

**IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA DE
APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA**

VIVIANA ÁVILA SUÁREZ

PAULA ANDREA ÁVILA SUÁREZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

**IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA DE
APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA**

Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Civil

Autor:

VIVIANA ÁVILA SUÁREZ

PAULA ANDREA ÁVILA SUÁREZ

DIRECTOR

M.Sc. Ing. JHERSON MAURICIO SUAREZ SANTOS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado No. 1
M.Sc. Ing. Aldemar Remolina Millán

Firma del Jurado No. 2
M.Sc. Ing. Juan Carlos Forero Sarmiento

Bucaramanga, mayo 2018

A Dios,

A mi madre Hilda,

A mi padre William,

A mi hermano Javier,

A mi prometido Manuel.

“La persistencia garantiza que los resultados sean inevitables”

Paramahansa Yogananda

VIVIANA ÁVILA SUÁREZ

*A mi hermosa madre Hilda Suárez y
A mi padre William Ávila,
por su amor y apoyo incondicional,*

A mi hijo Liam David quien es mi principal motivación.

A mi querido Anderson

“No hay secretos para el éxito.
Éste se alcanza preparándose, trabajando arduamente y aprendiendo de fracaso”
Colin Powell

PAULA ANDREA ÁVILA SUÁREZ

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por renovarnos las fuerzas físicas y espirituales cada día, por brindarnos claridad y visión en el andar del camino.

Al Ingeniero Jherson Mauricio Suarez Santos, director de nuestra tesis, por compartir su sabiduría, conocimiento y entendimiento, por ser un gran apoyo y motivación en la culminación de nuestros estudios profesionales.

Al Ingeniero Aldemar Remolina, por su gran disposición en el proceso de ejecución de nuestra tesis, por impulsar el desarrollo de nuestra formación personal y profesional.

Al Ingeniero Juan Carlos Forero, por brindarnos su conocimiento y disposición para la elaboración de esta tesis.

Al Laboratorio de Construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana, a la Ingeniera Nohora Emma Monsalve Peña por su amable colaboración en la gestión operativa para el desarrollo de la construcción de nuestra tesis, al Sr Ramiro Diaz Luna, por su valioso conocimiento y enseñanza técnica.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. OBJETIVOS.....	16
1.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA.....	17
2.1. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES.....	17
2.2. EXPERIENCIAS NACIONALES	21
2.3. BENEFICIOS DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA	23
2.4. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA.....	24
2.4.1. ÁREA DE CAPTACIÓN	24
2.4.2. SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN	27
2.4.3. FILTRACIÓN E INTERCEPTOR DE PRIMERAS AGUAS	28
2.4.4. TANQUE	33
2.4.5. RED DE DISTRIBUCIÓN.....	34
2.4.6. SISTEMA DE BOMBEO	39
2.5. PRECIPITACIÓN	39
2.6. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN	40
2.6.1. MANTENIMIENTO DE LA TUBERÍA	41
2.6.2. MANTENIMIENTO DE BOMBAS ELÉCTRICAS	41
3. IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	43
3.1. SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	43
3.2. ÁREA DE CAPTACIÓN.....	44
3.3. SISTEMA DE RECOLECCIÓN	46
3.3.1. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA INSTALACIÓN CANALETAS.....	49
3.4. SISTEMA DE CONDUCCIÓN	51

3.5. SISTEMA FILTRO DE BAJANTE	53
3.6. INTERCEPTOR DE PRIMERAS AGUAS	54
3.7. TANQUE.....	56
3.7.1. TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	56
3.7.2. TANQUE DE DISTRIBUCIÓN ELEVADO.....	59
3.7.3. PLACA TANQUE AÉREO	60
3.8. RED DE DISTRIBUCIÓN	64
3.9. RED ELÉCTRICA	66
3.10. SISTEMA DE BOMBEO.....	67
4. MEDICIONES DE CAMPO.....	68
4.1. AHORRO DE AGUA POTABLE Y COSTOS DEL SERVICIO	68
4.2. AGUA CAPTADA Y DISTRIBUIDA	71
5. VIABILIDAD TÉCNICA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN CONSTRUIDO	72
5.1. EVALUACIÓN TÉCNICA CUALITATIVA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA.....	72
5.2. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL TANQUE	76
6. CONCLUSIONES	81
7. RECOMENDACIONES	83
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tanques de almacenamiento proyecto “121”	18
Figura 2. Oficinas Perkins+Will Atlanta – Georgia.....	19
Figura 3. Diagrama del sistema de agua oficinas Perkins+Will	19
Figura 4. Sistema de recolección y riego	20
Figura 5. Tanque de almacenamiento en finca de Lebrija - Santander	21
Figura 6. Funcionamiento de Ekomuro H2O+	22
Figura 7. Fachada verde Michigan.....	25
Figura 8. Techo tipo mariposa, Denton Texas	27
Figura 9. Tipos de filtro de bajante.....	29
Figura 10. Ubicaciones filtro tipo cesta	30
Figura 11. Filtro tipo centrífugo	31
Figura 12. Figura tipo cascada.....	32
Figura 13. Sistema de filtración de primeras aguas	32
Figura 14. Uso exclusivo de agua lluvia.....	35
Figura 15. Uso suplementario de agua lluvia	36
Figura 16. Sistema de tanque subterráneo - aéreo	37
Figura 17. Sistema de bombeo directo	38
Figura 18. Precipitación total anual (mm), Departamento de Santander	40
Figura 19. Seguridad social y salud en el trabajo en obra.....	44
Figura 20. Panel sándwich.....	44
Figura 21. Alzada cercha metálica	45
Figura 22. Vista en planta área de captación	45
Figura 23. Proyección del área de captación	46
Figura 24. Canales de recolección sin aprovechamiento	47
Figura 25. Canales de recolección con aprovechamiento	47
Figura 26. Esquema canal amazona.....	48
Figura 27. Instalación de tramos de canaleta.....	49
Figura 28. Canal borde lateral izquierdo	50
Figura 29. Canal borde lateral derecho.....	50

Figura 30. Implementación de canaletas de captación.....	51
Figura 31. Convertidor cuadrado a redondo 3"	52
Figura 32. Tramo izquierdo tubería PVC.....	52
Figura 33. Sistema filtro bajante	53
Figura 34. Filtro metálico	54
Figura 35. Interceptor de primeras aguas	55
Figura 36. Interceptor de primeras aguas construido	56
Figura 37. Tanque de almacenamiento.....	57
Figura 38. Redes de tanque almacenamiento.....	57
Figura 39. Placa tanque almacenamiento.....	59
Figura 40. Tanque aéreo	59
Figura 41. Dimensiones de la placa del tanque aéreo	63
Figura 42. Placa tanque aéreo.....	64
Figura 43. Puntos hidráulicos de la red de distribución	65
Figura 44. Red de distribución	66
Figura 45. Red eléctrica.....	67
Figura 46. Ilustración bomba.....	67

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ventajas y desventajas filtro tipo cesta	29
Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema tanque subterráneo – aéreo.....	37
Tabla 3. Cantidades de obra de la placa del tanque de almacenamiento	58
Tabla 4. Ficha técnica Metaldeck 2”	60
Tabla 5. Cargas muertas y vivas.....	60
Tabla 6. Propiedades Físicas y Mecánicas Corpalosa	62
Tabla 7. Cantidades de obra de la placa del tanque aéreo	64
Tabla 8. Metodología de evaluación de un sistema de recolección de agua lluvia	73
Tabla 9. Evaluación técnica del sistema de recolección y transporte	74
Tabla 10. Evaluación técnica del sistema de almacenamiento.....	75
Tabla 11. Evaluación técnica del sistema de distribución.....	76
Tabla 12. Precipitación mensual promedio	76
Tabla 13. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida	77
Tabla 14. Resultados en relación con la demanda nominal de 560 litros/día	78
Tabla 15. Resultados en relación con la demanda nominal de 224 litros/día	79

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA

AUTOR(ES): VIVIANA ÁVILA SUÁREZ, PAULA ANDREA ÁVILA SUÁREZ

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): JHERSON MAURICIO SUAREZ SANTOS

RESUMEN

La escasez de agua a nivel mundial ha llevado a la humanidad a la implementación de sistemas de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia; en consecuencia, se ha venido implementando este tipo de sistemas como respuesta a la escasez y la imposibilidad de acceder al agua. Este proyecto tiene como objetivo la implementación, toma de datos en campo y evaluación técnica de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia. La construcción se realizó con base en un diseño ya existente y se evidencia el correcto funcionamiento del sistema de captación de agua lluvia. La evaluación técnica permite evidenciar que en la mitad del año se puede suplir la demanda de agua mediante agua lluvia, pero solo para fines no potables; en contexto, para una dotación neta total en una vivienda de 4 habitantes de estrato 1 y 2, se estima que 6,72 m³/mes equivalen al 40% de ahorro de consumo de agua potable. El análisis de datos de campo estima que aproximadamente en 11 y 7 años se ve recuperada la inversión inicial de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para estratos 1 y 2 respectivamente.

PALABRAS CLAVES:

Prototipo de aprovechamiento de agua lluvia, viabilidad técnica, construcción sostenible.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: IMPLEMENTATION AND TECHNICAL EVALUATION OF A RAINWATER HARVESTING SYSTEM

AUTHOR(S): VIVIANA ÁVILA SUÁREZ, PAULA ANDREA ÁVILA SUÁREZ

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: JHERSON MAURICIO SUAREZ SANTOS

ABSTRACT

The worldwide water shortage has led humanity to the implementation of rainwater collection, storage and distribution systems; consequently, this type of systems has been implemented in response to the scarcity and inability to access water. The objective of this project is the implementation, data collection in the field and technical evaluation of a rainwater harvesting system. The construction was carried out based on an existing design and the correct functioning of the rainwater collection system is evident. The technical evaluation reveals that in the middle of the year the demand for water can be met by rainwater, but only for non-potable purposes; in context, for a total net provision in a house of 4 inhabitants of strata 1 and 2, it is estimated that 6.72 m³ / month is equivalent to 40% of consumption savings of drinking water. The analysis of field data estimates that approximately the first investment of a rainwater harvesting system for strata 1 and 2, respectively, is recovered in approximately 11 and 7 years.

KEYWORDS:

Rainwater harvesting system prototype, Technical feasibility, Sustainable construction.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

El continuo crecimiento de la población y la expansión de las áreas urbanas e industrializadas aumentan la demanda de agua potable. Al ser el agua un recurso no renovable, la oferta del recurso es limitada y, en consecuencia, se ha convertido en una problemática a nivel mundial. (Notaro, Liuzzo, & Freni, 2016). Por tanto, es necesario reducir la dependencia de la red de agua potable y los costos de servicio público, además de buscar alternativas que permitan mitigar la escasez de agua. (Zeľeňáková, Markovič, Kaposztásová, & Vranayová, 2014)

Los sistemas de captación de agua lluvia es una implementación de la construcción sostenible y puede ser utilizada para fines no potables, representando una respuesta efectiva al cambio climático, debido a que facilita el suministro de agua en tiempos de abundancia y escasez. (Haque, Rahman, & Samali, 2016)

Los sistemas de recolección de agua lluvia pueden proporcionar ventajas ambientales y económicas sobre los métodos tradicionales de suministro de agua. (Notaro et al., 2016) Entre las ventajas a destacar se encuentran la reducción de la demanda de agua, la alta eficiencia en la distribución y recolección, y la mejora en la utilización racional del agua a través de sistemas descentralizados. (Maksimović, Kurian, & Ardakanian, 2015)

Este trabajo presenta la implementación y evaluación técnica de un sistema de captación de agua lluvia como fuente de agua alternativa con el fin de dar solución a las problemáticas ambientales, económicas y de escasez relacionados al recurso hídrico. La implementación del sistema está ubicada en el prototipo de vivienda en el laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.

En primer lugar, se evidencian experiencias nacionales e internacionales de exitosas construcciones de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Luego, se permite profundizar en los componentes de un sistema de captación de agua lluvia, con su respectiva funcionalidad y operación.

Posteriormente, se describe y presenta la implementación y el proceso constructivo del sistema de aprovechamiento de agua lluvia, con su respectiva reglamentación de seguridad y salud en el trabajo necesaria para la construcción del sistema diseñado.

