensada sobre la superficie de este elemento es el agua pretratada, lo que sucede es que por medio del sol se evapora el agua que entra al recipiente lo cual genera que el agua se condense, asimismo algunos contaminantes queden separados del agua, lo cual hace que este método tal vez genere agua no potable pero sirve para uso de descarga de sanitarios, regar plantas, entre otros.

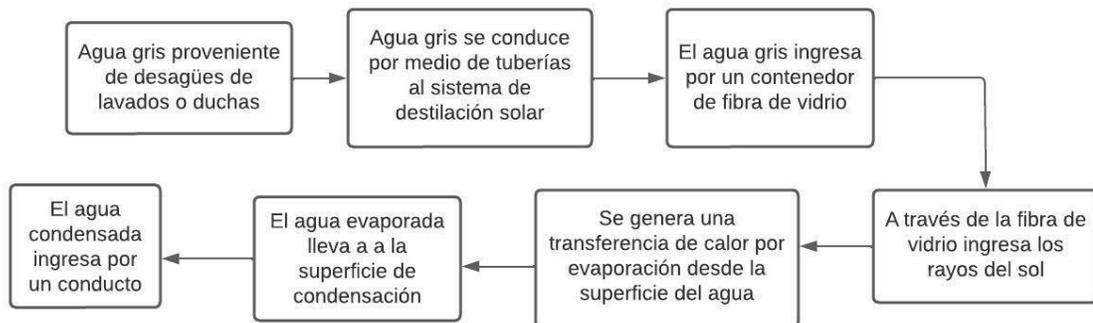


Figura 10. Funcionamiento del destilador solar. Fuente propia.

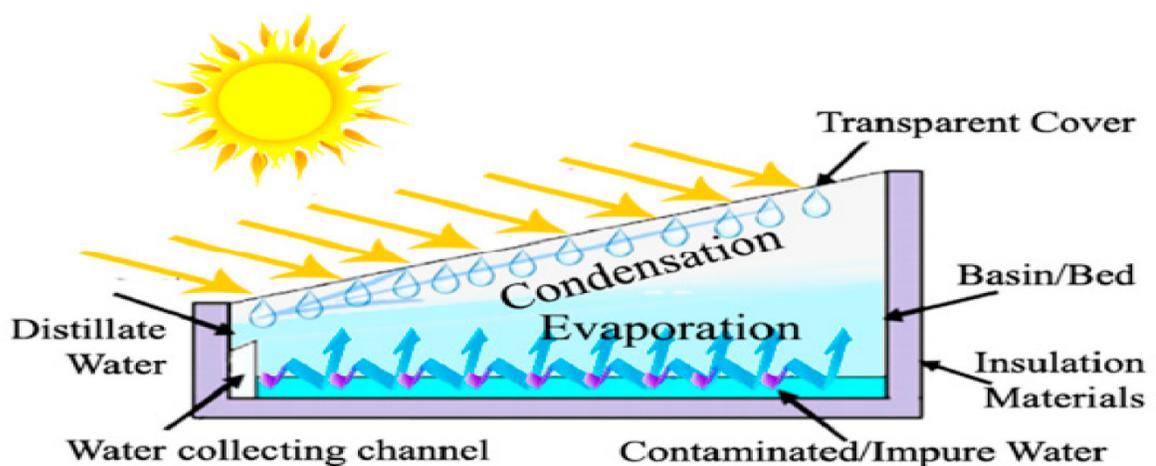


Figura 11. Funcionamiento del destilador solar. (Mohd Fazly Yusof1, 2022)

La revista *Water Reuse* (Kabiri et al., 2021) investigó una metodología de desinfección de aguas grises de la Universidad de Birjand se utilizó el agua de los lavamanos para uso sanitario, el agua de desagüe de los lavamanos se condujo al sistema el cual, contiene un filtro de pelusas, dos filtros normales, un tanque de aireación, un proceso de desinfección UV, por último, un tanque de reserva. Se evidenció que el sistema ayuda a reducir costos efectivamente, sin embargo, mantener un sistema de estos es costoso, efectivamente se redujeron los contaminantes; pero los autores indican que según la ONU lo más recomendable sería utilizar estas aguas para zonas verdes.

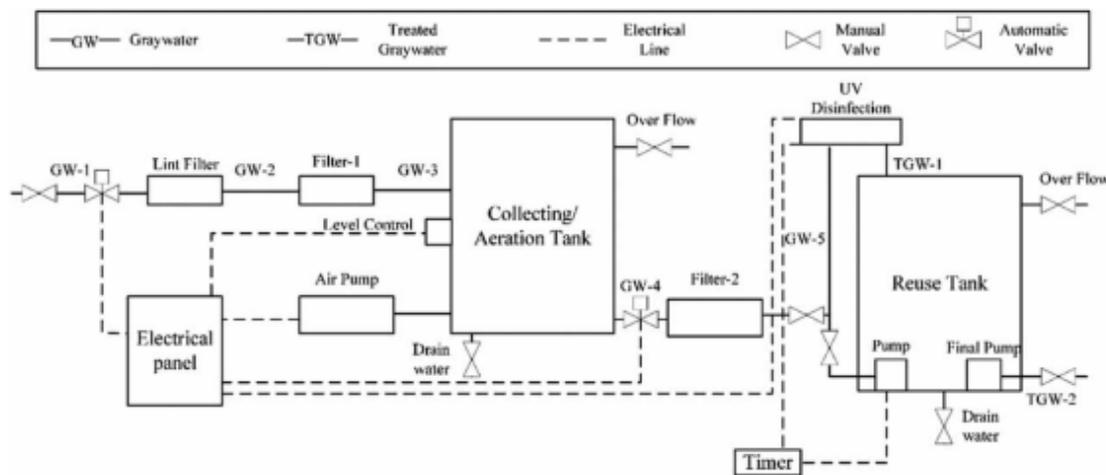


Figura 12. Proceso de desinfección de aguas grises Universidad Birjand.

7.3 Modelos unificados de aprovechamiento aguas lluvias y aguas grises.

La revista *Cleaner Productio* (Stang et al., 2021) hizo una investigación de como disminuir el consumo de agua potable en edificios residenciales ellos tomaron datos de precipitación constataron que entre cierta época del año no había la necesidad de rociar las zonas verdes del edificio; se propuso la idea de que iba a haber un tanque de recolección de aguas lluvias y otro de aguas grises esto conllevó a reorganizar las actividades que iban a tener como prioridad utilizar esta agua primero cuando no hay casi lluvias sé

dispondrá del tanque de aguas lluvias para el riego de las zonas verdes, la parte restante de las aguas lluvias se iba a disponer para las duchas las cuales tendrían dos fuentes de consumo aguas potable y agua lluvia en el momento que se acabara la reserva de agua potable se dispondría de potable.

Para el uso de aguas grises se iban a disponer para solo uso sanitario asimismo cuando se acabara el agua gris tratada en sitio se dispondría de agua potable. El autor indica que el sistema de bombeo de aguas grises y aguas lluvias para los edificios genera impactos positivos de costo para los que no tiene áreas verdes en cambio para los que tienen grandes áreas verdes influyen negativamente.

7.4 Modelos unificados de aprovechamiento aguas lluvias y aguas grises.

Según la Agencia Suiza Para El Desarrollo Y La Cooperación (Agencia Suiza Para El Desarrollo y La Cooperación, n.d.) dispone de los siguientes parámetros de diseño:

- a) La relación largo:ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendido entre 2:1 a 3:2.
- b) La profundidad no deberá ser menor a 0,80 m.
- c) El volumen mínimo de trampa de grasa es de 300 litros.

También nos indican que lo recomendable es para edificaciones de más de 50 personas se debe considerar tener dos atrapa grasas, si se va a tener en cuenta este tipo de diseño.

La siguiente ecuación también es un parámetro de diseño, puesto que el caudal máximo tiene relación con el volumen del atrapa grasas:

$$Q_{max} = 0,3 \sqrt{\Sigma UC}$$

Ecuación. 8

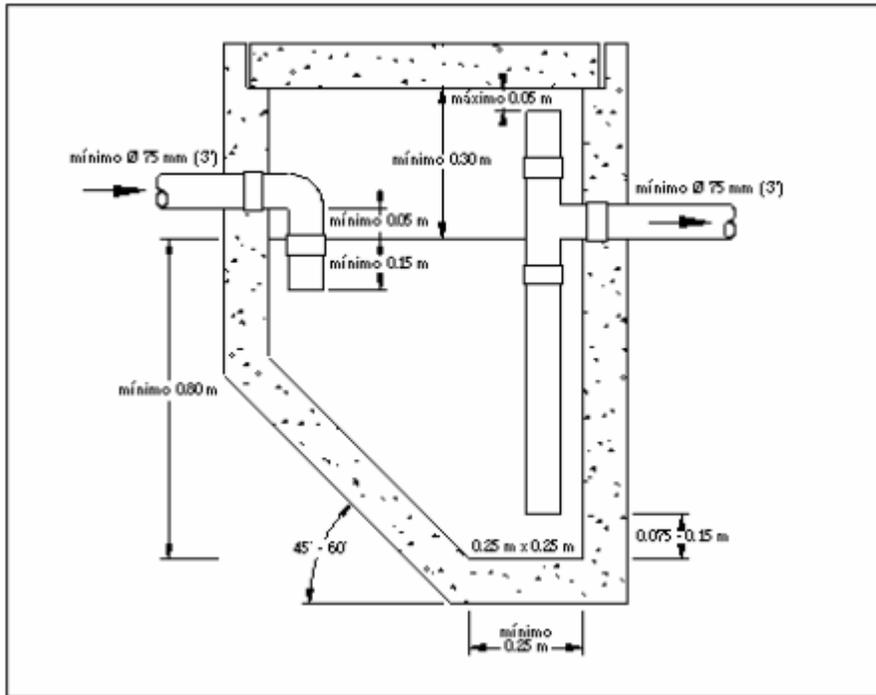


Figura 13. Trampa grasa simple (Agencia Suiza Para El Desarrollo y La Cooperación, n.d.-b).

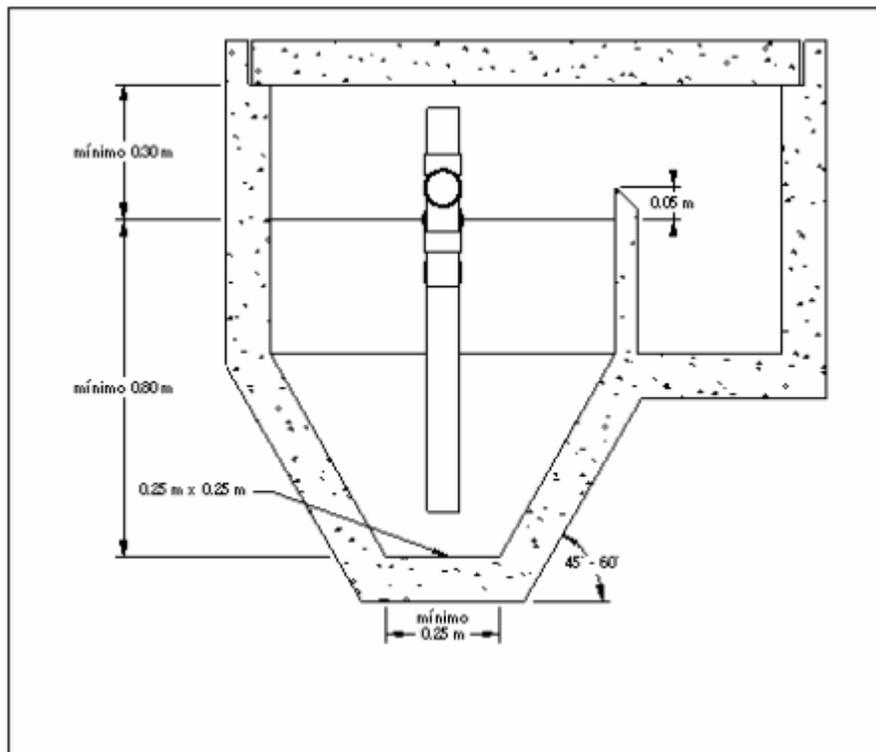


Figura 14. Trampa de grasa con depósito de acumulación de grasa (Agencia Suiza Para El Desarrollo y La Cooperación, n.d.-b).

La INVISO (Gómez-González et al., 2011) realizó un estudio de reutilización de aguas grises utilizando estructuras con plantas fitodepuradoras. Este sistema consiste en proyectar un conjunto de torres que rodean una torre central en la cual en la parte superior están ubicadas las fitodepuradoras, además crea una red donde el agua pase por las fitodepuradoras, por último, el agua pasa al tanque de almacenamiento o asimismo a la distribución dependiendo a la demanda requerida.

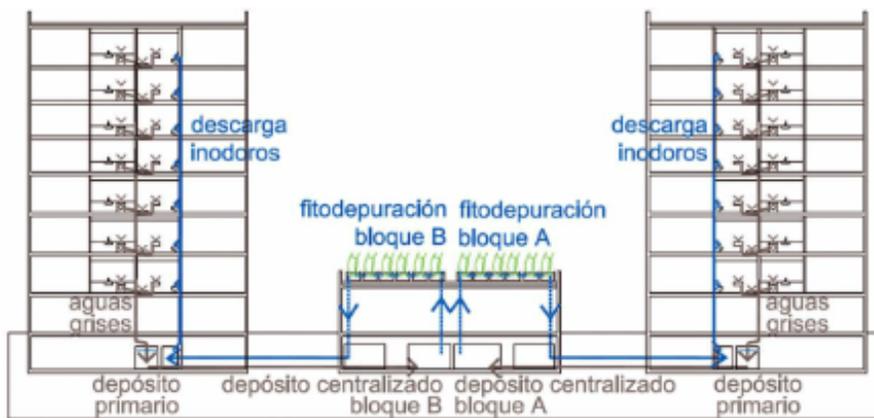


Figura 15. Diseño de red de distribución de aguas grises para ser tratadas por plantas fitodepuradoras. (Gómez-González et al., 2011).

