

UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA
JOSÉ SIMEÓN CAÑAS



REVISIÓN DE LA PROPUESTA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN
DE AGUAS LLUVIAS Y ELABORACIÓN DEL FILTRO
PARA EL EDIFICIO NZEB

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREPARADO PARA LA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PARA OPTAR AL GRADO DE
INGENIERO CIVIL

POR:

AMANDA SOFÍA CORTÉS VÁSQUEZ
CECILIA DEL CARMEN PLEITEZ ECHEVERRÍA
EDGARDO JOSÉ ZAMBRANO TORRES

MAYO 2025

ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.

RECTOR
MARIO ERNESTO CORNEJO MENA, S. J.

SECRETARIA GENERAL
LIDIA GABRIELA BOLAÑOS TEODORO

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
CARLOS ERNESTO RIVAS CERNA

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
SAÚL ERNESTO GRANADA LIZAMA

DIRECTOR DEL TRABAJO
JAIME EDUARDO CONTRERAS LEMUS

LECTORA
JACQUELINE IVETTE CATIVO SANDOVAL

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante, su confianza en mí y su sacrificio que me han enseñado el verdadero significado de la perseverancia. Gracias por ser mi inspiración y por brindarme siempre el aliento necesario para seguir adelante. Este trabajo es un reflejo de sus enseñanzas y de todo lo que he recibido de ustedes a lo largo de mi vida.

A Dios, fuente de toda sabiduría y fortaleza, quien me ha guiado y bendecido en cada paso de este camino. Gracias por darme la paciencia, la perseverancia y la esperanza para continuar, incluso en los momentos más difíciles.

A mis amigos, por su paciencia, por hacerme sonreír y sin darse cuenta ese pequeño detalle me alegra la vida y me da fuerzas de seguir adelante, por estar siempre a mi lado en los momentos de dificultad y por brindarme su apoyo emocional cuando más lo necesité.

A mis profesores, por su sabiduría y guía, que me ayudaron a superar obstáculos y a seguir aprendiendo a cada paso del camino.

Y a todas aquellas personas que, de alguna manera, contribuyeron a que este proyecto fuera posible. Sin ustedes, este logro no habría sido alcanzable.

Amanda Sofía Cortés Vásquez

AGRADECIMIENTO

Agradezco grandemente a Dios por darme la oportunidad de terminar mis estudios de tal forma que me sienta satisfecha con todo lo logrado; por permitirme experimentar un gran número de aciertos y fracasos que me mostraron cuan fuerte y capaz puedo ser. Le doy gracias por escucharme y por hacerme sentir que siempre estaba conmigo y que el rumbo que las cosas tomaban a lo largo del camino iba como exactamente se suponía que debía ir. Dios sabe lo que pone, Dios sabe lo que quita, simplemente, Dios sabe lo que hace.

A mis papás y mis hermanas, las personas que más admiro, quiero y respeto en este mundo, gracias, gracias por todo su esfuerzo, por todo su amor, por su alegría, por su paciencia, por su apoyo, por confiar y hacerme sentir que yo podía, pero, sobre todo, gracias por todos y cada uno de los sacrificios que a su manera han tenido que hacer para que hoy por hoy yo sea lo que soy, reflejo del trabajo, esfuerzo y sacrificio de mi familia.

Los amigos van y vienen dicen, pero la verdad yo tuve la fortuna y bendición de contar con personas que a pesar de todo permanecieron conmigo siempre; a las que estuvieron en el inicio, a las que llegaron a media carrera y a las que estuvieron en la última fracción del trayecto, gracias, gracias por ayudarme a crecer como persona y como profesional, por ser mi soporte, por hacerme sentir querida, y en general por hacer más alegre todo este proceso. Bairon, Edu, Juan, Richard, Jesús y Edgardo, gracias.

A mi pequeña Tomassy, quizá el mayor símbolo de amor, lealtad y cariño, gracias por haber estado, por haberte desvelado conmigo estudiando, por haber sido en más de una ocasión la fuente de paz en mis momentos de estrés, enojo, angustia y cansancio. Eras una diva, pero eras mi diva, gracias hasta el cielo.

A ingeniero Jaime, ingeniera Jacqueline y mis compañeros de tesis, les agradezco el esfuerzo, dedicación y contribución a este trabajo de graduación.

Cecilia del Carmen Pleitez Echeverría

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme culminar este capítulo tan importante de mi vida. Por guiar mis pasos, por brindarme la sabiduría, la inteligencia y la salud necesarias para lograr esta meta que tanto anhelaba. Agradezco por poner en mi camino a las personas correctas, quienes me han apoyado e inspirado a lo largo de este proceso.

A mis padres, Elisa Torres y José Zambrano por ser mi fuerza y mi pilar en cada etapa de mi vida. Gracias por ser mis guías, por mostrarme el camino correcto y por inculcarme los valores que me han formado como persona. Les agradezco profundamente por cada sacrificio, por su amor incondicional y por siempre confiar en mí. Este logro también es suyo. A mis hermanas, Alisson Zambrano y Melissa Zambrano, quienes también han formado parte de mi pilar familiar, su apoyo constante y amor incondicional han sido claves para llegar hasta aquí.

A mis compañeros, quienes desde el inicio de este camino me ofrecieron su apoyo, su sabiduría y su ánimo en cada momento, tanto en los buenos como en los difíciles. Agradezco especialmente a aquellos que estuvieron a mi lado en esos momentos complicados, cuando todo parecía estar muy difícil. Gracias por su aliento y por ayudarme a seguir adelante. A todas esas personas que me apoyaron en los últimos momentos para culminar esta carrera, les agradezco de todo corazón por su generosidad, solidaridad y amistad, que hicieron que este gran reto fuera posible.

A mis compañeras de tesis, quienes me han ayudado a enfrentar este último reto. Ha sido un camino difícil, pero con el esfuerzo de los tres logramos salir adelante.

Edgardo José Zambrano Torres

RESUMEN

El presente trabajo de graduación desarrolla la revisión, reevaluación y adaptación de un sistema modelo de captación de aguas lluvias para el edificio NZEB propuesto en el trabajo de graduación titulado “Proyecto demostrativo de captación de aguas lluvias. Elaboración de propuesta y evaluación de sitios para realizarlo”.

Considerando la poca o casi nula disponibilidad de filtros adecuados en el mercado, se propone el desarrollo de distintas alternativas que sean económicamente viables, de fácil ejecución y que permitan optimizar el consumo de agua potable mediante el aprovechamiento de agua lluvia.

La estructura del trabajo comprende siete capítulos. El primer capítulo aborda el planteamiento del problema, los objetivos, límites, alcances, metodología y algunos antecedentes del contexto general que respaldan a la propuesta como tal.

El segundo capítulo incluye teoría, conceptos fundamentales y aspectos calves que facilitan la comprensión y progresión del trabajo. Se definen los sistemas de captación, su funcionamiento y elementos que lo conforman, cuáles son las categorías de uso y posibles aplicaciones; se plantean cuales, en términos generales son los lineamientos técnicos de diseño que llevados de la mano con un correcto y completo proceso constructivo aseguran una propuesta de diseño funcional adaptada a las condiciones y necesidades reales del proyecto.

En el tercer capítulo se desarrollan dos propuestas alternativas de filtros; para cada caso, se hace una breve descripción de los elementos que intervienen, materiales utilizados, proceso de elaboración y se presentan los prototipos finales; para evaluar el desempeño de cada uno de los ejemplares, se realizaron pruebas simuladas en donde se recreó el sistema sifón idealizado (con codos y accesorios) de manera que los resultados que se obtuvieran fueran los más cercanos posibles a los que se esperarían una vez los filtro fueran incorporados a un SCALL. Para cada propuesta se presenta además un presupuesto detallado que se elaboró considerando la viabilidad técnica y facilidad de fabricación de cada filtro, existencia de materiales en el mercado y en general que considerase todos aquellos parámetros financieros necesarios para obtener un VoBo por parte de la UCA de modo que se abalara la posible ejecución de obra.

Una vez abordado y resuelto el tema de los filtros, en el cuarto capítulo se presenta un modelo conceptual pensado como una guía o base teórica que pudiese seguirse a la hora de definir los parámetros necesarios para poder implementar el SCALL. El desglose general considera la zona de captación, primer filtro, canal de aguas lluvias, tuberías y conectores, segundo filtro, almacenamiento y distribución. Dentro del capítulo también se presenta un modelo conceptual de instalación hidráulica.

El capítulo cinco, considera lo expuesto en el capítulo cuatro y a partir de ello presenta una propuesta de SCALL que surge de la revisión, reevaluación y adaptación de las bases del diseño presentado en el trabajo de graduación antecesor, dicho diseño contempla la idea de un sistema que se desarrolló hasta contar con una propuesta técnica, esquemas detallados y un presupuesto preliminar. El capítulo presenta inicialmente la esquematización gráfica de la ubicación del sitio propuesto para la ejecución, muestra la descripción y datos obtenidos del levantamiento in situ; cual seria, idealmente, el presupuesto del sistema modelo si se considerase obra gris, hidráulica, limpieza y acabados; muestra además el cronograma de ejecución y como se debería llevar a cabo el mantenimiento del sistema completo.

El sexto capítulo consiste en el análisis de las alternativas de diseño de filtros caseros, evaluando su rendimiento y coste. En este capítulo, se analizan los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, destacando la posibilidad de reducir los costos de fabricación sin comprometer la eficiencia del sistema, asegurando una adecuada eliminación de contaminantes y facilitando su mantenimiento. También se menciona que los filtros propuestos, elaborados con materiales accesibles, permiten una filtración eficaz; se discute cómo el sistema SCALL puede adaptarse a diferentes tipos de edificios y extenderse a otras áreas del campus, mejorando la gestión del agua de lluvia.

Finalmente, el séptimo capítulo se centra en las conclusiones y recomendaciones elaboradas a partir de la investigación bibliográfica y de los resultados obtenidos de la revisión, reevaluación y adaptación del diseño, la planificación y el presupuesto de la propuesta del SCALL.

ÍNDICE

RESUMEN.....	I
ÍNDICE	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	IX
SIGLAS.....	XI
ABREVIATURAS.....	XIII
NOMENCLATURAS	XV
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivos generales	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 LÍMITES Y ALCANCES	6
1.5 METODOLOGÍA	7
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 LINEAMIENTOS TÉCNICOS DE DISEÑO	11
2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN SCALL	11
2.3 FILTROS	13
2.3.1 Filtración por gravedad	13
2.3.2 Filtración mecánica	14
CAPÍTULO 3. PROPUESTAS DE FILTRO PARA SCALL	15
3.1 FILTRO DE GRAVA CON VÁLVULAS ANTIRRETORNOS	15
3.1.1 Válvula antirretorno con pieza de malla galvanizada	16
3.1.2 Válvula antirretorno con bolsas de malla textil con cierre	19
3.1.3 Simulación y ejecución de pruebas	23
3.2 FILTRO DE GRAVA – ACCESORIO YEE DE PVC	25
3.2.1 Accesorio Yee de PVC con parrilla de malla galvanizada y bolsa de malla textil	27
CAPÍTULO 4. MODELO CONCEPTUAL DE UN SCALL.....	37
4.1 MODELO CONCEPTUAL.....	37
4.2 MODELO DE INSTALACIÓN HIDRÁULICO	39
CAPÍTULO 5. REVISIÓN Y ADAPTACIÓN DE LA PROPUESTA	41

5.1	ESQUEMAS DE UBICACIÓN.....	41
5.2	LEVANTAMIENTO Y EVALUACIÓN DE SITIO.....	43
5.3	EJECUCIÓN DEL SCALL EN BASE A MODELO CONCEPTUAL	45
5.4	ELABORACIÓN DE PLANOS Y ESQUEMAS.....	47
5.5	PRESUPUESTO EN BASE AL MODELO CONCEPTUAL	48
5.1	CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN EN BASE AL MODELO CONCEPTUAL.	53
5.2	MANTENIMIENTO DEL SCALL EN BASE AL MODELO CONCEPTUAL	54
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		62
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		64
BIBLIOGRAFÍAS		66
A.	ANEXOS A.....	A

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Sistema modelo de captación de aguas lluvias. Fuente: [Sedema CDMX, s.f (2025)]	9
Figura 2.2 SCALL en una escuela. Fuente: [Sedema CDMX, s.f. (2025)].....	10
Figura 3.1 Válvula antirretorno de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2024)].....	15
Figura 3.2 Elaboración de plantillas para válvula antirretorno. Fuente: [Elaboración propia (2024)]	16
Figura 3.3 Elaboración de plantilla en malla metálica. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	17
Figura 3.4 Corte de malla galvanizada. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	17
Figura 3.5 Prueba de dimensionamiento de filtro. Fuente: [Elaboración propia (2025)].....	18
Figura 3.6 Colocación de argolla para extracción de filtro. Fuente: [Elaboración propia (2025)] ...	18
Figura 3.7 Válvula antirretorno con filtro de grava. Fuente: [Elaboración propia (2025)].....	19
Figura 3.8 Sección de válvula antirretorno con malla galvanizada de refuerzo. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	20
Figura 3.9 Componentes de filtro: malla reforzada y filtro con bolsa de malla textil. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	20
Figura 3.10 Bolsa de malla textil con grava #1. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	21
Figura 3.11 Elementos que componen el filtro para la válvula antirretorno. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	21
Figura 3.12 Colocación de bolsa de malla textil con grava en la válvula antirretorno. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	22
Figura 3.13 Sección de válvulas. Malla galvanizada y bolsa de malla textil. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	22
Figura 3.14 Sistema a escala para prueba de filtros con 2 válvulas antirretorno. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	24
Figura 3.15 Prueba de los filtros de grava en la válvula antirretorno. Fuente: [Elaboración propia (2025)].....	25
Figura 3.16 Demostración del funcionamiento del sifón del SCALL. Fuente: [Elaboración propia (2025)].....	25
Figura 3.17 Materiales y componentes elaborados para el filtro con accesorio Yee de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2025)].....	26
Figura 3.18 Accesorio Yee de PVC seleccionado para la elaboración del filtro. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	26

Figura 3.19 Esquema de los componentes y funcionamiento de los filtros. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	27
Figura 3.20 Toma de medidas de la balona del accesorio Yee de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	28
Figura 3.21 Toma de medidas para unión de tubo y tapón hembra. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	28
Figura 3.22 Plantilla para corte y colocación de varillas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	29
Figura 3.23 Proceso de perforación de PVC a calor para colocar varillas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	29
Figura 3.24 Sección de las varillas cortadas e instaladas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	30
Figura 3.25 Corte de malla metálica con pestañas de fijación. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	30
Figura 3.26 Base #1 realizada con tubo de 4" de PVC, malla metálica y varillas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	31
Figura 3.27 Instalación de base de refuerzo en accesorio Yee de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	31
Figura 3.28 Instalación de bolsa de malla textil y grava en accesorio Yee de PVC para prueba de resistencia. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	32
Figura 3.29 Prueba del SCALL a menor escala con 2 accesorios Yee de PVC y filtros con bolsa de malla textil. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	32
Figura 3.30 Falla en la base de varillas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	33
Figura 3.31 Elaboración de segunda base con varillas corrugadas y tacos de PVC de soporte. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	34
Figura 3.32 Instalación de la base reforzada de PVC con varillas corrugadas y malla galvanizada. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	34
Figura 3.33 Recubrimiento de la base con sílicón industrial para evitar fugas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	35
Figura 3.34 Secciones de la base de refuerzo, cortes de varilla según perímetro del tubo. Fuente: [Elaboración propia (2025)]	35
Figura 4.1 Tendencia de escurrimiento en diferentes tipos de techo. Fuente: [Téllez, C., Mocva, R., González, C. & Centeno, J., (2022)]	37
Figura 4.2 Ejemplos de filtro de hojas. Fuente: [Téllez, C., Mocva, R., González, C. & Centeno, J., (2022)]	38
Figura 4.3 Canal de aguas lluvias. Fuente: [Sedema CDMX, s.f. (2024)]	38

Figura 5.1 Vista superior. Ubicación general propuesta para la ejecución del SCALL. Fuente: [Google maps (2025)]	42
Figura 5.2 Vista lateral edificio NZEB UCA. Propuesta de ubicación. Fuente: [Elaboración propia (2024)].....	42
Figura 5.3 Vista lateral edificio NZEB UCA. Propuesta de ubicación. Fuente: [Elaboración propia (2024)].....	43
Figura 5.4 Vista lateral hacia al noreste. edif. NZEB UCA. Propuesta de ubicación. Fuente: [Elaboración propia (2024)].....	43
Figura 5.5 Visita de reconocimiento de área, edificio NZEB UCA. Fuente: [Elaboración propia (2024)].....	44
Figura 5.6 Visita de reconocimiento de área, edificio NZEB UCA. Fuente: [Elaboración propia (2024)].....	45
Figura 5.7 Visita de reconocimiento de área, edificio NZEB UCA. Fuente: [Elaboración propia (2024)].....	45
Figura 5.8 Esquema del SCALL modelo propuesto con dos accesorios Yee de PVC como filtros. Fuente: [Elaboración propia (2025)].....	47
Figura 5.9 Retiro de hojas de canal de aguas lluvias. Fuente: [Pedro Mendoza, (2024)]	54
Figura 5.10 Lavado de filtro de rejillas para retención de hojas. Fuente: [Del Toro, (2025)]	55
Figura 5.11 Lavado de canal de aguas lluvias. Fuerte: [La Molina, (2019)]	56
Figura 5.12 Reparación de goteras o fisuras en canal de aguas lluvias. Fuente: [Canalones Burgos, (2023)].....	56
Figura 5.13 Lavado de bajada de aguas lluvias. Fuente: [Allen Lee, (2024)].....	57
Figura 5.14 Sistema de filtro de sedimentos con accesorio de tubería tipo Yee de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2025)].....	58
Figura 5.15 Bolsa con grava #1 y accesorio de tubería tipo Yee de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2025)].....	58
Figura 5.16 Sistema de filtro de sedimentos con válvulas de retorno. Fuente: [Elaboración propia (2025)].....	59
Figura 5.17 Tanque de almacenamiento. Fuente: [BIOHAZARD, (2023)].....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Desglose de precio por unidad de fabricación de filtro de grava con válvula antirretorno.....	23
Tabla 3.2 Desglose de precio por unidad de fabricación de filtro de grava con accesorio Yee.....	36
Tabla 5.1 Presupuesto completo de propuesta de SCALL con válvula antirretorno	49
Tabla 5.2 Presupuesto completo de propuesta de SCALL con accesorio Yee.....	51
Tabla 5.3 Cronograma de actividades para la ejecución de propuesta de SCALL en edificio NZEB	53

SIGLAS

ALL	Aguas Lluvias
AMSS	Área Metropolitana de San Salvador
ANDA	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
CDMX	Ciudad de México
CEDITEC	Centro de Diseño, Innovación y Tecnología
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IVA	Impuesto sobre Valor Añadido
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
NZEB	Net Zero Energy Building (Edificio Energía Neta Cero)
ONGS	Organizaciones No Gubernamentales
PDF	Portable Document Format (Formato Portátil de Documento)
PNG	Portable Network Graphics (Gráficos de Red Portátiles)
	Poly Vinyl Chloride (Poli Cloruro de Vinilo)
SCALL	Sistema de Captación de Aguas Lluvias
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México
SUDS	Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible
UCA	Universidad Centroamericana José Simeón Cañas

ABREVIATURAS

DWG	Drawing (dibujo)
Etc.	Etcétera
s.f.	Sin fecha
S.G.	Suma global
VoBo	Visto Bueno

NOMENCLATURAS

kg	Kilogramo
l	Litro
m	Metro
m^2	Metro cuadrado
ml	Metro lineal
mm	Milímetros
plg	Pulgadas
%	Porcentaje
"	Pulgadas

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del problema

La recolección de agua lluvia es un proceso sistemático que se presenta como una solución alterna pensada para capturar el agua generada por las precipitaciones y con ello, dar paso al aprovechamiento de un recurso que además de ser abundante y renovable, de no ser captado se perdería a través de escurrimiento y drenajes. Si se considera la reducción de las fuentes tradicionales de agua, el poco o escaso acceso a ella y el aumento en las tarifas monetarias, resulta bastante sencillo identificar porque a nivel mundial, la gestión, aprovechamiento y conservación del recurso se ha vuelto un reto significativo para la población. Además, la recolección de agua lluvia no solo representa una solución técnica, sino que también tiene un componente social y económico, ya que fomenta la autosuficiencia y reduce la dependencia de fuentes externas de agua.