Seguidamente, se expone la metodología y los resultados del análisis de la viabilidad técnica del sistema construido.

Finalmente, se registran las conclusiones más importantes generadas en la implementación, construcción y evaluación técnica del sistema de recolección de agua lluvia, y se mencionan algunas recomendaciones u observaciones que pretenden mejorar futuras investigaciones e implementaciones.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Implementar y evaluar técnicamente un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en el prototipo de vivienda del laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.

1.2. Objetivos específicos

- Implementar y construir un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en el prototipo de vivienda del laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.
- Realizar mediciones de campo del flujo de agua captada y distribuida en el sistema construido.
- Analizar la viabilidad técnica del sistema de captación construido.

2. APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA

En este capítulo se expone los antecedentes nacionales e internacionales relacionados al aprovechamiento del agua lluvia y sus principales beneficios, entre los que se destaca la mitigación de la escasez de agua en periodos de sequía. Además, se describe los componentes del sistema y la precipitación del lugar de implementación.

2.1. Experiencias Internacionales

Actualmente a nivel mundial existe un potencial significativo de agua lluvia no aprovechada, que puede ser captada para aliviar las condiciones de escasez de agua, especialmente en las zonas rurales (Barron, Salas, Institute, & Programme, 2009). Aproximadamente 3 de cada 10 personas en todo el mundo carece de acceso de agua, de las cuales el 84% vive en áreas rurales. (Organization & UNICEF, 2017)

Las diversas prácticas antiguas y modernas del uso del agua lluvia evidencian la importancia de la implementación de sistemas de recolección, almacenamiento y distribución de agua, a nivel familiar y social en zonas rurales y urbanas, alrededor del mundo. En países como India, China, Tailandia, Japón, EUA, Brasil, México, entre otros, se ha expandido su implementación. (Montes, 2008)

En la India alrededor de 19 ciudades presentan crecimiento en la escasez de agua, por lo que actualmente en algunas ciudades como Nueva Dheli y Chennai, el uso de sistemas de captación de agua lluvia es obligatorio. (Restori, 2011)

En China se implementó el proyecto llamado “121” destinado a la captación de agua lluvia por parte del gobierno, el cual ha permitido un suministro de agua para más de 5 millones de personas y 1,18 millones de reses. Desde el año 2000, se instalaron en total 2'183000 tanques para la captación de agua lluvia, con capacidad de 73,1 millones de m³, estos tanques suministran agua a 1,97 millones de personas y el riego de 236.400 hectáreas. En la figura 1 se puede ver los tanques empleados en el proyecto “121”. (Lo & Gould, 2015)

Figura 1. Tanques de almacenamiento proyecto “121”



Fuente: Disponible en www.hidropluviales.com

A finales del siglo XX, algunos países europeos generaron variedad de formas que permiten beneficiarse del recurso hídrico tales como: almacenamientos de agua a cielo abierto, lo cual normaliza la temperatura en las ciudades que la disponen, regulación del nivel freático, a través de la captación, infiltración y almacenamiento en tanques comunales y particulares. Por otro lado países como Australia y Nueva Zelanda, marcados por su clima árido el agua lluvia toma un alto valor en la industria de la arquitectura y el urbanismo.(Molina-Prieto, 2015) En Dinamarca existen políticas públicas sobre el manejo y el aprovechamiento del agua lluvia. Algunas ciudades cuentan con subsidios que incentivan y benefician a aquellos proyectos que incluyen el uso del agua lluvia.(Molina-Prieto, 2015)

En la figura 2 se aprecia el edificio de oficinas Perkins+Will ubicado en Georgia-Atlanta, en donde se adaptó a la edificación existente un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para uso interior y exterior, especialmente para el lavado de inodoros, de esta manera dando una solución parcial a la sequía y a la conservación del recurso hídrico. Esta iniciativa de conservación del agua por medio del uso del agua lluvia ha reducido el consumo de agua municipal en un 78% desde los niveles previos a la implementación del sistema. (Novak, DeBusk, & Van Geisen, 2014)

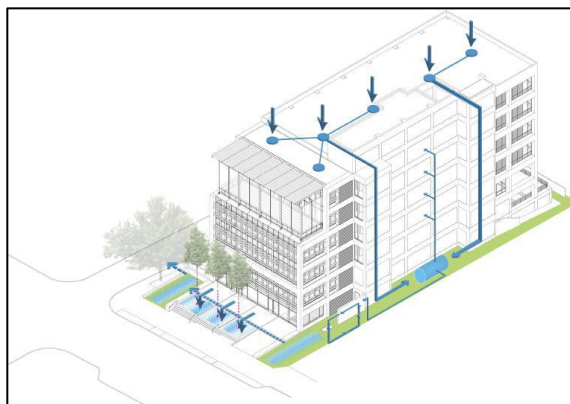
Figura 2. Oficinas Perkins+Will Atlanta – Georgia



Fuente: (Novak, DeBusk, et al., 2014)

El agua lluvia es captada en el techo del edificio y en una terraza ubicada en el quinto piso, para seguidamente ser almacenada en una cisterna con capacidad de 10000 galones, luego es filtrada, tratada y distribuida hacia jardines, inodoros y baños. (Ver Fig. 3) Los diseñadores inicialmente calcularon un área de superficie de captación que fuese factiblemente económicamente, pero una vez diseñado se observó que el área no es suficiente para abastecer la demanda máxima de agua lluvia que podría ser captada y aprovechada. Adicionando más área de captación (techo y terraza) y una cisterna de almacenamiento de mayor capacidad. (Novak, Van Giesen, & DeBusk, 2014)

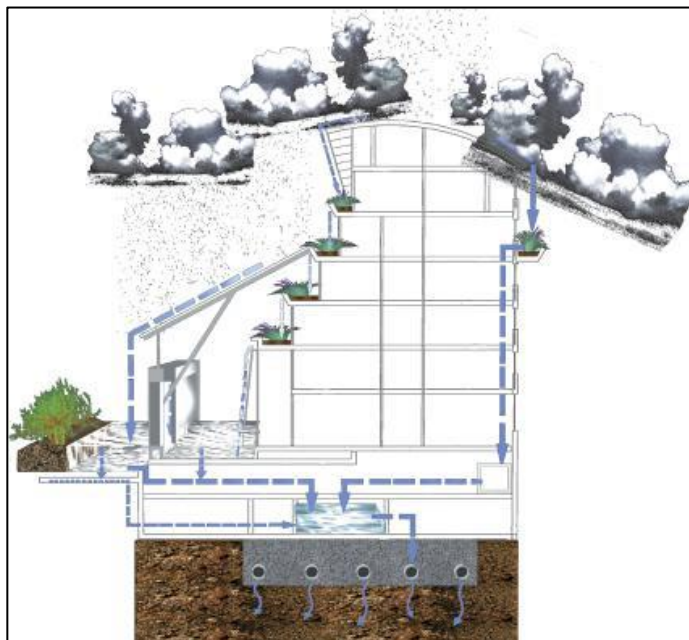
Figura 3. Diagrama del sistema de agua oficinas Perkins+Will



Fuente: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Otro proyecto de implementación de aprovechamiento de agua lluvia y conservación del recurso hídrico es Prisma Gostenhof, edificación localizada en Nuremberg Alemania construida con ecología urbana, compuesta por 61 unidades residenciales, 32 oficinas, 9 tiendas, una cafetería y un jardín de infantes. El agua de la azotea se recoge en un techo de vidrio, se limpia y se envía en dos ciclos separados a través del edificio. El primer ciclo irriga las plantas del invernadero y el segundo ciclo bombea agua entre paredes de vidrio coloridas de 16 pies de altura (5 m). En este proceso, el aire se empuja hacia adentro a través de grietas abiertas y sale purificado y enfriado junto con la cascada en el invernadero como se aprecia en la figura 4. Este proyecto está diseñado para fomentar el uso consciente de los recursos naturales mediante la gestión innovadora del agua de lluvia y el uso de un aire acondicionado natural. (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Figura 4. Sistema de recolección y riego



Fuente: (Novak, DeBusk, et al., 2014)

2.2. Experiencias nacionales

Actualmente en Colombia también se ha venido estudiando e implementando cada vez más este tipo de sistema de captación, buscando siempre mitigar la escasez del agua, por ejemplo, en La Aguada del municipio de Lebrija – Santander, Colombia, muchos de los habitantes han optado por la captación de agua lluvia como fuente de abastecimiento del recurso para consumo humano y para agricultura, debido a que no se cuenta con suministro de agua.(Gualdrón Becerra, 2014)

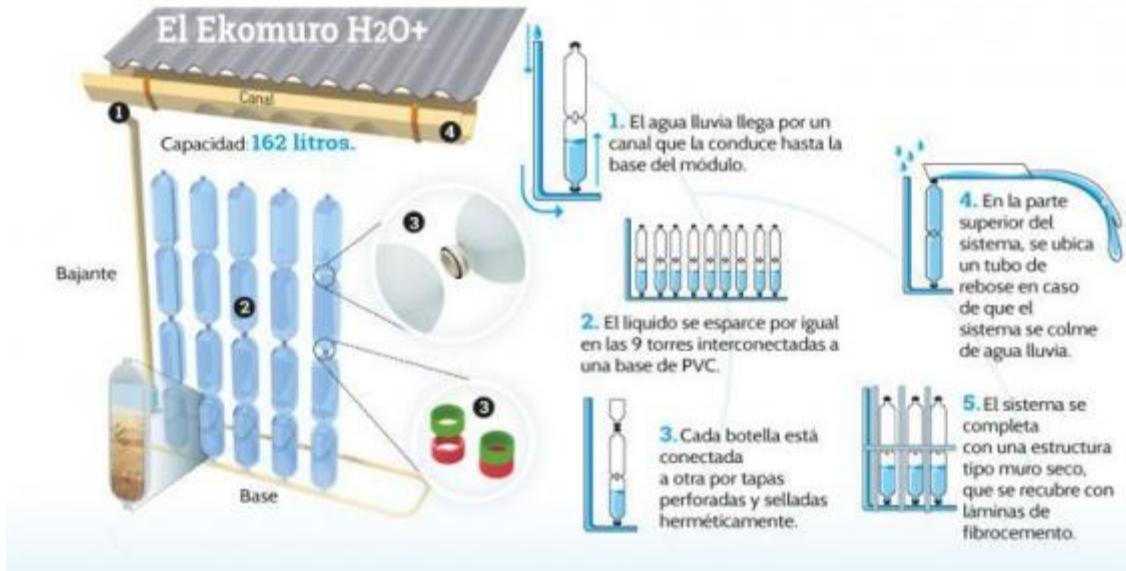
Figura 5.Tanque de almacenamiento en finca de Lebrija - Santander



Fuente: (Gualdrón Becerra, 2014)

Ekomuro H2O+ es un sistema de recolección de aguas lluvias desarrollado en Colombia. Consiste en un módulo hecho de envases Pet interconectados entre sí, orientado a satisfacer las necesidades de ahorro de agua en viviendas urbanas. En la figura 6 se describe el funcionamiento del sistema Ekomuro H2O+.