Según la revista *Cleaner Production* (Stang et al., 2021) indican un diseño de tanque de sistemas de recolección de aguas grises teniendo en cuenta que se cumplan los siguientes requisitos de la ecuación:

$$S_{GW,t} = \min\{N * OC * (SH_t + L_v + SU_t) T - S_v \quad \text{Ecuación. 9}$$

Demanda de agua lluvias para sistema de aguas lluvias y agua grises se indica que se utiliza Ecuación. 9.

$$D_{I,t} = \{E_t * PF * LA \frac{1}{EF*100} \text{ Si, } P_t = 0, t \in IP \quad \text{Ecuación. 10}$$

Para hallar la potencia de la bomba que se requiere para distribuir el agua del tanque se debe utilizar la Ecuación. 11, pero primero se debe encontrar la altura requerida con la Ecuación. 12.

$$P_h = \max\{0, 5 F * NF * W * f * \frac{H_{req}}{(PE*k)} \quad \text{Ecuación. 11}$$

$$H_{req} = h_p + h_e + h_f \quad \text{Ecuación. 12}$$

El ingeniero José Sierra (Jose, 2006) realiza un estudio una propuesta de generar una laguna artificial de aguas grises de cierta zona residencial ubicada en el barrio Kennedy de Bogotá D.C., esta se utilizaría como tanque de reserva este mismo serviría como medio filtrante.

El tiempo de retención del tanque o estanque se diseña con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{n_p * L * W_h * d}{Q} \quad \text{Ecuación. 13}$$

El área superficial del tanque depende de la relación $L: W_h$ se estima una relación de L/W_h entre 4 a 1, pero la que se consideró una magnitud de 3.

$$A_s = L * W_h = \frac{\ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) * Q}{K_t * n_p * d} \quad \text{Ecuación. 14}$$

Se evaluará si el caudal de comprobación es mayor al caudal de diseño lo recomendable sería ajustar las dimensiones L ; W_h , pues se puede generar un desborde continuo.

$$Q_c = K_s * A_t * S$$

Ecuación. 15

8. Marco conceptual

8.1 Red convencional de suministro de agua

La red de suministro de agua en Colombia se rige mediante los parámetros diseñados por El Instituto Colombiano de Normas Técnicas, este indica en el apartado 7 de la Normativa Técnica Colombiana (NTC) 1500 que los métodos de cálculo de distribución de agua deben ser aprobados por las prácticas de ingeniería, según el Ministerio de Vivienda de Colombia (Ministerio de Vivienda Colombia, 2010) describe como criterio que el método a utilizar obtenga la capacidad de dar continuidad al cálculo de pérdidas por fricción con las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, Colebrook-White.

8.2 Red de aprovechamiento de aguas lluvias

Según la revista Water Research (Campisano et al., 2017) los sistemas RHW son aquellos que recolectan agua lluvia, este método de obtención de agua es antiguo, pues anteriormente algunas personas tenían un tanque en el cual esperaba que lloviera para recoger agua.

Para definir cómo funciona un sistema RHW se va a explicar cuáles son los procesos básicos que tienen los modelos actuales:

8.2.1 Proceso de captación de agua lluvias:

Este proceso es donde el agua es llevada hacia el sistema; un ejemplo de esto son los tejados es el medio más utilizado para obtener agua lluvias, por otro lado, existen las

canchas permeables, pisos permeables, alcantarillas, entre otros. Es decir, que establece como y donde se obtiene el agua lluvia que va a ingresar al sistema.

Luego de que el agua ingrese por el medio que se halla elegido, se conduce el agua por una tubería o canal hasta que llegue a un tanque, al inicio del proceso de tratamiento o pretratamiento de aguas lluvias.

8.2.2 Proceso de tratamiento o pretratamiento de agua:

Este proceso con lleva a realizar procesos de limpieza de material sólido en suspensión, limpieza de lodos, desinfección del microorganismos, entre otros; esto depende cuál es el producto final que desea el diseñador.

Según un artículo del Banco BBVA (BBVA, 2021.)hace referencia al pretratamiento de aguas significa que el agua no va a quedar totalmente pura es decir que tiene restricciones de uso. Sin embargo, el proceso de pretratamiento puede llevar procesos básicos como de sedimentación, trampas grasas, filtración, desinfección por medio de cloro sólido o líquido.

El tratamiento de aguas significa que el agua va a quedar totalmente purificada por medio de procesos de coagulación- floculación, oxidación, sedimentación, aireación y uso de diferentes químicos para desinfectar y/o mantener PH de agua. Cabe mencionar cuando se dice se purifica el agua se hace referencia que no tiene restricción de uso, por lo tanto, el agua se puede consumir.

8.2.3 Almacenamiento de agua:

Este proceso es opcional también depende del diseñador, si el diseñador desea que el agua después de realizar el proceso de pre-tratamiento o tratamiento esta se suministre directamente a la red, se podría instalar o realizar un tanque, pero sería opcional tal vez solo se diseñaría un tanque para las horas de menor consumo de agua, si se diseña con un caudal constante.

En caso tal que la red sea diseñada para suministrar agua cuando no hay recursos de agua potable, se podría determinar un tanque de almacenamiento evaluando que periodos se tendría contemplado utilizar esta agua como lo realiza la South Indian University (Anchan & Shiva Prasad, 2021).

8.2.4 Distribución de aprovechamiento de aguas lluvias:

La distribución de agua depende de las características de la red es decir si el diseñador desea que se suministre agua en ciertos puntos específicos.

8.3 Red de aprovechamiento de aguas grises

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas (010 GESTIÓN DE CALIDAD, 2020) define a los sistemas de reutilización de agua no potable en el sitio como aquellos que se recolectan, tratan, almacenan y distribuyen agua para el rehusó de esta teniendo en cuenta que esta agua no es apta para beberla, como sucede con las aguas grises. Además, la normativa nos indica que el tubo de recolección de estas aguas grises debe tener su respectivo conducto de ventilación, también se da la sugerencia de separar los conductos de aguas grises de las aguas lluvias.

Para la desinfección y tratamiento del agua gris en sitio se debe tener en cuenta que el agua puede durar en el tanque de recolección máximo 24 horas asimismo cabe mencionar que la norma que respalda estos tanques es la NSF 350.

Los de sistemas de aprovechamiento de aguas grises tienen el mismo proceso que el de aguas lluvias, aunque es un poco más complicados, ya que las aguas grises son aguas provenientes del uso de lavamanos, duchas y lavadora; es decir que son aguas jabonosas las cuales si se deseara realizar un tratamiento del agua serían más complejos los procesos.

9. Marco teórico

9.1 Red de agua potable

Para el diseño de distribución de agua potable se utilizará el método de Hunter Modificado pues según estudio de la Universidad de los Andes de Colombia (Moreno, 2014) este método es el más eficiente para este tipo de diseños, consiste en aplicar la Ecuación. 16 teniendo en cuenta la siguiente preposición $3 < UC < 240$ para hallar el diámetro de la tubería; por otro lado, se utiliza la Ecuación. 17 para unidades de descarga mayores para esta se utiliza la preposición $260 < UC < 1000$.

$$Q_{ti} = 0,1163(UC)^{0,6875} \quad \text{Ecuación. 16}$$

$$Q_{tc} = 0,074(UC)^{0,7504} \quad \text{Ecuación. 17}$$

Aparte de las ecuaciones anteriores otra forma de obtener el caudal máximo del método de Hunter es por medio de la Tabla 7.4.3.2.2 de la NTC 1500 (010 GESTIÓN DE CALIDAD, 2020), con anterioridad se debe encontrar las unidades de consumo por aparato que también se encuentran registradas en la norma.

Para encontrar el diámetro de la tubería se tiene en cuenta los criterios de diseño del RAS (Resolucion-0330 ,2017) donde se muestra la velocidad de la tubería puede ser entre un rango de 0,5 m/s a 2,0 m/s

$$D_{teorico} = \sqrt{\frac{Q*4}{\pi*V}} \quad \text{Ecuación. 18}$$

$$N_r = \frac{V_r * D_p}{\mu} \quad \text{Ecuación. 19}$$

Se debe evaluar las pérdidas por fricción y longitud por medio de la ecuación de Reynolds (Ecuación. 19), según Rafael Carmona (Rafael Pérez Carmona, 2010) en su libro presenta una ecuación resumida de la ecuación de Colebrook White Ecuación. 20

$$f = 0,2131(R_e^{-0,2104}) \quad \text{Ecuación. 20}$$

Las pérdidas por longitud se calculan por medio de la ecuación de Hazen Williams Ecuación. 21 o también se encuentra la ecuación de Flamant, para evaluar las pérdidas por accesorios se evalúa por la Ecuación. 38. Es importante tener en cuenta que se de hallar la fricción Ecuación. 20 y el número de Reynolds para poder resolver la ecuación de Hazen Willians.

$$h_b = f_r * \frac{L_T}{D_p} * \frac{v^2}{g} \quad \text{Ecuación. 21}$$

$$h_f = \frac{4(0,00056)V^{1,75}}{D^{4,75}} \quad \text{Ecuación. 22}$$

$$h_m = k_i * \frac{(V_r)^2}{2*9,81m/s} \quad \text{Ecuación. 23}$$

9.2 Red de agua lluvias

El diseño de la tubería de la bajante de aguas lluvias depende de determinar el caudal de diseño asumiendo una precipitación de 10 minutos a un intervalo de 10 años con esto nos dirigimos a las curvas IDF del (IDEAM, 2016) para validar la intensidad promedio de la lluvia de la ciudad Ecuación. 24; luego utilizaríamos el método racional para calcular el caudal de diseño el cual es proporcional al coeficiente de escorrentía,

intensidad de lluvia y al área de drenaje como se muestra en la Ecuación. 25. En la **Figura 16**. Curvas IDF, estación La Macarena. Se muestran en la parte derecha en una tabla los datos básicos para suministrar en la Ecuación. 24 por si se llega a necesitar una intensidad calcular una intensidad diferente a la tabla izquierda de la figura.

$$I = C_1(D + X_0)C_2 \quad \text{Ecuación. 24}$$

$$Q_L = C_c * I * A_d \quad \text{Ecuación. 25}$$

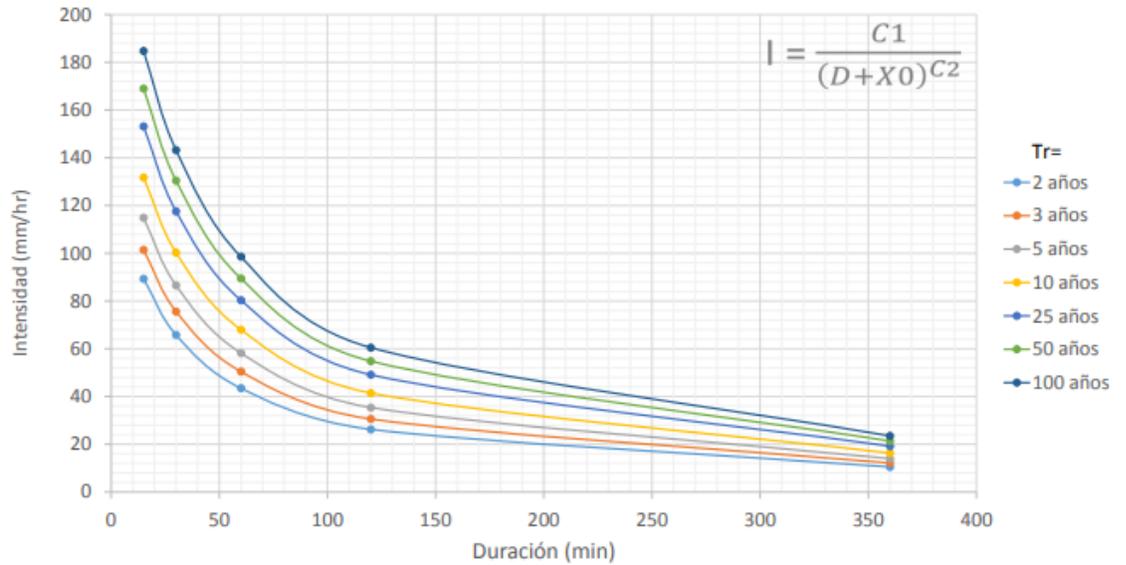
NOTA: el coeficiente de escorrentía para el desagüe de aguas lluvias puede variar entre 0,75-1.

Se evalúa en la Ecuación. 26 el tiempo de entrada del agua lluvia a la red de desagüe, es decir el tiempo que transcurre el agua desde que cae en la superficie de drenaje hasta el punto donde inicia tubería de desagüe, esto con el fin de que se cumpla el parámetro de diseño $T_e < T_c$, El T_c cabe mencionar que es el tiempo que se tarda el agua lluvia en llegar del punto masa lejano hasta el drenaje.

$$T_e = \frac{0,707(1,1-C_c)L_h^{1/2}}{(S_p)^{1/3}} \quad \text{Ecuación. 26}$$



CURVAS INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA - IDF
 ESTACIÓN: LA MACARENA (LA MACARENA)
 CODIGO: 3203501



TR (años)	C1	X0	C2
2	2724.399	23.741	0.935
3	3519.698	26.550	0.952
5	4501.523	29.210	0.968
10	5859.219	32.000	0.986
25	7739.915	34.856	1.003
50	9234.191	36.609	1.014

D (min)	I _{TR=2}	I _{TR=3}	I _{TR=5}	I _{TR=10}	I _{TR=25}	I _{TR=50}	I _{TR=100}
15	89.3	101.3	114.7	131.6	152.9	168.7	184.3
30	66.1	76.0	87.1	101.0	118.5	131.6	144.5
60	43.1	50.0	57.6	67.2	79.4	88.4	97.3
120	26.5	30.8	35.7	41.7	49.4	55.1	60.8
360	10.4	12.1	14.0	16.3	19.3	21.5	23.7

Figura 16. Curvas IDF, estación La Macarena.

Se utiliza trampa de grasas para uso de pretratamiento de aguas lluvias, además, por otro lado, el modelo se basa en los criterios de la RAS 2017(Resolución-0330, 2017), de estos criterios se llega a las siguientes ecuaciones:

$$A_{STP} = \frac{Q_e}{0,004m/s} \tag{Ecuación. 27}$$

$$A_{STP} = B_{STP} * L_{STP} \tag{Ecuación. 28}$$

$$B_{STP} = \sqrt{\frac{A_{STP}}{3}}$$

Ecuación. 29

$$V_{STP} = Q_e * 150s$$

Ecuación. 30

$$H_{STP} = \frac{V_{STP}}{A_{STP}}$$

Ecuación. 31

$$L_{STP} = 3 * B_{STP}$$

Ecuación. 32

$$U_b = 0.75 * L_{STP}$$

Ecuación. 33

$$H_b = 0.90 * H_{STP}$$

Ecuación. 34

$$g_{bf} = 0.10 * H_{STP}$$

Ecuación. 35

$$U_{tub} = 0.50 * B_{STP}$$

Ecuación. 36

$$H_{tub} = 0.35 * H_{STP}$$

Ecuación. 37

El modelo de trampa de grasas ayuda a que en la parte superior queden las grasas y en la parte inferior las partículas pesadas, se deja en la parte inferior una tubería para la limpieza de este elemento.