Bajo la idea de optimizar y almacenar, surge la necesidad de evaluar e implementar acciones y/o proyectos sostenibles que, además de permitir la conservación del medio ambiente y asegurar la disponibilidad del recurso, deben estar pensados de tal manera que cualquier persona sea capaz de ejecutarlo y financiarlo; ejemplo de ello son los SCALL. Estos sistemas son accesibles, fáciles de implementar y permiten a las comunidades reducir su huella hídrica, promoviendo prácticas de conservación del agua a nivel local.

Para que un sistema de captación de aguas lluvias sea eficiente, es esencial que este cuente con todos los elementos y/o componentes que independientemente sea cual sea su escala o aplicación, garanticen un adecuado proceso de recolección, almacenamiento y filtrado. Este enfoque integral asegura que el agua recolectada cumpla con los estándares de calidad para su uso en diversas aplicaciones, como el riego o limpieza, optimizando los recursos disponibles.

Si de almacenamiento se trata, los tanques modulares ofrecen una opción viable para muchas comunidades e instituciones, estos sistemas permiten almacenar grandes volúmenes de agua durante largos períodos de tiempo sin requerir obras costosas; su fácil instalación y bajo costo los convierten en una alternativa accesible y su eficiencia contribuye a la reducción del impacto ambiental al promover la reutilización del agua de lluvia. Además, la flexibilidad de los tanques modulares facilita su adaptación a diferentes espacios y necesidades, lo que los convierte en una opción ideal tanto para proyectos pequeños como de mayor envergadura.

El sistema de filtrado por otra parte, desempeña un papel fundamental pues es el encargado de retener todas las impurezas y garantizar la calidad del agua; sin un sistema de filtrado adecuado la eficiencia, posibles aplicaciones y beneficios del SCALL se ven comprometidos. Partiendo de ello, resulta bastante sencillo identificar como la poca o casi nula disponibilidad de filtros en el mercado incide significativamente en la implementación de un correcto sistema de recolección de aguas lluvias. En muchos casos, los modelos comerciales de filtros presentan costos elevados, diseños poco adaptables o, simplemente no se encuentran en el mercado local, por lo que es necesario buscar alternativas más accesibles y eficientes. Así, el diseño de filtros caseros se convierte en una solución viable y rentable, garantizando un sistema más accesible.

El enfoque de este proyecto comenzó con la idea de presentar una propuesta para un sistema modelo de recolección de aguas lluvias con filtros por gravedad, destinado al edificio NZEB de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. El sistema estaba pensado de tal manera que permitiera captar y almacenar el agua que escurre del techo de 100 m² para utilizarla en el riego de los jardines adyacentes al edificio, de modo que, se evaluará la viabilidad del diseño propuesto para su posterior ejecución y se diera paso a la posibilidad de futuros sistemas de captación en la Universidad que fomentaran el uso sostenible de los recursos hídricos.

En el marco de este proyecto, es crucial considerar la integración de tecnologías simples y de bajo costo que no solo sean accesibles, sino también fácilmente implementables en entornos de escasos recursos. La creación de un sistema de captación de agua lluvia accesible y eficiente no solo contribuye a la preservación del agua, sino que también puede ser replicado en diversas instituciones y comunidades con condiciones similares. En este sentido, el modelo propuesto para el edificio NZEB puede ser el primer paso hacia una implementación a mayor escala, beneficiando tanto a la comunidad universitaria como a otros sectores en el país que enfrentan desafíos similares en la gestión del agua.

La escalabilidad del modelo propuesto para el SCALL es otro de los aspectos clave a considerar. Si bien el sistema inicial está diseñado para un solo edificio, la potencial ampliación a otras edificaciones dentro del campus universitario ofrece una oportunidad significativa para optimizar el uso de los recursos hídricos a nivel institucional. Expandingiendo el sistema a otros edificios, como el polideportivo o las aulas magnas, se puede aprovechar la superficie adicional de captación y mejorar la eficiencia en la recolección y almacenamiento del agua de lluvia, lo que podría generar beneficios ambientales y económicos sustanciales para la Universidad en su conjunto.

1.2 Antecedentes

En el mercado de El Salvador los filtros para sedimentos que se encuentran en ferreterías o tiendas especializadas en el tema suelen funcionar a base de carbón activado u osmosis inversa y tener un valor económico alto. Por lo que las personas suelen optar por crear filtros caseros, tal es el caso de los filtros hechos a base de grava y arena los cuales atrapan los sedimentos que trae el agua que fluye a través de ellos, o directamente anular esta opción en la construcción de sistemas de captación de aguas lluvias realizados en hogares, escuelas u otros establecimientos que buscan sistemas de recolección de aguas lluvias sencillos y asequibles, ya que esto eleva su costo significativamente.

La Universidad Centro Americana José Simeón Cañas (UCA) presentó en 2022 un trabajo de graduación preparado para la facultad de ingeniería y arquitectura llamado “Proyecto demostrativo de captación de aguas lluvias. Elaboración de propuesta y evaluación de sitios para realizarlo” (Artola, C., Alfaro, J., Escalante, W., Maldonado, A., 2022). En donde se muestran diferentes propuestas de ubicaciones dentro de la Universidad para realizar un sistema modelo de captación de aguas lluvias, tomando en cuenta el espacio disponible para la ubicación de los tanques, restricciones administrativas de parte de la Universidad, análisis de costos, entre otras cualidades concernientes a la elección del ubicación adecuada para realizar el sistema modelo, llegando como resultado al Edificio Energía Neta Cero (NZEB) como el más factible para la implementación de sistema modelo de recolección de aguas lluvias.

En El Salvador hay numerosas áreas con escasez de agua, ya sea porque la Administración de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) provee una cubertura del 43.4% de agua en la zona rural, según el boletín estadístico publicado por ANDA en 2023, lo cual no alcanza a cubrir al total de la población incluyendo escuelas, comedores, viviendas y demás establecimientos que se encuentran en la zona o porque los ríos y mantos acuíferos se encuentran a una distancia considerable. Por esta razón se ha visto la necesidad de buscar otras fuentes de abastecimiento de agua, como lo es el agua lluvia.

El pasado 2023 se anunció el lanzamiento del "Programa Nacional de Aprovechamiento de Agua Lluvia" en el distrito de Metapán, departamento de Santa Ana. Este fue inaugurado por el vicepresidente de la República de El Salvador, Félix Ulloa hijo; el presidente de la Autoridad Salvadoreña del Agua, Jorge Castaneda; el director ejecutivo Nacional de Plan Trifinio, Jorge Urbina; y el alcalde del ahora distrito de Metapán, Israel Pereza.

El objetivo del programa es hacer un uso eficiente y sustentable del agua, para ello promete realizar diferentes acciones en el país para la captación, retención, almacenamiento y gestión del agua lluvia, las cuales se presentan a continuación:

- Sistemas de captación de agua a nivel domiciliar
- Reservorios para la retención en estanques
- Grandes obras hidráulicas

En El Salvador el primer sistema de recolección de aguas lluvias construido por la Administración de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) está ubicado en el Caserío El Carmen en las faldas del volcán de San Salvador. Otros ejemplos de sistemas de captación de aguas lluvia en el país, los cuales se muestran en el Portal de Transparencia del gobierno (2023) y sitio web del MARN (2023), son los siguientes:

- Dotación de 16 sistemas de captación de aguas lluvias, en Centros Escolares en los Distritos de Yoloaquíñ, San Francisco Gotera, Meanguera, Corinto, San Carlos, Sensembra y Chilanga, pertenecientes al Municipio de Morazán.
- Dotación de 19 sistemas de captación de aguas lluvias, en Centros Escolares en los Distritos de Delicias de Concepción, Jocoaitique, El Rosario, Perquín, San Fernando, Arambala y Joateca, pertenecientes al Municipio de Morazán.
- Instalación de 10 sistemas de captación de agua lluvia en Centros Escolares de los Distritos de Chalatenango, El Carrizal y Las Vueltas, pertenecientes al Municipio de Chalatenango.
- Instalación de 11 sistemas de captación de agua lluvia en Centros Escolares en los Distritos de Azacualpa, San Francisco Lempa y San Luis del Carmen, pertenecientes al Municipio de Chalatenango.

En el trabajo de graduación titulado “Aprovechamiento del Agua Lluvia como fuente de Abastecimiento de Agua Potable para el Cantón “el progreso”, Departamento de La Libertad” publicado por la Universidad de El Salvador en 2003; se mencionan otros sistemas artesanales de recolección de aguas lluvias ubicados en puntos del volcán de Santa Ana y en El Cantón El Progreso ubicado en el Distrito de Nueva San Salvador, donde se recolecta el agua lluvia que cae sobre los techos y se almacena en recipientes metálicos (barriles).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos generales

Proponer y desarrollar alternativas de diseño de un sistema de filtros que pueda integrarse eficientemente al sistema de captación y almacenamiento de aguas lluvias (SCALL) en el edificio NZEB de la UCA, superando las limitaciones de los filtros comerciales, que son costosos o de difícil acceso, y asegurando la calidad del agua recolectada, minimizando los costos operativos y optimizando el mantenimiento a largo plazo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Presentar un sistema modelo de captación y almacenamiento de aguas lluvias que sirva como base para una futura ejecución.
- Proponer un cronograma de trabajo y un presupuesto estimado que funcionen como complemento y guía estratégica para una futura implementación; elaborando para ello un plan detallado que involucre la instalación del sistema de filtrado, incluyendo las fases de construcción, pruebas de rendimiento y protocolos de mantenimiento preventivo.
- Diseñar un sistema de filtrado accesible y eficiente que se adapte a las características del sistema de captación propuesto para el edificio NZEB, asegurando la calidad del agua recolectada, optimizando los costos de mantenimiento y evaluando en el proceso la integración de filtros por gravedad compuestos por grava de 3/4" y 3/8" que permitan la remoción de impurezas y faciliten las labores de limpieza y mantenimiento.
- Determinar los materiales más adecuados para la construcción del filtro, evaluando su durabilidad, coste y disponibilidad local de manera efectiva los contaminantes presentes en el agua de lluvia.
- Desarrollar un manual de procedimientos detallados para la inspección, limpieza y sustitución de los filtros, garantizando operatividad, eficiencia en la recolección y tratamiento del agua.

1.4 Límites y alcances

- El proyecto no considera la construcción física del SCALL, por lo que se limita únicamente a desarrollo de una propuesta considerando un sistema de filtración por gravedad evaluando su funcionamiento mediante pruebas y simulaciones en condiciones controladas, presentación de esquemas, proyección de un cronograma de trabajo y presupuesto base.
- La alternativa de SCALL propuesta surge a partir de la revisión, reevaluación y adaptación del diseño presentado en el trabajo de graduación “Proyecto demostrativo de captación de aguas lluvias. Elaboración de propuesta y evaluación de sitios para realizarlo”, por lo que, al contar con criterios de diseño previamente establecidos no se consideró realizar cálculos hidráulicos adicionales. Para formular la nueva alternativa se tomó como referencia la propuesta original y la información y datos obtenidos en el levantamiento del sitio, es decir, se trabajó considerando diámetros y medidas de los elementos ya existentes en el edificio, entiéndase esto por canaleta, tuberías y bajadas de ALL.
- El presupuesto de cada alternativa de filtro está sujeto a los precios de mercado disponibles durante la elaboración de las propuestas, por lo que cualquier cambio en el diseño o variación en los costos tanto de materiales como de mano de obra a lo largo del tiempo podrían afectar el monto con el que se considera cada ejemplar puede ser ejecutado.
- El presupuesto general del SCALL considerando las diferentes alternativas de filtros abarca únicamente limpieza, hidráulica y acabados, no se encuentran incluidas instalaciones eléctricas, aportación de bombas, sistema de riego y costos por mantenimiento.

1.5 Metodología

Enfoque preliminar

Este proyecto tiene como antecesor al trabajo de graduación titulado “Proyecto demostrativo de captación de aguas lluvias. Elaboración de propuesta y evaluación de sitios para realizarlo”, lo cual le otorga un marco de continuidad y desarrollo, convirtiéndolo en una extensión del mismo. El trabajo previo sentó las bases de un sistema de captación de aguas lluvias (SCALL) destinado a un uso eficiente del recurso hídrico en el contexto de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. Inicialmente, el proyecto contemplaba la implementación de un SCALL con filtros por gravedad para el edificio NZEB, diseñado para recolectar y almacenar el agua que se genera por las precipitaciones en el techo de 100 m² de dicho edificio. Esta propuesta tenía el objetivo de utilizar el agua captada en actividades como el riego de jardines, buscando así un modelo sustentable de manejo y conservación del agua.

Evaluación de modelo previo

Para determinar la viabilidad del sistema propuesto, se realizó un análisis exhaustivo basado en la revisión del trabajo de graduación anterior. Durante este análisis, se identificaron varios aspectos clave que impedían la efectiva implementación del modelo planteado. En primer lugar, se destacó el alto costo de los filtros comerciales disponibles, que superaba el presupuesto estimado para el sistema completo. A esto se sumó la dificultad de adaptar estos filtros al resto de los componentes del SCALL, ya que su estructura no resultaba compatible con las necesidades del diseño. Además, las labores de limpieza y mantenimiento de los filtros comerciales resultaban complejas, lo que generaba preocupaciones sobre la eficiencia a largo plazo y los costos operativos. Tras identificar estas dificultades, se concluyó que el modelo propuesto no era viable y que era necesario replantear la dirección del proyecto, buscando una alternativa que resolviera estos problemas sin sacrificar la funcionalidad ni la eficiencia del sistema.

Redefinición del enfoque

Con el objetivo de reducir los costos y minimizar las labores de mantenimiento, se presentó la necesidad de diseñar un filtro propio que cumpliera con los requisitos del sistema, tales como la capacidad de retención de sólidos y una estructura desmontable para facilitar su limpieza. Además,

se decidió que el filtro debía estar basado en materiales económicos y accesibles, que pudieran ser fácilmente adquiridos en ferreterías locales. La adaptabilidad y compatibilidad del filtro con el resto de los elementos del SCALL también fueron elementos clave en la redefinición del enfoque del proyecto. Así, se buscó una solución accesible y funcional que mantuviera la eficiencia del sistema de captación y, al mismo tiempo, redujera significativamente los costos asociados a los filtros comerciales.

Diseño y análisis de nuevas alternativas

Se exploraron diversas alternativas utilizando materiales accesibles de plomería, como válvulas y accesorios. Se evaluaron en función del costo, eficiencia de filtrado y facilidad de mantenimiento, comparando los filtros comerciales con los de fabricación propia. La fabricación interna resultó ser la opción más viable, ya que reducían costos y ofrecían mayor flexibilidad.

Validación del diseño

Las configuraciones del filtro fueron sometidas a pruebas preliminares dentro del campus de la UCA. Las simulaciones permitieron evaluar su efectividad en la retención de contaminantes y la mejora de la calidad del agua. Los resultados ayudaron a ajustar y perfeccionar las configuraciones para garantizar el cumplimiento de los parámetros de eficiencia y mantenimiento.

La estructura del trabajo, partiendo de lo anteriormente expuesto, incluye:

- Marco teórico: Establece los fundamentos necesarios acerca de la captación de aguas lluvias y sistemas de filtración.
- Propuesta de filtros: Presenta una serie de propuestas alternativas de filtros caseros en donde se evalúa su viabilidad técnica y económica.
- Modelo conceptual: Desarrolla un modelo general aplicable a un SCALL.
- Aplicación del modelo conceptual: Adapta el modelo para diseñar la propuesta de SCALL del edificio NZEB.
- Análisis de resultados: Aborda el desempeño de las diferentes propuestas de filtros considerando costo y viabilidad.
- Conclusiones y recomendaciones: Plantea conclusiones sobre resultados y análisis además de las respectivas recomendaciones relacionadas a la construcción, mantenimiento e implementación del SCALL.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El sistema de captación de aguas lluvias hace referencia a un proceso y/o estrategia sostenible que se basa en la acción de recolectar, almacenar y reutilizar el agua proveniente de las precipitaciones. En esencia, refiere a un conjunto de componentes y accesorios (llámese canaletas, tubos, filtros, tanques, entre otros) que funcionando como uno solo, aseguran el abastecimiento del recurso hídrico ante la demanda mundial (Reyes & Rubio, 2014). Ver Figura 2.1.

El SCALL inicia su proceso en los techos, en donde el agua que escurre en ellos desciende hacia canaletas y tuberías las cuales la recolectan y dirigen hacia un punto de concentración destinado ya sea para su eliminación o almacenamiento; mediante la intervención de tuberías y filtros se conduce el agua y se eliminan los materiales residuales (Carranza, B., 2023).

Durante la temporada de lluvias, un sistema de captación correctamente implementado, representa una solución sostenible que contribuye de manera significativa en la mitigación de problemas relacionados con la escasez hídrica y en la fomentación de buenas prácticas sostenibles (ROTOPLAS, 2024). Según la FAO, "la captación, almacenamiento y uso del agua de lluvia se ha transformado en una estrategia de adaptación frente a las sequías que se vienen acentuando en la región por efectos del cambio climático" (Belelli E. & Vázquez L., s.f.).

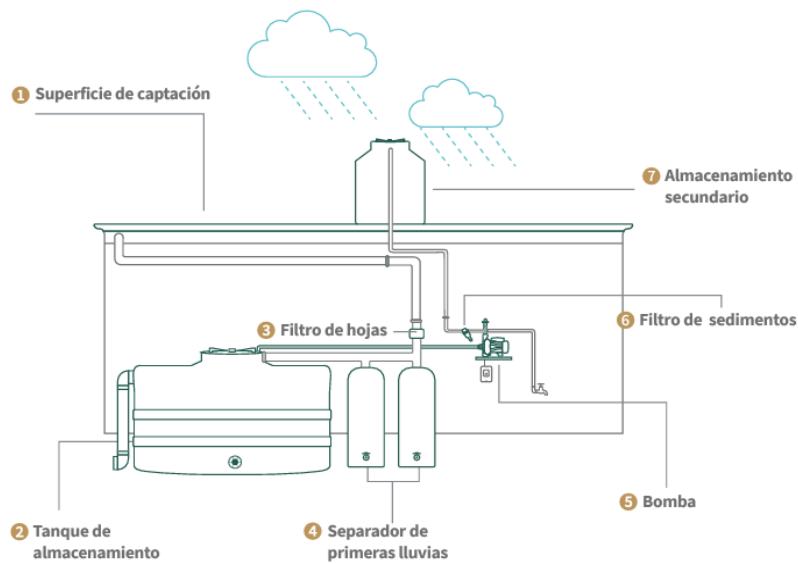


Figura 2.1 Sistema modelo de captación de aguas lluvias. Fuente: [Sedema CDMX, s.f (2025)]

Según la Sedema, un SCALL puede ser diseñado de manera general dependiendo del uso y fin último que se le quiera dar al agua recolectada. Dichos usos pueden clasificarse en tres categorías:

- Captación de techos limpios para usos potables (contacto y consumo humano).
- Captación de techos para usos no potables (sanitarios, limpieza, riego, uso industrial).
- Captación de paisaje, calles o pisos para infiltración al subsuelo o uso agrícola.