Figura 6. Funcionamiento de Ekomuro H2O+



Fuente: Disponible en <http://ekomuroh2o.wixsite.com/ecoh2o/ekomuro>

En Colombia el Departamento Nacional de Planeación desarrolló el documento CONPES 3919 que busca impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad dentro del ciclo de vida de las edificaciones. Entre los criterios de sostenibilidad presentados en el documento está la eficiencia del agua que implica la implementación de sistemas para la recolección y uso de aguas lluvias. De igual forma este criterio está incluido en la Guía de Construcción Sostenible desarrollada por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio como hoja de ruta para el cumplimiento de la Resolución 0549 de 2015 que establece que las oficinas de entidades públicas y privadas deben tener un ahorro promedio del 33% (Conpes, 2018)

La Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones presenta unas medidas de implementación para alcanzar el cumplimiento de los porcentajes de ahorro mínimos establecidos en la Resolución 0549 de 2015. Las medidas de ahorro de agua están directamente relacionadas con factores como los accesorios de las redes hidráulicas, ya que accesorios eficientes de agua incluyen aireadores y urinarios duales de descarga, la implementación de estos accesorios puede reducir el consumo de agua entre un 10% y un 42% según el tipo de edificación.(CAMACOL & I.F.C., 2015)

2.3. Beneficios de un sistema de recolección de agua lluvia

Los sistemas de captación de agua lluvia han sido implementados generalmente con el fin de satisfacer la conservación del agua, reducir el consumo de agua potable y aumentar la resiliencia de los recursos hídricos frágiles. Sin embargo, pueden ser diseñados con diversos objetivos como la gestión del escurrimiento de aguas pluviales y en la construcción sostenible. Esto se debe a que en las construcciones urbanas un factor determinante en las diferentes prácticas de sostenibilidad es la captación de agua lluvia, ya que se ha venido conociendo los diversos beneficios que implica la implementación de sistemas capaces de captar, filtrar y distribuir el agua lluvia para usos domésticos. (Dumit Gómez & Teixeira, 2017)

Un sistema de captación de agua lluvia puede ser utilizado para diversas demandas no potables que actualmente se encuentran con agua potable, como riego, lavado de inodoros, aires acondicionados, lavar ropa, etc. Adicionalmente, esta agua una vez tratada puede suplir demandas de agua potable como beber, cocinar, lavarse las manos, bañarse, entre otras. (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

En una escala significativa los sistemas de recolección de agua lluvia pueden reducir los costos de consumo de agua potable. Además, estos sistemas proporcionan agua con menor contenido mineral que el agua potable, aumentando la longevidad de las redes de construcción. Los sistemas de recolección de agua lluvia son únicos en su capacidad de detención y retención del escurrimiento de las aguas pluviales, evitando ser llevadas a la red de alcantarillado. Al capturar, almacenar y dar uso posterior de las aguas lluvias, disminuye significativamente el volumen y tasa de agua pluvial que sale de un sitio e ingresa a la red de alcantarillado pluvial, disminuyendo la magnitud y frecuencia de desbordamientos de alcantarillas combinadas. (Novak, DeBusk, et al., 2014)

Este tipo de sistemas sin lugar a duda cuenta con muchos beneficios, de los cuales algunos de los más importantes son:

- Contribuye a la conservación del agua y a los objetivos de la gestión de aguas pluviales.

- El agua de lluvia no tiene ningún valor económico, por lo que la única inversión que se debe hacer es la de la construcción y el mantenimiento del sistema.
- El costo de los servicios de acueducto y alcantarillado disminuye.
- Nos provee una fuente de agua cuando está en periodo de sequía y en donde no se cuenta con sistemas de abastecimiento.(Gualdrón Becerra, 2014)
- Facilidad y eficiencia en la recolección y distribución del agua.
- Se reduce la cantidad de agua superficial y subterránea, por lo que se disminuye el riesgo de inundación.(Dumit Gómez & Teixeira, 2017)
- No es necesaria la mano de obra especializada para su construcción. Además, en su gran mayoría los materiales utilizados son de fácil acceso en el comercio local.(Cajina Canelo & Faustino Manco, 2007)

2.4. Componentes del sistema de captación de agua lluvia

El sistema de captación de agua lluvia se compone principalmente de un área de captación, un sistema de recolección y conducción, un sistema de filtración e intercepción de primeras aguas, un tanque de almacenamiento un sistema de bombeo y distribución del agua lluvia captada. A continuación, se detalla la fundamentación teórica de los diferentes componentes que conforman el sistema de recolección de agua lluvia.

2.4.1. Área de captación

El techo de un edificio es el área común destinada a la recolección de agua lluvia, esencialmente sirve para proteger el edificio y sus componentes de factores climáticos. También puede utilizarse como elemento valioso para recoger el agua lluvia y dar un posterior uso de esta. (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

La implementación de un área de captación en un edificio está directamente relacionada con los materiales del techado, garantizando los beneficios y mitigando las restricciones que este presente. El diseñador de un sistema de recolección de agua lluvia debe evaluar minuciosamente los diversos tipos de materiales y reconocer sus efectos frente a la presencia de agua. La superficie más adecuada para utilizar en

áreas de recolección de agua lluvia es la de vidrio, ya que el agua desliza sobre ella de manera muy eficiente. Algunas otras opciones de superficie son: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

- Metal / acero: galvanizado, pintado, inoxidable, aluminio y cobre.
- Membrana: PVC, poliéster (algunos con aislamiento)
- Tejas de asfalto / fibra de vidrio
- Tejas de madera
- Techo en rollo (con superficie de agregado fino)
- Tejado empotrado
- Pizarra
- Arcilla y concreto
- Paneles de vidrio, plástico o fibra de vidrio
- Techo verde (cubierto de membrana con medios de cultivo y planta) (Ver Fig. 7)

Figura 7. Fachada verde Michigan



Fuente: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Quando hay presencia de materiales suplementarios como calefacción, ventilación, unidades de aire acondicionado, extractores de aire, líneas de gas, antenas de conductos eléctricos, pantallas y recintos en el área de techo, es necesario considerarlos ya que están en contacto con el agua y pueden afectar la calidad del

agua lluvia que se desliza por el techo. Estudios han notado posibles contaminantes como descamación de tejas y oxidación de la pintura resultantes en la precipitación recolectada en diversos materiales de techado. La proximidad de actividades como agricultura, construcción y carreteras también influyen en la calidad del agua lluvia. (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Factores determinantes para la elección del material de la superficie de recolección son: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

- Estética preferida del cliente
- Presupuesto
- Especificaciones técnicas
- Objetivos de eficiencia energética

Algunos hechos principales de la presencia de contaminantes en el agua lluvia como el clima y condiciones atmosféricas, la variación de las especificaciones de los materiales en diversos países puede afectar la calidad. A la hora de elegir el tipo de techo para un sistema de recolección de agua lluvia se deben tener en cuenta dos consideraciones, si el agua de lluvia se recoge de sus superficies son techos de cobre y verdes. El cobre está presente en tapajuntas, canales, bajante y tuberías que hacen parte del sistema, por otro lado, los suelos generan sólidos disueltos que generan un alto costo de limpieza. (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Para el buen funcionamiento de un sistema de recolección de agua lluvia es necesario antes de la puesta en marcha del sistema:

- Eliminar todo escombros que sea indeseable del techo para evitar que ingrese contaminantes en el tanque.
- Implementar personal de mantenimiento.
- Incluir un manual de mantenimiento y capacitación del uso del sistema.

Algunos aspectos relacionados con la determinación del área de techo o área de captación son:

- Volumen de agua que se desea proporcionar, teniendo en cuenta que la cantidad de agua que puede ser recolectada está directamente relacionada con la intensidad

y duración promedio de las precipitaciones que es analizada mediante las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia

- Ubicación del tanque de almacenamiento, ruta de distribución y método elegido
- Consideración estética de la implementación del sistema
- Desbordamiento según elevación del sitio

2.4.2. Sistema de recolección y conducción

De acuerdo con la normativa vigente, Resolución 0330 del 2017V (RAS), los canales únicamente podrán conducir las aguas de escorrentía provenientes de las lluvias. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017) El agua lluvia generalmente es transportada desde la superficie de captación hacia un tanque de almacenamiento o cisterna en dos maneras:

- Un techo con pendiente inclinada que usualmente drena a las canaletas y bajantes en los bordes exteriores del edificio. Los canales de gran tamaño y de diversas geometrías son empleados para la mitigación del desbordamiento. (Ver Fig. 8)

Figura 8. Techo tipo mariposa, Denton Texas



Fuente: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

- Un techo plano o semiplano conectado mediante drenajes hacia los bajantes centrales penetrados en el techo y direccionados hacia el interior o exterior, drenando por gravedad hacia el tanque de almacenamiento.

2.4.3. Filtración e interceptor de primeras aguas

El pre-almacenamiento de escombros es el elemento responsable de eliminar una cantidad de contaminantes presentes en el agua lluvia antes de llegar al punto de almacenamiento. La importancia de la reducción de desechos (orgánicos o de otro tipo) presentes en el agua no puede ser ignorada, por tal razón en elemento de filtración en un sistema de captación de agua lluvia es de suma importancia. (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Los contaminantes más típicos que ocasionan deficiencia en un sistema de aprovechamiento de agua lluvia son los siguientes:

- Hojarasca, ramas, desechos de plantas
- Excrementos de pájaros, roedores e insectos
- Carcasas de aves, roedores e insectos
- Basura
- Suciedad y polen
- Partículas de contaminación
- Materiales de techos degradados

Al implementar un sistema de prefiltración de alta eficiencia se tendrá una mayor calidad de agua en el tanque de almacenamiento, mitigando mantenimiento en los componentes del sistema.

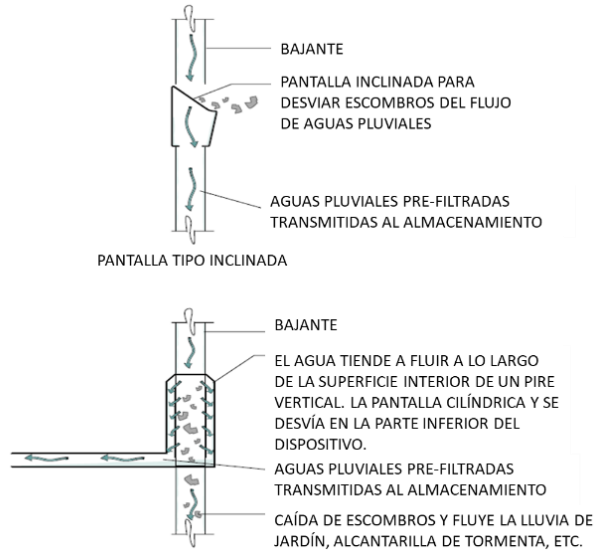
Los principales tipos de dispositivos están clasificados en filtros de bajante, filtros de tipo cesta, filtro centrífugos y filtros tipo cascada: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Filtros de bajante: Los filtros verticales de bajante funcionan mediante el principio de fluidez del agua a lo largo de las paredes internas de la tubería, aprovechando su recorrido para instalar una pantalla que durante su proceso sea atravesada excluyendo escombros y continuando su camino.

Los filtros de bajante incluyen una pantalla de ángulo y una pantalla vertical, se instalan verticalmente interrumpiendo el flujo de agua y creando un espacio de aire entre el borde inferior de la bajante y la pantalla de ángulo. Requieren de un fácil

acceso para su limpieza ya que la pantalla debe ser inspeccionada y son utilizados generalmente en residencias comerciales de pequeña escala. (Ver Fig. 9)

Figura 9. Tipos de filtro de bajante



Fuente: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Filtro de cesta: Generalmente se encuentran ubicados previamente al acceso del tanque de almacenamiento, evitando presencia de escombros, animales y diversos contaminantes al tanque. En la tabla 1 se describe las ventajas y desventajas de su implementación en un sistema de aprovechamiento de agua lluvia.

Tabla 1. Ventajas y desventajas filtro tipo cesta

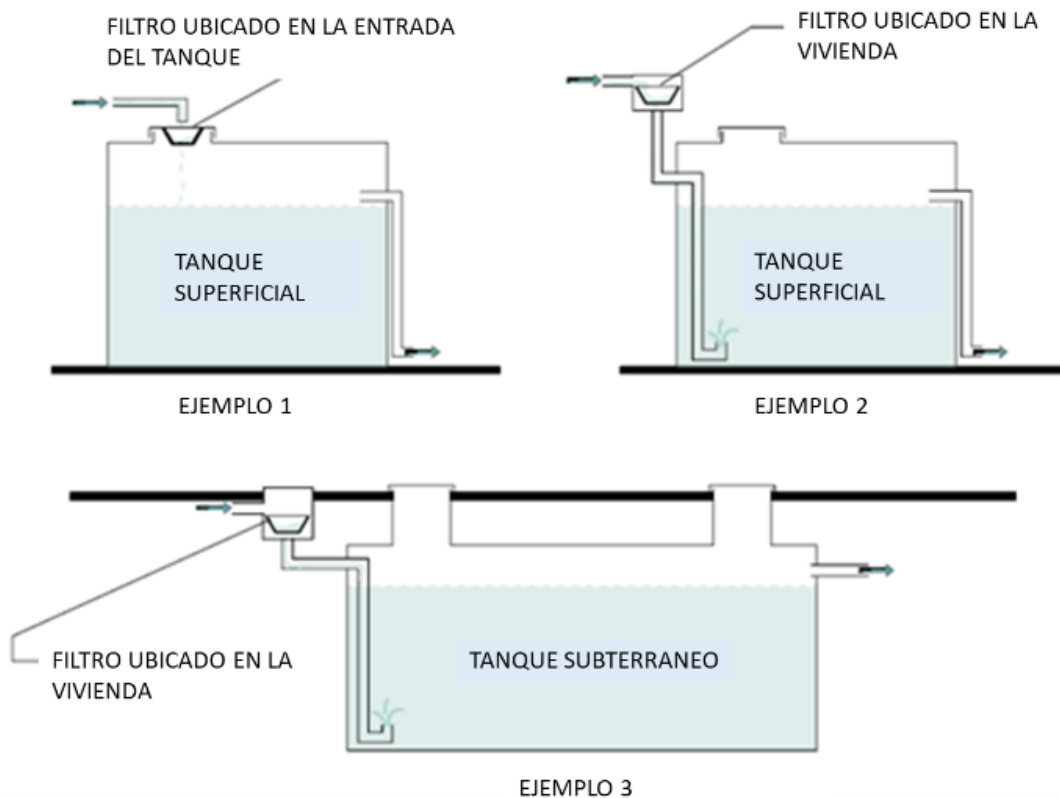
<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Económico.</i> • <i>Fácil instalación y limpieza.</i> • <i>Diseño básico.</i> • <i>Disminuye la turbulencia presente de agua a la entrada del tanque.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Si no se realiza limpieza periódicamente, la acumulación de escombros puede descomponerse en partículas muy pequeñas y pasar eventualmente la pantalla hacia el tanque. • Puede obstruirse fácilmente impidiendo el paso del agua hacia el tanque.