9.3 Red de aguas grises

En la NTC 1500 nos indica que el dimensionamiento de la producción de agua gris se debe calcular de acuerdo con el número de galones, por día por ocupante según el tipo de artefactos conectados.

La descarga de aguas grises se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$C_g = n_p * B \quad \text{Ecuación. 38}$$

El número de ocupantes por el número real de ocupantes, pero un mínimo de dos ocupantes por dormitorio y un ocupante adicional por dormitorio adicional.

La norma nos da como referencia que el flujo estimado por duchas, bañeras y lavabos es 94 lpf (25 galones por día) y 56,7 lpf (15 galones por día) por ocupante para lavadoras de ropa o pocetas de lavandería.

Es importante anexar una cinta de identificación la cual diga “AGUA NO POTABLE, NO BEBER “para la tubería de distribución de aguas lluvias y aguas grises. Además, el tanque de almacenamiento de estas aguas debe encontrarse debajo del nivel del terreno ubicado fuera del edificio debe tener una caja de inspección mínima de 24 pulgadas cuadradas o con un diámetro interior de 24 pulgadas, las cajas deben estar aseguradas para solo acceso a personal autorizado, los tanques menores a 800 galones de volumen es opcional instalar caja de inspección, pero deben tener un puerto de servicio de 8 pulgadas.

9.4 Elección de Bomba Hidroneumática

Se seleccionó porque se puede regular la presión de la bomba, por otro lado, el tanque hidroneumático funciona como almacenamiento de agua, es decir que si hay cortes de agua

se cuenta con disponibilidad de agua para la red. Este tipo de sistemas permiten que no haya necesidad de instalar un tanque elevado.

Para ubicar la bomba necesaria se debe calcular la potencia (HP) y la altura dinámica (P_1) según (Hector-Alfonso,2006) indica que altura dinámica se debe dividir por 75 para convertir unidades, por otro lado, se debe dividir el caudal por 0,7 que pertenece a la eficiencia de la bomba.

$$Q_{med} = \frac{Q_{on} + Q_{of}}{2} \quad \text{Ecuación. 39}$$

$$VR = \frac{Q_{med} * \tau}{4} \quad \text{Ecuación. 40}$$

$$VT = VR * F \quad \text{Ecuación. 41}$$

$$P_2 = P_r + h_b + h_m + h_a \quad \text{Ecuación. 42}$$

$$P_1 = P_2 + 1.5 \text{ atm} \quad \text{Ecuación. 43}$$

$$Vhc = \frac{VR * PA}{P_1 - P_2} \quad \text{Ecuación. 44}$$

$$HP = \frac{Q * P_1}{75 * 0,7} \quad \text{Ecuación. 45}$$

Para elegir la bomba se debe calcular en primera instancia las pérdidas por accesorios y longitud de la red de agua potable. Según (Hector-Alfonso,2006) indica que la presión que se debe tener en cuenta para elegir una bomba tiene que calcularse por medio de la Ecuación. 42 y Ecuación. 43, donde en la Ecuación. 42 se suman las pérdidas de carga por accesorio y longitud de la tubería, adicional la presión requerida por el aparato más desfavorable, por último, se suma la altura entre la bomba al aparato más desfavorable.

Para la Ecuación. 43 se suma 1,5 atmosferas a la presión mínima exigible para la instalación.

Por otro lado, Carmona (Rafael Pérez Carmona, 2010) para obtener el volumen de tanque Ecuación. 41 se debe calcular primero el caudal medio Ecuación. 39, volumen de regulación Ecuación. 40, luego se calcula el volumen del hidroneumático Ecuación. 44.

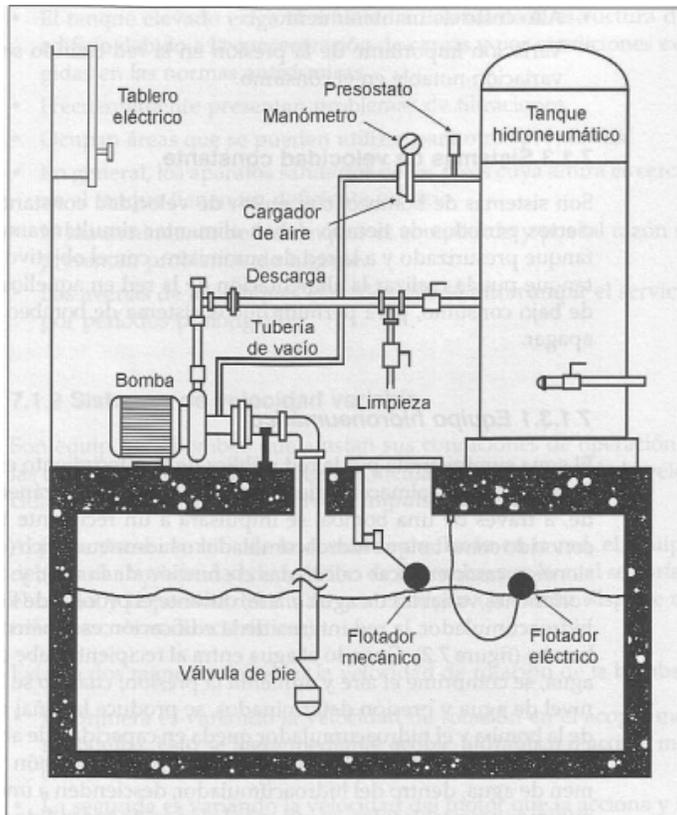


Figura 17. Equipo hidroneumático (Hector-Alfonso,2006)

9.5 Modelado de red desagüe

Se debe evaluar modelo con las unidades de descarga que nos indica la NTC 1500(010 GESTIÓN DE CALIDAD, 2020) en la tabla 8.9.1, por otro lado, la tabla indica la dimensión que debe tener la tubería de desagüe, después de obtener las unidades de descarga la misma norma nos indica el caudal dependiendo de estas unidades. Según (Rafael Pérez Carmona, 2010)Es importante tener en cuenta que a través del avance del

tramo de descarga no puede haber reducciones en la red, es decir, se debe dar continuidad a la red o si es necesario se puede ampliar la red, ya que por medio de la descarga se van sumando diferentes ramales o tuberías de descarga a la red principal de la vivienda. Por otro lado (Resolución-0330, 2017) nos indica que la pendiente mínima para zonas residenciales es 2,5%, se indica en la norma que el máximo en zonas complicadas es el 30% pendiente; sin embargo, es un número muy alto así que para cumplir todos los parámetros de la red horizontal de desagüe se comienza a diseñar desde el mínimo y si los criterios de la red solicitan una pendiente más alta se va asumiendo una pendiente más alta hasta llegar a la indicada.

Algunos de los parámetros de la red, según lado el RAS, Carmona y Alfonso (Resolución-0330, 2017) (Rafael Pérez Carmona, 2010) (Hector-Alfonso, 2006) son que la velocidad de la tubería sea mayor a 0,45 m/s, la fuerza mínima tractiva de la tubería sea $0,15 \text{ kg/m}^2$, el número de Froude debe ser mayor a 1.1. Para evaluar estos criterios se deben realizar las siguientes ecuaciones:

$$V_o = \frac{1}{M_n} * \left(\frac{D_{pd}}{4} \right)^{\frac{2}{3}} * S_d^{0,5} \quad \text{Ecuación. 46}$$

$$Q_o = \left(\frac{D_{pd}^2}{4} \right) * V_o \quad \text{Ecuación. 47}$$

Se estiman valores de la tabla 5.43 del libro de Carmona para continuar con las ecuaciones que nos van a ayudar a encontrar los criterios pertinentes.

$$V_d = \left(\frac{V_d}{V_o} \right) * V_o \quad \text{Ecuación. 48}$$

$$Y_d = \left(\frac{Y_d}{D_{pd}} \right) * D_{pd} \quad \text{Ecuación. 49}$$

$$F_t = \frac{1000kgm^3}{s} * R_h * S_p \quad \text{Ecuación. 50}$$

$$F_R = \frac{V_d}{\sqrt{gD_h}} \quad \text{Ecuación. 51}$$

$$\theta = 2\left(1 - \frac{2Y_d}{D_{pd}}\right) \quad \text{Ecuación. 52}$$

$$R_h = \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right) \left(\frac{D_{pd}}{4}\right) \quad \text{Ecuación. 53}$$

10. Metodología

10.1 Recopilación de información, datos y valores para el modelo.

Se debe recopilar criterios de diseño avalados por normativas vigentes como lo son el RAS resolución 3300 del 2017 y la NTC 1500, es decir, para el diseño de tubería tanto de recolección y distribución de agua potable, aguas grises, aguas lluvias y aguas residuales se debe tener en cuenta parámetros solicitados por la normativa esto con el fin de establecer un método confiable. Por otro lado, por medio del estado del arte se consideran cuáles son los métodos más efectivos que puedan cumplir la normativa.

Luego de tener los temas elegidos para la construcción del modelo, se procede a reemplazar valores que hacen parte de las características del diseño como lo son la ubicación, dimensión y textura del edificio multifamiliar que se va a utilizar para crear asimismo evaluar el modelo.

10.2 Evaluación del modelo

Se demuestra la eficiencia de los cálculos realizados para el modelo de recolección de aguas lluvias y grises realizando una comparación de cuantos metros cúbicos explotaría una persona utilizando en su vivienda solo agua potable para los aseres diarios, demás actividades que se pueden contribuir utilizando el método propuesto; considerando que el método propuesto sirve para las descargas del sanitario teniendo en cuenta que en esta zona se distribuye aguas lluvias y grises, en cambio, la llave de lavadora tiene acceso a agua lluvia.

La idea final es que se disminuya la cantidad de metros cúbicos que gasta una persona diariamente en su hogar.

10.3 Memorias de cálculo y diseño.

El diseño y las memorias de cálculo van ligadas ya que se dividen en tubería de agua potable, tubería de recolección de agua lluvias, modelo a utilizar para el pretratamiento de aguas lluvias, tubería de aprovechamiento de aguas lluvias, modelo y distribución de modelo de aguas grises, por último, el diseño de la red de desagüe.

11. Análisis y resultados

El edificio de apartamentos del modelo cuenta en el primer piso con 2 apartamentos esto con el fin de que en el primer piso se ubiquen los sistemas de bombeo y trampa de grasas, luego del segundo piso al séptimo piso se encontraran 4 apartamentos por piso; igualmente cada nivel del edificio contara con una llave de agua potable para el aseo en zonas comunes.

A demás cada apartamento tendrá red de agua potable y aguas pluviales antes del aparato se va a contar con una unión de las redes de agua potable y pluvial, debajo de esta unión habrá una válvula la cual anula el ingreso potable asimismo cerca de esta válvula se encontrará la válvula de agua lluvias la cual se habilita el acceso de las aguas

aprovechadas de la lluvia.; cabe mencionar que el agua distribuida de agua pluvial solo alimentará el sanitario y el lavadero.

Cabe mencionar que cada apartamento tiene una altura 2,42 metros de altura, el edificio cuenta con una placa entre piso de 10 centímetros.

11.1 Red de agua potable

1.1.1 Tubería

se utilizan el método explicado en el apartado 9.1 se calcula teniendo los parámetros indicados, es decir que la acometida de los apartamentos se analizara el diámetro teniendo en cuenta la Ecuación. 16 y los datos recopilados por la norma NTC 1500.

En la **Figura 18** se evidencia como se planteó la red de agua potable para los apartamentos basándose en la NTC 1500(010 GESTIÓN DE CALIDAD, 2020) donde se indica que debe instalar como mínimo un punto de agua de lavamanos, lavaplatos, ducha y sanitario.

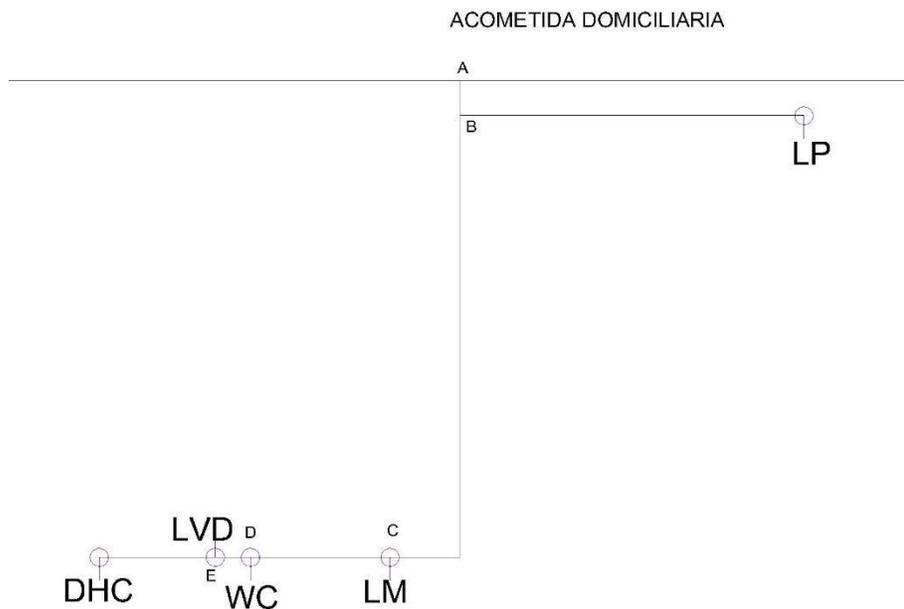


Figura 18. Modelo isométrico de red agua potable por apartamento. (Fuente propia)

Tramo	Longitud
B-LP	3,9
B-C	2,2
C-D	0,9
C-E	1,05
C-DCH	1,55

Tabla 1. Tabla de longitudes de acometida de agua potable del apartamento.