Para el presente proyecto, considerando el hecho de que el sistema que se quiere proponer para la Universidad supone una prueba piloto de captación relativamente sencilla, se trabajó con un diseño de captación de techos para uso distinto a consumo humano, pensado de tal manera que cumpla con los requisitos mínimos de economía, funcionalidad y vida útil duradera, claro esto, dependiendo en gran medida del mantenimiento regular y cuidado.

En el ámbito educativo, la implementación de este tipo de sistemas persigue dos propósitos claves: reducir costos operativos asociados al consumo de agua potable optimizando recursos en actividades como el riego de áreas verdes (ver Figura 2.2); así mismo convertirse en una herramienta pedagógica que busca hacer conciencia a los estudiantes y demás personal acerca de la importancia de la gestión sostenible de los recursos hídricos, fomentando prácticas responsables y promoviendo el conocimiento aplicado en sostenibilidad.



Figura 2.2 SCALL en una escuela. Fuente: [Sedema CDMX, s.f. (2025)]

2.1 Lineamientos técnicos de diseño

En construcción, el éxito o fracaso de cualquier proyecto depende en gran medida del criterio y enfoque técnico con que se realiza el diseño. Para el caso de un SCALL, dicho enfoque técnico es el que, a la hora de implementarse, garantizará la eficiencia y la sostenibilidad del proyecto.

Los lineamientos técnicos de diseño son esenciales, puesto que son ellos los que dictan los criterios a partir de los cuales se van a definir las características y componentes del sistema, es decir, la capacidad de almacenamiento, los materiales utilizados, las configuraciones del filtro y los canales de recolección.

Si dichos lineamientos van de la mano con un correcto proceso constructivo, el resultado final asegurará un diseño funcional y una construcción efectiva, adaptados a las condiciones y necesidades específicas del entorno y del proyecto mismo.

Ya que el presente trabajo trata únicamente sobre los SCALL, a continuación, se presenta cuáles según el Resumen Ejecutivo de la Guía Técnica para el diseño de SUDS en el AMSS, son las consideraciones mínimas necesarias para un diseño de este tipo (Artola, C., Alfaro, J., Escalante, W., Maldonado, A., 2022).

- Características de la zona de proyecto
- Creación de modelo conceptual
- El proyecto SUDS
- Informe final de diseño

2.2 Proceso constructivo de un SCALL

El proceso constructivo brinda los pasos necesarios para materializar el sistema partiendo de la instalación de los elementos de captación hasta la disposición de los tanques de almacenamiento, filtros y tuberías de distribución. Según la FAO “El proceso constructivo de un SCALL debe enfocarse en maximizar la eficiencia hidráulica y garantizar la calidad del agua recolectada, priorizando técnicas sostenibles y materiales accesibles” (FAO, 2013).

Aunque en el presente trabajo el enfoque principal gira en torno al diseño de la propuesta, a continuación, se presenta una idea general aplicada a un SCALL, haciendo mención de una serie de etapas que van desde la planificación y el diseño hasta la construcción y el mantenimiento.

A continuación, se proporciona una guía general de cómo llevar a cabo la construcción de un SCALL en 17.80 m² al costado ESTE del edificio NZEB.

Planificación y diseño: Considerada la etapa inicial, implica en primera instancia la identificación y selección del sitio a intervenir, considerando en el proceso la topografía, puntos de acceso e impacto respecto a su entorno. Para el diseño del sistema, se definirá la estructura del mismo, incluyendo componentes, almacenamiento y distribución del agua; así como también diseño estético y paisajismo si lo requiriera.

Permisos gubernamentales: En este caso no aplica, puesto que se trata de un proyecto para la Universidad que supone una prueba piloto de captación sencilla.

Preparación del sitio.

- Conlleva la inspección de sitio para modificación de sistema de drenaje existente; para este proyecto refiere a la limpieza y desalojo del canal de ALL y bajantes ALL ya existentes en el NZEB.
- Excavación para tubería según diseño, creando pendiente necesaria.
- No es requerido mejorar la calidad del suelo.

Construcción del SCALL

- Ubicación de tanques
- Remoción y limpieza de adoquín existente
- Instalación de tuberías, conexiones y válvulas necesarias para el correcto flujo del agua; así como la instalación del sistema de filtrado, entiéndase esto como los filtros de hojas y filtros de sedimentos respectivamente.
- Reinstalación de adoquín en zona de intervención

Pruebas y simulaciones

- Una vez el SCALL está completamente instalado, se deberá verificar que el agua fluya correctamente a través de las canaletas, bajantes y filtros.
- Revisión del correcto funcionamiento de conexiones y sistema de almacenamiento

Mantenimiento de todo el sistema

- Mantenimiento dos veces al año como mínimo
- Inspeccionar y limpiar los filtros y las canaletas para evitar obstrucciones y la acumulación de residuos.
- Registro de datos sobre la gestión del agua y eficiencia del SCALL

2.3 Filtros

Un filtro de agua es un dispositivo diseñado para eliminar diversas impurezas, como bacterias, sedimentos, y partículas contaminantes, con el objetivo de garantizar que el agua sea apta para el uso previsto, ya sea para consumo humano, riego, actividades domésticas, entre otros. Para alcanzar este objetivo, los filtros emplean diversos mecanismos, como barreras físicas y métodos químicos, que actúan de manera complementaria para eliminar las impurezas o como agentes de retención parcial o total de dichas sustancias contaminantes. Los filtros pueden variar en tamaño, complejidad y eficiencia, dependiendo del tipo de impurezas que deben remover y de los requerimientos específicos de cada sistema.

Además de los filtros convencionales, existen tecnologías avanzadas como la filtración por membranas, que ofrecen una eliminación más efectiva de microbios y contaminantes a niveles más pequeños. Estas tecnologías han incrementado la calidad del agua tratada, haciendo posible su uso en áreas donde el acceso a agua potable es limitado o la contaminación es elevada.

“La filtración con medios granulares fue un procedimiento ampliamente utilizado en las culturas hindú, egipcia y romana. A pesar de haber sufrido algunas modificaciones, esta se mantiene en la actualidad como una de las tecnologías fundamentales en el tratamiento de agua en todo el mundo. El componente más importante de un filtro granular es el medio filtrante, la escogencia del medio depende del tamaño de sus partículas” (Cadavid, J. & Zúñiga, D., 2009).

2.3.1 Filtración por gravedad

Como su nombre lo indica, este tipo de filtros opera gracias a la acción de la fuerza de gravedad sobre el agua que atraviesa el lecho. El agua fluye de manera natural hacia abajo, pasando a través de una capa de material filtrante que retiene las partículas contaminantes. Se caracteriza por tener grandes áreas superficiales y estar abiertos a la atmósfera en su parte superior, lo que permite una fácil entrada

de aire y la circulación del agua sin necesidad de bombeo. Este tipo de sistema es eficiente, simple y de bajo costo, ya que no requiere equipos adicionales ni fuentes de energía externa, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde la energía es limitada o se busca una solución ecológica.

Filtro de grava: Este tipo de filtro se basa en hacer pasar el agua a través de capas de grava de diferentes tamaños, por la acción de la gravedad para la retención de partículas sólidas; busca aprovechar la filtración natural, utilizando una mayor cantidad de material filtrante y diferentes granulometrías para optimizar la eficiencia en la eliminación de impurezas. Su funcionamiento simple y su bajo costo de operación lo hacen adecuado para un SCALL en donde se busca un enfoque más sostenible y económico (Arias, B. & Gonzabay, J., 2022).

Filtro separador de sedimentos: Los filtros de sedimentos tienen como objetivo mejorar la calidad del agua mediante la reducción de sedimentos (más pequeños que el diámetro nominal de los agujeros de la malla instalada en los canales pluviales), suciedad y otras partículas suspendidas. Esto se logra a través de una barrera física (Arias, B. & Gonzabay, J., 2022).

2.3.2 Filtración mecánica

La filtración mecánica es un proceso físico que elimina contaminantes del agua mediante un medio que actúa como barrera para partículas suspendidas, la idea general es retener partículas de diversos tamaños, como residuos sólidos, hojas, ramas, o demás materiales que no pueden atravesar los poros o aberturas del filtro.

Filtro separador de hojas: El filtro separador de hojas utiliza rejillas o mallas instaladas en canales pluviales para retener partículas grandes. El agua filtrada se dirige al siguiente sistema de tratamiento.

CAPÍTULO 3. PROPUESTAS DE FILTRO PARA SCALL

Con el fin de optimizar la calidad del agua recolectada, garantizar la eficiencia operativa y reducir costos se plantean a continuación una serie de alternativas de filtros caseros evaluados en función de su desempeño, fabricación y mantenimiento.

3.1 Filtro de grava con válvulas antirretorno

Para que el diseño un filtro de grava sea funcional, es necesario que este sea capaz de retener los contaminantes que puedan atravesar el ancho nominal de la rejilla metálica instalada en el canal de aguas lluvias del techo; el filtro debe ser fácilmente desmontable de manera que permita realizar de forma eficiente el mantenimiento y la limpieza correspondiente. La propuesta de filtro considerada para este proyecto, se diseñó de tal manera que cumpliese con los requisitos anteriormente mencionados; se optó por utilizar dos válvulas antirretorno, una serie de bolsas de grava de 3/4" y 3/8" y una pieza de malla galvanizada con grava de 3/8" (dichos elementos se pueden adquirir en cualquier ferretería del mercado).

Estas válvulas están equipadas con una tapadera rosicable y un empaque capaz de soportar presiones, la idea general consiste en instalar las válvulas en una tubería de 4 pulgadas fijándolas con pegamento especial; a través de su tapadera se realizará la introducción y extracción de los filtros de grava, lo cual facilitará el acceso y mantenimiento. Ver Figura 3.1.



Figura 3.1 Válvula antirretorno de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2024)]

El interior de la válvula presenta una serie de figuras irregulares lo que dificulta la cobertura total del espacio interno. Para resolver este inconveniente, se planteó utilizar una serie de bolsas de grava de 3/4" y 3/8" en una válvula y una pieza de malla galvanizada con grava de 3/8" en la otra válvula. Importante considerar el hecho de que ambas opciones pueden combinarse de manera híbrida, según lo propuesto, o implementarse de forma uniforme en ambas válvulas, optando únicamente por la pieza de malla galvanizada o las bolsas de malla textil con zipper.

3.1.1 Válvula antirretorno con pieza de malla galvanizada

Debido a las figuras irregulares del espacio interno de la válvula fue necesario diseñar plantillas que permitieran adaptar la superficie interna de la válvula. Se utilizó papel y cartón para crear un despiece detallado y generar la armazón base, tal y como se muestra en la Figura 3.2.



Figura 3.2 Elaboración de plantillas para válvula antirretorno. Fuente: [Elaboración propia (2024)]

Con las plantillas obtenidas mostradas en la Figura 3.3, se elaboraron las piezas correspondientes en malla galvanizada de 5mm x 5mm; con ayuda de una tijera para laminas se realizaron los cortes de manera precisa para posteriormente unirlas mediante alambre de amarre entre pliegues. (Ver Figura 2.1.)

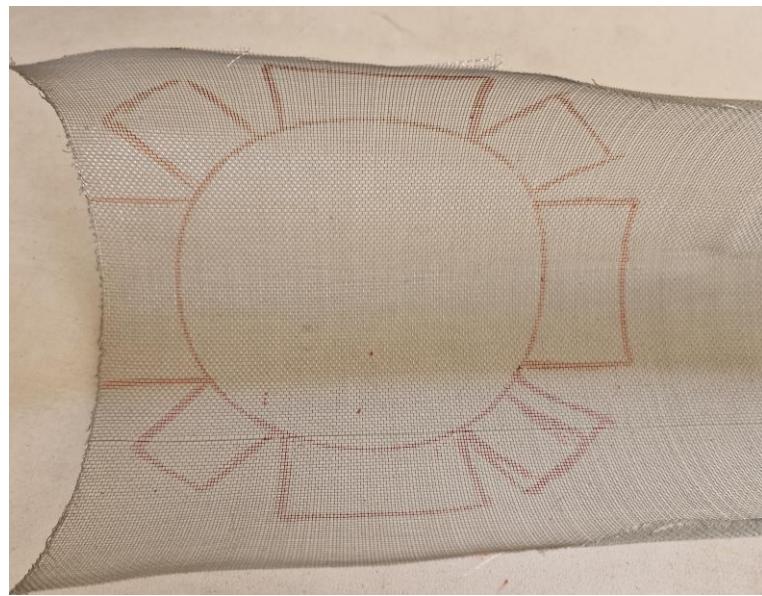


Figura 3.3 Elaboración de plantilla en malla metálica. Fuente: [Elaboración propia (2025)]



Figura 3.4 Corte de malla galvanizada. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Partiendo del hecho de que la calidad de agua almacenada es el parámetro que dicta que material es el adecuado para elaborar el filtro, se optó por utilizar para este proyecto grava #1 como agregado grueso, también conocida en el país como "chispa". La grava se introduce en la malla galvanizada antes de cerrar completamente la forma, una vez colocada la última pieza, se asegura la figura mediante alambre de amarre para garantizar su funcionamiento sin perdidas del agregado grueso tal y como se muestra en la Figura 3.5 y Figura 3.6.



Figura 3.5 Prueba de dimensionamiento de filtro. Fuente: [Elaboración propia (2025)]



Figura 3.6 Colocación de argolla para extracción de filtro. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

La Figura 3.7 muestra cómo una vez finalizada la pieza de malla galvanizada, esta es introducida en la válvula de retorno de modo que el ajuste entre ambos elementos sea uniforme.



Figura 3.7 Válvula antirretorno con filtro de grava. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

3.1.2 Válvula antirretorno con bolsas de malla textil con cierre

Al igual que el caso anterior, considerando las irregularidades del espacio interno de la válvula, para poder determinar de manera precisa la geometría de la malla de retención (pensada para interceptar y contener las bolsas de malla textil llenas de chispa y evitar su arrastre hacia el fondo de la tubería) fue necesario definir el área de fijación entre malla y válvula utilizando la plantilla de la armazón base previamente elaborada; al determinar la forma exacta de uno de los lados de la válvula fue posible asegurar la conformidad entre malla y superficie de sujeción; una vez determinada la forma, empleando tijeras de lámina, se realizó el corte de la pieza de malla galvanizada de 5mm x 5mm.

Para maximizar la fijación entre malla galvanizada y válvula, tras obtener la pieza con tamaño y terminación deseada, se colocó pegamento de PVC en todo el perímetro del orificio de la válvula de modo que la superficie de contacto entre malla y válvula fuera lo suficientemente uniforme para que ambas quedasen adheridas correctamente. (Ver Figura 3.8).

Posterior a la aplicación del pegamento se agregó un sistema de fijación mecánica compuesta por arandelas planas galvanizadas con empaque de 3/16" y tornillos golosos #8 3/4" mostrado en la Figura 3.9 (este último seleccionado cuidadosamente para evitar perforaciones profundas que pudiesen comprometer la estructura principal de la válvula). Importante considerar el hecho de que si se desea prevenir posibles fugas el tornillo no debe exceder el ancho de pared de la válvula, en caso de no disponer de un tornillo con dichas dimensiones se deben colocar múltiples arandelas de modo que se

logre compensar el exceso de longitud y se asegure un ajuste firme y amigable entre todos los elementos.



Figura 3.8 Sección de válvula antirretorno con malla galvanizada de refuerzo. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

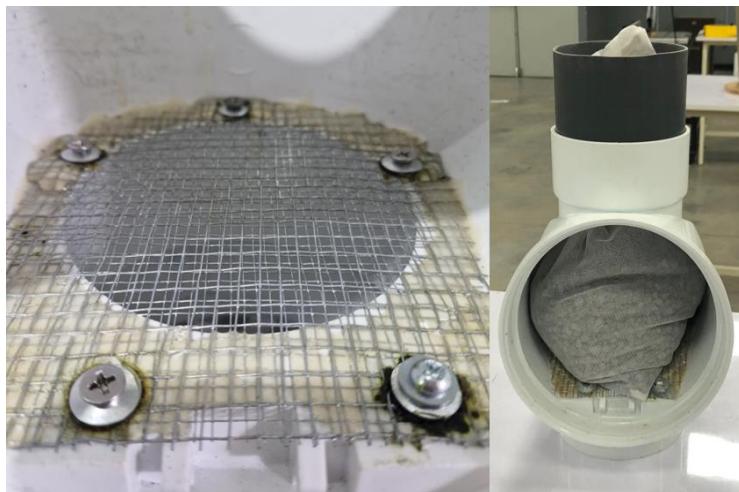


Figura 3.9 Componentes de filtro: malla reforzada y filtro con bolsa de malla textil. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Al igual que en el diseño del filtro anterior, para el segundo filtro también se utilizó chispa como agregado grueso; la diferencia radica en que, en esta ocasión, se optó por utilizar bolsas plásticas con cierre tipo zíper para encapsular el agregado tal y como se muestra en la Figura 3.10.

La idea general consiste en introducir las bolsas llenas de chispa y que estas sirvan como medio filtrante; se estima que la válvula es capaz de soportar hasta tres bolsas apiladas verticalmente en la tubería. Ver Figura 3.11.



Figura 3.10 Bolsa de malla textil con grava #1. Fuente: [Elaboración propia (2025)]



Figura 3.11 Elementos que componen el filtro para la válvula antirretorno. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

En la Figura 3.12 se muestra la estructura general que adoptaría el filtro una vez se halla introducida la bolsa de malla textil con grava en la válvula antirretorno.



Figura 3.12 Colocación de bolsa de malla textil con grava en la válvula antirretorno. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

El costo estimado para la fabricación de cada filtro es de aproximadamente \$63.34, considerando que un auxiliar contratado bajo un servicio profesional sin prestaciones laborales dedicaría media jornada para su fabricación. Este precio incluye tanto el costo de los materiales como el de la válvula antirretorno necesaria para el funcionamiento del filtro. Ver Figura 3.13.



Figura 3.13 Sección de válvulas. Malla galvanizada y bolsa de malla textil. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

A continuación, en la Tabla 3.1 se presenta un desglose detallado de los costos asociados a la producción de cada filtro.

Tabla 3.1 Desglose de precio por unidad de fabricación de filtro de grava con válvula antirretorno.

Clave	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Subtotal
1.00	FILTRO DE GRAVA				
1.01	Malla galvanizada de 5x5x36 plg	1.00	yarda	\$3.95	\$3.95
1.02	Bolsa de grava #1 (chispa)	2.00	bolsa	\$2.60	\$5.20
1.03	Papel, cartón, tirro, entre otros	1.00	SG	\$2.25	\$2.25
1.04	Alambre de amarre calibre 22	0.33	lb	\$1.90	\$0.63
1.05	Válvula antirretorno de PVC, con tapadera rosicable	1.00	unidad	\$35.91	\$35.91
1.06	Pegamento de	1.00	unidad	\$2.50	\$2.50
1.07	Arandela plana galvanizada con empaque 3/16”	5.00	unidad	\$0.13	\$0.65
1.08	Tornillo goloso #8 3/16”	5.00	unidad	\$0.06	\$0.30
1.09	Mano de obra por fabricación de filtro de grava	0.50	jornada	\$18.00	\$9.00
1.10	Bolsa de malla textil con zipper	1.0	unidad	\$2.95	\$2.95
Total de Costo Directo (US\$)					\$63.34

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Simulación y ejecución de pruebas

Primera prueba

La primera prueba fue realizada en la UCA, en donde por practicidad, se construyó a menor escala un montaje experimental en donde se evaluó la disposición que idealmente deberían tener las válvulas, de manera que estos pudiesen integrarse de forma satisfactoria al resto de elementos del SCALL. En la Figura 3.14 se muestra encerrado en color cian la parte de la estructura que se utilizó para la prueba la cual estaba compuesta por un tubo vertical y dos válvulas antirretorno.