Fuente: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Estos filtros deben ser dimensionados de acuerdo con el flujo correspondiente al área de captación. En áreas residenciales prestan una función muy efectiva, siempre

y cuando se mantengan en constante monitoreo y limpieza. Al momento de elegir el material de fabricación del filtro hay que contemplar algunas variables como la exposición al sol y el contacto con el agua, siendo de esta manera el acero inoxidable el mejor material para un filtro tipo cesta. (Ver Fig. 10)

Figura 10. Ubicaciones filtro tipo cesta



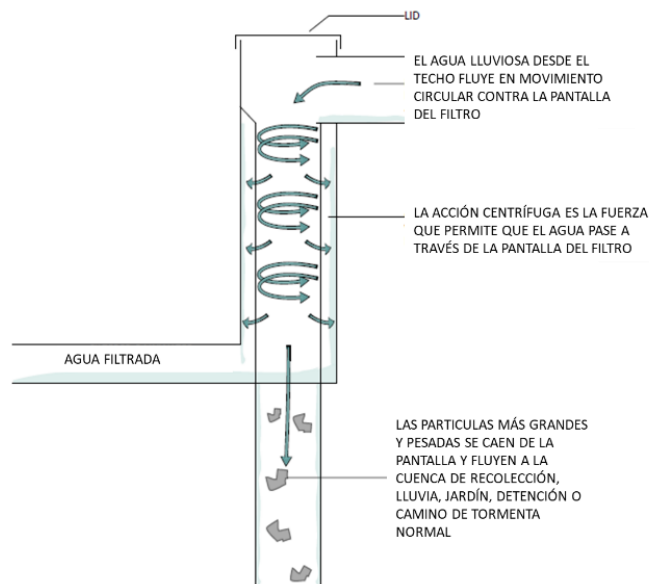
Fuente: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Filtros centrífugos: La operación de este filtro consta del paso forzado de agua a través de una pantalla, mediante la fuerza centrífuga los escombros y residuos son dirigidos hacia abajo permitiendo una tormenta normal hacia un camino direccionado.

Deben inspeccionarse regularmente, aunque son mucho menos susceptibles a la obstrucción en comparación a otros tipos de filtros, pueden ser instalados bajo el suelo para aplicaciones en sistemas de gran tamaño subterráneas cubriéndolos con tapas que puedan ser previstas a soportar altas cargas. En flujos bajos no prestan una mayor

eficiencia, ya que la acción centrífuga para forzar el agua a través de la pantalla no es suficiente. (Ver Fig. 11)

Figura 11. Filtro tipo centrífugo

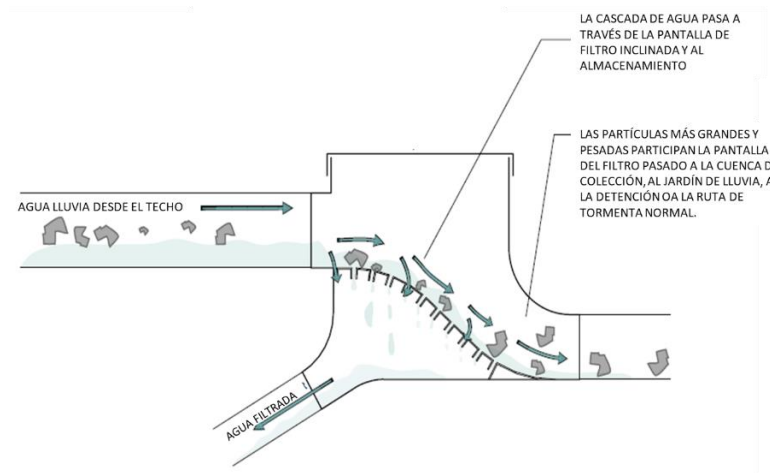


Fuente: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Filtros excluidores con cascada: El proceso de filtrado permite que la gravedad de la cascada de agua pase a través de una pantalla inclinada, reteniendo las partículas y el agua lluvia que pasa hacia el tanque de almacenamiento. Se encuentran en diversos rangos de tamaño para acomodarse a diferentes capacidades de flujo.

Son dispositivos de filtrado muy sofisticados, prestan en gran parte la función de auto limpiantes y cuentan con la posibilidad de incorporar inyectores de boquillas de agua que permitan rociar la pantalla para mantenerlo limpio en eventos de lluvia. Generalmente son implementados en países o estados donde experimentan largos periodos de lluvia, como en California. (Ver Fig. 12)

Figura 12. Figura tipo cascada

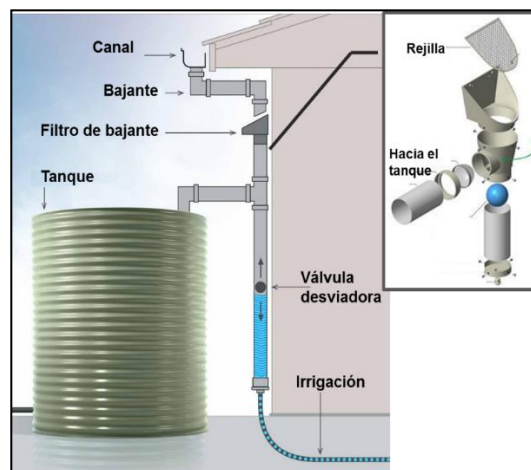


Fuente: (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Interceptor de primeras aguas

Es el encargado de bloquear la entrada de material contaminante con la que llega la primera agua lluvia al sistema de almacenamiento, obstruyendo el paso de partículas sólidas de gran tamaño. Cuenta con una válvula desviadora que no requiere de manipulación humana y permite almacenar en un conducto de limpieza la primera agua lluvia filtrada, para dar inicio al llenado del tanque de almacenamiento con agua lluvia más purificada y así evitar obstrucciones en el sistema de distribución a los puntos sanitarios. (Ver Fig. 13)

Figura 13. Sistema de filtración de primeras aguas



Fuente: (Suarez, 2017)

2.4.4. Tanque

Unidad de almacenamiento, tanque o cisterna son términos indistintamente utilizados para identificar el componente que cumple esta función en un sistema de captación de agua lluvia. Tiene como función principal almacenar el agua recolectada y pre filtrada para estar disponible a la distribución bajo una demanda establecida. (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

Los componentes de un sistema de almacenamiento incluyen lo siguiente:

1. Tanque
2. Entrada de agua lluvia desde los bajantes (puede ingresar al tanque desde la parte superior o lateral)
3. Entrada de calma (minimiza la perturbación de sedimentos en la parte inferior del tanque al reducir la agitación de agua entrante, proporcionando aireación)
4. Ingestión flotante (extractor)
5. Salida de agua hacia la red de distribución
6. Indicador de nivel de agua (flotante o electrónico)
7. Rebose/desbordamiento (proporciona extracción de agua superior al máximo nivel del tanque)
8. Ventilación (proporciona ventilación para el agua almacenada y alivio de presión del agua entrante)
9. Acceso al tanque

En la mayoría de los tanques de almacenamiento el punto de desbordamiento debe ser igual al diámetro de tubería de entrada, debe tenerse en cuenta la canaleta o destino a la cual ira el agua que fluirá a través del tubo de desbordamiento. Se diseña en función del volumen de agua recolectada en épocas de lluvia, teniendo en cuenta la predicción de las precipitaciones del sitio de estudio.

2.4.5. Red de distribución

Las edificaciones están sujetas a variaciones en sus dimensiones y especificaciones a la hora de ser diseñadas, esto posibilita la implementación de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia de forma paralela a las redes de distribución de agua potable existentes en la edificación. (Syed Azizul Haq, 2016)

La distribución es el componente encargado de entregar agua con calidad y presión apropiada a los puntos hidráulicos a abastecer, deben ser elegidos cuidadosamente buscando compatibilidad y aprovechamientos de las aguas lluvias. Este componente puede verse afectado por factores como la ubicación del tanque, ubicación de la estación de control y suministro de agua esperado para abastecer el sistema. (Novak, Van Giesen, et al., 2014)

El agua lluvia en un edificio puede requerirse en diversos puntos, variando su calidad y cantidad según la necesidad. Tiene como ventaja la similitud en la implementación de un sistema de suministro de agua normal, lo cual no genera costos adicionales.

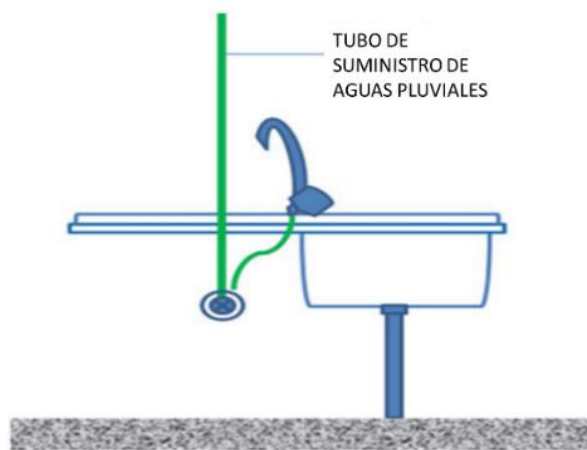
Cuando se desea implementar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia se debe construir como sistema adicional al sistema de suministro normal, ya que no es viable tenerlo como fuente única de abastecimiento del recurso hídrico. Es por esto, que generalmente se construye como un sistema complementario a la red de distribución normal. (Syed Azizul Haq, 2016)

La implementación de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia puede construirse con dos enfoques diferentes para la distribución:

Usos exclusivos: Se determinan puntos específicos para la conexión de las tuberías de distribución del agua lluvia, para dar uso de esta con fines específicos, teniendo en cuenta su volumen de disponibilidad sin ser suplemento de otras fuentes de agua.

Como se observa en la figura 14 se implementa únicamente una tubería por la cual se transporta el agua lluvia hacia los lugares establecidos, una tubería única para suministro exclusivo de agua lluvia para un fregadero.