Aparato	UDC
Lavamanos (LM)	1
Ducha (DCH)	2
lavadero (LVDERO)	1
Lavaplatos (LP)	1
Inodoro (WC)	5

Tabla 2. Tabla de unidades de consumo requeridos para utilizar el método Hunter. (NTC 1500,2021)

Se utiliza la tabla anterior para encontrar los caudales y unidades de consumo por tramo según tipo de aparato asimismo cantidades, con el fin de aplicar la Ecuación. 18 la por tramo por consiguiente confirmar la velocidad de la tubería. Se analiza el diámetro de la tubería utilizando el método de Hunter modificado según el Libro de Héctor Alfonso y la NTC 1500 se evidencia por la **Tabla 3** y **Tabla 4** que el diámetro nominal encontrado es el mismo en ambas referencias, por lo tanto, se va a proseguir con la normativa vigente NTC 1500 esto con el fin de cumplir los parámetros colombianos.

Tramo	N° de Aparatos	UDC	Caudal (lps)	D nominal (in)
B	1	2	0,187	1/2
C-D	2	4	0,302	1/2
C-E	3	8	0,486	1/2
E	2	5	0,352	1/2

Tabla 3. Tabla de cálculos método de Hunter modificado basando en el libro de Héctor Alfonso acometida apartamento (Fuente propia)

Tramo	N° de Aparatos	UDC	Caudal (L/min)	D nominal (in)
B	1	1	5,670	1/2
C-D	2	6	22,710	1/2
C-E	3	8	34,070	1/2
E	2	3	15,140	1/2

Tabla 4. Tabla de cálculos método de Hunter modificado basando en la NTC 1500 acometida apartamento. (Fuente propia)

Tramo	Caudal (L/min)	D nominal (in)	V (m/s)	Flamant	N° Reynold	Fricción	Hazen Williams
B	5,670	1/2	0,53	0,14	5729,58	0,03	0,24
C-D	22,710	1/2	1,20	0,41	17211,47	0,03	0,73

C-E	34,070	1/2	1,81	0,84	25820,99	0,03	1,51
E	15,140	1/2	0,80	0,20	11474,31	0,03	0,35

Tabla 5. Tabla de velocidad y perdidas de carga tubería interna de aptos.

Se calculan las perdidas por longitud y las perdidas por accesorios, también se obtienen las perdidas por Flamant y/o Hazen Williams, sin embargo, se evidencia menores perdidas por Flamant entonces se toma como referencia para el cálculo de perdidas Hazen Williams.

De la anterior tabla cabe resaltar que la tubería de toda red se diseña teniendo en cuenta el diámetro del Manual Técnico Tubosistemas Presión PVC (PAVCO, 2020) se toma para los cálculos el diámetro interior o diámetro efectivo de la tubería a presión de 200 PSI.

Para el modelado de la tubería del área común se utiliza la ecuación de Hunter modificada según Héctor Alfonso (Hector-Alfonso,2006) teniendo en cuenta el parámetro de la Ecuación. 18, a su vez la Ecuación. 17 con el parámetro $260 < UC < 1000$, los cuales se evaluarán por piso o niveles.

A partir de la Tabla 6 y la Tabla 7 se evidencia que las tablas arrojaron datos similares para el diámetro de la tubería, por lo tanto, también se sigue tomando los resultados de la NTC 1500; como sucedió con el análisis de la tubería de los apartamentos las tuberías con el método de Héctor Alfonso y la NTC.

Se hayan perdidas de la red de agua potable domiciliaria en la Tabla 8 se observa que la ecuación de Flamant comparado con la ecuación de Hazen Williams, Hazen arroja mayor magnitud en pérdidas por lo tanto se tiene en cuenta los resultados de esta fórmula para uso de otros datos que se necesiten.

Tramo	Nº de Aparatos	UDC	Q (L/min)	D (in)
N7	21	41	92,73	2
N6	42	82	153,9800	2
N5	63	123	185,4700	2
N4	84	164	218,7700	2

N3	105	205	249,8100	2
N2	126	246	280,9300	2
N1	137	267	292,3900	2

Tabla 6. Tabla de cálculos método de Hunter modificado basando en el libro de Héctor Alfonso acometida domiciliaria (Fuente propia)

Tramo	Nº de Aparatos	UDC	Q (L/min)	D (in)
N7	21	41	92,73	2
N6	42	82	153,9800	2
N5	63	123	185,4700	2
N4	84	164	218,7700	2
N3	105	205	249,8100	2
N2	126	246	280,9300	2
N1	137	267	292,3900	2

Tabla 7. Tabla de cálculos método de Hunter modificado basando en la NTC 1500 acometida domiciliaria (Fuente propia)

Tramo	Q (L/min)	D (in)	V (m/s)	Flamant	Nº Reynold	Fricción	Hazen willians
N7	92,73	2	1,03	0,12	32178,7	0,024	0,87
N6	153,9800	2	1,10	0,10	42762,36	0,023	0,74
N5	185,4700	2	1,32	0,14	51507,56	0,022	1,03
N4	218,7700	2	1,56	0,18	60755,43	0,021	1,39
N3	249,8100	2	1,78	0,23	69375,66	0,020	1,76
N2	280,9300	2	2,00	0,29	78018,11	0,020	2,17
N1	292,3900	2	2,08	0,31	81200,71	0,020	2,33

Tabla 8. Tabla de velocidad final y perdidas por longitud por tramo de tubería por nivel. (Fuente propia)

Se calculan las perdidas por accesorio por medio de la Ecuación. 23, por otro lado, se utiliza la tabla de coeficientes de perdidas por accesorios de Héctor Alfonso.

Tubería 1/2"

Accesorio	Cantidad	ki	Hf	Hf
			unitario(m)	total(m)
codo 90°	8	0,9	0,067	0,533
Válvula de bola	3	0,25	0,042	0,125
Reducción 2"-1/2"	1	0,3	0,010	0,010
tee paso directo	6	0,15	0,005	0,030

Tabla 9. Tabla de perdidas por accesorios tubería de agua potable de apartamentos.

Tubería 2"

Accesorio	Cantidad	ki	Hf	Hf
			unitario(m)	total(m)
tee paso directo	7	2	0,24756551	1,73295856
Codo 90°	2	0,9	0,11140448	0,22280896

Tabla 10. Tabla de perdidas por accesorios tubería de agua potable de acometida domiciliaria.

El total de perdidas por accesorios es la suma de las pérdidas de cada uno de los accesorios por diámetro de tubería.

Características de perdida de carga tubería agua potable

	(m)
Longitud tubería 1/2"	7,2
Longitud tubería 2"	29,1
Perdidas por longitud 1/2"	1,51

Perdidas por longitud 2"	0,7406397115
Total de perdidas Longitud	2,250484311
Total de perdidas por accesorios	2,652787417
Total de perdidas	4,903271728

Tabla 11. tabla de perdidas en tubería de agua potable.

1.1.2 Bomba

Se debe analizar los planos para ubicar el aparato más desfavorable es la ducha para poder realizar los cálculos de los bomba teniendo en cuenta este el cual es una ducha, la NTC 1500 (010 GESTIÓN DE CALIDAD, 2020) indica que se requiere una presión de servicio de 5.6 m.c.a, para el aparato más desfavorable de la red. Para elegir la bomba se requiere reemplazar valores en la Ecuación. 45 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$HP = \frac{4,88 \text{ Lps} * 25,62m}{75 * 0,7} = 2,38 \text{ Hp}$$

CÓDIGO	HP	VOLTAJE ALIMENTACIÓN	PRESIÓN (PSI)	DESCARGA	CONTROLADOR	FLUJO MÁX.	ALTURA MÁX. (M)	TANQUE (L)	SAL. MÁX.	PISOS MÁX.
SPCBP-SXH1E0075	0.75	220V 1ϕ -60Hz	40	1" NPT	EVANS-PREES-10	90L/min	35	3	30	2
SPCBP-SXH1E0100	1		50		1 1/4" NPT	EVANS-PREES-20	144L/min		42	35
SPCBP-SXH1E0150	15			EVANS-PREES-20		148L/min	54	40	3	
SPCBP-SXH1E0200	2			EVANS-PREES-30		250L/min	43	46	3	
SPCBP-SXH1E0300	3			EVANS-PREES-30		340L/min	45	60	3	

Figura 19. Catálogo de bomba.(Evans, n.d.)

Según la **Figura 19** la referencia que es adecuada a la bomba es la SPCBP-SXH1E0200 , por consiguiente se va a proceder a encontrar el volumen del tanque , para esto se debe hallar el caudal promedio de la bomba(Ecuación. 39) y el volumen de regulación (Ecuación. 40). Para la ecuación del caudal promedio de la bomba se debe utilizar el periodo de trabajo el cual se encuentra en la tabla de la Figura 20.

Potencia en HP	T min	# ciclos por hora
1 - 3	1,2	50
3 - 5	1,8	33
5 - 7,5	2,0	30
7,5 - 15	3,0	20
15 - 30	4,0	15
Sobre 30	6,0	10

Figura 20. Tabla de ciclos y periodo de trabajo de una bomba hidroneumática según su potencia.(Rafael Pérez Carmona, 2010)

$$Q_{med} = \frac{30 LPM + 250 LPM}{2} = 140 LPM$$

$$VR = \frac{140 LPM * 1,2}{4} = 42 Litros$$

$$VR = 42 litros = 11,1 Galones$$

$$VT = 3,7 * 11,1 Galones = 41,07 galones$$

$$VT = 155,57 litros = 0,156 m^3$$

El resultado del volumen del tanque es 156 litros sin embargo no se venen tanques de este o un tamaño aproximado por lo tanto se procede a utilizar la Ecuación. 54, se procede a realizar un tanque de cemento, como se muestra en la Figura 17.

$$L_T = \sqrt{\frac{A_T}{R_T}} \quad \text{Ecuación. 54}$$

$$L_T = \sqrt{\frac{0,156 m^3}{0,5 m}} = 0,56 m$$

El volumen de tanque hidroneumático se reemplazan valores en la Ecuación. 42, Ecuación. 43, Ecuación. 44.

$$P_2 = 2,25 m. c. a + 2,65 m. c. a + 15,12 m + 5,6 m. c. a$$

$$P_2 = 25,62 m. c. a = 2,48 atm$$

$$P_1 = 2,48 atm + 1,5 atm = 3,98 atm$$

$$V_{hc} = \frac{42 \text{ litros} * 4,98 \text{ atm}}{3,98 \text{ atm} - 2,48 \text{ atm}} = 139,44 \text{ litros}$$

Por último, cabe mencionar que se debe instalar dos bombas para cuando una este en mantenimiento la otra pueda distribuir agua tanto.

1.2 Modelado de red aguas lluvias

Se va a analizar un modelo de diseño de una torre de apartamentos tipo VIS de 7 pisos cada piso con 4 apartamentos, se usará un área de cubierta de 14.9 m x 17 m, para hallar el tiempo de entrada del agua a la red de desagüe de agua lluvias se va a utilizar la Ecuación. 26, sin embargo, se va a utilizar el teorema de Pitágoras para hallar la longitud húmeda de la cubierta como se muestra en la Ecuación. 55.

$$L_h = \sqrt{L_c^2 + A_c^2}$$

Ecuación. 55

$$L_h = \sqrt{(14,9m)^2 + (17m)^2} = 22,61 m$$

$$T_e = \frac{0,707(1,1-1)22,61^{1/2}}{(0,01)^{1/3}}$$

Te=1,56 min

Del cálculo anterior se puede decir que el tiempo mínimo de entrada es 1,56 minutos; así que se va a diseñar sobre el valor 10 minutos, ya que como anteriormente se mencionó es lo recomendable para diseñar. Se tomaron datos de la estación de la macarena para el modelo de la red, los cuales se muestran en la Figura 16.

Luego de calcular la entrada de tiempo mínimo, procedemos a encontrar la intensidad de la precipitación reemplazando la Ecuación. 24 con los datos de la Figura 16.

$$I = \frac{5859,219}{(10+32)^{0,986}}$$

$$I = 146,99 \frac{mm}{hora} = 0,14699 \frac{m}{hora}$$

Se debe encontrar el caudal de la red de desagüe de aguas lluvias para esto se necesita tener el área de la cubierta el cual es de $253,3 m^2$. Se reemplazan valores de la Ecuación. 25 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Q_e = 0,14699 \frac{m}{hora} * 0,9 * 253,3 m^2 = 33,51 \frac{m^3}{hora}$$

$$Q_e = 33,51 \frac{m^3}{hora} = 9,31 \frac{L}{s}$$

Se debe encontrar el caudal de la red de desagüe de aguas lluvias para esto se necesita tener el área de la cubierta el cual es de $253,3 m^2$. Se reemplazan valores de la Ecuación. 25 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Q_e = 0,14699 \frac{m}{hora} * 0,9 * 253,3 m^2 = 33,51 \frac{m^3}{hora}$$

$$Q_e = 33,51 \frac{m^3}{hora} = 9,31 \frac{L}{s}$$

La dimensión de la tubería se obtiene por medio de la Ecuación. 56 es importante tener en cuenta que la RAS nos indica que el desagüe pluvial tiene un rango entre 1.2 m/s a 5 m/s, para hallar un diámetro pertinente se va a tomar inicialmente una velocidad 1.5 m/s, luego de esto el diámetro que dé como resultado se va a buscar en el Catalogo de Pavco tubería que tenga un diámetro similar, por último, se calcularía la velocidad final teniendo en cuenta el diámetro comercial. Se despeja la Ecuación. 56.

$$Q = A_p * V \rightarrow A_p = \frac{Q}{v} \quad \text{Ecuación. 56}$$

$$A_p = \frac{\pi * D_{teorico}^2}{4} \rightarrow D_{teorico} = \sqrt{\frac{A_p * 4}{\pi}} \quad \text{Ecuación. 57}$$

$$A_p = \frac{0,009308 \text{ m}^3/\text{s}}{1,5 \text{ m/s}} = 6,205 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$D_{teorico} = \sqrt{\frac{6,205 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 4}{\pi}} = 0,08888 \text{ m}$$

Se evidencia un resultado 88,88 mm se revisa catálogo, se encuentra que el diámetro efectivo comercial más cercano es 82,85 mm, se procede a calcular el valor final.

$$A_p = \frac{\pi * (0,08255 \text{ m})^2}{4} = 5,35 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,009308 \text{ m}^3/\text{s}}{5,35 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 1,74 \text{ m/s}$$

El agua lluvia que se va a suministrar a la red es para uso sanitario y aseo doméstico como lavar baños, lavar traperos, entre otros, se debe tener en cuenta que el agua no es potable, por lo tanto, no se puede consumir. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado por apartamento se va a suministrar agua lluvia en llave de lavadero y aparato sanitario, la red va a contar con una llave de paso para que el usuario pueda elegir que agua usar. Se realiza cálculo Hunter modificado para validar si el caudal de aguas pluviales Q_p es suficiente para suministrar la red de aprovechamiento de aguas pluviales. Como se utilizó en cálculos anteriores la metodología de Hunter por medio la NTC 1500, se continuará de esta manera.