Se colocó una válvula antirretorno, 1.2 metros de tubo de PVC y como filtro se utilizó una malla plástica con zipper para almacenar la grava #1. Priorizando el cuidado de las válvulas, únicamente se utilizó cinta gris para sus uniones y no pegamento, ya que éstas debían ser utilizadas en el proyecto. Una vez ensamblado el sistema, con la ayuda de una manguera se dejó caer agua en la parte superior del tubo de 4”, una vez iniciada la prueba, se observó como el flujo del agua se mantuvo constante, es decir, el agua corría con facilidad y no había estancamiento en el filtro, además de ello, el sistema no presentó fugas en sus uniones por lo que la prueba pudo considerarse exitosa.



Figura 3.14 Sistema a escala para prueba de filtros con 2 válvulas antirretorno. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Segunda prueba

La segunda prueba se realizó en la UCA, en el área verde situada frente a las aulas D y al laboratorio de Mecánicas de Suelos.

En esta ocasión, con la finalidad de recrear el sistema sifón, se utilizaron dos tubos más, los cuales se unieron mediante codos a 90° de PVC y cinta gris. Se ensamblaron 2 válvulas antirretorno en las que una contenía el filtro de grava con malla galvanizada según Figura 3.7 del presente documento y la otra el filtro de grava utilizando la bolsa de malla textil “con zipper” según Figura 3.10.

Utilizando una manguera, se simuló el flujo de agua lluvia. El sistema no presentó fugas en las uniones con cinta gris y funcionó correctamente mediante vasos comunicantes, permitiendo que el agua drenara a través del extremo corto del sifón. Ver Figura 3.15 y Figura 3.16.

Al retirar los filtros, se observó que la grava del filtro con malla metálica no estaba completamente húmeda, a diferencia del filtro con malla plástica, en el que toda la grava estaba uniformemente húmeda; esta diferencia se debió a que, aunque el filtro con malla galvanizada fue elaborado con plantilla, al colocar la válvula en posición vertical en lugar de horizontal, se generó un pequeño espacio por donde el agua circuló sin entrar en contacto con el filtro. Por lo tanto, se observó que era más factible utilizar filtros con malla plástica, puesto que estos aseguran una mejor distribución de agua.



Figura 3.15 Prueba de los filtros de grava en la válvula antirretorno. Fuente: [Elaboración propia (2025)]



Figura 3.16 Demostración del funcionamiento del sifón del SCALL. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

3.2 Filtro de grava – accesorio YEE DE PVC

Con el objetivo de ofrecer una alternativa accesible para la captación de aguas lluvias, especialmente dirigida a personas de bajos recursos o a ser implementada en escuelas de zonas rurales, la propuesta de filtro contempla la posibilidad de mantener los mismos componentes empleados en la propuesta de filtro anterior, es decir, conectores, tubería de 4” y bolsas de malla textil con zipper llenas de grava #1, la única diferencia radica en que para este caso se utilizan dos accesorios Yee de PVC de 4” en lugar de las dos válvulas antirretorno. Ver Figura 3.17



Figura 3.17 Materiales y componentes elaborados para el filtro con accesorio Yee de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Accesorios YEE DE PVC

Dado que la forma del accesorio permite dividir el flujo del agua o combinarlo dependiendo de cómo este se conecte a las tuberías, se propuso como una alternativa adicional a las válvulas antirretorno, la incorporación de dos accesorios Yee de PVC que conectados de forma vertical formaran parte de un nuevo filtro. Ver Figura 3.18.



Figura 3.18 Accesorio Yee de PVC seleccionado para la elaboración del filtro. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

3.2.1 Accesorio Yee de PVC con parrilla de malla galvanizada y bolsa de malla textil

El sistema funciona conectando verticalmente dos accesorios Yee de PVC; “según Figura 3.19” el primer accesorio permite introducir las mallas textiles con grava #1, mientras que el segundo permitirá extraer las bolsas de malla textil cuando se realice el mantenimiento.

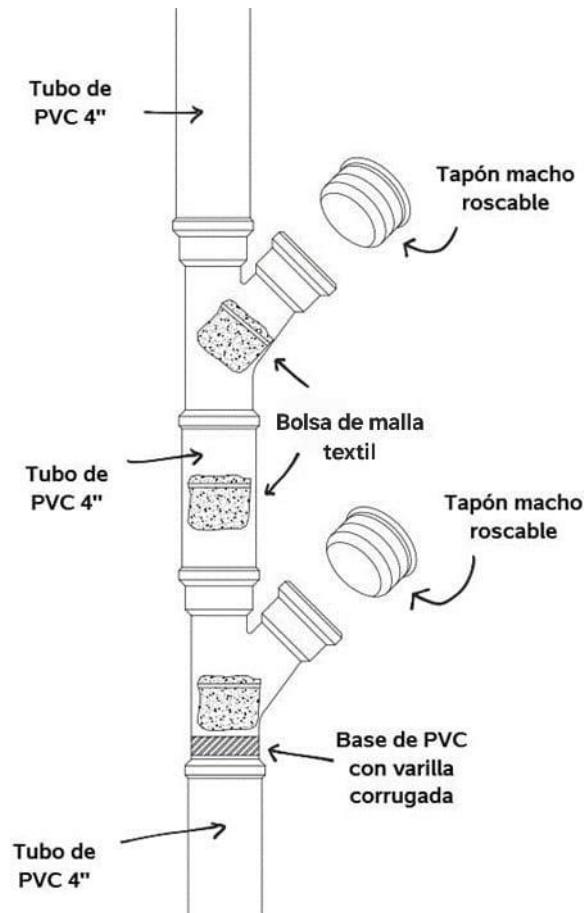


Figura 3.19 Esquema de los componentes y funcionamiento de los filtros. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Para evitar que las bolsas se deslicen a través de la tubería, se instaló una base de PVC tipo parrilla con malla galvanizada en el segundo accesorio Yee de PVC, de manera que se retenga el peso de las bolsas con grava. La entrada y salida de cada Yee de PVC consta de tres elementos esenciales; un tubo de PVC que conecta la Yee de PVC con el tapón, un adaptador hembra roscable y un tapón macho roscable.

Las mallas textiles se acumularon en la base de PVC con la malla galvanizada tal como se ilustra en la Figura 3.26.

Elaboración de filtro – Prototipo #1

Para la elaboración de este filtro se utilizó una Yee de PVC de PVC de 4”, de la cual se obtuvo la altura de la “balona” (4.3 cm) según Figura 3.20 y la altura del accesorio hembra (6.5 cm) según Figura 3.21; dando como resultado un trozo de PVC de 10.8 cm.



Figura 3.20 Toma de medidas de la balona del accesorio Yee de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

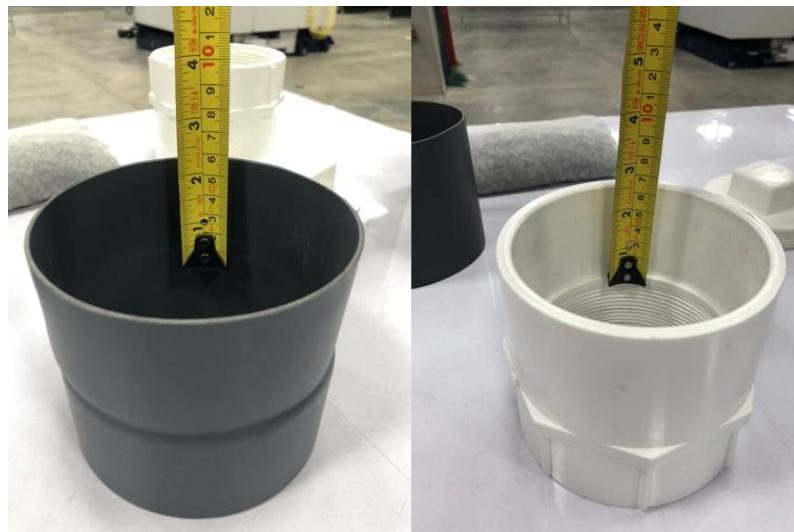


Figura 3.21 Toma de medidas para unión de tubo y tapón hembra. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Al tratarse de un filtro experimental, inicialmente se realizaron pruebas con varillas de hierro dulce de 3/32". Con la ayuda de una plantilla y un diseño específico de distribución de longitudes a lo largo del ancho del tubo, se cortaron las varillas a medida. El objetivo de este proceso fue asegurar que el tubo pudiera introducirse fácilmente en la balona de la Yee de PVC. Ver Figura 3.22.

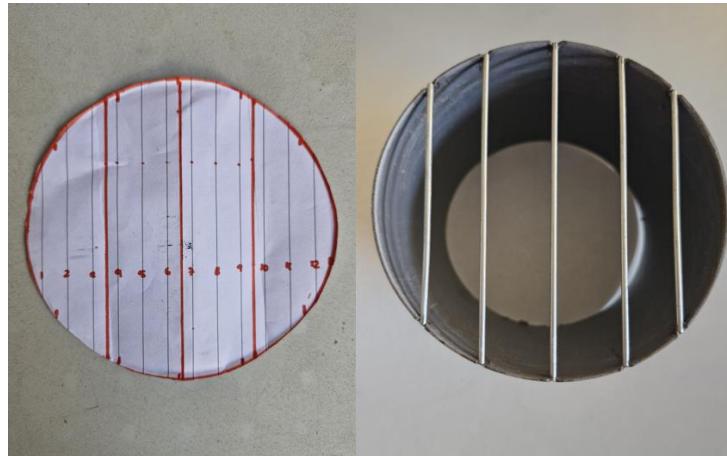


Figura 3.22 Plantilla para corte y colocación de varillas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Para realizar las ranuras en el borde superior del tubo y colocar las varillas, se empleó calor, calentando los extremos de las varillas hasta derretir el PVC, según Figura 3.23. Es crucial tener en cuenta que la superficie debe ser lijada y limpia adecuadamente antes de adherir las varillas al PVC con pegamento. En este caso, se utilizó un pegamento epóxido bicomponente para asegurar una unión sólida. Ver Figura 3.24.

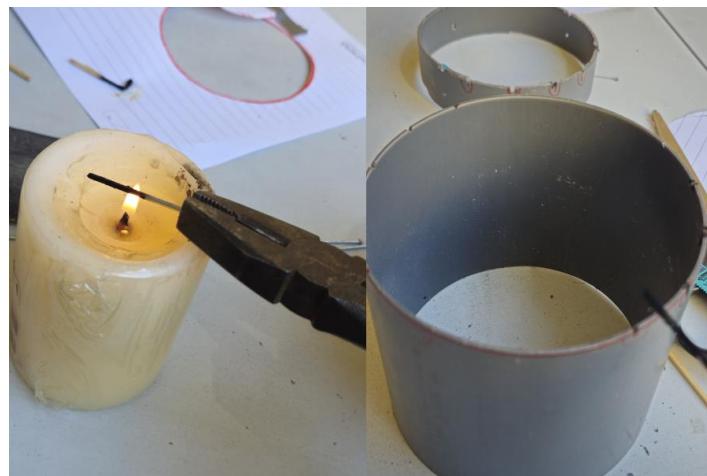


Figura 3.23 Proceso de perforación de PVC a calor para colocar varillas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]



Figura 3.24 Sección de las varillas cortadas e instaladas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Posteriormente se realiza la plantilla de corte en la malla metálica, el círculo debe de tener pestañas que servirán para afianzar la malla al tubo, según Figura 3.25.

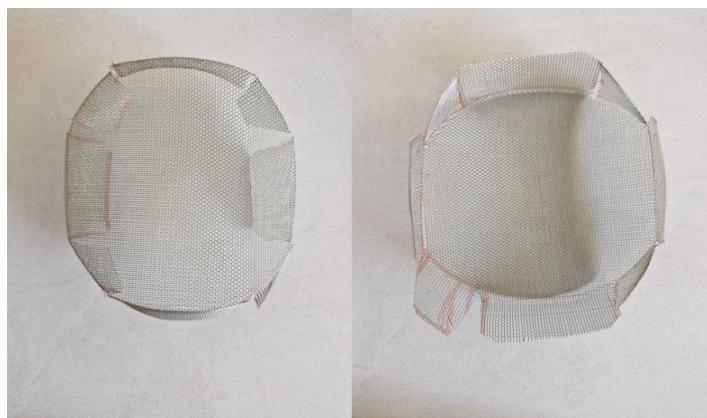


Figura 3.25 Corte de malla metálica con pestañas de fijación. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

La malla metálica es colocada sobre las varillas previamente pegadas en la parte superior del tubo, según Figura 3.26. Las pestañas deben de ir por la parte interna del tubo, ya que cualquier incremento en el diámetro externo del tubo no permitirá introducirlo en la balona de la Yee de PVC. En el borde de la malla se colocó silicón industrial para baños de alta resistencia para poder tener mejor adherencia con las varillas y evitar derramamientos por los bordes del tubo o infiltraciones en la Yee de PVC.

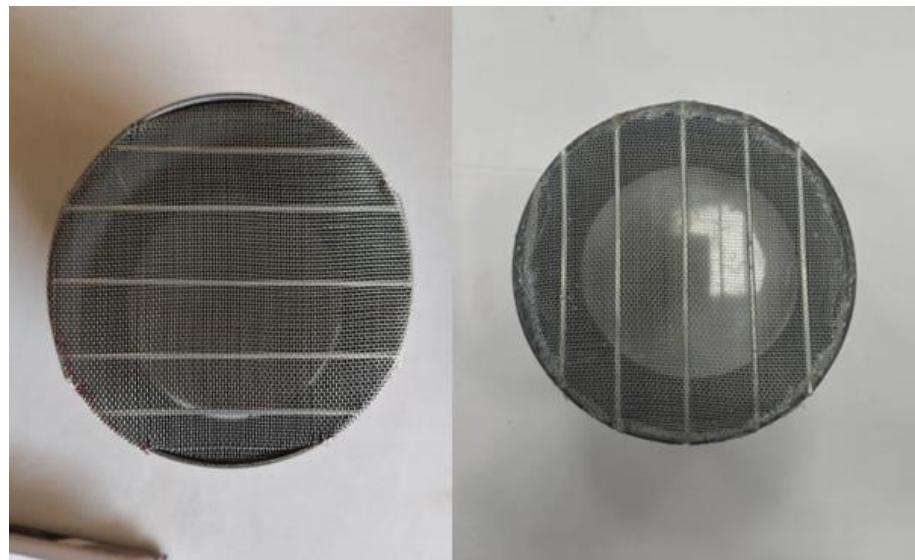


Figura 3.26 Base #1 realizada con tubo de 4" de PVC, malla metálica y varillas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Una vez seco el pegamento se introdujo la base de refuerzo en la parte inferior del accesorio Yee de PVC, según Figura 3.27; posterior a ello, se instaló la bolsa de malla textil con grava en el accesorio Yee de PVC para prueba de resistencia, según Figura 3.28.



Figura 3.27 Instalación de base de refuerzo en accesorio Yee de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2025)]



Figura 3.28 Instalación de bolsa de malla textil y grava en accesorio Yee de PVC para prueba de resistencia. Fuente:
[Elaboración propia (2025)]

Para realizar la prueba, en el laboratorio CEDITEC se ensamblaron los tubos utilizando codos de PVC a 90° y cinta gris, con el objetivo de simular el funcionamiento del sistema sifón. Luego, se instalaron los dos accesorios Yee de PVC y se prepararon las bolsas de malla textil con grava como puede observarse en la Figura 3.29.



Figura 3.29 Prueba del SCALL a menor escala con 2 accesorios Yee de PVC y filtros con bolsa de malla textil. Fuente:
[Elaboración propia (2025)]

A continuación, se retira el tapón del primer accesorio Yee de PVC y se deja caer la bolsa con grava. Sin embargo, debido al impacto y el peso de esta, las varillas de hierro dulce se desalinearon de sus ranuras tal y como se observa en la Figura 3.30. Esto demostró que el sistema no funciona correctamente con ese tipo de rejilla, por lo que se concluyó que es necesario reforzar el diseño para garantizar su efectividad.

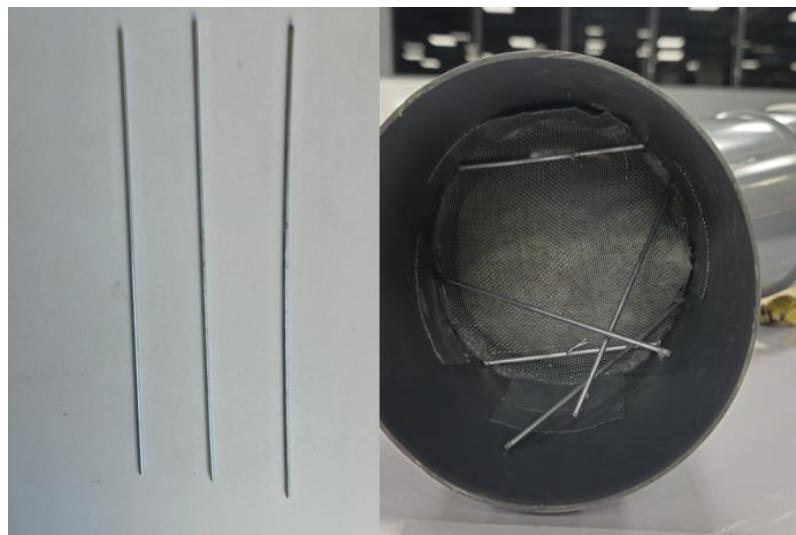


Figura 3.30 Falla en la base de varillas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Elaboración de filtro – Prototipo #2

Como segunda alternativa se verificaron los posibles puntos de falla del cilindro, para poder reforzarlos o mejorarlos. A partir de dicho análisis surgió lo siguiente.

- Utilizar un tubo con más espesor. Se optó por cambiar de tubo de bajo flujo a alto flujo, donde el espesor aumenta 3 mm.
- Cambiar las varillas de hierro dulce galvanizadas por varilla roscada galvanizada de 5 mm, según Figura 3.31.
- Utilizar pegamento para PVC y silicón industrial de alta resistencia, según Figura 3.33.
- Utilizar malla 4x4 mm galvanizada sin elaboración pestañas, únicamente apoyada y sujetada con alambre de amarre a las varillas roscadas, según Figura 3.33.
- Colocar soportes o tacos de refuerzo hechos de tubo de PVC como parches que abracen las varillas roscadas por la parte de abajo, dando más soporte y estabilidad a las varillas, Estos deberán ser pegados únicamente con pegamento de PVC, según Figura 3.32.

- Agregar silicon que recubra los tacos de refuerzo, el perímetro del tubo de PVC, las conexiones de las varillas roscadas y el borde superior que cubra el contorno de contacto de la malla con el tubo. Ver Figura 3.34.



Figura 3.31 Elaboración de segunda base con varillas corrugadas y tacos de PVC de soporte. Fuente: [Elaboración propia (2025)]



Figura 3.32 Instalación de la base reforzada de PVC con varillas corrugadas y malla galvanizada. Fuente: [Elaboración propia (2025)]



Figura 3.33 Recubrimiento de la base con silicón industrial para evitar fugas. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

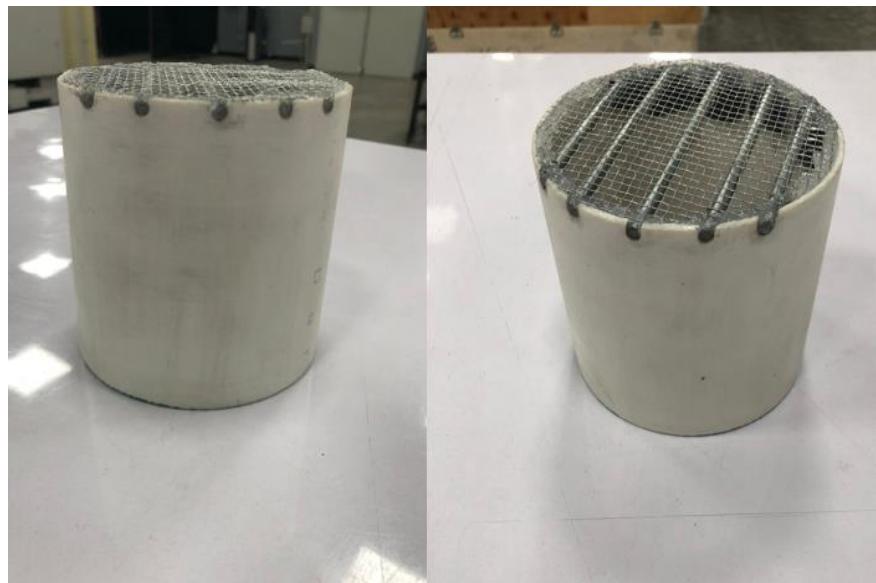


Figura 3.34 Secciones de la base de refuerzo, cortes de varilla según perímetro del tubo. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Con el nuevo diseño de base parrilla se ensamblan las piezas y se vuelve a realizar la misma prueba descrita anteriormente, el resultado de esta prueba mostró que la base es capaz de resistir.