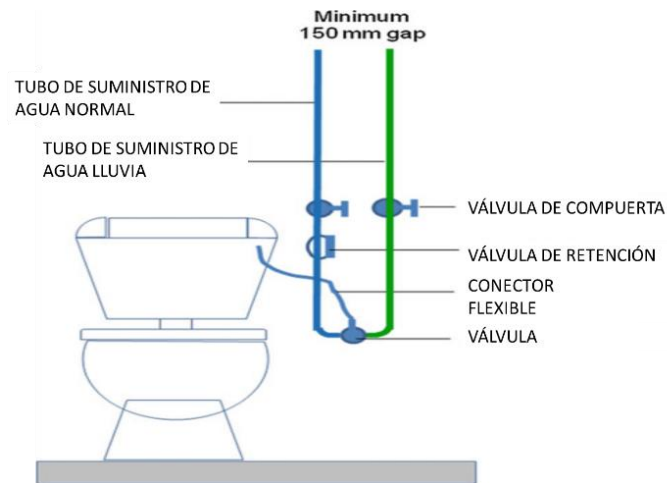
Figura 14. Uso exclusivo de agua lluvia



Fuente: (Syed Azizul Haq, 2016)

Usos suplementarios: Se instala como una fuente suplementaria de agua para satisfacer varias demandas de consumo del recurso hídrico. Se construye un sistema de doble tubería apoyado por válvulas de compuerta, siendo una tubería red de agua lluvia y la otra red de distribución de agua potable. (Ver Fig. 15)

Figura 15. Uso suplementario de agua lluvia



Fuente: (Syed Azizul Haq, 2016)

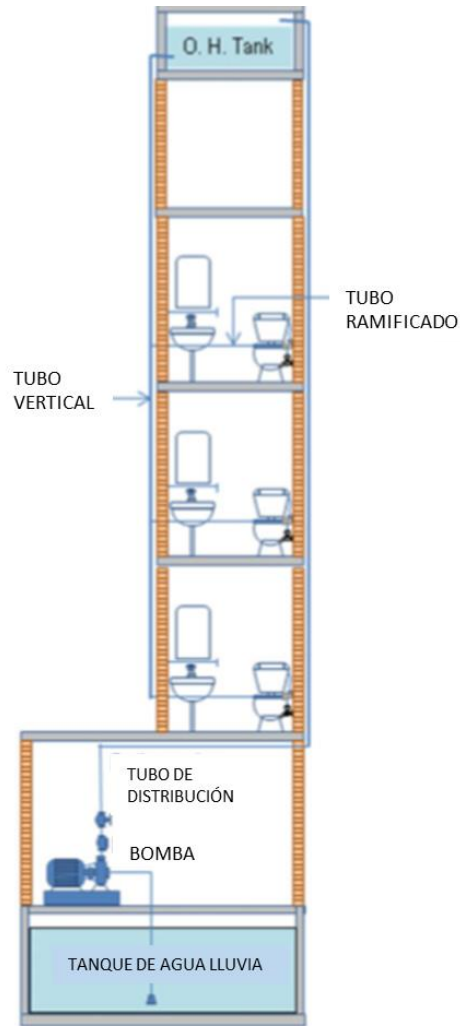
Al igual que en un sistema común de suministro de agua en una edificación, el sistema de aprovechamiento puede ser implementado mediante dos métodos básicos: (Syed Azizul Haq, 2016)

- Un sistema de tanques subterráneos
- Un sistema de bombeo directo a los puntos de distribución

A continuación, se describen los métodos anteriormente mencionados para crear un sistema de suministro de agua lluvia, adicionando algunas medidas de mitigación frente a la contaminación del agua en el sistema de suministro. (Syed Azizul Haq, 2016)

Sistema de tanque subterráneo - aéreo: El agua lluvia se almacena en el subsuelo por medio de un tanque de almacenamiento, el agua almacenada se bombea hacia otro tanque que se instala a un nivel más alto del techo de la infraestructura a la que se desea implementar la red de distribución. Desde el tanque aéreo el agua es suministrada por gravedad a través de una red de tuberías hacia los lugares establecidos. (Ver Fig. 16)

Figura 16. Sistema de tanque subterráneo - aéreo



Fuente: (Syed Azizul Haq, 2016)

La tabla 2 presenta las ventajas y desventajas de este tipo de sistema.

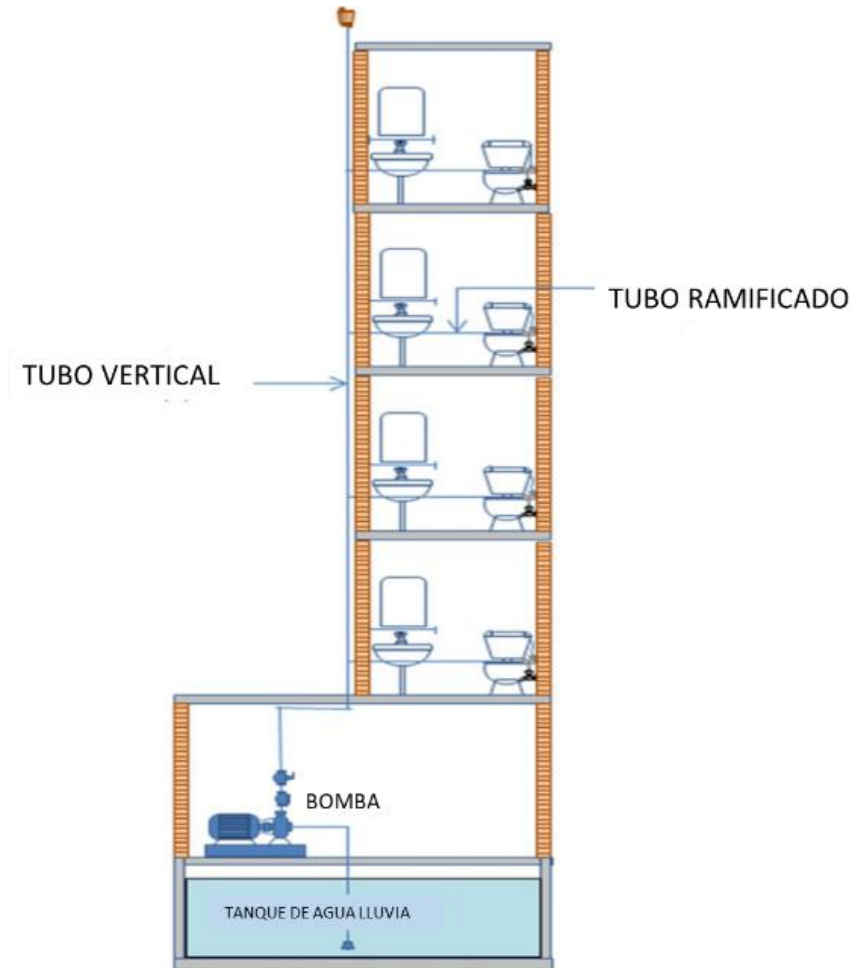
Tabla 2. Ventajas y desventajas sistema tanque subterráneo – aéreo

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Método sencillo y bajo costo.</i> • <i>Requiere menor control y operación.</i> • <i>Variación de presión mínima.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • El tanque elevado no da un aspecto estético. • El tanque elevado adiciona una carga extra a los elementos estructurales del edificio. • La presión de los pisos superiores puede ser inadecuada.

Fuente: (Syed Azizul Haq, 2016)

Sistema de bombeo directo: El agua lluvia es almacenada a un nivel inferior a los puntos a los que se desea suministrar para su aprovechamiento, como se observa en la figura 17.

Figura 17. Sistema de bombeo directo



Fuente: (Syed Azizul Haq, 2016)

Dicho sistema cuenta con la ventaja de mayor eficiencia de flujo y presiones disponibles, requiriendo menor área de piso para su implementación y bajo costo de construcción inicial. Sin embargo, su costo de operación y mantenimiento es elevado en comparación a un sistema de tanque subterráneo – aéreo, y depende directamente del sistema de energía del lugar de implementación.

2.4.6. Sistema de bombeo

Para el suministro de agua lluvia en una edificación la bomba más adecuada para su funcionamiento es un sistema de bombeo centrífugo con alto mecanismo de desarrollo de presión.

Las bombas centrífugas tienen como principal componente de funcionamiento una serie de impulsadores en forma de cuenco circular, que se conectan y giran alrededor de un eje que se suporta de un motor eléctrico. Convirtiendo la potencia de entrada en energía cinética y acelera el agua mediante las paletas curvas presentes en el impulsor. (Syed Azizul Haq, 2016)

Los criterios que se deben tener en cuenta de acuerdo con la Resolución 0330 del 2017V (RAS) para la selección de una bomba y la ubicación de la estación de bombeo son los siguientes: (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

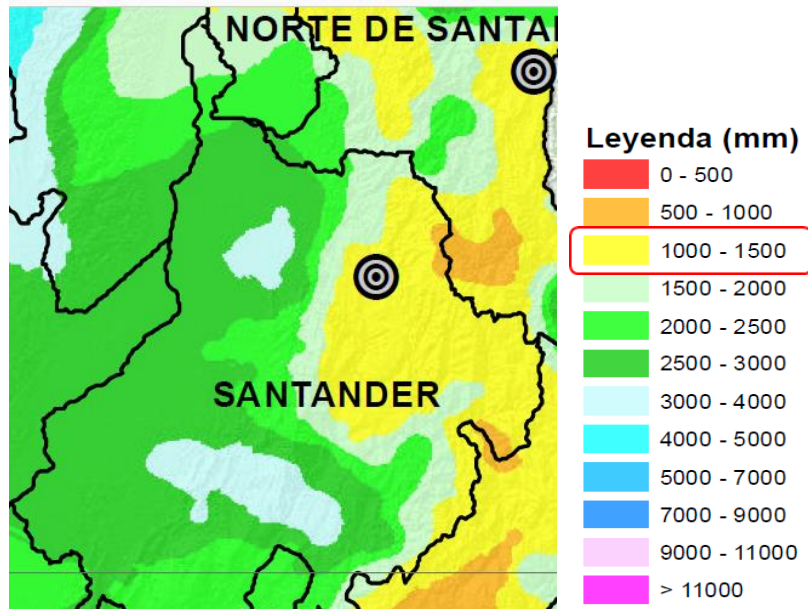
1. Temperatura de funcionamiento del lugar donde se instalará la bomba y del líquido que se desea bombear.
2. Condiciones hidráulicas de funcionamiento del sistema (caudales, alturas de bombeo y configuración del sistema).
3. NPSH requerido y disponible.
4. Costos de inversión, funcionamiento, mantenimiento, reparación y descarte.
5. Condiciones geográficas del sitio (acceso, probabilidad de inundación).
6. Niveles de ruido.
7. Eficiencia energética.
8. Rendimiento y potencia absorbida.

2.5. Precipitación

La precipitación es el proceso de liberación de agua desde la atmósfera hasta la superficie de la tierra, ya sea en forma de nieve, granizo, aguanieve o lluvia. La precipitación está directamente relacionada con los datos de precipitación media mensual realizados en estudios históricos de la lluvia de la región. (Davie, 2008)

El prototipo está ubicado en las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana localizado en el área metropolitana de Bucaramanga. En la figura 18 se observa que la precipitación total anual de la zona donde está ubicado el prototipo varía entre 1000-1500 mm. (IDEAM, 2015) Cabe resaltar que los datos de precipitación son importantes en el dimensionamiento del tanque de recolección.

Figura 18. Precipitación total anual (mm), Departamento de Santander



Fuente: (IDEAM, 2015)

2.6. Mantenimiento de sistemas de captación

Las medidas para el almacenamiento seguro y eficiente de agua lluvia que se deben considerar después de la implementación del sistema de captación de agua lluvia son: (Gould, 2015)

- Al inicio de cada periodo de lluvia, verificar la funcionalidad del interceptor de primeras aguas, retirar los residuos de sedimentación presentes en el filtro canal de bajante, tanque de almacenamiento y área de captación.
- Verificar el funcionamiento de la red de rebose del tanque de almacenamiento, para monitorear el nivel máximo de agua.

- La canaleta de desagüe encargada de desviar la escorrentía de agua sobrante debe mantenerse libre de escombros para garantizar el flujo de agua.
- Es importante mantener un mínimo de 20-30 cm de nivel de agua en el tanque de almacenamiento que se encuentre a la intemperie, para evitar que el fondo se seque y se agriete.
- El sitio de acoplamiento de tanque (placa en concreto y muros) debe mantenerse en buenas condiciones para evitar accidentes y posibles ahogamientos.

2.6.1. Mantenimiento de la tubería

A continuación, se describen algunas recomendaciones necesarias para el mantenimiento de las tuberías del sistema construido:

- Al poner en marcha el sistema debe verificarse que no se presenten filtraciones en las redes hidráulicas presentes en la operación.
- Las tuberías que estén expuestas a cargas externas deben mantenerse protegidas para evitar daños en estas.
- Mantenimiento periódico de las tuberías que componen el sistema, mitigando daños por envejecimiento o radiación solar.
- Para evitar la presencia de un efecto de golpe de ariete, abrir y cerrar las válvulas de la tubería lentamente.