<i>Tramo</i>	<i>N° de Aparatos</i>	<i>UDC</i>	<i>Caudal (L/min)</i>	<i>D nominal (in)</i>	<i>V (m/s)</i>
C	2	6	18,930	1/2	1,00

Tabla 12. Tabla de método de Hunter para acometida RHW de apartamentos (Fuente propia)

Como se evidencia en la Tabla 12 en un solo tramo se encuentran ubicados los aparatos que aprovecharan el agua pluvial. Se calculan en la Tabla 13 las perdidas igual que en las anteriores veces se sigue utilizando el método de Hazen Williams.

Tramo	Caudal (L/min)	D nominal (in)	V (m/s)	Flamant	N° Reynold	Fricción	Hazen Williams
C	18,930	1/2	1,00	0,30	14346,68	0,03	0,53

Tabla 13. Cálculo de perdidas por Hazen Williams y Flamant para acometida RHW de apartamentos. (Fuente propia)

Para la acometida domiciliaria se realizaron las mismas ecuaciones que para acometida interior.

Tramo	N° de Aparatos	UDC	Q (L/min)	D (in)	D efectivo (m)	V (m/s)
N7	8	24	64,35	1.1/2	0,0437	1
N6	16	48	104,72	1.1/2	0,0437	1
N5	24	72	139,01	1.1/2	0,0437	2
N4	32	96	160,49	1.1/2	0,0437	2
N3	40	120	186,42	1.1/2	0,0437	2
N2	48	144	202,88	1.1/2	0,0437	2
N1	52	156	212,72	1.1/2	0,0437	2

Tabla 14. Cálculo de método de Hunter modificado NTC 1500 para acometida domiciliaria RHW. (Fuente propia)

Tramo	Q (L/min)	D (in)	V (m/s)	Flamant	N° Reynold	Fricción	Hazen Williams
N7	64,35	1.1/2	1	0,1	22330,4	0,03	0,5
N6	104,72	1.1/2	1	0,1	36339,4	0,02	1,1
N5	139,01	1.1/2	2	0,2	48239,9	0,02	1,8

N4	160,49	1.1/2	2	0,3	55691,7	0,02	2,3
N3	186,42	1.1/2	2	0,4	64689,8	0,02	3,0
N2	202,88	1.1/2	2	0,5	70401,7	0,02	3,5
N1	212,72	1.1/2	2	0,5	73816,3	0,02	3,8

Tabla 15. Cálculo de pérdidas por Hazen Williams y Flamant para acometida domiciliaria RHW. (Fuente propia)

Se calculan las pérdidas por accesorios para acometida domiciliaria y de los apartamentos, pues estas pérdidas se calculan para encontrar la bomba adecuada para la red.

Tubería 1/2"

Accesorio	Cantidad	ki	Hf	Hf
			unitario(m)	total(m)
codo 90°	4	0,9	0,046	0,185
Válvula de bola	3	0,25	0,013	0,039
Reducción 1,1/2"-1/2"	1	0,3	0,015	0,015
tee paso directo	3	0,15	0,008	0,023

Tabla 16. Pérdidas por accesorios tubería RHW para apartamentos.

Tubería 1.1/2"

Accesorio	Cantidad	ki	Hf	Hf
			unitario(m)	total(m)
tee paso directo	8	2	0,052	0,418
Codo 90°	2	0,9	0,062	0,124

Tabla 17. Pérdidas por accesorios tubería RHW para acometida domiciliaria.

El total de pérdidas por accesorios es la suma de las pérdidas de cada uno de los accesorios por diámetro de tubería, por otro lado, los resultados de la siguiente tabla están en metros:

Características de pérdidas de carga RHW

Longitud tubería 1/2"	4,85
Longitud tubería 1.1/2"	29,1
Perdidas por longitud 1/2"	0,53
Perdidas por longitud 1.1/2"	3,84
Total de pérdidas Longitud	4,37
Total de pérdidas por accesorios	0,804
Total de pérdidas	5,171

Tabla 18. Pérdidas de tubería de aprovechamiento de aguas pluviales

Se evidencia que la tubería necesita un caudal de 3,55 LPS, por lo tanto, se modela en trampa de grasas con este caudal, por este motivo en la parte superior se deja una tubería de desagüe por si se desborda el sistema por exceso de lluvias ya que el caudal de lluvias es mayor al caudal de diseño. Se utilizan desde la Ecuación. 27 hasta la Ecuación. 37 para hallar medidas para la trampa de grasas adecuada para el sistema, el resultado de estas ecuaciones se muestra en la siguiente tabla.

Según los criterios de la RAS se indica que la tubería debe ser igual o mayor a tres pulgadas para la trampa de grasas.

Característica trampa de grasas	magnitud	unidades
Área superficial	0,9	m ²
Ancho de trampa de grasas	0,52	m
Volumen de la trampa de grasas	0,525	m ³
Profundidad de trampa de grasas	0,58	m
Largo de trampa de grasas	1,56	m

Ubicación de baffle	1,17 m
Altura del baffle	0,522 m
Espacio entre Baffle y fondo	0,06 m
Ubicación de la tubería	0,26 m
Altura de la tubería	0,2 m

Tabla 19.Características de trampa de grasas.

1.2.1 Bomba

Se debe analizar los planos para ubicar el aparato más desfavorable es la llave de lavadero es necesario tener este dato en cuenta para poder realizar los cálculos de las bombas, la NTC 1500 (010 GESTIÓN DE CALIDAD, 2020) indica que se requiere una presión de servicio de 5.6 m.c.a, para el aparato más desfavorable de la red. Para elegir la bomba se requiere reemplazar valores en la Ecuación. 45 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$HP = \frac{3,55 \text{ Lps} * 25,89 \text{ m}}{75 * 0,7} = 1,75 \text{ Hp}$$

Cabe mencionar que se debe instalar dos bombas para cuando una esté en mantenimiento, la otra pueda distribuir agua.

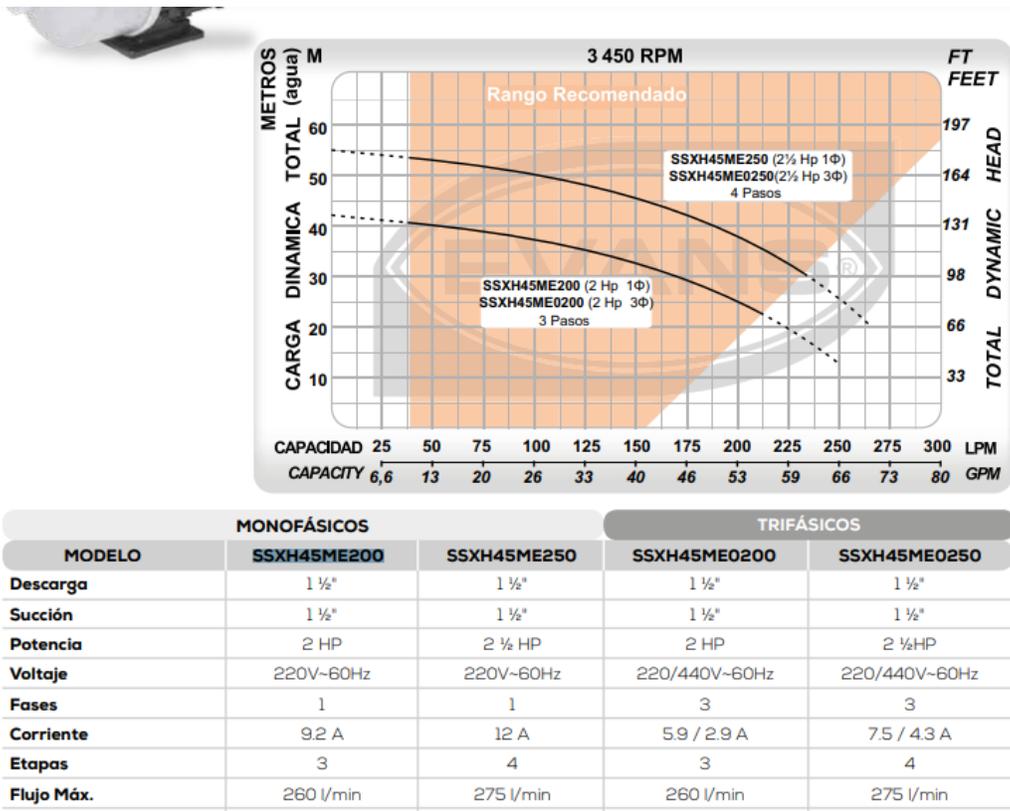


Figura 21. Bomba hidroneumática seleccionada (Evans, n.d.)

Según la **Figura 21** la referencia que es adecuada a la bomba es la SSXH45ME200 por consiguiente se va a proceder a encontrar el volumen del tanque, para esto se debe hallar el caudal promedio de la bomba(Ecuación. 39) y el volumen de regulación (Ecuación. 40). Para la ecuación del caudal promedio de la bomba se debe utilizar el periodo de trabajo el cual se encuentra en la tabla de la Figura 20, según las características de la bomba indica

$$Q_{med} = 125 \text{ LPM}$$

$$VR = \frac{125 \text{ LPM} * 1,2}{4} = 37,5 \text{ Litros}$$

$$VR = 37,5 \text{ litros} = 9,9 \text{ Galones}$$

$$VT = 3,7 * 9,9 \text{ Galones} = 37,026 \text{ galones}$$

$$VT = 37,026 \text{ galones} = 140,25 \text{ litros} = 0,14 \text{ m}^3$$

El resultado del volumen del tanque es 140 litros sin embargo no se venen tanques de este o un tamaño aproximado, por lo tanto, se procede a utilizar la Ecuación. 54, se procede a realizar un tanque de cemento, como se muestra en la Figura 17.

$$L_T = \sqrt{\frac{A_T}{R_T}} \quad \text{Ecuación. 58}$$

$$L_T = \sqrt{\frac{0,14 \text{ m}^3}{0,5\text{m}}} = 0,97 \text{ m} \cong 1\text{m}$$

El volumen de tanque hidroneumático se reemplazan valores en la Ecuación. 42, Ecuación. 43, Ecuación. 44.

$$P_2 = 0,80 \text{ m. c. a} + 4,37 \text{ m. c. a} + 15,12 \text{ m} + 5,6 \text{ m. c. a}$$

$$P_2 = 25,89 \text{ m. c. a} = 2,51 \text{ atm}$$

$$P_1 = 2,51 \text{ atm} + 1,5 \text{ atm} = 4,01 \text{ atm}$$

$$Vhc = \frac{37,5 \text{ litros} * 5,01 \text{ atm}}{4,01 \text{ atm} - 2,51 \text{ atm}} = 125,25 \text{ litros}$$

1.3 Red de desagüe y aguas grises

Se calculan datos de descarga de tubería de desagüe realizando comparativo de red con y sin el uso del Ecohoe, pues para evaluar la eficiencia del aparato de Ecohoe se debe evaluar la diferencia de caudales de descarga para evaluar la eficacia del proyecto. Se elige como sistema de aprovechamiento de aguas grises el aparato Ecohoe, ya que cada persona puede optar por utilizar el agua de desagüe del lavamanos cuando desee, tal vez en algunos momentos lo que se enjuague de agua gris el usuario no desee que sea pretratada por este aparato y luego enviada al sanitario.

Por otro lado, cabe mencionar que utiliza la teoría del apartado 9.5 a las características de la red, lo cual genera los siguientes resultados:

Aparato	UDC	D(pulg)	Q(LPS)	S(%)	V(m/s)	Dh(m)	Ft	Fr
---------	-----	---------	--------	------	--------	-------	----	----

Ducha (DCH)	2	1,500	0,159	8	0,465	0,003	0,521	2,595
Inodoro (WC)	3	3,000	0,189	8	0,549	0,005	1,283	2,452
Lavamanos (LM)	1	1,250	0,126	10	0,501	0,003	0,502	2,810
TRAMO 1	6	3,000	0,316	8	0,549	0,005	1,283	2,452
lavadero (LVDERO)	2	2,000	0,159	10	0,468	0,003	1,069	2,562
Drenaje de emergencia (EMG)	-	2,000	0,063	10	0,468	0,003	1,069	2,562
TRAMO 2	2	2,000	0,159	10	0,468	0,003	1,069	2,562
TRAMO 3	8	3,000	0,438	8	0,549	0,005	1,283	2,452
Lavaplatos (LP)	2	1,500	0,159	8	0,465	0,003	0,521	2,595
TRAMO 4	10	3,000	0,505	8	0,549	0,005	1,140	2,452
Domiciliaria horizontal	40	4	1,535	3	0,5	0,009	0,4344	1,708

Tabla 20. Características de la tubería horizontal de desagüe sin uso del Ecohoe(propia)

Aparato	UDC	D(pulg)	Q(LPS)	S(%)	V(m/s)	Dh(m)	Ft	Fr
Ducha (DCH)	2	1,5	0,159	8	0,465	0,003	0,521	2,595
Inodoro (WC)	3	3	0,189	8	0,549	0,005	1,283	2,452
TRAMO 1	5	3	0,316	8	0,549	0,005	1,283	2,452
lavadero (LVDERO)	2	2	0,159	10	0,468	0,003	1,069	2,562
Drenaje de emergencia (EMG)	-	2	0,063	10	0,468	0,003	1,069	2,562
TRAMO 2	2	2	0,159	10	0,468	0,003	1,069	2,562
TRAMO 3	7	3	0,438	8	0,549	0,005	1,283	2,452
Lavaplatos (LP)	2	1,5	0,159	8	0,465	0,003	0,521	2,595
TRAMO 4	9	3	0,505	8	0,549	0,005	1,140	2,452
Domiciliaria horizontal	36	4	1,535	2,5	0,500	0,009	0,43	1,71

Tabla 21. Características de la tubería horizontal de desagüe con el Ecohoe(propia)

Aparato	UDC	D(pulg)	Qmax(LPS)	Q(L/MIN)	Q(LPS)	Vt(m/s)	Lt(m)
N7	40	4	2805	92,1	1,5	0,4	0,1
N6	80	4	2805	145,3	2,4	0,7	0,2
N5	120	4	2805	186,4	3,1	0,9	0,3
N4	160	4	2805	215,8	3,6	1,0	0,3
N3	200	4	2805	238,5	4,0	1,1	0,4
N2	240	4	2805	275,9	4,6	1,3	0,4
N1	280	4	2805	307,0	5,1	1,4	0,5

Tabla 22. Características de bajante de desagüe sin uso del Ecohoe(propia)

Aparato	UDC	D(pulg)	Qmax(LPS)	Q(LPS)	Vt(m/s)	Lt(m)
N7	36	4	2805	1,45	0,400	0,136
N6	72	4	2805	2,31	0,637	0,217
N5	108	4	2805	2,85	0,788	0,268
N4	144	4	2805	3,60	0,992	0,337
N3	180	4	2805	3,85	1,062	0,361
N2	216	4	2805	4,30	1,187	0,404
N1	252	4	2805	4,77	1,315	0,447

Tabla 23. Características de bajante de desagüe sin uso del Ecohoe(propia)

Si evaluamos la reducción de caudal por medio de la recolección de aguas lluvias con la Ecuación. 59 basándose en la Tabla 4 y en la Tabla 13 se evidencia que por apartamento habría una reducción del 60% de explotación de agua potable, sin embargo, si se evalúa la Tabla 7 y la Tabla 14 se muestra una disminución en la explotación por parte del edificio de 37,45%. Se puede concluir que la diferencia entre la reducción por apartamento y edificio es tan alta, ya que los caudales se encuentran por medio de caudal máximo

probable; cabe mencionar que según (Héctor-Alfonso, 2006) este tipo de caudal es el efectivo de un tramo pues se tienen en cuenta que todos los aparatos no están en funcionamiento simultáneamente.