El costo estimado para la fabricación de cada filtro es de aproximadamente \$46.77, considerando que un auxiliar contratado bajo un servicio profesional sin prestaciones laborales dedicaría media jornada para su fabricación. Este precio incluye tanto el costo de los materiales como y la fabricación de la

base para soportar las bolsas de malla textil de grava. En la Tabla 3.2 se muestra a continuación, un desglose detallado de los costos asociados a la producción de cada filtro.

Tabla 3.2 Desglose de precio por unidad de fabricación de filtro de grava con accesorio Yee.

Clave	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Subtotal
1.00	FILTRO DE GRAVA				
1.01	Malla galvanizada de 5 mm x 5 mm	1.00	yarda	\$3.95	\$3.95
1.02	Bolsa de grava #1 (chispa)	2.00	bolsa	\$2.60	\$5.20
1.03	Tubo PVC campana 80PSI de alto flujo de 4"	1.00	m	\$3.25	\$3.25
1.04	Accesorio Yee de PVC de PVC 4"	1.00	unidad	\$4.40	\$4.40
1.05	Pegamento de	1.00	unidad	\$2.50	\$2.50
1.06	Varilla roscada galvanizada de 5 mm x 1.00 m	1.00	unidad	\$0.75	\$0.75
1.07	Alambre de amarre calibre 22	0.33	lb	\$1.90	\$0.63
1.08	Lija de agua #100	1.00	unidad	\$0.68	\$0.68
1.09	Silicón industrial de alta resistencia	1.00	unidad	\$3.66	\$3.66
1.10	Accesorio tapón hembra con unión lisa/rosuada de 4"	1.00	unidad	\$4.90	\$4.90
1.11	Accesorio tapón macho roscable de 4"	1.00	unidad	\$4.90	\$4.90
1.12	Mano de obra por fabricación de filtro de grava	0.50	jornada	\$18.00	\$9.00
1.13	Bolsa de malla textil con zipper	1.00	unidad	\$2.95	\$2.95
Total de Costo Directo (US\$)				\$46.77	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4. MODELO CONCEPTUAL DE UN SCALL

Una vez definida y seleccionada la propuesta de filtro más adecuada, se procedió a establecer un modelo conceptual que pudiese tomarse como guía a la hora de definir los parámetros necesarios para poder implementar el SCALL. Este modelo busca garantizar la eficiencia del sistema en términos de recolección, conducción y almacenamiento, considerando criterios de viabilidad técnica y sostenibilidad.

4.1 Modelo conceptual

El sistema de captación de aguas lluvias descrito a continuación está compuesto por diversos componentes que funcionan de manera integrada para recolectar, filtrar, almacenar y distribuir el agua de lluvia de forma eficiente. El propósito de este modelo es maximizar el uso del agua recolectada en el riego de los jardines adyacentes al edificio NZEB, logrando a su vez la reducción del consumo de agua potable destinada a esa actividad en específico.

Zona de captación: Es el área inicial del sistema donde el agua lluvia es recolectada. Generalmente para este tipo de sistemas el techo de las edificaciones es el que actúa como la superficie que capta el agua. La inclinación y las características del techo son factores importantes para garantizar un flujo eficiente del agua hacia el canal de drenaje; en esencia, se debe garantizar que toda el agua que caiga sobre el techo pueda ser desalojada correctamente, considerando que, entre mayor sea la pendiente mejor será la captación de lluvia (ver Figura 4.1). Es importante conocer el tipo de material, ya que el coeficiente de escorrentía a utilizar para cálculos posteriores depende de ello.

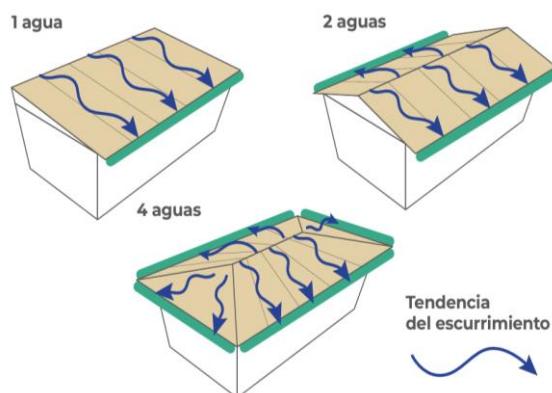


Figura 4.1 Tendencia de escurrimiento en diferentes tipos de techo. Fuente: [Téllez, C., Mocva, R., González, C. & Centeno, J., (2022)]

Primer filtro: Se instala un primer agente de filtración que es una rejilla metálica en la conexión del canal de aguas lluvias y el inicio de las bajas para capturar hojas, ramas y otros desechos grandes que puedan obstruir el sistema o contaminar el agua. En este caso, se consideró un filtro de hojas. Ver Figura 4.2.

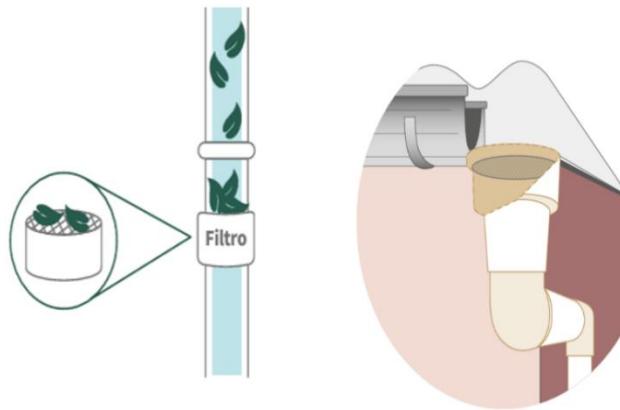


Figura 4.2 Ejemplos de filtro de hojas. Fuente: [Téllez, C., Mocva, R., González, C. & Centeno, J., (2022)].

Canal de aguas lluvias: Una vez que el agua es captada por el techo y se han separado en la gran mayoría los contaminantes de mayor tamaño en el primer filtro, el agua fluye a través de un canal de aguas lluvias de PVC. Este canal, generalmente instalado en el borde del techo, dirige el agua hacia el siguiente componente del sistema (ver Figura 4.3). El canal debe ser lo suficientemente amplio para manejar el volumen de agua recolectado durante las lluvias intensas.

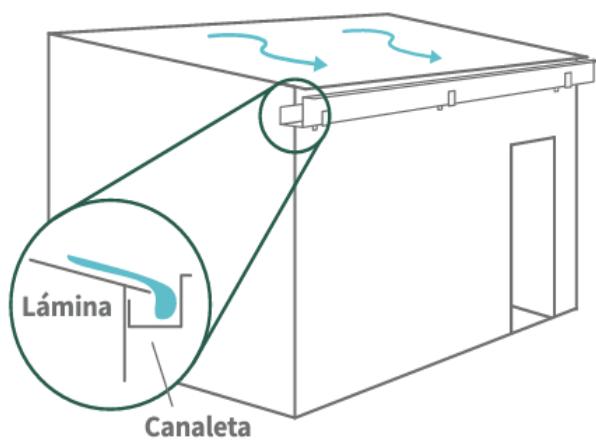


Figura 4.3 Canal de aguas lluvias. Fuente: [Sedema CDMX, s.f. (2024)]

Tuberías y conectores: El agua pasa del canal de aguas lluvias a una tubería de PVC por medio de una boquilla. Los cambios de pendiente y dirección de la tubería se generan por medio de accesorios llamados codos y el ensamble de los tubos por medio de conectores de PVC. Estos mismos conectores sirven de unión entre los tubos y el segundo filtro.

Segundo filtro: Este componente funciona como una barrera física y su función principal es retener partículas más pequeñas, como sedimentos menores que el ancho nominal de los agujeros de la rejilla metálica no puede retener y otras impurezas que podrían contaminar el agua como polvo o excremento de animales antes de que llegue al sistema de almacenamiento. Estos filtros, comúnmente son hechos de materiales como grava, arena o carbón activado. Los filtros pueden ser de distintos tipos según el material utilizado y el grado de pureza que se necesita tener en el agua a almacenar.

Tanques de Almacenamiento: El agua filtrada es almacenada en tanques que actúan como reservorios de agua para su posterior uso. Los tanques deben ser de material resistente, como el , que garantiza durabilidad y evita la corrosión. Estos tanques también deben contar con un sistema de sellado adecuado para evitar la contaminación del agua y el crecimiento de microorganismos.

Distribución: Finalmente, el agua almacenada en los tanques es distribuida a través de tuberías de menor diámetro, terminando en una llave de paso la cual servirá para conexión de actividades de riego.

4.2 Modelo de instalación hidráulico

Cuando se quiere implementar un SCALL en una estructura que ya cuenta con elementos, dimensiones, disposiciones y ubicaciones ya establecidas, es importante determinar de qué manera el sistema se va a integrar de modo que este sea compatible con todo lo ya existente. La integración adecuada asegura que el nuevo sistema no interfiera con la funcionalidad de los elementos ya presentes y que no sea necesario modificar la infraestructura de forma drástica. A partir de ello, surge la necesidad de desarrollar un modelo hidráulico que contemple conceptual y técnicamente el comportamiento que el agua debería tener dentro del SCALL, incluyendo el flujo a través de las tuberías, la recolección y almacenamiento en los tanques, así como la eficiencia del sistema de filtración.

El objetivo general de este modelo es básicamente asegurar que el agua lluvia recolectada fluya correctamente a través de los diferentes componentes del SCALL; para ello se debe considerar la

distribución de las tuberías, caudales, presiones, donde se desea ubicar los filtros, cuál será el punto de captación, cuáles son las dimensiones de los elementos hidráulicos, etc. De igual manera, se debe contemplar la disposición de cada componente en función de la topografía y las condiciones del terreno, con el fin de optimizar el flujo y garantizar que no se presentarán bloqueos o pérdidas de eficiencia.

Requerimientos mínimos

- El diseño debe aprovechar la gravedad como principal mecanismo de conducción, reduciendo la necesidad de bombeo. Este enfoque no solo disminuye el consumo energético, sino que también simplifica la operación y reduce los costos asociados al mantenimiento de equipos mecánicos, haciendo que el sistema sea más accesible y sostenible a largo plazo. La gravedad permite que el agua fluya de manera eficiente sin la necesidad de dispositivos adicionales, lo cual es clave para garantizar la viabilidad del sistema a nivel económico y técnico.
- La inclusión de filtros debe optimizar la calidad del agua almacenada y prevenir obstrucciones en el sistema. Los filtros, además de ser eficientes en la remoción de contaminantes como sólidos suspendidos y otros materiales orgánicos, deben ser diseñados para minimizar la frecuencia y complejidad del mantenimiento. Es esencial que estos filtros permitan una fácil limpieza y sean duraderos para garantizar un flujo constante de agua, sin comprometer la capacidad del sistema. La instalación de filtros adecuados también contribuye a la prolongación de la vida útil de los componentes del SCALL.
- La disposición de los elementos del SCALL debe ser funcional y accesible. La ubicación de los tanques, las tuberías y los filtros debe facilitar su inspección y mantenimiento sin requerir intervenciones complejas o costosas. Además, se debe considerar la accesibilidad para usuarios y operadores, permitiendo que las tareas de mantenimiento se realicen de forma eficiente y sin riesgo de daños a la infraestructura existente. Este diseño accesible asegura que el sistema pueda ser operado de manera autónoma por los usuarios sin necesidad especialización de personal.
- El sistema de conducción debe garantizar la salida adecuada del agua lluvia y evitar estancamientos. Esto significa que las tuberías, canales y demás componentes deben ser diseñados de tal manera que permitan un flujo continuo, incluso durante intensas precipitaciones. Se deben emplear pendientes adecuadas, materiales resistentes y mecanismos de evacuación eficientes para que el agua no se acumule en puntos críticos del sistema, lo que podría causar daños o una disminución en la efectividad del SCALL. Es fundamental que el sistema sea capaz de adaptarse a distintas condiciones meteorológicas sin comprometer su funcionamiento.

CAPÍTULO 5. REVISIÓN Y ADAPTACIÓN DE LA PROPUESTA

La Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA) presentó en 2022 un trabajo de graduación titulado “Proyecto demostrativo de captación de aguas lluvias. Elaboración de propuesta y evaluación de sitios para realizarlo” (Artola, C., Alfaro, J., Escalante, W., Maldonado, A., 2022), en el que se evaluaron áreas, investigaciones previas y requisitos específicos de tres edificios dentro del campus. El estudio incluyó cálculos de ahorro de agua derivados de la implementación de un sistema de captación, además de realizar presupuestos preliminares para seleccionar la opción más viable. La alternativa seleccionada fue la del Edificio de Energía Neta Cero (NZEB), lo que sentó las bases para el diseño de un sistema que se desarrolló hasta contar con una propuesta técnica, esquemas detallados y un presupuesto preliminar.

El sistema propuesto en dicho trabajo consiste en captar las aguas lluvias del techo del edificio NZEB mediante un canal de lámina galvanizada, dirigido a una bajada de aguas lluvias que conecta a un tanque de almacenamiento de 8000 litros. El sistema también incluye un equipo de bombeo para facilitar la transferencia del agua hacia el tanque y dos tipos de filtros: una rejilla adaptada en la bajada para capturar hojas y un filtro para sedimentos, según especificaciones del catálogo del fabricante Rototec (s.f.), distribuido por Vidrí. Esta propuesta es la base sobre la que se plantea el ajuste y optimización del sistema, considerando tanto los recursos disponibles como los estándares de sostenibilidad que promueve la Universidad.

El presente trabajo tiene como objetivo ajustar y mejorar el sistema de captación de aguas lluvias para el edificio NZEB, tomando en cuenta los aspectos técnicos, operativos y presupuestarios previamente definidos. A través de un análisis de los cálculos de captación, el rediseño de los componentes del sistema, actualización de los costos de operación y mantenimiento, se busca garantizar la eficiencia a largo plazo del sistema, maximizando el ahorro de agua y contribuyendo a la sostenibilidad de la Universidad con la elaboración de nuevas propuestas de filtro que puedan ser empleadas en el SCALL del edificio NZEB o en un sistema autónomo domiciliar.

5.1 Esquemas de ubicación

Es fundamental ubicar adecuadamente el sistema de captación de aguas lluvias, ya que se busca no obstruir el paso en las entradas principales del Edificio NZEB y facilitar su mantenimiento. Las

figuras: Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3 y Figura 5.4 muestran las áreas propuestas para la ejecución del sistema, asegurando su integración adecuada al diseño del edificio.

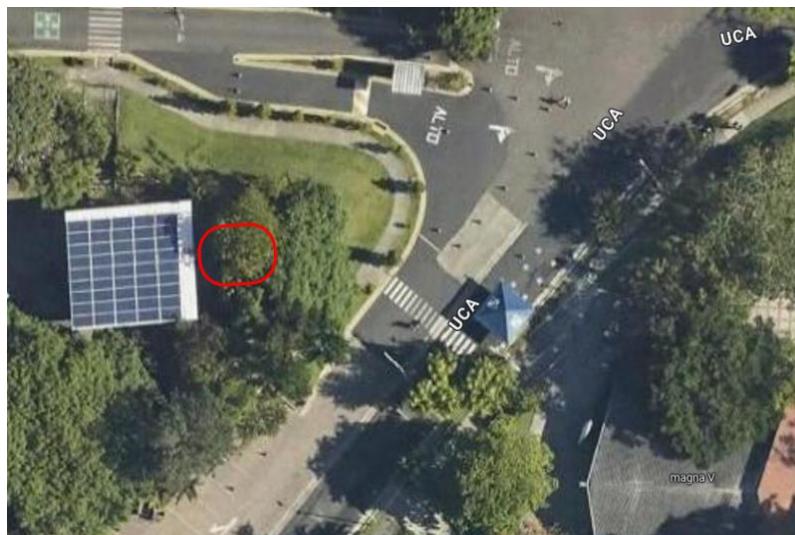


Figura 5.1 Vista superior. Ubicación general propuesta para la ejecución del SCALL. Fuente: [Google maps (2025)]



Figura 5.2 Vista lateral edificio NZEB UCA. Propuesta de ubicación. Fuente: [Elaboración propia (2024)]



Figura 5.3 Vista lateral edificio NZEB UCA. Propuesta de ubicación. Fuente: [Elaboración propia (2024)]



Figura 5.4 Vista lateral hacia el edificio NZEB UCA. Propuesta de ubicación. Fuente: [Elaboración propia (2024)]

5.2 Levantamiento y evaluación de sitio

Como parte de las primeras etapas del proyecto se realizó un levantamiento in situ con el objetivo de evaluar las condiciones físicas del área a intervenir, el estado del techo y el estado del sistema de conducción de aguas lluvias existente en el edificio NZEB. Esta visita permitió recopilar datos

preliminares esenciales que se consideraron a la hora de reevaluar el diseño propuesto en el trabajo de graduación anterior y verificar si sería o no necesario realizar una adaptación del SCALL a partir de las características actuales del sitio. Ver Figura 5.5, Figura 5.6 y Figura 5.7.

Durante la inspección, se verificó la disposición y estado de las canaletas y bajadas de ALL existentes, diámetros de tuberías y demás componentes del sistema, se tomaron medidas de las paredes del edificio y se determinó la ubicación de las cajas de ALL.

Además de ello, se estableció:

- Área de intervención: 17.80 m² al costado del edificio NZEB (considerando adoquinado ya existente).
- Área de captación: 100 m² de techo del edificio NZEB ubicado en la UCA.
- Área de riego propuesta: Parqueo anexo y talud adyacente al edificio NZEB-UCA.

La recopilación de estos datos se realizó utilizando cintas métricas y registros fotográficos; esto permitió obtener un diagnóstico detallado de la infraestructura existente.



Figura 5.5 Visita de reconocimiento de área, edificio NZEB UCA. Fuente: [Elaboración propia (2024)]



Figura 5.6 Visita de reconocimiento de área, edificio NZEB UCA. Fuente: [Elaboración propia (2024)]



Figura 5.7 Visita de reconocimiento de área, edificio NZEB UCA. Fuente: [Elaboración propia (2024)]

5.3 Ejecución del SCALL en base a modelo conceptual

Captación y conducción de ALL

Se identifica el techo del edificio NZEB como la principal superficie de captación de agua, debido a su inclinación, área y material, los cuales favorecen el escurrimiento del agua hacia las bajadas de aguas lluvias. Este techo, al contar con una pendiente adecuada, optimiza la recolección de las precipitaciones, canalizándolas eficientemente hacia el sistema. El edificio cuenta actualmente con

dos bajadas de aguas lluvias de 4" en la fachada principal, pero, debido a la ubicación seleccionada para la ejecución del proyecto, que está en el costado noreste, será necesario modificar el sistema de captación actual.