2.6.2. Mantenimiento de bombas eléctricas

En cuanto al mantenimiento de la bomba se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Previamente a dar inicio a la operación del sistema, verificar la correcta conexión de los cables que se suplen de la red eléctrica.
- Verificar que la resistencia del aislamiento del motor sea superior a 5 MΩ.
- Se requiere de un disyuntor automático para mitigar daños en caso de un cortocircuito.

- Una vez conectada la bomba a la energía eléctrica, hacerla funcionar sin carga de agua aproximadamente 60 segundos para garantizar su correcto funcionamiento.
- La entrada de agua a la bomba debe estar cubierta de una malla para evitar el bloqueo por suciedad.
- Durante la operación de la bomba garantizar la presencia de agua en el tanque de almacenamiento, ya que el funcionamiento de la bomba sin presencia de agua provocaría un calentamiento excesivo y daño definitivo de la bomba.
- Cuando se presente el no funcionamiento de la bomba, debe procederse a desinstalarla y retirarle el limón interno, limpiarlo y almacenar la bomba en un espacio seco y ventilado.
- Mantenimiento periódico de todas las piezas que componen la bomba, según especificación técnica.

3. IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para la construcción e implementación de los diversos componentes del sistema de aprovechamiento de agua lluvia. Además, se describe el proceso constructivo y los resultados obtenidos relacionados con la implementación del sistema de aprovechamiento de agua lluvia ubicado en el prototipo de vivienda del laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.

3.1. Seguridad y salud en el trabajo

En la construcción del sistema de aprovechamiento de agua lluvia se estableció los lineamientos técnicos para garantizar la seguridad y salud en el trabajo, para evitar accidentes de trabajo y enfermedades laborales. (Ver Fig.19)

La mano de obra utilizada consiste en dos oficiales de plomería con curso en alturas vigente, dos técnicos en electricidad y un maestro de construcción con seguridad social al día.

Los elementos, equipos, herramientas y la mano de obra utilizada para garantizar la seguridad y la salud durante la construcción del sistema fueron los siguientes:

- Un coordinador de alturas
- EPP (Elementos de Protección Personal)
- Andamios certificados de 6 metros de altura
- Dos líneas de vida

Figura 19. Seguridad social y salud en el trabajo en obra

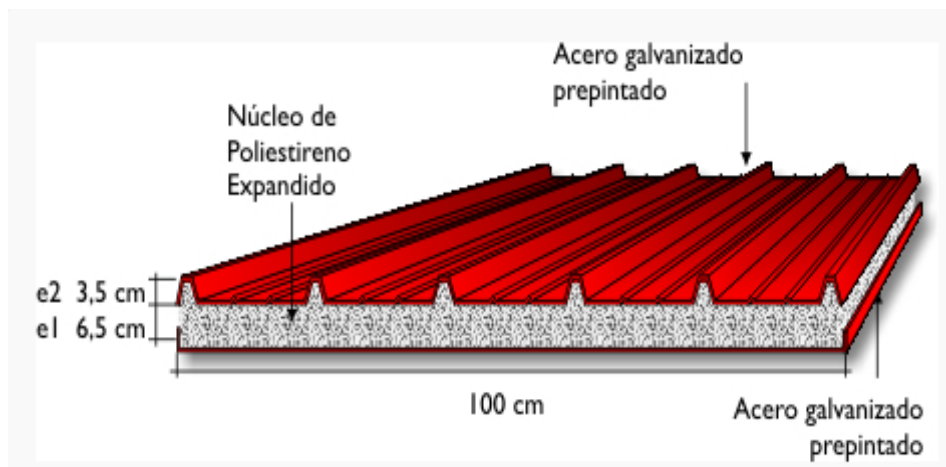


Fuente: Autores

3.2. Área de captación

El área utilizada para la captación de agua lluvia corresponde a una cercha metálica compuesta por dos paneles tipo sándwich, que cuenta con una estructura interna de poliestireno expandible buscando la función de techos termoaislantes revestidos con láminas de acero galvanizado. (Ver Fig. 20)

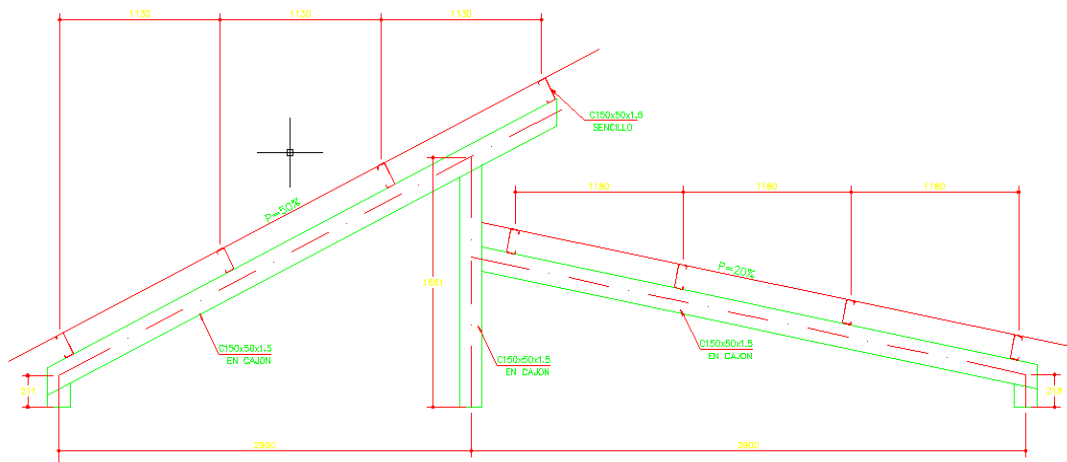
Figura 20. Panel sándwich



Fuente: Disponible en www.metalpan.com

La cubierta del prototipo de vivienda ubicado en el laboratorio de construcciones cuenta con un coeficiente de escorrentía de 0.9, siendo dicha área un sistema de dos aguas, con pendientes de 20% y 50% respectivamente las cuales facilitan la captación del agua lluvia, como se muestra en la figura 21. (Suarez, 2017)

Figura 21. Alzada cercha metálica



Fuente: Autores

El área de captación utilizada cuenta con unas adecuadas pendientes y material de superficie que facilita el deslizamiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección, permitiendo un aprovechamiento significativo de la intensidad y duración de la precipitación.

Figura 22. Vista en planta área de captación



Fuente: Autores

La superficie de captación que cuenta con un área de 70 m^2 proyectada horizontalmente (Ver Fig. 23) que permite la recolección de un volumen representativo de agua en época de lluvias, ya que no se cuenta con obstrucciones como árboles, ramas, edificaciones, entre otras que influyan en el desvío del agua lluvia hacia la superficie.

Figura 23. Proyección del área de captación



Fuente: Autores

3.3. Sistema de recolección

La metodología de la construcción del sistema de recolección de aprovechamiento de agua lluvia es muy similar a la implementada en construcciones tradicionales donde no se aprovecha el agua lluvia, ya que las canaletas y bajantes trabajan a flujo libre facilitando y permitiendo la conducción del agua captada hacia el tanque de almacenamiento o nivel del suelo.

Los sistemas de transporte y evacuación de aguas lluvias más comunes se manejan mediante canales que se instalan en los bordes de las cubiertas buscando

recoger el agua lluvia de los vertimientos del techo y conducirla hacia bajantes, que son los encargados de llevar el agua hasta el nivel del terreno. (Ver Fig. 24)

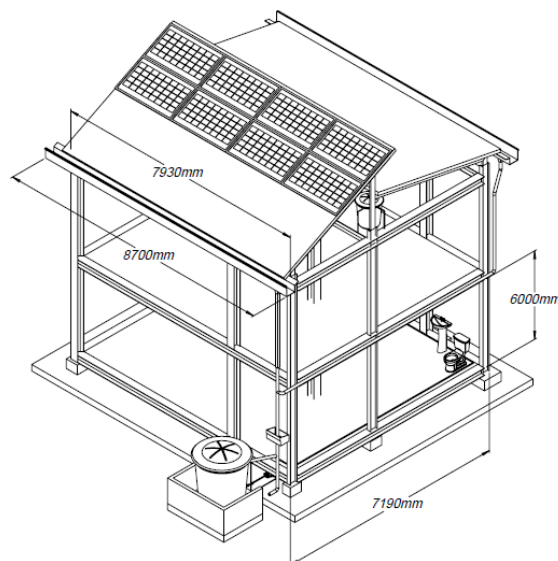
Figura 24. Canales de recolección sin aprovechamiento



Fuente: Disponible en <http://cabalaskills.co/bajantes/>

Por otro lado, se puede observar la similitud de los diseños anteriormente mencionados en comparación a un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, contando con la diferencia que se instala o adecua un espacio o tanque para el almacenamiento del agua y luego dar un adecuado uso de esta, como se observa en la figura 25.

Figura 25. Canales de recolección con aprovechamiento

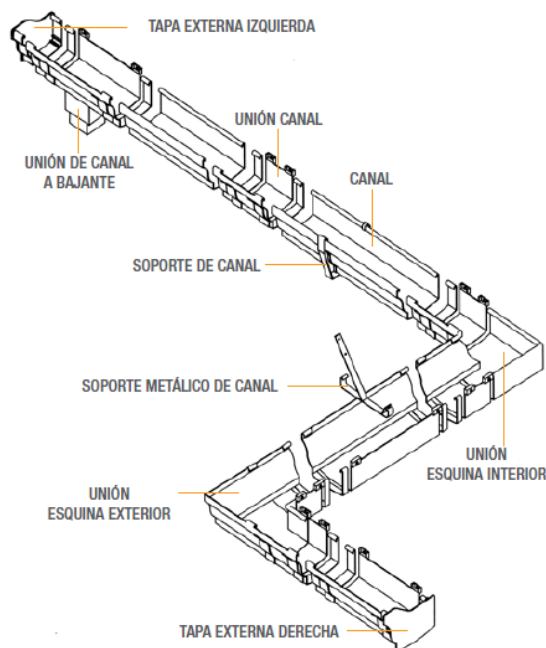


Fuente: (Suarez, 2017)

Las canaletas instaladas en los bordes de la cubierta definida como área de captación buscan recolectar el agua lluvia para su conducción a los bajantes y finalmente ser almacenado en el tanque.

Los canales utilizados en la construcción son de PVC tipo amazona (Ver Fig. 26) que en su interior tienen incorporadas crestas triangulares que buscan evitar que las hojas y residuos sólidos de gran tamaño se adhieran al canal, de esta forma permite mitigar las obstrucciones y taponamientos en el sistema de recolección. Cuenta con uniones que impiden el goteo y, además, permiten la expansión y contracción normal de cada tramo de canal evitando las deformaciones en este, se ajustan manualmente por lo que no hay necesidad de aplicar ningún tipo de soldaduras ni selladoras.

Figura 26. Esquema canal amazona



Fuente: Disponible en www.pavco.com.co

3.3.1. Proceso constructivo de la instalación canaletas

Para la instalación de los canales ubicados en la parte lateral de la cubierta fue necesario el uso de andamios certificados debido a las condiciones geométricas del prototipo de vivienda, el proceso constructivo implementado se realizó de la siguiente manera:

Con la ayuda de un taladro industrial se anclaron los tramos de canaleta con tornillos perforadores y amarres de platina de aluminio lisa 1*1/4" de aproximadamente 80 cm de largo con separación entre sí de 0,85 metros lineales, buscando garantizar el amarre y la adherencia de la lámina de acero.