De lo anteriormente mencionado se puede concluir que la eficacia a tener en cuenta de la red de aguas lluvias se debe basar en el cálculo de porcentaje de reducción de caudal de todo el edificio.

También hay que tener en cuenta que los valores utilizados para calcular el diámetro de la tubería de conducción de agua potable y aprovechamiento de aguas pluviales fueron recopilados de la NTC 1500.

Es importante mencionar que el modelo cuenta con llaves de paso, esto con el fin de que el usuario utilice el agua con el que se sienta más cómodo, por otro lado, si la red de aprovechamiento de agua pluvial que da sin reserva, el usuario puede dar paso al agua a través de la válvula por tal motivo la vivienda no quedará sin agua. Se dice que la red de aprovechamiento de pluvial quedaría sin agua porque no se tuvo en cuenta las precipitaciones por mes, sin embargo según un estudio de la teoría del caos sobre el cambio climático de la universidad Complutense de Madrid (Madrid Casado, n.d.) indica que el clima y la temperatura son datos relativos ya que la contaminación de la atmósfera es algo global que normalmente no se tiene en cuenta este factor para climatología, pues la contaminación incrementa a diario esto depende del comportamiento humano el cual también es impredecible.

Se evalúa la eficacia Ecohoe realizando Ecuación. 59 se evidencia que por el caudal de descarga hay una reducción de uso de agua potable 7,36%.

$$Eficacia = \frac{P_i - P_f}{P_f} * 100$$

Ecuación. 59

Las unidades de descarga del lavamanos son menores que las del sanitario así que el sanitario no podría depender solo del lavamanos, por tal motivo el sanitario tiene suministro de aguas pluviales y lluvias.

Teniendo en cuenta que en la secretaria de Bogotá (Alcaldía de Bogotá, 2020) informa que las VIS tienen un consumo promedio de 77,91 litros /día/ persona, es decir que se por persona en una vivienda con las características indicadas estaría consumiendo por día 48,73 litros /día/personas.

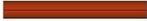
2. Conclusiones

Se recopilan información de criterios de diseño de la normativa RAS y NTC 1500, las cuales son las normativas que rigen el sistema de diseño de las redes de acueducto y alcantarillado para Colombia y la ciudad de Bogotá, también el documento se apoya de libros como Carmona del 2010 y Hector Rodriguez 2006 estos autores también crearon sus libros enfocándose en la normativa colombiana.

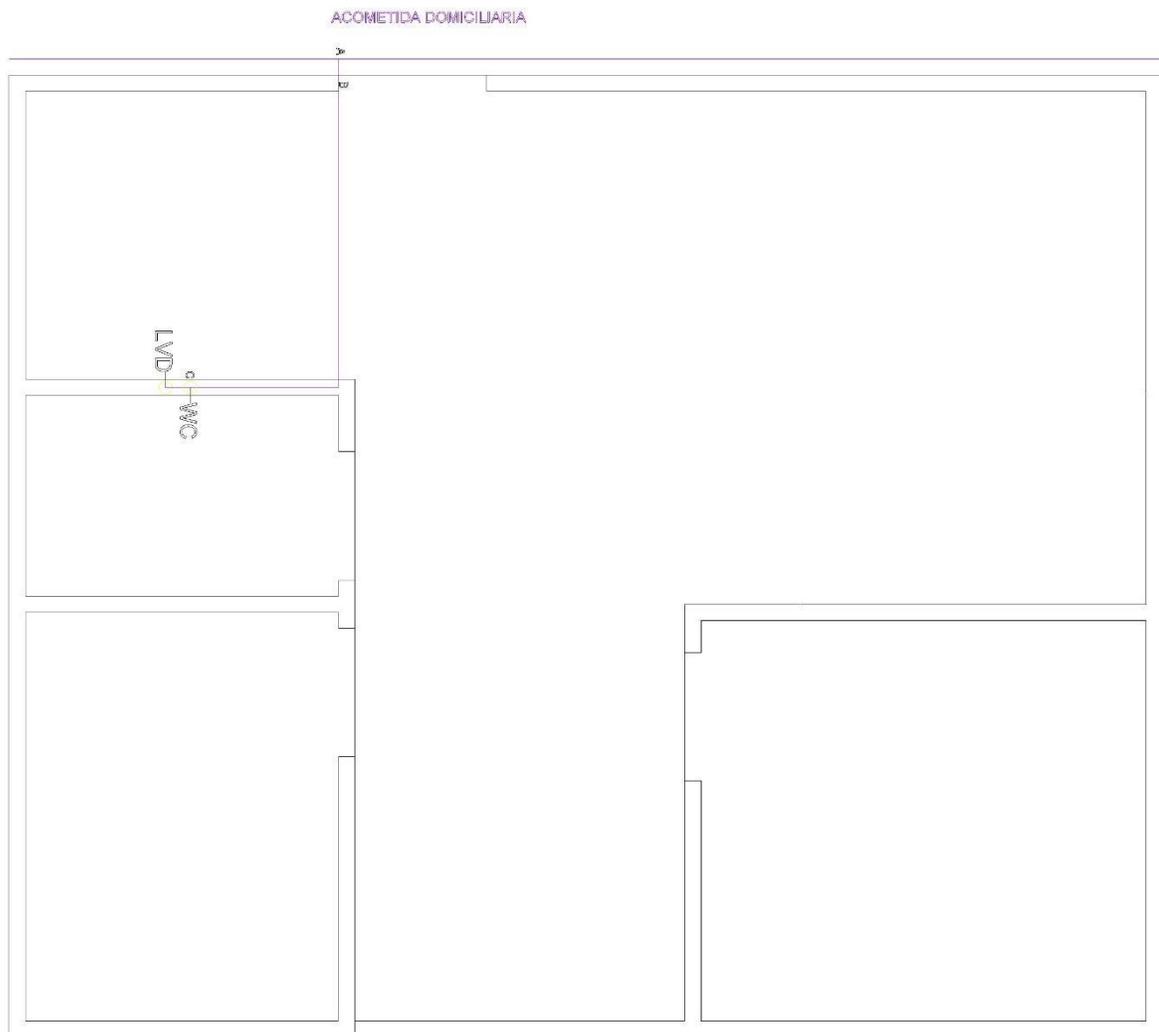
Se demuestra que el aparato con mayor aprovechamiento es el sanitario ya que cuenta con acceso de agua potable, agua gris y pluvial; de esto cabe decir que el porcentaje del rendimiento total del sistema es del 37,45% pues hay que tener en cuenta que la red de agua pluvial se diseñó teniendo en cuenta que siempre habrá disponibilidad asimismo se debe considerar que el sanitario primero va a descargar el agua gris recolectada del Ecohoe y luego se abre paso a utilizar agua pluvial o agua potable según como lo desee el usuario. Lo óptimo sería que todos los apartamentos utilizaran siempre el agua pluvial y el agua gris como primeras opciones de uso para el lavadero y el sanitario.

Se presentan las memorias cálculo justificadas por criterios de diseño indicados en el marco teórico, estas se encuentran adjuntadas en los análisis y resultados, por otro lado, se adjuntarán en anexos tablas restantes de las memorias y planos.

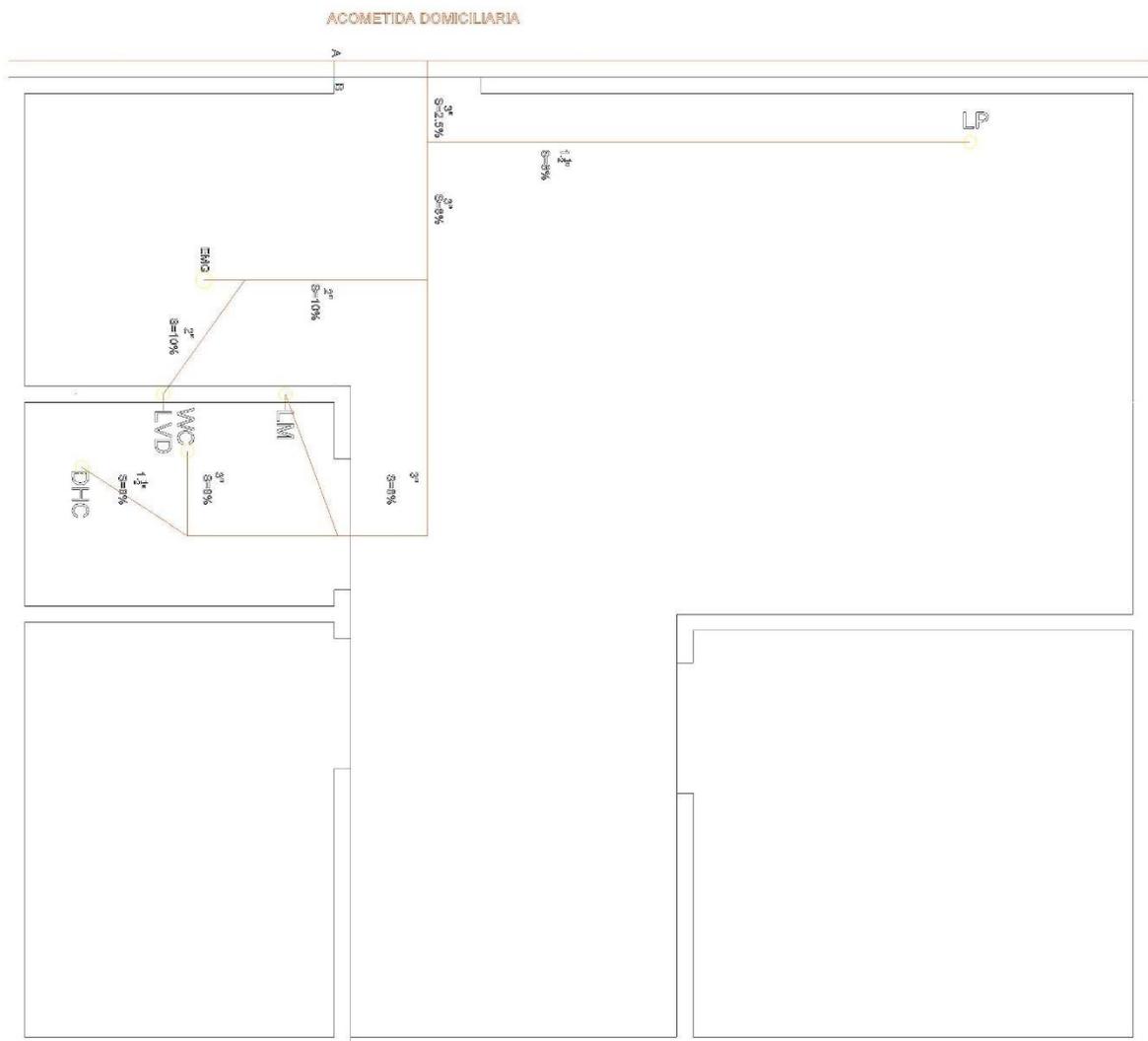
3. Anexos

	Red de desagüe		Red de agua potable
	Red de aprovechamiento aguas lluvias		Red de descarga de aguas lluvias

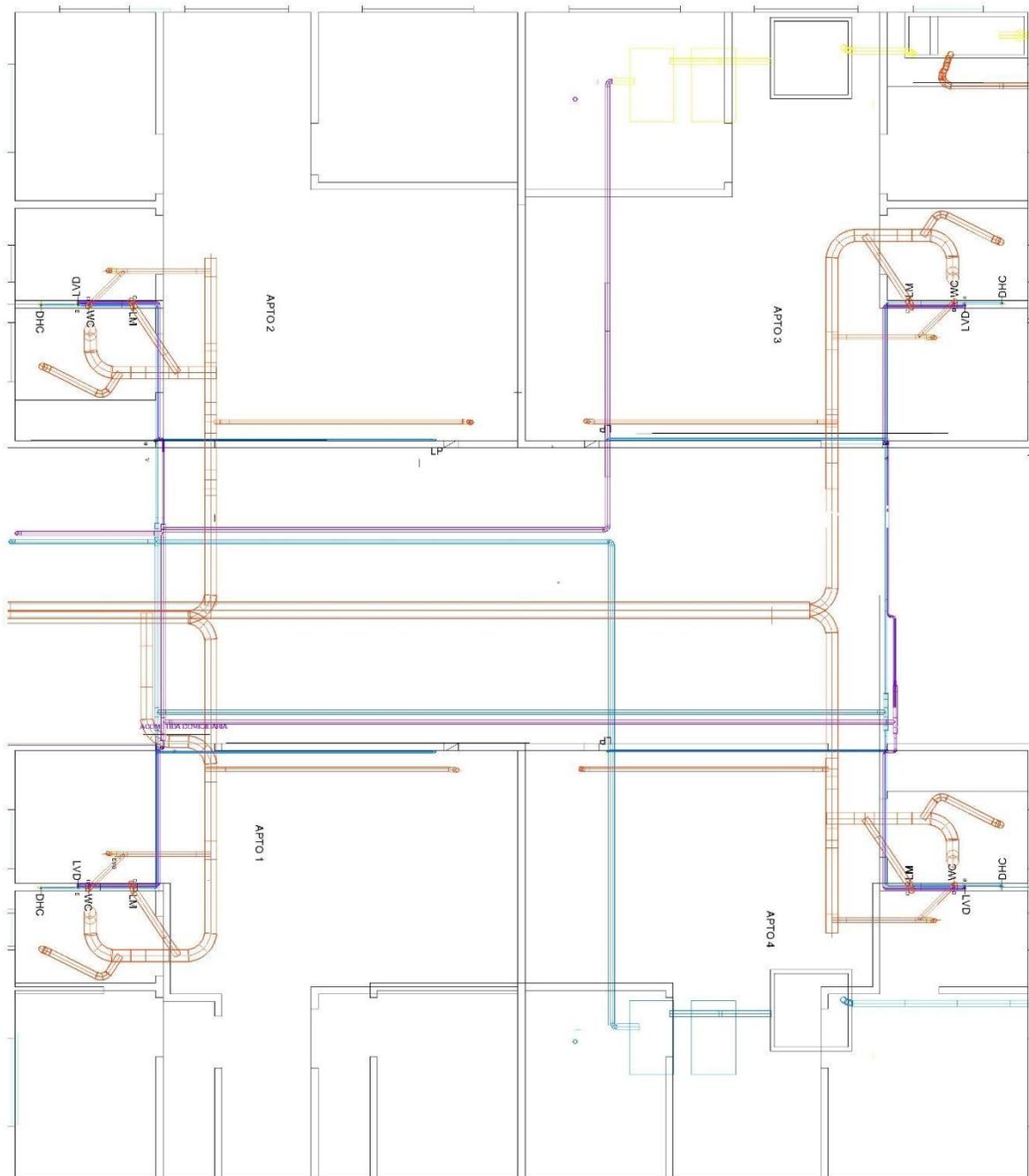
Especificaciones de planos.