Para adaptar el sistema, se eliminarán ambas bajadas existentes y se realizarán dos uniones de ancla para crear una nueva bajada en la esquina propuesta. La tubería de 4" actuará como el conducto principal para el ingreso del agua lluvia al sistema de almacenamiento. Para garantizar su estabilidad y evitar movimientos indeseados, se fijará a la pared del edificio utilizando abrazaderas de sujeción, minimizando así las vibraciones y desplazamientos. Además, se tomará en cuenta la disposición y accesibilidad de la tubería para facilitar su mantenimiento y asegurar un flujo constante.

Filtración y control de flujo

En la parte superior del sistema, específicamente en la conexión entre el canal de aguas lluvias y el inicio de las bajadas, se instalará un primer filtro que consta de una rejilla metálica, diseñada para capturar hojas, ramas y demás residuos grandes que puedan obstruir el flujo del agua. Este filtro actuará como un primer mecanismo de filtrado, previniendo la acumulación de material orgánico que podría obstruir la tubería o afectar la eficiencia del sistema de almacenamiento. Posteriormente, el agua seguirá su flujo de forma vertical y llegará a un segundo filtro más específico que garantizará una filtración más detallada de las partículas pequeñas, protegiendo los tanques de almacenamiento.

Considerando temas de costos, instalación y mantenimiento, se optó por utilizar el prototipo #2 de filtro de grava con accesorios Yee de PVC descrito en el apartado 3.2.1. Este tipo de filtro es adecuado tanto por su bajo costo como por su capacidad para retener partículas pequeñas sin necesidad de componentes costosos o complicados. Una vez adaptado el filtro, parte de la tubería de 4" se instalará de manera subterránea, permitiendo que el agua fluya por gravedad y actúe como un sifón, asegurando un flujo eficiente hacia el sistema de almacenamiento sin requerir energía adicional para el transporte del agua.

Almacenamiento y distribución

El agua filtrada se dirigirá hacia dos tanques de 2500 L (ver Figura 5.8) cada uno, los cuales estarán dispuestos sobre una superficie adoquinada ya existente. Esta base proporcionará una estructura sólida y resistente para los tanques, asegurando que se mantengan estables durante la operación del

sistema. Los tanques estarán interconectados, lo que permitirá que el volumen total de 5000 L se distribuya de manera equilibrada, evitando que alguno de los tanques se sobrecargue y garantizando una distribución eficiente del agua almacenada. Además, la interconexión permitirá que el agua fluya entre los tanques de forma controlada, asegurando que se mantenga la capacidad máxima en todo momento.

Para la distribución del agua, se instaló una válvula de salida al costado de los tanques, facilitando el acceso al agua almacenada. Desde ahí, se distribuirá el agua de lluvia a través de una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada que llegará a un grifo, lo que permitirá utilizar el agua de manera controlada para diversas aplicaciones como el riego de áreas verdes o la limpieza de superficies, asegurando una gestión eficiente del recurso.

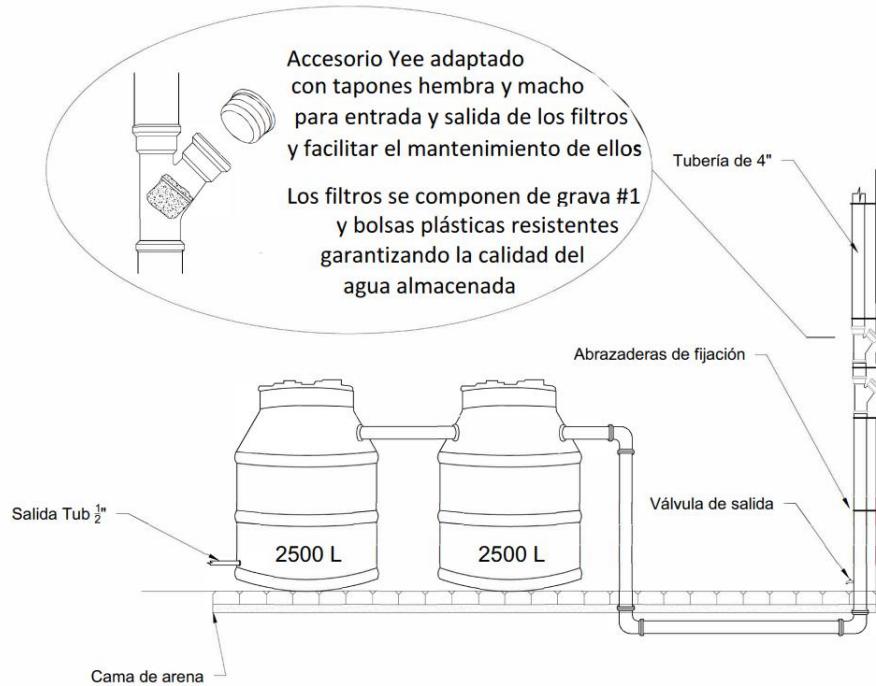


Figura 5.8 Esquema del SCALL modelo propuesto con dos accesorios Yee de PVC como filtros. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

5.4 Elaboración de planos y esquemas

Para la elaboración de los esquemas y planos del SCALL propuesto, se realizó un levantamiento detallado de la información del edificio NZEB, utilizando el software AutoCAD para la creación de archivos DWG, PDF y PNG, que fueron utilizados a lo largo del trabajo de graduación. Los esquemas generados abarcan diversos aspectos, como el dimensionamiento del SCALL, la ubicación de los

tanques de almacenamiento de agua de lluvia y la integración de los filtros, todo esto, considerando las limitaciones y obstáculos presentes en la zona de intervención, como la proximidad a otras estructuras y la necesidad de cumplir con normativas de seguridad.

La ubicación de los tanques de almacenamiento fue determinada en función de la disponibilidad de espacio, teniendo en cuenta elementos estructurales y obstáculos presentes en el área, lo que requirió adaptaciones específicas al diseño propuesto. La decisión final se basó en un análisis de accesibilidad para mantenimiento, optimización del flujo de agua y minimización de posibles interferencias con otras instalaciones del edificio, lo que garantizó la viabilidad del proyecto.

Además, se desarrollaron esquemas de referencia de los accesorios utilizados para la construcción de los filtros, los cuales fueron basados en explicaciones proporcionadas por los asesores de tesis y en imágenes de referencia obtenidas de fuentes confiables en internet. Estos esquemas fueron fundamentales para asegurar que los componentes del filtro se ensamblaran correctamente y se ajustaran a las necesidades específicas del sistema de captación.

La precisión de los archivos DWG facilitó la cuantificación de materiales, permitiendo obtener mediciones exactas de longitudes y áreas, lo que a su vez ayudó a optimizar el proceso de adquisición y reducir el desperdicio de recursos. Con esta información detallada, se pudo asegurar que los materiales necesarios para la construcción del sistema de captación y los filtros fueran los adecuados, mejorando la eficiencia del sistema y controlando los costos de implementación.

5.5 Presupuesto en base al modelo conceptual

Los presupuestos que a continuación se presentan consideran únicamente limpieza, hidráulica y acabados, no incluidos instalaciones eléctricas, aportación de bombas, sistema de riego y costos por mantenimiento.

La Tabla 5.1 muestra el presupuesto detallado de la propuesta del SCALL con dos válvulas antirretorno. El costo utilizado de estas válvulas está desglosado en la Tabla 3.1

Mientras que la Tabla 5.2 muestra el presupuesto detallado de la propuesta del SCALL con dos accesorios Yee de PVC. El costo utilizado en tipo de filtro está desglosado en la Tabla 3.2.

Tabla 5.1 Presupuesto completo de propuesta de SCALL con válvula antirretorno

 PROYECTO: Propuesta de SCALL para edificio NZEB UCA PROPIETARIO: Universidad Centroamericana José Simeón Cañas UBICACIÓN: Bulevar Los Próceres, Antiguo Cuscatlán, La Libertad						
Clave	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Subtotal	
0	SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS					
1.00	LIMPIEZA DEL TERRENO	1.00	SG	\$100.00	\$100.00	
1.01	Limpieza y desalojos					
2.00	INSTALACIONES HIDRÁULICAS					
2.01	Trazo y nivelación	18.00	m	\$1.55	\$27.90	
2.02	Modificación a canal de ALL existente. Incluye boquilla redonda de 4" de alto caudal, unión para cañoa de PVC para eliminar bajadas existentes, tramos de canal tipo cañoa de PVC	1.00	SG	\$151.04	\$151.04	
2.03	Suministro e instalación de malla en canal de ALL para retención de hojas	15.00	ml	\$5.39	\$80.85	
2.04	Excavación para tubería de 1/2" y 4"	9.12	m	\$7.85	\$71.59	
2.05	Suministro e instalación de tubería de 4" de 64 PSI incluye accesorios	12.00	m	\$19.85	\$238.20	
2.06	Lodocreto al 5% para relleno en canalización de tubería 1/2" y 4". Ancho 0.5 m x 0.20 m	9.12	m	\$14.75	\$134.52	
2.07	Suministro e instalación de filtro de grava con entrada y salida de mantenimiento con accesorios Yee de PVC, incluye base con varilla roscada de 5 mm galvanizada.	2.00	unidad	\$63.34	\$126.68	

2.08	Suministro e instalación de 2 tanques de 2500 L, incluye respiraderos	1.00	SG	\$1,105.00	\$1,105.00			
2.09	Suministro e instalación de tubería de 1/2" PVC de 315 PSI. Incluye accesorios	6.00	m	\$6.73	\$40.37			
2.10	Suministro e instalación de llave de drenaje de 1/2"	1.00	unidad	\$20.00	\$20.00			
2.11	Suministro e instalación de válvula de bola de 1/2"	1.00	unidad	\$35.00	\$35.00			
2.12	Suministro e instalación de grifo para riego	1.00	unidad	\$17.50	\$17.50			
2.13	Desmonte limpieza e instalación de adoquinado en parqueo existente	17.80	m ²	\$30.50	\$542.90			
2.14	Nivelación de base para reinstalación de adoquines. Incluye cama de arena	17.80	m ²	\$6.85	\$121.93			
2.15	Alquiler de andamio doble altura. Incluye marcos, crucetas, acoples, pinos de seguridad, base regulable y cabeza de carga regulable	1.00	mes	\$26.85	\$26.85			
3.00	ACABADOS							
3.01	Letrero con especificaciones del lugar de 2.00x0.80 m	1.00	unidad	\$350.00	\$350.00			
	Total de Costo Directo (USS)							
	IVA (USS) (13%)							
	OTROS IMPUESTOS (USS) (15%)							
	Total (USS)							

Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Tabla 5.2 Presupuesto completo de propuesta de SCALL con accesorio Yee

PROYECTO: Propuesta de SCALL para edificio NZEB UCA					
PROPIETARIO: Universidad Centroamericana José Simeón Cañas					
UBICACIÓN: Bulevar Los Próceres, Antiguo Cuscatlán, La Libertad					
Clave	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Subtotal
0	SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS				
1.00	LIMPIEZA DEL TERRENO	1.00	SG	\$100.00	\$100.00
1.01	Limpieza y desalojos				
2.00	INSTALACIONES HIDRÁULICAS				
2.01	Trazo y nivelación	18.00	m	\$1.55	\$27.90
2.02	Modificación a canal de ALL existente. Incluye boquilla redonda de 4" de alto caudal, unión para cañoa de PVC para eliminar bajadas existentes, tramos de canal tipo cañoa de PVC	1.00	SG	\$151.04	\$151.04
2.03	Suministro e instalación de malla en canal de ALL para retención de hojas	15.00	ml	\$5.39	\$80.85
2.04	Excavación para tubería de 1/2" y 4"	9.12	m	\$7.85	\$71.59
2.05	Suministro e instalación de tubería de 4" de 64 PSI incluye accesorios	12.00	m	\$19.85	\$238.20
2.06	Lodocreto al 5% para relleno en canalización de tubería 1/2" y 4". Ancho 0.5 m x 0.20 m	9.12	m	\$14.75	\$134.52
2.07	Suministro e instalación de filtro de grava con entrada y salida de mantenimiento con accesorios Yee de PVC, incluye base con varilla roscada de 5 mm galvanizada.	2.00	unidad	\$46.77	\$93.54

2.08	Suministro e instalación de 2 tanques de 2500 L, incluye respiraderos	1.00	SG	\$1,105.00	\$1,105.00			
2.09	Suministro e instalación de tubería de 1/2" PVC de 315 PSI. Incluye accesorios	6.00	m	\$6.73	\$40.37			
2.10	Suministro e instalación de llave de drenaje de 1/2"	1.00	unidad	\$20.00	\$20.00			
2.11	Suministro e instalación de válvula de bola de 1/2"	1.00	unidad	\$35.00	\$35.00			
2.12	Suministro e instalación de grifo para riego	1.00	unidad	\$17.50	\$17.50			
2.13	Desmonte limpieza e instalación de adoquinado en parqueo existente	17.80	m ²	\$30.50	\$542.90			
2.14	Nivelación de base para reinstalación de adoquines. Incluye cama de arena	17.80	m ²	\$6.85	\$121.93			
2.15	Alquiler de andamio doble altura. Incluye marcos, crucetas, acoples, pinos de seguridad, base regulable y cabeza de carga regulable	1.00	mes	\$26.85	\$26.85			
3.00	ACABADOS							
3.01	Letrero con especificaciones del lugar de 2.00x0.80 m	1.00	unidad	\$350.00	\$350.00			
	Total de Costo Directo (USS)							
	IVA (USS) (13%)							
	OTROS IMPUESTOS (USS) (15%)							
	Total (USS)							

Fuente: [Elaboración propia (2025)]

5.1 Cronograma de ejecución en base al modelo conceptual.

La Tabla 5.3 muestra el cronograma de actividades para la ejecución del SCALL en el edificio NZEB.

Tabla 5.3 Cronograma de actividades para la ejecución de propuesta de SCALL en edificio NZEB

DIAS	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD	SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS ILLUVIAS											
		DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11	DIA 12
2.00	Orden de inicio, emisión de órdenes de compra de materiales y contratación de mano de obra												
1.00	Limpieza del lugar, limpieza de canal de all existente, desalojo, trazo y nivelación												
1.00	Inspección de sitio para modificación de sistema de drenaje existente												
2.00	Recepción de materiales en sitio, colocación de rejilla para retención de hojas, adaptación de nueva bajada con tubería de 4" y filtros de sedimentos												
1.00	Ubicación preliminar de tanques, remoción y limpieza de adoquín existente en zona de intervención												
1.00	Excavación para tubería de 4" y 1/2"												
2.00	Instalación de tubería de 4" y 1/2", y llave de desague de tubería subterránea												
8.00	Relleno con lodo creto al 5% para protección de tuberías												
2.00	Reinstalación de adoquín en zona de intervención para tubería de 4" y 1/2"												
1.00	ubicación de tanques, conexión de accesorios de salida para ambos tanques de almacenamiento												
1.00	Elaboración de letrero con especificaciones del lugar y grifo para riego												
1.00	Instalación de letrero y grifo para riego												
1.00	Pruebas para verificar el correcto funcionamiento del sistema de captación												

Fuente: [Elaboración propia (2025)]

5.2 Mantenimiento del SCALL en base al modelo conceptual

La importancia del mantenimiento de todo sistema gira en torno a la prevención y/o tratamiento de problemas que pueden surgir como consecuencia de averías, desgaste de elementos o bien, por fallos operativos que impliquen incurrir en altos costos de reparación.

Para el caso de los SCALL, un correcto y adecuado mantenimiento es esencial ya que de ello depende la eficiencia del sistema y la calidad del agua recolectada a lo largo del tiempo. Para minimizar riesgo de obstrucciones y problemas de fugas es necesario ejecutar inspecciones anuales o periódicas en las que se verifique el estado de las tuberías, el canal de ALL y el sistema de almacenamiento. Las actividades de limpieza en tanques y filtros también forman parte del mantenimiento.

El mantenimiento del sistema de captación de aguas lluvias propuesto en el presente trabajo se ha planteado para realizarse 2 veces al año. A continuación, se muestra un manual de mantenimiento pensado para que funcione como una guía que los trabajadores de la UCA pueden utilizar para a la hora de llevar a cabo esta actividad

Primer filtro: Rejilla en canal de ALL

- Paso 1: Con las manos y usando guantes para evitar lastimarse, sacar las hojas y ramas que pueden estar obstaculizando el paso del agua por las rejillas. Pasar una escobilla de cerdas finas duras o plásticas para raspar la mugre pegada. Tal y como se muestra en la Figura 5.9.



Figura 5.9 Retiro de hojas de canal de aguas lluvias. Fuente: [Pedro Mendoza, (2024)]

- Paso 2: Se deberá lavar las rejillas con abundante agua; para ello utilizar una manguera con boquilla de pistón o una hidro lavadora, la presión del agua lavará y arrastrará los residuos y la mugre suelta por los cepillos, secuencialmente en el mismo tiempo de lavado, para obtener una mayor profundidad de limpieza se recomienda seguir cepillando la rejilla. Tal y como se muestra en la Figura 5.10

Nota: Antes de realizar los lavados abrir la llave de estancamiento para evitar en la medida de lo posible que el agua de lavado se dirija a los tanques de almacenamiento.



Figura 5.10 Lavado de filtro de rejillas para retención de hojas. Fuente: [Del Toro, (2025)]

Canal y bajada de aguas lluvias

- Paso 1: Lavar el canal con una manguera con boquilla de pistón o una hidro lavadora, esto con el objetivo de eliminar la mugre que haya podido quedar adherida. El hecho de que el canal tenga rejillas adjuntas dificulta el poder alcanzar con una escobilla las paredes y el fondo por lo que la presión del agua será la encargada de ayudar a desprender la suciedad; empleando este método se podrán identificar posibles filtraciones o agujeros que requieran ser reparados. Este proceso se muestra en la Figura 5.11



Figura 5.11 Lavado de canal de aguas lluvias. Fuente: [La Molina, (2019)]

- Paso 2: Importante destacar el hecho de que se deberá observar cuidadosamente si hay alguna gotera o fisura en el canal de aguas lluvias como se muestra en la Figura 5.12, en caso la o las hubiese estas deberán ser tratadas a la brevedad, puesto que cualquier fuga de agua compromete la presión con que esta bajaría por la tubería. El Sello deberá realizarse con un tapagoteras aplicado con pistola o espátula; además, se deberá proteger la cabeza de los tornillos con tapagoteras, ya que es uno de las zonas donde se puede filtrar agua y humedad.



Figura 5.12 Reparación de goteras o fisuras en canal de aguas lluvias. Fuente: [Canalones Burgos, (2023)]

- Paso 3: Posteriormente introducir agua limpia en la parte superior de la bajada de ALL de modo que todas las impurezas sean transportadas en el flujo de agua. (Ver Figura 5.13)

Nota: Es recomendable que durante el mantenimiento del sistema no se afirme ninguna escalera u otro elemento de peso directamente sobre el canal de ALL o sobre una bajada ya que fácilmente podría dañarse.



Figura 5.13 Lavado de bajada de aguas lluvias. Fuente: [Allen Lee, (2024)]

Segundo filtro: Filtro de accesorio YEE DE PVC

- Paso 1: Abrir la tapadera de rosca del filtro inferior para luego extraer con las manos la bolsa con grava #1 retenida en la base del filtro con malla galvanizada; al hacer esto las bolsas del filtro superior caerán al filtro inferior y podrán extraerse de la misma manera. Para comprender mejor las partes y elementos mencionados ver Figura 5.14 y Figura 5.15.
- Paso 2: Posteriormente hacer bajar agua limpia por cada uno de los filtros, de modo que las impurezas retenidas en ellos, se transporten con el flujo de agua.
- Paso 3: Extraer la grava de las bolsas, lavar las bolsas con abundante agua; evaluar el uso de detergente según la suciedad que se encuentre en estas.
- Paso 4: Lavar la grava de manera repetitiva hasta que el agua que salga al colar la grava no esté turbia o con suciedad, esta debe de ser transparente.
- Paso 5: Volver a colocar la grava dentro de las bolsas e introducirlas nuevamente en los filtros de accesorios Yee, posteriormente colocar el tapón para dejar sellados los filtro.