Figura 27. Instalación de tramos de canaleta



Fuente: Autores

En el borde lateral izquierdo se instalaron dos tramos de tres metros lineales, un tramo de 1,75 metros lineales, dos uniones de 0,3 metros lineales, una tapa interior y exterior y una unión de canal a bajante de 0,3 metros lineales. Siendo la unión lineal de estos elementos la distancia requerida para cubrir los 8,65 metros que componen cada lateral establecido para retener el agua lluvia que corre sobre la superficie de captación. (Ver Fig. 28)

Figura 28. Canal borde lateral izquierdo



Fuente: Autores

En el borde lateral derecho se realizó nuevamente el proceso de instalación especificado anteriormente. Siendo este el último componente del sistema de captación instalado. (Ver Fig. 29)

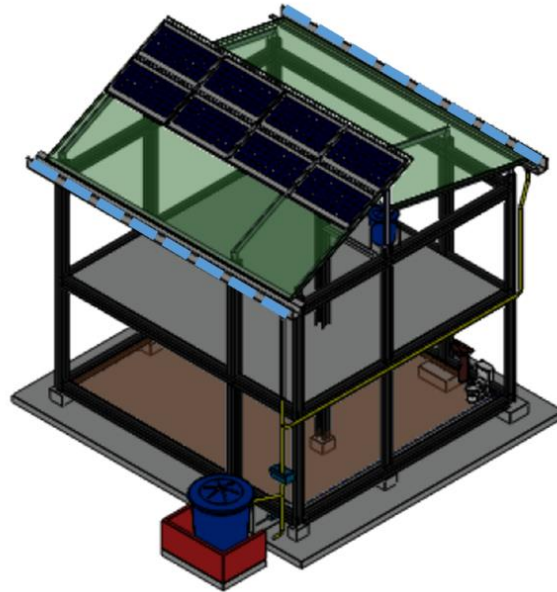
Figura 29. Canal borde lateral derecho



Fuente: Autores

La implementación de los canales fue el primer elemento del sistema en construirse, ya que cumple la función de la primera etapa que es la captación, y de ella se desprenden los demás elementos que conforman el sistema de aprovechamiento del agua lluvia.

Figura 30. Implementación de canaletas de captación



Fuente: Autores

3.4. Sistema de conducción

El componente de conducción tiene como propósito transportar por gravedad las aguas captadas hacia el tanque de almacenamiento. Por lo tanto, se estableció la siguiente ruta y método constructivo:

- La instalación de la red de conducción se realizó con tubería sanitaria PVC de 3" y sus respectivos accesorios complementarios. Mediante la unión de canal a bajante instalada en los extremos de las canaletas laterales de la cubierta, se incorporó un convertidor de cuadrado a redondo de diámetro 3" fijándolo con soldadura hidráulica, como se observa en la figura 31.

Figura 31. Convertidor cuadrado a redondo 3"



Fuente: Autores

- En el lateral izquierdo se instalaron dos codos invertidos buscando el desnivel y la dirección necesaria para direccionar el agua lluvia proveniente del canal hacia la tubería conectada al tanque de almacenamiento. Ver figura 31.
- En la columna izquierda se instaló un tramo de 3 metros lineales de tubo PVC de 3" hasta llegar a nivel con la viga que da inicio al segundo piso del prototipo de vivienda. Se dio mayor ajuste a la tubería mediante amarres de platina de aluminio para evitar su desprendimiento por el peso del agua, como se observa en la figura 32.

Figura 32. Tramo izquierdo tubería PVC



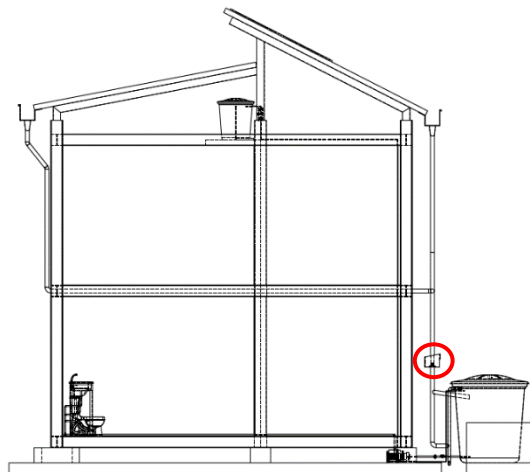
Fuente: Autores

- En la columna derecha se fijó con soldadura hidráulica la unión de canal con un bajante de 3 metros lineales de bajante cuadrado a nivel de la viga de la estructura metálica. Ver figura 31.
- Se instaló 6,8 metro lineales de tubería PVC de 3" horizontalmente buscando la intersección entre los bajantes de cada lateral, se anclan mediante amarres de platina de aluminio para evitar su desprendimiento por el peso y la velocidad del agua.
- Finalmente, mediante un accesorio codo y te se busca un pequeño desnivel para dar conexión de la tubería PCV de 3" horizontal al convertidor de cuadro a redondo instalado al bajante cuadrado.
- Se instaló un tramo de 1,3 metros lineales a la conexión inferior de la te que colinda con el filtro de sólidos.

3.5. Sistema filtro de bajante

Es un accesorio complementario al sistema, que busca retener los contaminantes de mayor tamaño presentes en el agua lluvia, evitando el ingreso de estos al tanque de almacenamiento junto con el principio de autolimpieza. Es instalado 15 cm debajo de la entrada del bajante. (Ver Fig. 33)

Figura 33. Sistema filtro bajante



Fuente: Autores

El dispositivo implementado en la construcción del sistema de aprovechamiento de agua lluvia, consta de un recipiente metálico de color azul con una inclinación de 30° respecto a la horizontal y una conexión en la parte inferior de 3". El accesorio de acero inoxidable y rejilla permite el paso del agua, excluyendo cualquier material sólido de gran tamaño. (Ver Fig. 34)

El filtro se ancló a la columna de la estructura metálica mediante unos puntos de soldadura, para garantizar su estabilidad frente a la turbulencia generada por la llegada del agua desde el bajante. El mantenimiento requerido implica la limpieza de la rejilla una vez al mes, ya que se cuenta con un área de 0,08 m² para almacenar los sólidos presentes.

Figura 34. Filtro metálico



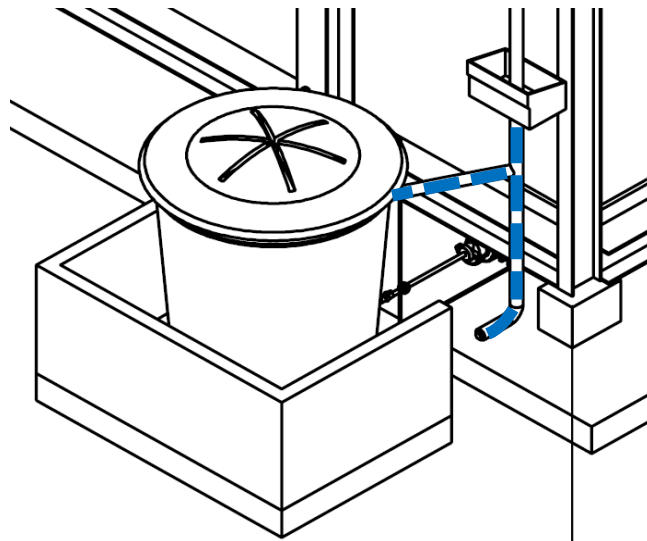
Fuente: Autores

3.6. Interceptor de primeras aguas

Generalmente, las primeras aguas lluvias llevan consigo polvo u otros contaminantes que se encuentran en el área de captación. Mediante un interceptor de primeras aguas se puede evitar el ingreso de estos contaminantes al sistema, buscando garantizar la calidad del agua almacenada y el buen funcionamiento de bombeo.

Se instaló en el sistema un desviador de primera lluvia con válvula de bola de cierre automático. Fue construido con tubería PVC de 3" y una reducción a calor que impide el paso de una pelota de icopor en su interior reteniendo la primera agua lluvia captada por el sistema.

Figura 35. Interceptor de primeras aguas



Fuente: Autores

Se ajustó a la conexión inferior del accesorio del sistema un filtro bajante con un tramo de tubería PVC de 3", seguidamente se adaptó una te para hacer la conexión al tanque de almacenamiento y, se continúa bajando con tubería de 3" adicionando una reducción y una tapa de limpieza. Su mantenimiento debe realizarse una vez finalizado un periodo de lluvia, para dar campo al funcionamiento en el siguiente periodo de captación.

Figura 36. Interceptor de primeras aguas construido



Fuente: Autores

3.7. Tanque

El sistema de aprovechamiento de agua lluvia implementado cuenta con dos tanques destinados al almacenamiento, conservación y distribución del agua lluvia captada, para seguidamente dar uso de esta en los puntos sanitarios para fines no potables.

3.7.1. Tanque de almacenamiento

Es el primer punto de llegada y almacenamiento con el que se conecta la red de captación y conducción, cuenta con una capacidad de 2000 litros y se encuentra ubicado en el exterior derecho del prototipo de vivienda.

Conforme al artículo 232 de la Resolución 0330 del 2017 (RAS) se permite el uso de tanques hechos en otros materiales, siempre y cuando cumple con requisitos equivalentes para tanques de concreto y acero, en cuanto a estanqueidad, resistencia estructural, resistencia sísmica, resistencia al ataque de químicos, materiales o resultantes de los procesos, funcionalidad y durabilidad. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017) Es por ello, que se seleccionó un tanque prefabricado de plástico que cumple con los requisitos expuestos en la normativa vigente.

A partir de este tanque se transporta el agua lluvia recolectada al tanque elevado mediante una bomba eléctrica que se encarga de suministrar la energía necesaria para la conducción del agua de un tanque a otro. (Ver Fig. 37)

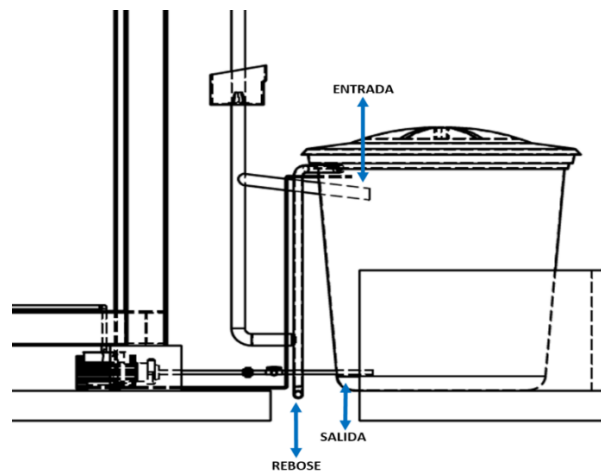
Figura 37. Tanque de almacenamiento



Fuente: Autores

Se realizaron tres perforaciones de 7,62 cm de diámetro cada una sobre el lateral superior e inferior del tanque, para realizar la conexión de la red de entrada, salida y rebose respectivamente.

Figura 38. Redes de tanque almacenamiento



Fuente: Autores

Placa tanque almacenamiento: Debido a su gran peso y a la capacidad portante que este requiere, se adecuó el sitio de instalación del tanque mediante una placa en concreto y tres muros laterales para su conservación, evitando de esta manera futuros hundimientos o deslizamientos en el área estipulada.

Se fundió una placa de 0,28 m³ con una mezcla de relación 1:3:3 y refuerzo de acero de varilla de 5 mm, además, se realizaron 3 muros laterales en ladrillo estructural h-10 de cuatro hiladas cada uno. A continuación, se muestra en la tabla 3 las cantidades y materiales utilizados.

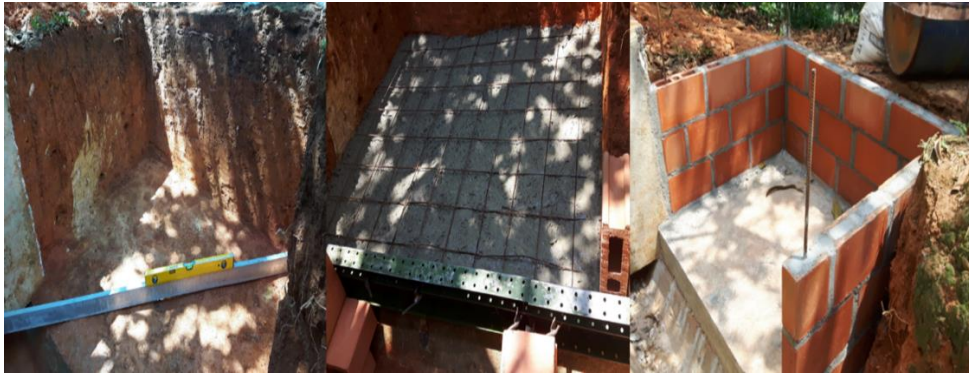
Tabla 3. Cantidades de obra de la placa del tanque de almacenamiento

<i>Material</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>
Cemento Cemex	Kg	150
Arena	M3	0,3575
Triturado de ½"	M3	0,3575
Agua	Lt	105
Varilla de 5 mm	Kg	5,4
Ladrillo estructural H-10	Und	40
Varilla de 1/2" (4 ml)	Kg	3,976

Fuente: Autores

Se niveló el terreno y muros laterales del sitio, una vez a disposición deseada del suelo se ubicó la formaleta de 0,15 cm de alto para seguidamente fundir la placa. Luego del tiempo de fraguado, se dio inicio a levantar los muros laterales con varilla de refuerzo de ½" en las cuatro esquinas. (Ver Fig. 39).