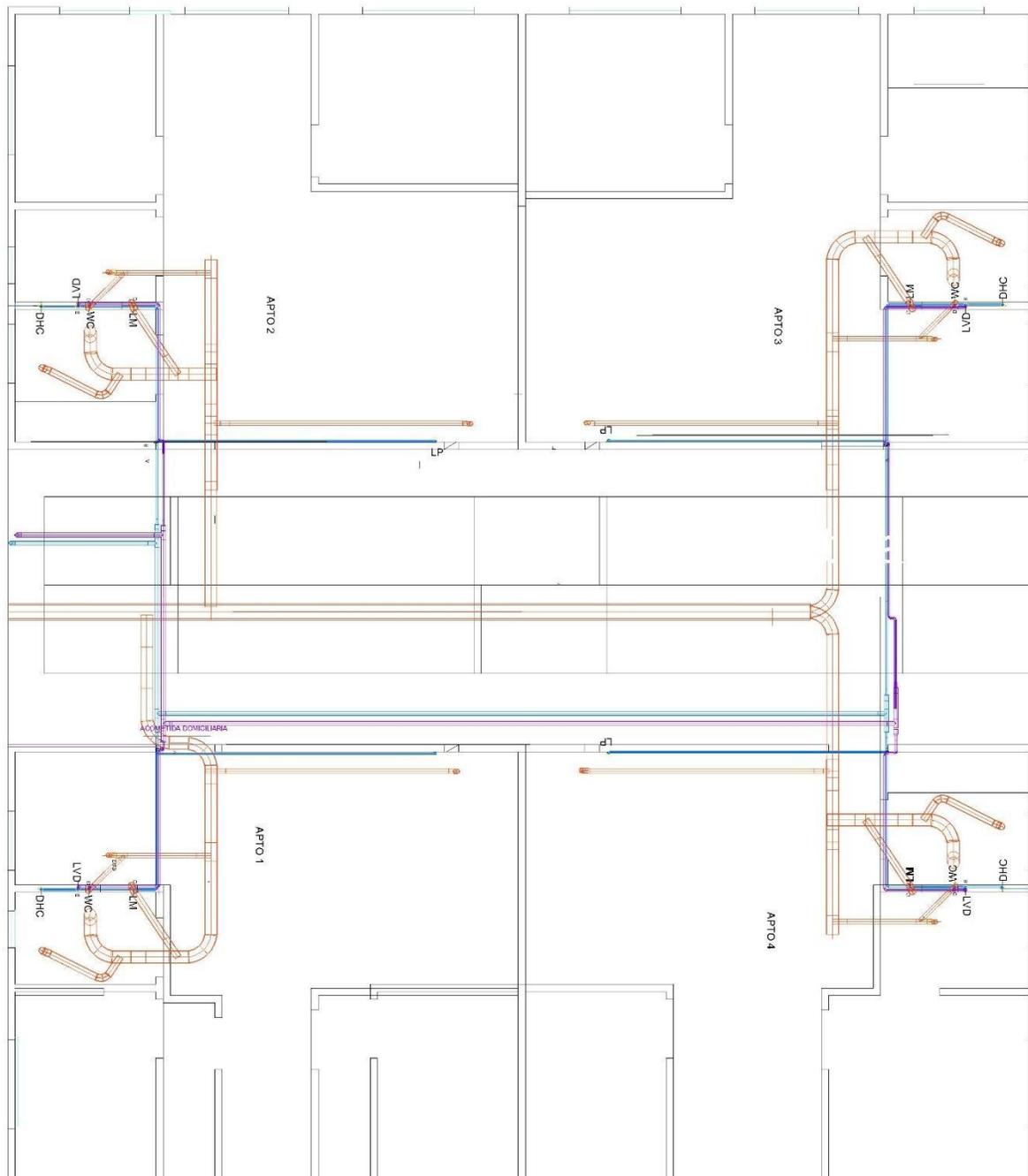
Anexo 1. Trazo de tubería de aprovechamiento de aguas pluviales, red del apartamento.



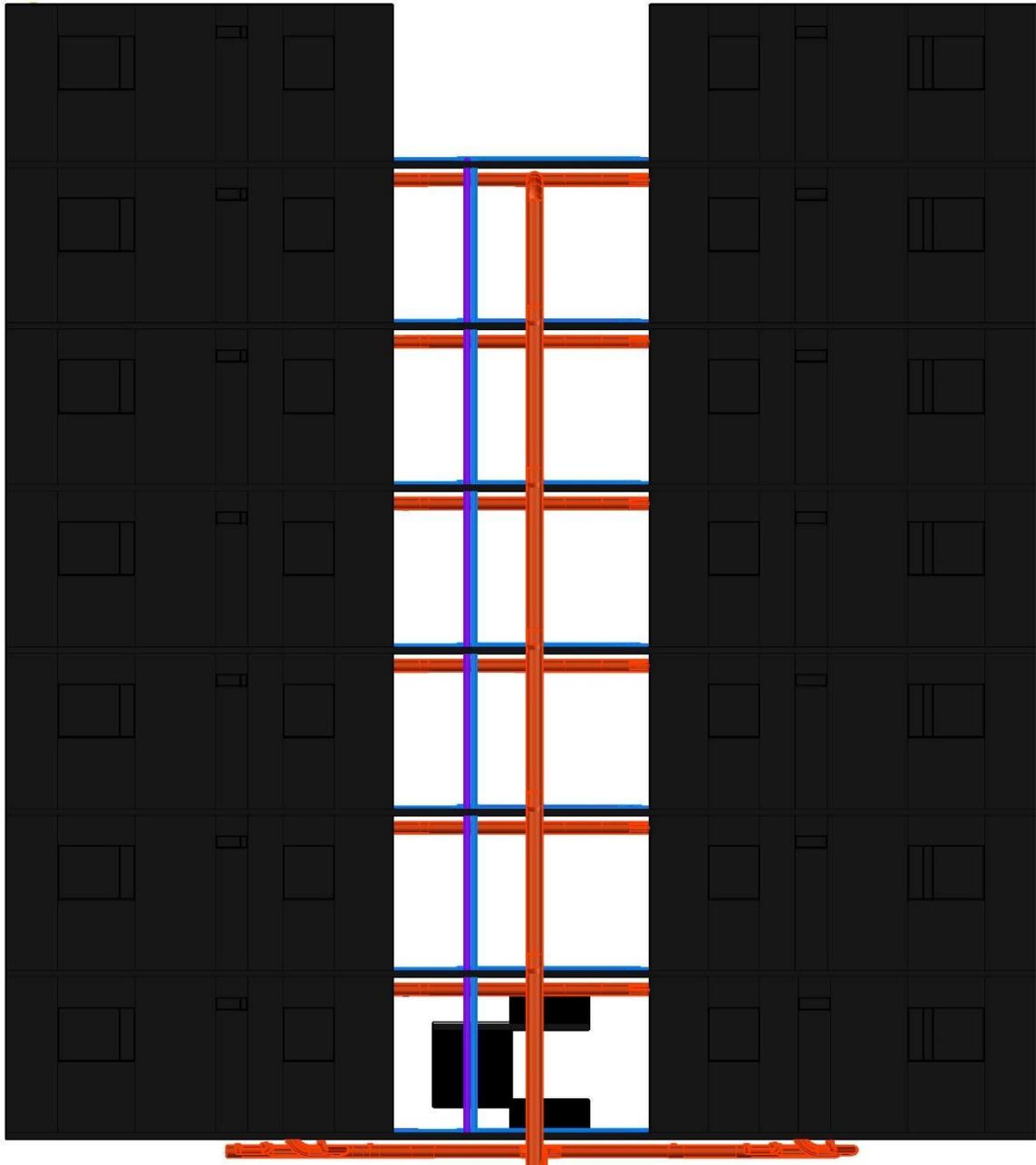
Anexo 2. Red sanitaria de apartamento



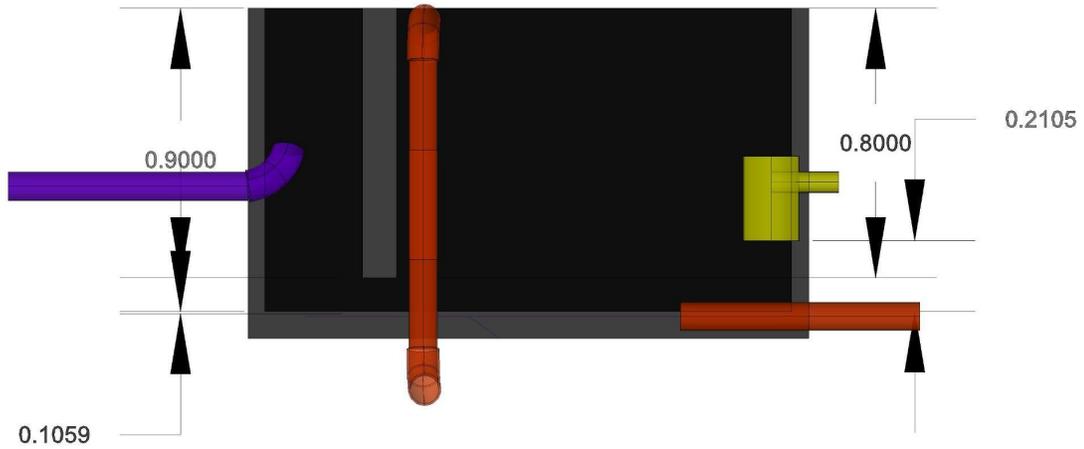
Anexo 3. Plano de redes hidráulicas del primer piso.



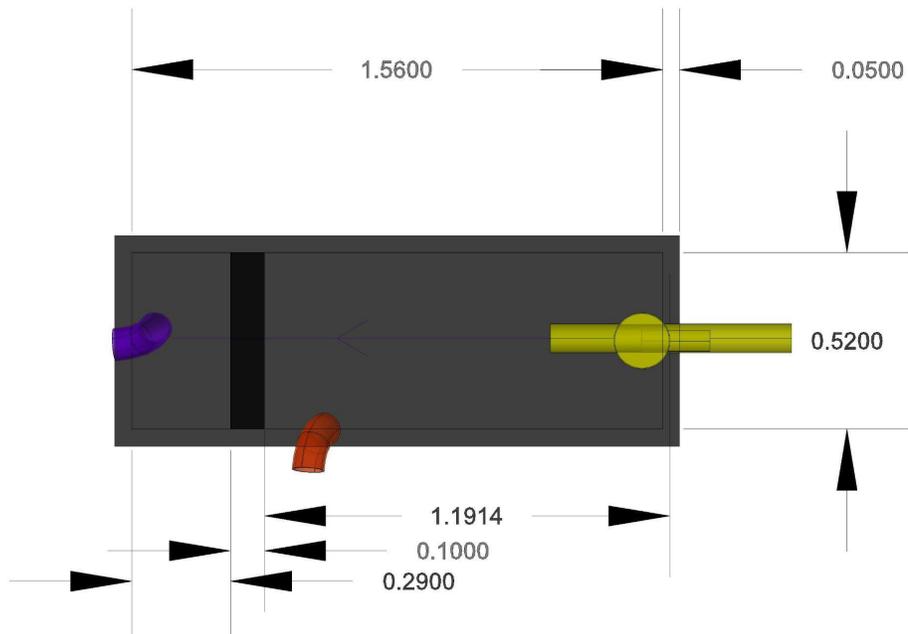
Anexo 4. Plano de redes hidráulicas general por piso



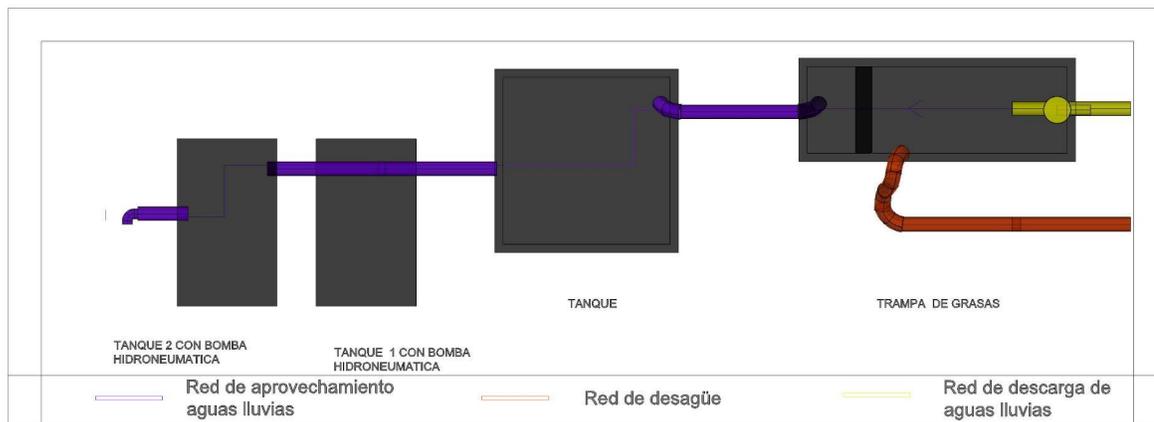
Anexo 5. Plano isométrico de la torre.