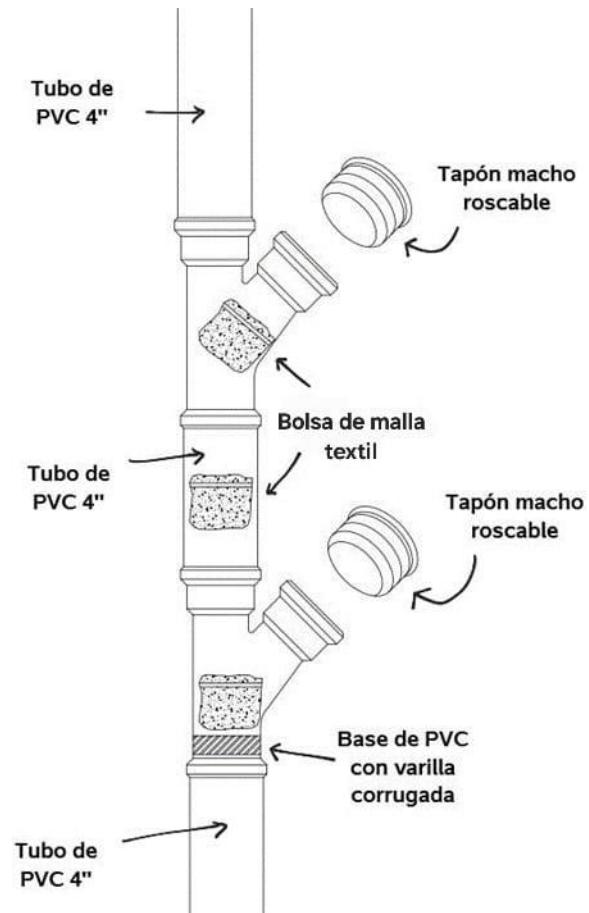


Figura 5.14 Sistema de filtro de sedimentos con accesorio de tubería tipo Yee de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2025)]



Figura 5.15 Bolsa con grava #1 y accesorio de tubería tipo Yee de PVC. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

Filtro de válvulas antirretorno

El mantenimiento adecuado de los filtros de válvulas antirretorno es crucial para garantizar su eficiencia en la retención de impurezas en los sistemas de agua. El proceso de limpieza se puede dividir en varios pasos detallados a continuación:

- Paso 1: Primero, se debe abrir la tapadera de rosca de los filtros para permitir la extracción de las bolsas con grava #1 que se encuentran dentro de ellos. Este paso es importante, ya que la grava juega un papel fundamental en la filtración de impurezas. Tras extraer las bolsas, es recomendable revisar su estado y asegurarse de que no estén dañadas o saturadas. Se debe proceder con la limpieza de las bolsas de grava antes de su reinserción en el sistema. Ver Figura 5.16 que ilustra este proceso de extracción.
- Paso 2: A continuación, es necesario hacer pasar agua limpia por cada uno de los filtros, con el objetivo de eliminar cualquier impureza o residuo que se haya acumulado en las paredes del filtro. Este paso asegura que el sistema mantenga su eficiencia y que las partículas atrapadas sean eliminadas sin dejar residuos dentro de los filtros. Esta acción de limpieza debe repetirse en cada uno de los filtros de manera meticulosa.

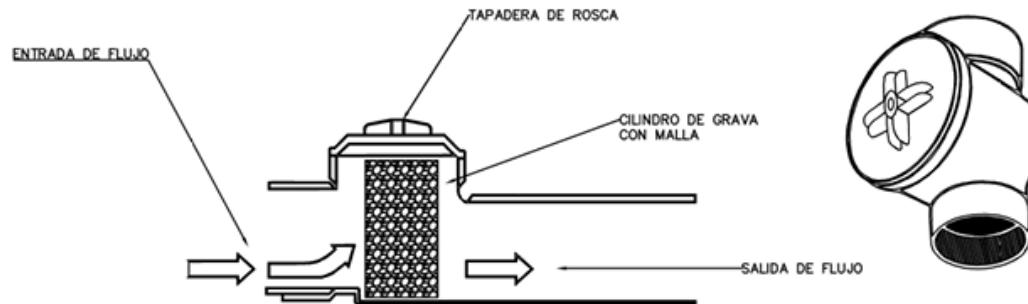


Figura 5.16 Sistema de filtro de sedimentos con válvulas de retorno. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

- Paso 3: El siguiente paso consiste en lavar las mallas con grava utilizando abundante agua. Este proceso debe repetirse varias veces, observando que el agua que salga al colar la grava ya no esté turbia ni contenga suciedad. Un lavado eficaz es esencial para asegurar que las mallas de grava funcionen adecuadamente en la filtración de agua.
- Paso 4: Despues de realizar la limpieza de la grava, se debe proceder a introducir nuevamente las mallas filtrantes dentro de las válvulas, asegurándose de que estén correctamente colocadas. Una

vez posicionados los filtros de grava, se debe colocar el tapón de cierre y sellarlo de forma adecuada para evitar filtraciones o entradas no deseadas de impurezas.

Tanques de Almacenamiento

Los tanques de almacenamiento requieren un mantenimiento regular para asegurar que el agua almacenada esté libre de contaminantes y que el sistema funcione correctamente. El proceso de limpieza del tanque debe llevarse a cabo con cuidado y precisión para mantener la calidad del agua.

- Paso 1: Iniciar la limpieza destapando el tanque y observando las condiciones de la parte interior del mismo utilizando lámparas. La Figura 5.17 ilustra un tanque de almacenamiento, proporcionando un ejemplo visual del proceso. Antes de proceder con la limpieza, es importante verificar que el nivel de agua en el tanque no sea mayor a aproximadamente 20 cm. Si el nivel es superior, se debe abrir la válvula de distribución y extraer el agua hasta alcanzar la altura deseada.



Figura 5.17 Tanque de almacenamiento. Fuente: [BIOHAZARD, (2023)]

- Paso 2: Una vez que el tanque tiene el nivel adecuado de agua, se debe proceder a abrir el desagüe para permitir que el agua se drene. Mientras esto ocurre, se debe proceder a remover y cepillar las paredes internas del tanque con un escobillón y utilizar una manguera o máquina hidro lavadora para facilitar la limpieza. Es esencial realizar un cepillado profundo de todos los componentes del tanque, incluyendo la tapa, el piso y las paredes internas. Además, se deben limpiar las tuberías internas, las cuales suelen acumular hongos y óxido con el tiempo.

- Paso 3: Tras el cepillado, es fundamental enjuagar el tanque con agua potable para eliminar cualquier residuo de suciedad restante. Este paso asegura que el tanque quede limpio y que no queden restos que puedan afectar la calidad del agua almacenada.
- Paso 4: Después de la limpieza, se debe inspeccionar el tanque minuciosamente para verificar su estado físico. Es crucial comprobar la ausencia de fisuras, asegurarse de que el tanque sea hermético y verificar que no haya infiltraciones ni fugas. Si se detectan problemas, deben programarse acciones preventivas y correctivas inmediatas.
- Paso 5: Finalmente, se debe cerrar la válvula de desagüe y verificar que esté bien sellada. Posteriormente, se coloca nuevamente la tapadera del tanque, asegurándose de que todo quede correctamente sellado y en funcionamiento.

Llave de distribución

El mantenimiento de las llaves de distribución es un aspecto fundamental para garantizar la correcta distribución del agua en el sistema. La limpieza de la válvula se lleva a cabo en los siguientes pasos

- Paso 1: Se comienza desmontando la válvula, si es necesario, para facilitar su limpieza. Luego, se debe limpiar la válvula con un cepillo de cerdas duras y un detergente suave, con el fin de eliminar la suciedad y los residuos acumulados. Este paso es importante para evitar que la válvula se obstruya o se deteriore con el tiempo.
- Paso 2: Es fundamental revisar el estado general de la válvula y, si se utiliza para el almacenamiento de agua potable, desinfectarla adecuadamente para asegurar que no se contamine el agua. Además, se debe verificar que no haya daños en la válvula, como fisuras o desgastes que puedan afectar su funcionamiento.
- Paso 3: Tras la limpieza y desinfección, la válvula debe ser reensamblada, asegurándose de que todas las partes estén en su lugar y funcionen correctamente. Es recomendable realizar inspecciones periódicas de la válvula para mantener su rendimiento óptimo y evitar posibles fallos.

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al analizar las alternativas de diseño de filtros caseros propuestos en función de su desempeño y coste, se determinó que, para cada caso, es posible reducir los costos de fabricación sin comprometer necesariamente el rendimiento del sistema. Esta evaluación se centró en diferentes factores, tales como la eficiencia en la remoción de contaminantes, la facilidad de mantenimiento, la durabilidad de los materiales utilizados, y el costo de implementación. Cada uno de estos parámetros fue cuidadosamente analizado para determinar cuál de entre todas las opciones de filtros resultaba ser la más adecuada para integrarse al resto de los componentes del Sistema de Captación, Almacenamiento y Liberación de Agua de Lluvia (SCALL), con el objetivo de maximizar el rendimiento general del sistema.

Los filtros caseros fueron diseñados utilizando materiales fácilmente accesibles en el mercado, como PVC y malla textil, lo que permite una fabricación económica sin sacrificar la eficiencia en la filtración. Estos filtros están configurados para realizar una retención eficiente de sólidos suspendidos y otros contaminantes presentes en el agua de lluvia. Las pruebas demostraron que los filtros cumplen con los requisitos para garantizar una calidad adecuada del agua destinada a usos como el riego y otras aplicaciones no potables. Se observó que el uso de grava y mallas textil facilita una filtración eficiente, evitando el estancamiento del agua y promoviendo su conducción. Además, la calidad del agua almacenada dependerá de la cantidad de filtros y la selección de agregados gruesos o finos, los cuales mejoran la capacidad de retención de contaminantes.

A diferencia de los filtros comerciales, que en algunos casos requieren equipos y piezas costosas, los diseños propuestos se enfocan en facilitar el mantenimiento del sistema. Los filtros permiten un fácil acceso para su limpieza y desmontaje sin poner en riesgo la integridad del sistema, lo que reduce los costos operativos. Los materiales seleccionados, como PVC y malla textil, no solo son accesibles y económicos, sino que también cuentan con una vida útil prolongada y son fácilmente reemplazables en caso de daño, lo que asegura que el SCALL se mantenga funcionando sin necesidad de reemplazos frecuentes. La disponibilidad de estos materiales en ferreterías locales facilita una reposición rápida y económica.

El diseño del SCALL para el edificio NZEB (Near Zero Energy Building) fue concebido de manera que se pueda adaptar fácilmente a las condiciones del terreno, el área de captación y el canal existente, sin requerir modificaciones significativas en la estructura original del edificio. Se planteó un sistema

modelo que, al momento de ser construido, aproveche las condiciones ya presentes, lo que permitiría una instalación sencilla y rápida, sin la necesidad de realizar cambios drásticos en la infraestructura. Los filtros caseros diseñados también aseguran que el sistema no altere la funcionalidad del edificio ni requiera intervenciones complejas en el mismo. Esta característica hace que el SCALL sea fácilmente adaptable a sistemas domiciliarios y en centros escolares, brindando una solución versátil y accesible para una variedad de usuarios.

Una de las principales ventajas del modelo SCALL propuesto es su potencial para ser replicado y ampliado dentro del campus universitario. Esto abre la posibilidad de extender sus beneficios a otras edificaciones y espacios, mejorando la gestión del agua de lluvia en áreas con mayor demanda hídrica. En particular, se contempla la posibilidad de instalar el sistema en edificios como el polideportivo y las aulas magnas, los cuales cuentan con grandes superficies de captación que podrían aprovecharse para recolectar agua de lluvia. El polideportivo, al disponer de una mayor área para la recolección de agua, podría abastecer de manera eficiente la demanda de riego de la cancha de fútbol y otras áreas verdes. Esta ampliación del sistema permitiría optimizar la utilización de los recursos hídricos dentro del campus, beneficiando a aquellos espacios que requieren grandes cantidades de agua para su mantenimiento. Además, el uso sostenible de los recursos hídricos contribuiría a la mejora de la gestión ambiental en la universidad, alineándose con las políticas de sostenibilidad y eficiencia energética del campus.

Este enfoque integral del SCALL no solo tiene el potencial de mejorar la gestión del agua en el campus universitario, sino que también establece un modelo replicable que podría aplicarse en otras universidades o instituciones con necesidades similares. De esta forma, el SCALL no solo mejora la eficiencia en el uso del agua, sino que también contribuye a la reducción de los costos operativos relacionados con el abastecimiento de agua para riego y otras aplicaciones no potables. Además, al ser un sistema flexible y adaptable, el SCALL permite que cada instalación o edificio pueda beneficiarse de una solución personalizada según sus condiciones particulares, lo que maximiza su impacto y efectividad.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusión

La falta de filtros comerciales accesibles y compatibles con el modelo de SCALL propuesto resalta la necesidad de explorar y desarrollar alternativas de filtros caseros, que sean viables, de bajo costo y fáciles de ejecutar. Tras evaluar diversas opciones en términos de capacidad de retención, eficiencia, mantenimiento, facilidad de integración y portabilidad, se concluyó que es posible prescindir de filtros costosos y en su lugar emplear filtros caseros hechos con materiales fácilmente disponibles en ferreterías. Estos filtros pueden garantizar un rendimiento óptimo, ofreciendo una solución más económica y accesible sin comprometer la calidad del sistema.

Dado que la propuesta del modelo de captación de aguas lluvias presentada se basó en la revisión, reevaluación y adaptación de un diseño previamente desarrollado, no se realizaron cálculos hidráulicos adicionales por lo que la nueva propuesta se trabajó considerando parámetros ya establecidos, condición de infraestructura e información adicional obtenida en campo.

Al considerar el funcionamiento del SCALL como un sistema que opera mediante flujo por gravedad, se obtiene un modelo que no requiere de aparatos adicionales como bombas, ya que el agua se mueve por presión generada por la gravedad. Este diseño permite una conducción eficiente del agua de lluvia, caracterizándose por ser de bajo consumo energético y, por lo tanto, más económico, al no depender de equipos mecánicos que aumenten los costos operativos. Además, al evitar acumulaciones y pérdidas de presión significativas, se optimiza el rendimiento del sistema.

La implementación del SCALL propuesto no solo representa una solución eficiente desde el punto de vista económico, sino también una contribución a la sostenibilidad ambiental. Al reutilizar el agua de lluvia para tareas como el riego de áreas adyacentes al edificio NZEB, lavado de los camiones y autos, se reduce la dependencia de fuentes de agua potable, promoviendo el uso responsable de los recursos hídricos.

Recomendación

Considerando que durante las primeras lluvias el agua captada arrastra polvo, hojas y otros materiales indeseables hacia el sistema de conducción y almacenamiento, se recomienda implementar un sistema

de separación de primeras lluvias. Este sistema permitiría redirigir las primeras aguas, que contienen los contaminantes, fuera del flujo principal hacia un área de retención o tratamiento, evitando así la obstrucción del paso en los filtros y asegurando que los contaminantes no lleguen al tanque de almacenamiento, lo que protegería la calidad del agua recolectada y alargaría el tiempo de mantenimiento.

En el modelo propuesto de SCALL, se recomienda instalar una llave de paso en la parte más baja de la tubería 10 o 15 cm por encima del nivel de piso terminado, para liberar una parte del agua acumulada al finalizar el flujo. Esto permitirá evitar la acumulación completa de agua en el sifón y garantizará que el sistema no mantenga agua estancada. Esto puede visualizarse en el anexo A-3 y A-4.

Se recomienda para un próximo trabajo de graduación cambiar el sistema enterrado con sifón por un sistema aéreo. Esto se debe a que, al utilizar vasos comunicantes, el sifón mantendrá agua estancada una vez que termine el flujo de lluvia, lo que podría generar problemas en el sistema. Con un sistema aéreo, el agua sería conducida directamente desde los filtros hasta las cisternas, evitando el estancamiento en el sifón y mejorando la eficiencia del sistema. Este diseño permitirá una mayor circulación del agua hacia el almacenamiento, lo que reduciría el riesgo de acumulación de agua que podría afectar la calidad del agua recolectada.

Se recomienda evaluar la posibilidad de expandir la implementación del SCALL a una mayor escala, considerando que el edificio NZEB cuenta con un área de captación de 100 m², pero la Universidad dispone de otras áreas con un potencial de captación superior, como el polideportivo y las diversas aulas magnas. La ampliación del SCALL a estas áreas permitiría una mayor recolección de agua de lluvia, optimizando el uso del recurso hídrico para diversas aplicaciones dentro del campus, contribuyendo así a una gestión sostenible del agua a nivel institucional.

Se recomienda evaluar la posibilidad de integrar un SCALL con un sistema de drenaje sostenible, en este caso, con jardines de infiltración. La combinación de ambos reforzaría de manera positiva el impacto ambiental ya que se volverían un sistema eficiente y resiliente que daría paso a la reducción del escurrimiento superficial, mejoraría la calidad del agua infiltrada y generaría espacios verdes funcionales.

BIBLIOGRAFÍAS

Artola, C., Alfaro, J., Escalante, W., Maldonado, A. (2022). Proyecto demostrativo de captación de aguas lluvias. Elaboración de propuesta y evaluación de sitios para realizarlo [tesis de grado]. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

Hidalgo, R., Padilla, A. & Sánchez, O. (2003). Aprovechamiento Del Agua Lluvia Como Fuente De Abastecimiento De Agua Potable Para El Cantón “El Progreso”, Departamento De La Libertad. Universidad De El Salvador

Chow, V., Maidment, D. & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill. (Consulta 09/09/2024).

Jiménez, J., García, V., Lozano, O., Zavala, O., Ortiz, A., Castillo, E., & Romero, R. (s.f.). Manual de apuntes de la experiencia educativa de tuberías y canales. Veracruz, México: Universidad Veracruzana. (Consulta 28/09/2024).

Cristóbal, F. (2005). Descripción Hidráulica de la Batería de Filtros de Planta N°1 de la Atarjea [tesis de grado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/5aa094b2-e552-4ce5-ac39-5746498f5dec/content>. (Consulta: 27/10/2024).

Cadavid, J. & Zúñiga, D. (2009). Construcción y análisis de un sistema de filtración granular a presión para abastecimiento de agua de consumo humano en situaciones de emergencia [tesis de grado]. Universidad de Los Andes. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/5aa094b2-e552-4ce5-ac39-5746498f5dec/conten>. (Consulta: 13/09/2024).

Arias, B. & Gonzabay, J. (2022). Propuesta de diseño y estudio de un filtro de grava para potabilizar el agua subterránea para el consumo en una finca ubicada en la vía progreso-palayas [tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22783/1/UPS-GT003804.pdf>. (Consulta: 10/01/2025).

López, M., Hernández de Paz, J., & Osaka, Y. (2021). Evaluación de la vulnerabilidad de la mampostería y su adecuación estructural. San Salvador. Obtenido de <https://srt.snet.gob.sv/tallerdivulgacion/Amenaza/EVALUACI%C3%93N%20DE%20LA%20VULNERABILIDAD%20DE%20LA%20MAMPOSTER%C3%8DA%20Y%20SU%20ADECUACI%C3%93N%20ESTRUCTURAL.pdf>. (Consulta: 22/10/2024).

Carranza, B. (2023). Lanzamiento del Programa Nacional de Aprovechamiento de Agua Lluvia. Autoridad Salvadoreña del Agua. Obtenido de <https://www.asa.gob.sv/lanzamiento-del-programa-nacional-de-aprovechamiento-de-agua-lluvia/> (Consulta: 18/08/2024).

DURMAN (s.f.). Tanques de almacenamiento Guía de instalación Cisterna. Obtenido de <https://grupoalaxis.s3.us-east-2.amazonaws.com/durman/descargas/edificacion/sistemas-para-agua-potable/tanques-para-agua/guia-instalacion/Tanque+Cisterna+GI.pdf>. (Consulta: 19/10/2024).

DURMAN (s.f.). Manual de Instalación, Uso y Cuidado de Interceptor y Canastas de Sólidos. Obtenido de <https://grupoalaxis.s3.us-east-2.amazonaws.com/durman/descargas/edificacion/sistemas-para-agua-sanitaria/manejo-de-grasas/trampa-solidos/Manual/Interceptor+de+Solids+manual.pdf>. (Consulta: 11/11/2024).

ROTOPLAS (2024) Soluciones para el acceso al agua. Sistema para la Captación de Precipitación Pluvial. Obtenido de <https://rotoplas.com.mx/rtp-resources/productos/c-pluvial-r/Manual-Instalacion-SCP-Rural.pdf>. (Consulta: 19/10/2024).

ROTOPLAS (2024) Maximiza el ahorro y tu impacto positivo: La captación de agua lluvia en techos. Obtenido de <https://fandelagua.com/maximiza-el-ahorro-y-tu-impacto-positivo-la-captacion-de-agua-de-lluvia-en-techos/>. (Consulta: 26/11/2024).

Belelli, E. & Vázquez L. (s.f.). Captación de agua lluvia. Obtenido de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/libro_captacion_de_agua_de_lluvia_-_digital.pdf. (Consulta: 01/12/2024).

Scielo (s.f.). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125.(Consulta: 03/09/2024).

The Clim Reality Project (2022). Captación de agua de lluvia: Solución ante sequía provocada por el cambio climático. Obtenido de <https://www.climatereality.lat/captacion-de-agua-de-lluvia-solucion-ante-sequia-provocada-por-el-cambio-climatico/>. (Consulta: 01/03/2025).

VIDRÍ (s.f.). Catálogo de productos en línea. Obtenido de <https://www.vidri.com.sv/>. (Consulta: 30/08/2024).

FREUND (s.f.). Catálogo de productos en línea. Obtenido de <https://www.freundferreteria.com/>. (Consulta: 30/08/2024).

EPA (s.f.). Catálogo de productos en línea. Obtenido de <https://sv.epaenlinea.com/>. (Consulta: 30/08/2024).

Reyes, M., Rubio, J. (2014) Descripción de los Sistemas de Recolección y Aprovechamiento de Aguas Lluvias [Versión electrónica]. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/0657ae70-006b-468b-afe1-60f2f2d2a7f2/content>. (Consulta: 24/08/2024).

Anaya, M., Pérez, A., López, N. & Martínez, I. (2018). Manual Técnico: Sistemas de Captación del Agua Lluvia (SCALL). Obtenido de <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/09/2018.-Manual-T%C3%A9cnico-Sistemas-de-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia.pdf>. (Consulta: 30/08/2024).

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (Sedema) (s.f.). Preservar la vida captando la lluvia: Manual para instalar un sistema de captación pluvial en tu escuela. Obtenido de <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/CosechaDeLluvia/ManualSCALLescuela.pdf> (Consulta: 09/01/2025).

Téllez, C., Mocva, R., González, C. & Centeno, J. (2022). ¿Cómo hacer un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) en mi escuela? Obtenido de <https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/ecoagua/ecoagua-sistema-captacion-agua-lluvia.pdf>. (Consulta: 11/01/2025).

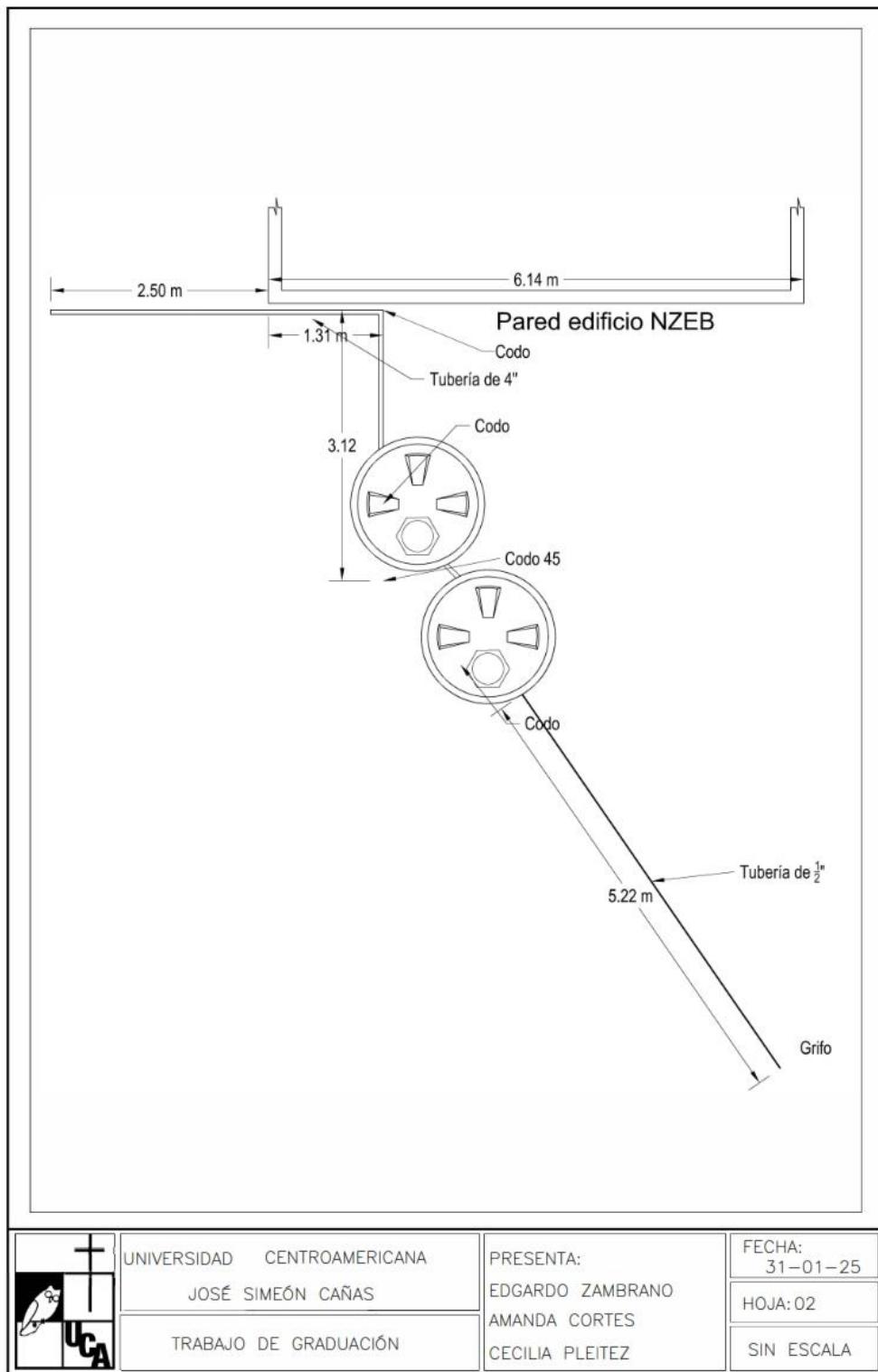
Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia para el desarrollo agrícola. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/74ed2270-a914-48e1-a744-c27788fe9f36/content>. (Consulta: 09/01/2025).

Jayasinghe, G. (2019). Rainwater harvesting for sustainable water supply. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72827-9>. (Consultado: 11/01/2025).

Méndez, L. F., & López, M. (2020). Sistemas de captación de agua de lluvia: Diseño, mantenimiento y aplicaciones (PDF). Editorial Académica Española. (Consultado: 11/01/2025).

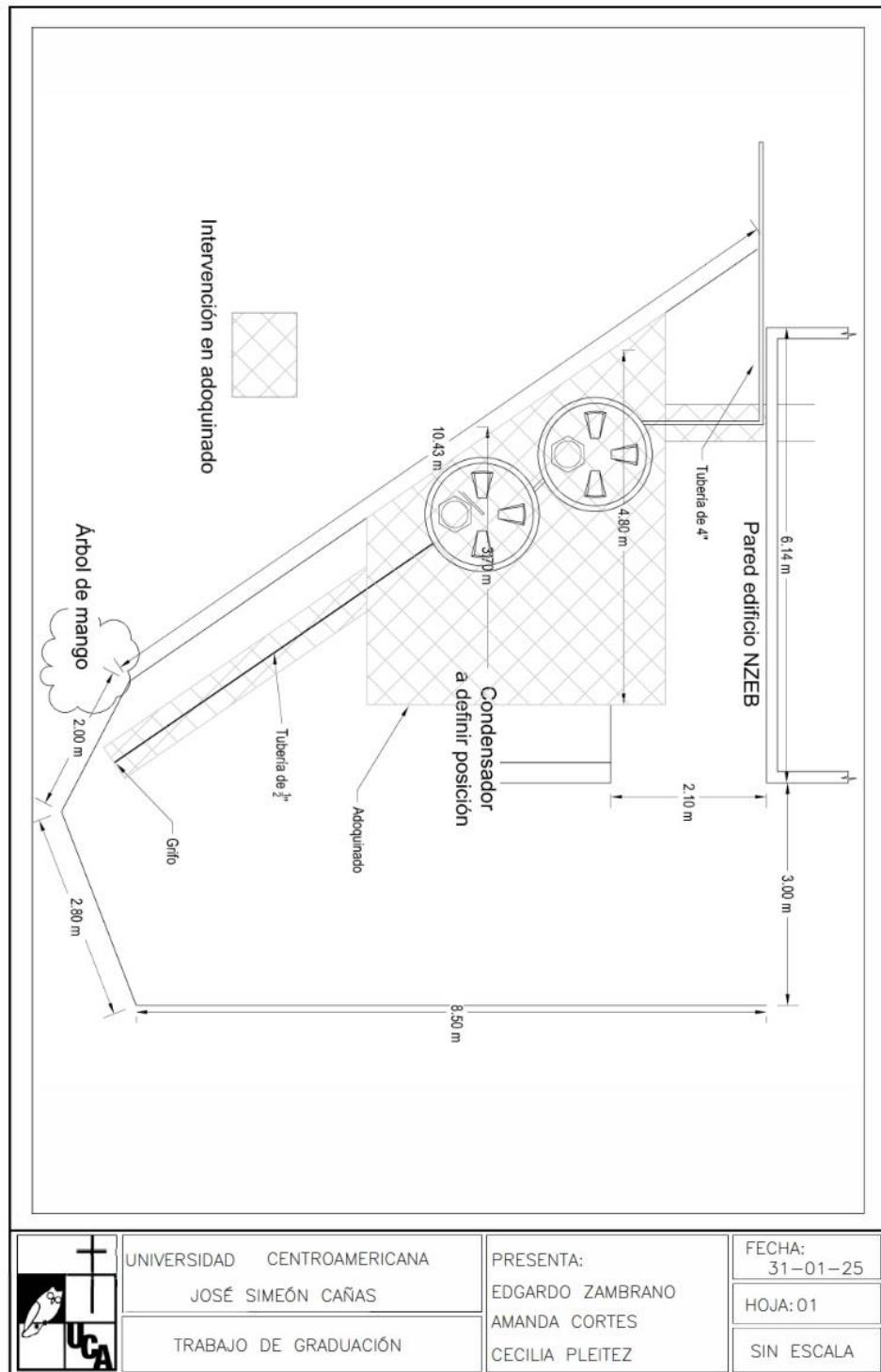
ANEXOS A
ELABORACIÓN DE PLANOS

PLANO: Dimensionamiento de tanques en zona propuesta de instalación



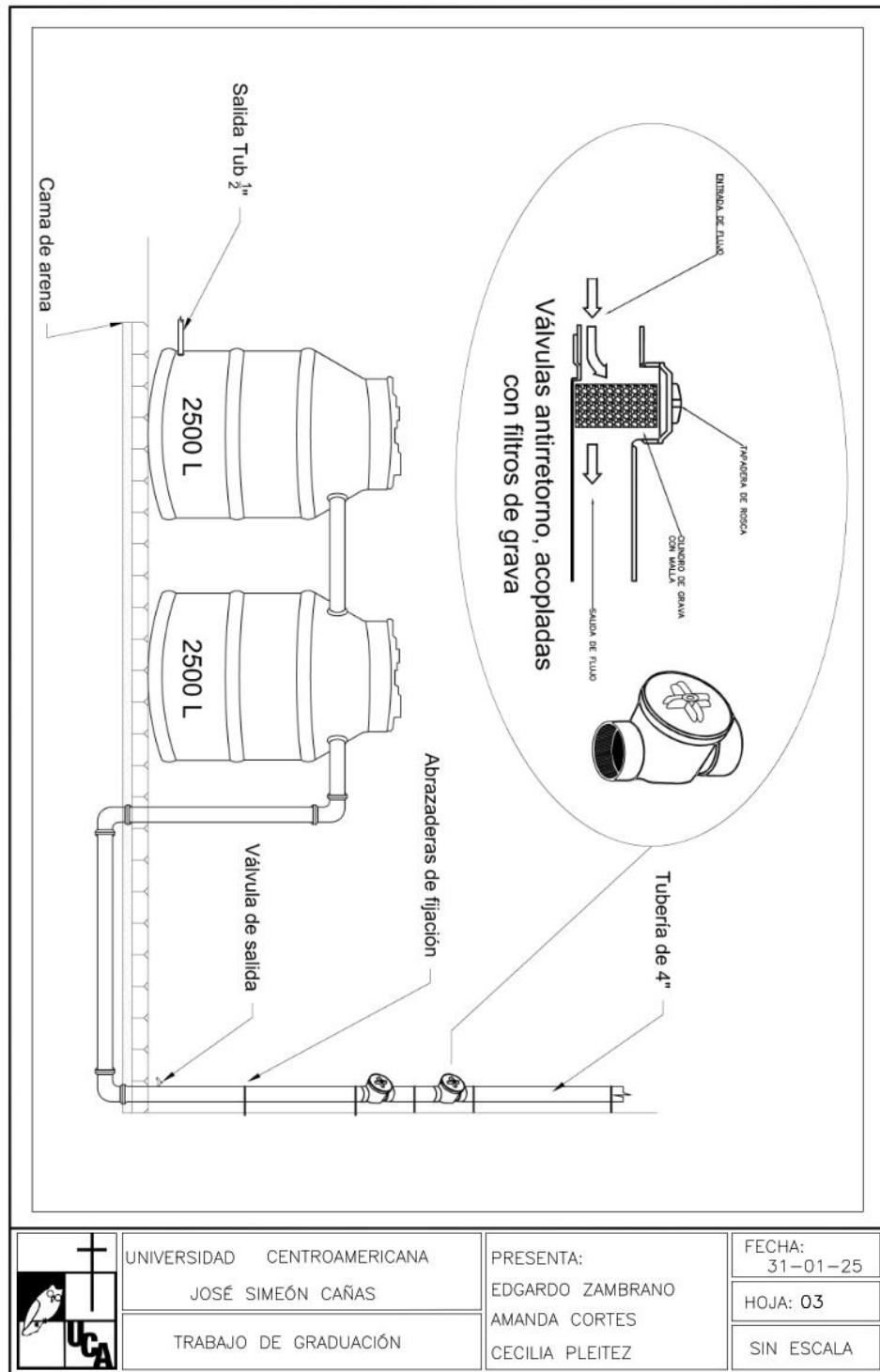
Plano 1: Dimensionamiento de tanques en zona propuesta de instalación. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

PLANO: Dimensionamiento de tanques, tubería y zona de intervención de adoquínado



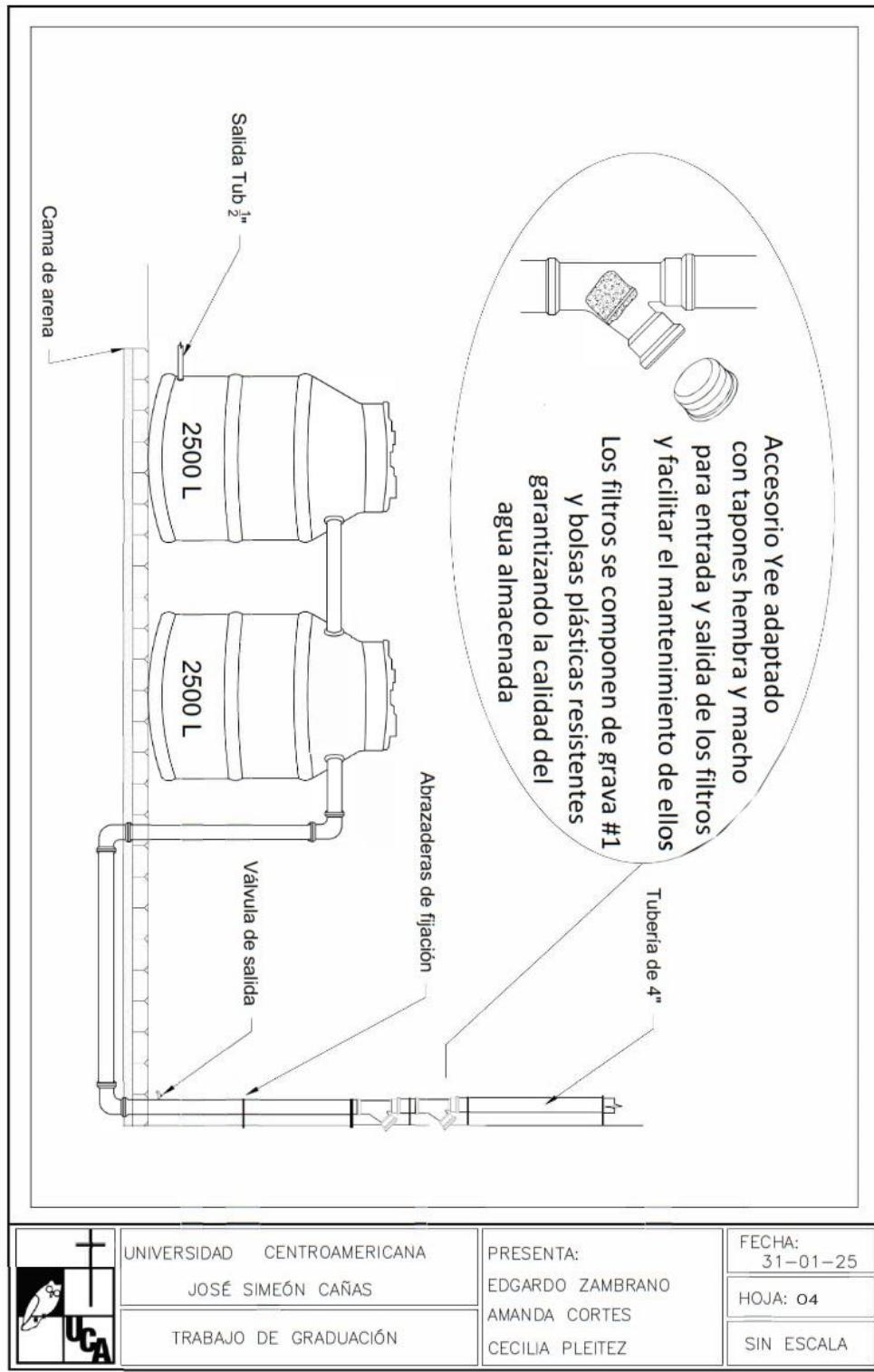
Plano 2: Dimensionamiento de tanques, tubería y zona de intervención de adoquínado. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

PLANO: Distribución del SCALL con 2 válvulas antirretorno como filtro.



Plano 3: Distribución del SCALL con 2 válvulas antirretorno como filtro. Fuente: [Elaboración propia (2025)]

PLANO: Distribución del SCALL con 2 accesorios Yee de PVC como filtro



Plano 4: Distribución del SCALL con 2 accesorios Yee de PVC como filtro. Fuente: [Elaboración propia (2025)]