Anexo 6. Trampa de grasas



Anexo 7. Trampa de grasas vista superior.



Anexo 8. Proceso de aguas lluvias.

Aparato	UDC	D(pulg)	Q(LPM)	Q(m3/s)	S(%)	Vo(m/s)	Qo(m3/s)	Q/Qo
Ducha (DCH)	2	1,5	9,54	0,0002	0,080	1,271	0,001	0,110
Inodoro (WC)	3	3	11,36	0,0002	0,080	2,017	0,009	0,021
TRAMO 1	5	3	18,93	0,0003	0,080	2,017	0,009	0,034
lavadero (LVDERO)	2	2	9,54	0,0002	0,100	1,721	0,003	0,046
Drenaje de emergencia (EMG)	-	2	3,79	0,0001	0,100	1,721	0,003	0,018
TRAMO 2	2	2	9,54	0,0002	0,100	1,721	0,003	0,046
TRAMO 3	7	3	26,3	0,0004	0,080	2,017	0,009	0,048
Lavaplatos (LP)	2	1,5	9,54	0,0002	0,080	1,271	0,001	0,110
TRAMO 4	9	3	30,28	0,001	0,080	2,017	0,009	0,055
Domiciliaria horizontal	36	4	92,1	0,002	0,025	1,366	0,011	0,139

Anexo 9. Memoria de cálculo de la red con Ecohoe

Aparato	Y	V(m/s)	Dh(m)	(RAD)	Rh	Ft	Fr
Ducha (DCH)	0,005	0,465	0,003	1,452	0,007	0,521	2,595
Inodoro (WC)	0,005	0,549	0,005	0,998	0,016	1,283	2,452
TRAMO 1	0,005	0,549	0,005	0,998	0,016	1,283	2,452
lavadero (LVDERO)	0,003	0,468	0,003	0,998	0,011	1,069	2,562
Drenaje de emergencia (EMG)	0,003	0,468	0,003	0,998	0,011	1,069	2,562
TRAMO 2	0,003	0,468	0,003	0,998	0,011	1,069	2,562
TRAMO 3	0,005	0,549	0,005	0,998	0,016	1,283	2,452
Lavaplatos (LP)	0,005	0,465	0,003	1,452	0,007	0,521	2,595
TRAMO 4	0,008	0,549	0,005	1,280	0,014	1,140	2,452
Domiciliaria horizontal	0,013	0,500	0,009	1,452	0,017	0,43	1,71

Anexo 10. Memoria calculó tubería sanitaria con Ecohoe

Aparato	UDC	D(pulg)	Q(LPM)	Q(LPS)	Q(m3/s)	S(%)	Vo(m/s)	Qo(M3/s)
Ducha (DCH)	2	1,500	9,540	0,159	0,000	0,080	1,271	0,001
Inodoro (WC)	3	3,000	11,360	0,189	0,000	0,080	2,017	0,009
Lavamanos (LM)	1	1,250	7,570	0,126	0,000	0,100	1,258	0,001
TRAMO 1	6	3,000	18,930	0,316	0,000	0,080	2,017	0,009
lavadero (LVDERO)	2	2,000	9,540	0,159	0,000	0,100	1,721	0,003
Drenaje de emergencia (EMG)	-	2,000	3,790	0,063	0,000	0,100	1,721	0,003
TRAMO 2	2	2,000	9,540	0,159	0,000	0,100	1,721	0,003
TRAMO 3	8	3,000	26,300	0,438	0,000	0,080	2,017	0,009
Lavaplatos (LP)	2	1,500	9,540	0,159	0,000	0,080	1,271	0,001
TRAMO 4	10	3,000	30,280	0,505	0,001	0,080	2,017	0,009
Domiciliaria horizontal	40	4	92,1	1,535	0,001535	0,03	1,36624	0,01108

Anexo 11. Memoria de cálculo de red sanitaria normal

Aparato	UDC	Y	V(m/s)	Dh(m)	(RAD)	Rh	Ft(kg/m2)	Fr
Ducha (DCH)	2	0,005	0,465	0,003	1,452	0,007	0,521	2,595
Inodoro (WC)	3	0,005	0,549	0,005	0,998	0,016	1,283	2,452
Lavamanos (LM)	1	0,005	0,501	0,003	1,580	0,005	0,502	2,810
TRAMO 1	6	0,005	0,549	0,005	0,998	0,016	1,283	2,452
lavadero (LVDERO)	2	0,003	0,468	0,003	0,998	0,011	1,069	2,562
Drenaje de emergencia (EMG)	-	0,003	0,468	0,003	0,998	0,011	1,069	2,562
TRAMO 2	2	0,003	0,468	0,003	0,998	0,011	1,069	2,562

TRAMO 3	8	0,005	0,549	0,005	0,998	0,016	1,283	2,452
Lavaplatos (LP)	2	0,005	0,465	0,003	1,452	0,007	0,521	2,595
TRAMO 4	10	0,008	0,549	0,005	1,280	0,014	1,140	2,452
Domiciliaria horizontal	40	0,0128	0,5	0,009	1,4515056	0,01737471	0,4343678	1,708

Anexo 12. Memoria de cálculo de red sanitaria normal

4. Bibliografía

>> *Tensioactivos en Cosmética Natural _ Mentactiva.* (n.d.).

010 GESTIÓN DE CALIDAD. (2020). *ICONTEC e-Collection*. NTC1500.

<https://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:3859/normavw.aspx?ID=638%0Ahttps://ecollection.icontec.org/normavw.aspx?ID=65832%0Ahttps://ecollection-icontec-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/normavw.aspx?ID=3792%0Ahttps://e-collection-icontec-org.bdigi>

Acueducto. (2021). *Histórico cortes 2021*. Historico 2021.

https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/programacion-de-cortes/historico_2021!/ut/p/z1/nVJdb4JAEPw1Ptbb-4AcfQNaz2AED_DrXhq0qKQKBqGm_76obSKWoOkm93CXmdmdm0UKzZBKo89kHRVJlkb6j5X-tuA66QvOHH5xLBAVjgWCXIARcdQ9AzQpQ2YA3FB-gBSGh4VNC

Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, J. A. (2008). *MANUAL DE CAPTACIÓN DE AGUAS DE LLUVIA PARA CENTROS URBANOS*.

Anchan, S. S., & Shiva Prasad, H. C. (2021). Feasibility of roof top rainwater harvesting potential - A case study of South Indian University. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100206. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100206>

Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L. N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., & Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. In *Water Research* (Vol. 115, pp. 195–209). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>

CAR _ Río Bogotá. (n.d.).

Causas y consecuencias de la contaminación del agua en Colombia - Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá. (n.d.).

- Centro comercia Parque la colina. (2018). *Medio ambiente - Parque La Colina*. Medio Ambiente. <https://www.parquelacolina.com/sostenibilidad/medio-ambiente/>
- Centro comercial plaza central. (2017). *Sostenibilidad Plaza Central - Plaza Central _ Centro Comercial Bogotá*. Sostenibilidad Plaza Central. <https://ccplazacentral.com/sostenibilidad-plaza-central/>
- Conoce las principales cuencas hidrográficas de Bogotá*. (n.d.).
- DANE. (2020). *Retroproyecciones de población con base en el CNPV 2018 Dirección de Censos y Demografía*. 38. ibit.ly/7jpY
- DEBIDO A LAS MEJORAS CONSTANTES EL PRODUCTO PUEDE VARIAR EN SU APARIENCIA ESPECIFICACIONES SUJETAS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO 2*. (n.d.).
- Desarrollo del informe 2021*. (n.d.).
- dlscrib.com-pdf-diseos-hidraulicos-sanitarios-y-de-gas-en-edificaciones-hector-alfonso--dl_442c0d1d27212145f7911a93ef90cdef. (n.d.).
- Ecohoe, E. (n.d.). *Quiénes somos Qué hacemos Visión y Misión Cómo lo hacemos*.
- Edificio Novartis recibe certificación LEED*. (n.d.). (((((.
- el Empleo. (2020). *Salario mínimo en Colombia 2021*. Definido Salario Mínimo En Colombia Para 2021. <https://www.empleo.com/co/noticias/noticias-laborales/definido-salario-minimo-en-colombia-para-2021-6221>
- Embalses que surten de agua a Bogotá se encuentran en buen nivel de al _ Bogota.gov.co*. (n.d.).
- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE TRAMPA DE GRASA Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental Organización Panamericana de la Salud Oficina Sanitaria Panamericana-Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud Auspiciado por: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación*. (n.d.-a).
- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE TRAMPA DE GRASA Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental Organización Panamericana de la Salud Oficina Sanitaria Panamericana-Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud Auspiciado por: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación*. (n.d.-b).

- Gómez-González, A., Chanampa, M., Morgado, I., Acha, C., Bedoya, C., & Neila, J. (2011). Cubiertas planas fitodepuradoras propuesta de gestión de aguas grises en altura. *Informes de La Construcción*, 63(EXTRA), 61–71. <https://doi.org/10.3989/ic.11.065>
- Hacia la recuperación de la vida en el Sur Tunjuelo.* (n.d.).
- Hector-Alfonso (2006) Diseños hidráulicos sanitarios y de gas en edificaciones: Escuela colombiana de ingeniería.
- IDEAM, I. de H. M. y E. A. (2016). *Curvas Idf - Curvas Idf - Ideam.*
- INDICADORES DE CONSUMO DE AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA 2020.* (n.d.).
- Jose, J. (2006). *Proyectos De Vivienda De Interés Social a Partir Ingeniería Y Gerencia De La Construcción José Fabian Sierra Mesa Asesor : Departamento De Ingeniería Civil Y Ambiental.*
- Kabiri, M., Akbarpour, A., & Akbari, M. (2021). Evaluation of the efficiency of a gray water treatment system based on aeration and filtration. *Water Reuse*, 11(3), 361–372. <https://doi.org/10.2166/wrd.2021.084>
- Khajvand, M., Khosravanipour Mostafazadeh, A., Drogui, P., Dayal Tyagi, R., & Brien, E. (n.d.). *Greywater characteristics, impacts, treatment, and reclamation using adsorption processes towards the circular economy.* <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16480-z/Published>
- Madrid Casado, C. M. (n.d.). *LAS MATEMÁTICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.* www.giss.nasa.gov
- Migración Colombia. (2021). *Más De Un Millón 742 Mil Venezolanos Se Encontrarían En Colombia Para El 31 De Enero De 2021 Y Podrían Acogerse Al Estatuto Temporal De Protección.* <https://www.migracioncolombia.gov.co/noticias/mas-de-un-millon-742-mil-venezolanos-se-encontrarian-en-colombia-para-el-31-de-enero-de-2021-y-podrian-acogerse-al-estatuto-temporal-de-proteccion>
- Mohd Fazly Yusof1, M. R. R. M. A. Z. A. R. N. A. Z. S. S. F. J. N. M. N. M. H. Z. J. I. (2022). *Investigation on the Urban Grey Water Treatment Using a Cost-Effective Solar Distillation Still.* <https://doi.org/10.3390/su14159452>
- Moreno, J. S. O. (2014). *Universidad de los Andes Facultad De Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.* <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/12053/u670567.pdf?sequ>

- Municipio, N., Aguada, L. A., Ebejicó, N. C., Trujillo, R., Antonio, J., Isaza, S., & Municipio, S. D. E. L. (n.d.). *Información básica Acueducto*.
https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/agua/informacion-basica/!ut/p/z1/tVRdT8IwFP0rvOxx9G4tY_oGBD-IgMNMWV9IW-uY2dY5ChN_vUVNdEZZiNiXps255557em8RRXNEc7ZJYqYT1bPUnCPqLbxgAI4P7gSIO4Dg5ro_m4aDC6cD6O4NALXVg_7M7WOA86mL6OHxX5ma4m8RRbQQyT2KfJe
- Orden, L. (n.d.). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico Sistemas de Acueducto*.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible. In *Organización de las Naciones Unidas*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- PAVCO, O. (2020). *Manual Tecnio Tubosistemas Presion PVC*. 2, 22.
- Pedersen, R. L., & Lam, D. P. M. (2018). Second comment on ‘The climate mitigation gap: Education and government recommendations miss the most effective individual actions’. *Environmental Research Letters*, 13(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac9d0>
- Petit-Boix, A., Devkota, J., Phillips, R., Vargas-Parra, M. V., Josa, A., Gabarrell, X., Rieradevall, J., & Apul, D. (2018). Life cycle and hydrologic modeling of rainwater harvesting in urban neighborhoods: Implications of urban form and water demand patterns in the US and Spain. *Science of the Total Environment*, 621, 434–443.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.206>
- Qué es el proceso de potabilización del agua y cuáles son sus fases*. (n.d.).
- Rafael Pérez Carmona. (n.d.).
- Reseña río Tunjuelo*. (n.d.).
- resolucion-0330-2017*. (n.d.).
- Río Magdalena, patrimonio de la humanidad*. (n.d.).
- Silva Vieira, A., Weeber, M., & Ghisi, E. (2013). Self-cleaning filtration: A novel concept for rainwater harvesting systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 67–73.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.06.008>
- Stang, S., Khalkhali, M., Petrik, M., Palace, M., Lu, Z., & Mo, W. (2021). Spatially optimized distribution of household rainwater harvesting and greywater recycling systems. *Journal of Cleaner Production*, 312(April), 127736. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127736>

Teixeira, C. A., & Ghisi, E. (2019). Comparative analysis of granular and membrane filters for rainwater treatment. *Water (Switzerland)*, *11*(5). <https://doi.org/10.3390/w11051004>

United States Environmental Protection Agency. (2012). *¿De dónde proviene el agua potable_ _ Agua Potable En Español _ US EPA. ¿De Dónde Proviene El Agua Potable?* <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/dedonde.html>