Figura 39. Placa tanque almacenamiento



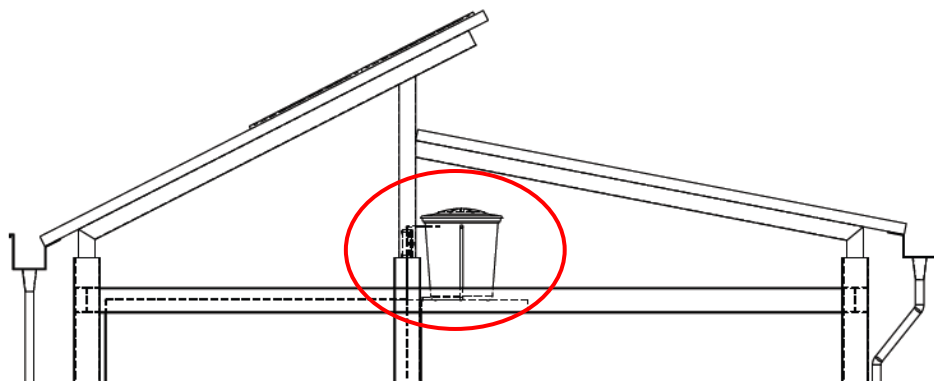
Fuente: Autores

3.7.2. Tanque de distribución elevado

Es el segundo punto de llegada del agua lluvia captada, está ubicado en el entrepiso del segundo nivel de la estructura metálica donde fue implementado el sistema de aprovechamiento de agua lluvia. Tiene como función distribuir por gravedad el agua lluvia hacia los puntos sanitarios establecidos para uso no potable.

Este tanque es abastecido mediante el sistema de bombeo que se realiza desde el tanque de 2000 litros hacia este punto de salida, tiene una capacidad de 250 litros. Cuenta con dos perforaciones de 1,27 cm de diámetro para la conexión de la red de entrada y salida. (Ver Fig. 40)

Figura 40. Tanque aéreo



Fuente: Autores

3.7.3. Placa tanque aéreo

Para el correcto funcionamiento del sistema se debe buscar un nivel superior adecuado, de tal forma que se garantice la presión por gravedad, para ello, se construyó una placa en el entrepiso del segundo nivel de la vivienda ubicada a 5 metros de altura de los puntos sanitarios.

El criterio de diseño de la placa de concreto destinada como base del tanque aéreo, se basó en el manual de instalación de Metaldeck, el título B del Reglamento Colombiano de Normas Sismo Resistentes NRS-10 y la ficha técnica corporalosa 2”, los cuales suministran datos necesarios para la realización del chequeo de resistencia de concreto y espesor de la placa.

Tabla 4. Ficha técnica Metaldeck 2”

PESO DEL TABLERO METALICO METALDECK 2”				
Calibre	22 (0,75 mm)	20 (0,90 mm)	18 (1,20 mm)	16 (1,50 mm)
Peso en Kg/m ²	7,57	9,10	12,05	15,11
Peso en Kg/m ²	7,12	8,55	11,33	14,20
ESPESOR TOTAL LOSA METALDECK 2” “h” (mm)				
100	110	120	130	140
CANTIDADES TEORICAS DE CONCRETO (m ³ /m ²)				
0,072	0,082	0,092	0,102	0,112

Fuente: Disponible en <http://www.acesco.com/>

De los datos seleccionados en la tabla anterior, en la siguiente tabla se presentan el resumen de las cargas muertas y vivas con sus respectivas unidades.

Tabla 5. Cargas muertas y vivas

Cargas		
Muerta	Tanque agua (KN)	2,45
	Peso propio Metaldeck (KN/m ²)	0,074
	Concreto (KN/m ²)	1,69
Viva	Almacenamiento liviano (KN/m ²)	6

Fuente: Autores

A continuación, se presentan los respectivos cálculos de los momentos de diseño de la placa aérea.

Momento tanque (M_T)

$$M_T = \frac{P * L}{4} = \frac{2,45 \text{ KN} * 2,1 \text{ m}}{4} = 1,29 \text{ KN} * \text{m}$$

Donde, P = Carga tanque agua (KN)

L = Luz de la placa (m)

Momento peso propio Metaldeck + Concreto (M_{PP})

$$M_{PP} = \frac{W * L^2}{8} = \frac{D * B_W * L^2}{8}$$

$$M_{PP} = \frac{(0,074 \text{ KN/m}^2 + 1,69 \text{ KN/m}^2) * 0,9 \text{ m} * 2,1^2 \text{ m}^2}{8} = 0,88 \text{ KN} * \text{m}$$

Donde, D = Peso propio Metaldeck + Concreto (KN/m²)

B_W = Ancho útil (m)

L = Luz de la placa (m)

Momento carga muerta (M_D)

$$M_D = 1,29 \text{ KN} * \text{m} + 0,88 \text{ KN} * \text{m} = 2,17 \text{ KN} * \text{m}$$

Momento carga viva (M_L)

Según la tabla B.4.2.1-1 Titulo B del Reglamento Colombiano de Normas Sismo Resistentes NSR-10 se asigna una ocupación de almacenamiento liviano con una carga viva uniformemente distribuida de 6 KN/ m².

$$M_L = \frac{W_L * B_W * L^2}{8} = \frac{6 \text{ KN/m}^2 * 0,9 \text{ m} * 2,1^2 \text{ m}^2}{8} = 2,98 \text{ KN} * \text{m}$$

Donde, B_W = Ancho útil (m)

$W_L =$ Carga viva (KN/m²)

$L =$ Luz de la placa (m)

Momento último (M_U)

$$M_U = 1,2 M_D + 1,6 M_L = 1,2 * 2,17 \text{ KN} * m + 1,6 * 2,98 \text{ KN} * m = 7,37 \text{ KN} * m$$

En la tabla 6 se presentan las propiedades físicas y mecánicas de una placa Metaldeck de altura 2" y calibre 0,75 mm, grado 40.

Tabla 6. Propiedades Físicas y Mecánicas Corpalosa

Calibre	Espesor mm	Peso Galvanizado Kg/m ²	A efectivo cm ²	I total cm ⁴	Sp efectivo cm ³	Sn efectivo cm ³
22	0,75	7,41	9,03	49,15	14,76	13,71

Fuente: Disponible en www.corpacero.com

De la tabla anterior se obtiene que el área efectiva es equivalente a 903 mm²

Según el manual técnico Metaldeck, el momento nominal resistente ϕM_n está dado por:

$$\phi M_n = 0,85 * A_s * F_y * (d - \frac{a}{2})$$

$$a = \frac{A_s * F_y}{0,85 * F'_c * B_w}$$

Donde, $A_s =$ Área efectiva (mm²)

$F_y =$ Fluencia del acero 272 MPa para Metaldeck (MPa)

$D =$ Espesor total losa Metaldeck (mm)

$F'_c =$ Esfuerzo máximo de compresión 21 MPa para Metaldeck (MPa)

$B_w =$ Ancho útil (mm)

$$a = \frac{903 \text{ mm} * 272 \text{ MPa}}{0,85 * (21 \text{ MPa} * 900 \text{ mm})} = 15,3 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = 0,85 * 903 \text{ mm}^2 * 272 \text{ MPa} * \left(100 \text{ mm} - \frac{15,3 \text{ mm}}{2}\right) * 10^{-6} = 19,3 \text{ KN} * m$$

La carga aplicada está dada por:

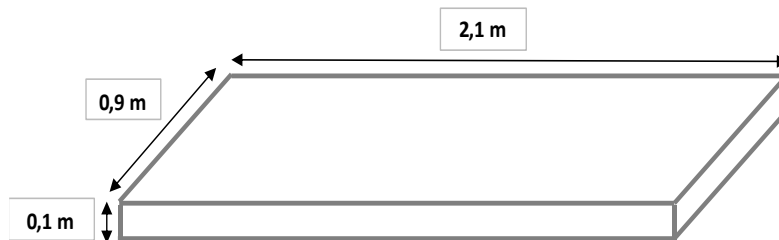
$$M = P * \frac{L}{4} = 2,45 \text{ KN} * \frac{2,1 \text{ m}}{4} = 1,29 \text{ KN} * m$$

Donde, P = Carga tanque agua (KN)

L = Luz de la placa (m)

Al realizar el cálculo de $\phi Mn > Mu$, se comprueba que cumple con la especificación técnica del Reglamento Colombiano de Normas Sismo Resistentes NSR-10, la cual indica que la resistencia de diseño debe ser mayor a el momento último aplicado. Las dimensiones de la placa diseñada y construida se observan en la figura 41.

Figura 41. Dimensiones de la placa del tanque aéreo



Fuente: Autores

La dosificación utilizada para la placa de concreto es de relación 1:2:2 con acero de refuerzo transversal de 3/8" y flejes cada 10 cm en varilla de 1/4". Las cantidades especificadas se observan en la tabla 7.

Tabla 7. Cantidades de obra de la placa del tanque aéreo

<i>Material</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>
Cemento Cemex	Kg	50
Triturado de ½"	M3	0,0798
Arena	M3	0,0798
Agua	Lt	35
Acero de ¼"	Kg	1,494
Varilla de 3/8"	Kg	140

Fuente: Autores

La construcción de la placa de entrepiso destinada a la ubicación del tanque aéreo requirió de una lámina Metaldeck soportada entre las viguetas de la estructura metálica se fundió por medio de una formaleta con la mezcla de concreto con su respectivo refuerzo de acero. (Ver Fig. 42)

Figura 42. Placa tanque aéreo



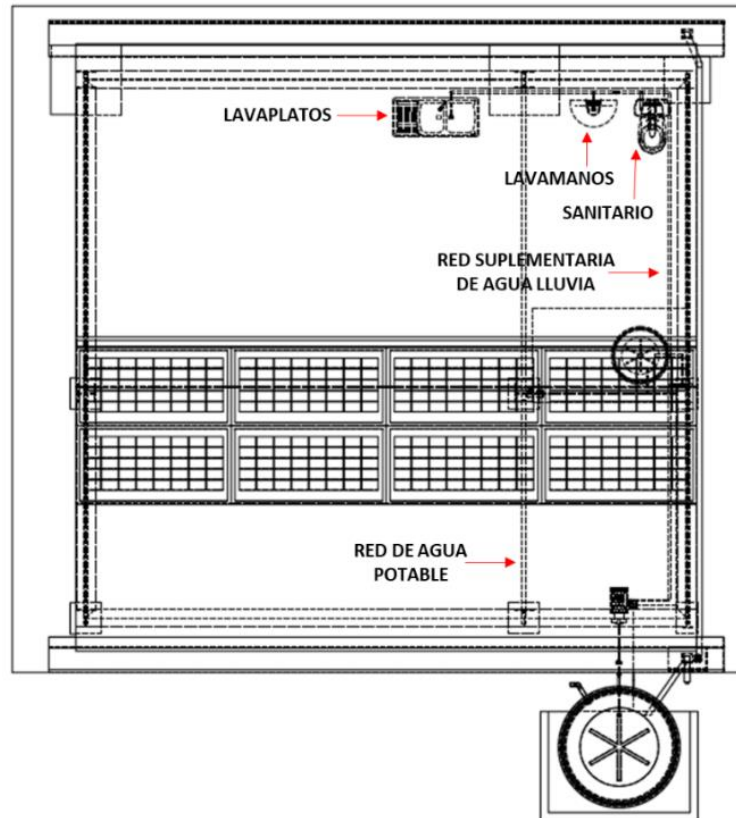
Fuente: Autores

3.8. Red de distribución

La red de distribución inicia desde la salida del tanque aéreo hacia los tres puntos hidráulicos destinados al aprovechamiento del agua lluvia. Esta red fue instalada como red suplementaria a la red normal de suministro de agua potable, es decir, se instaló paralelamente a las tuberías ya existentes.

Mediante una válvula se da prioridad al agua lluvia o al agua proveniente de la red, dependiendo de la disponibilidad en el sistema de aprovechamiento de agua lluvia.

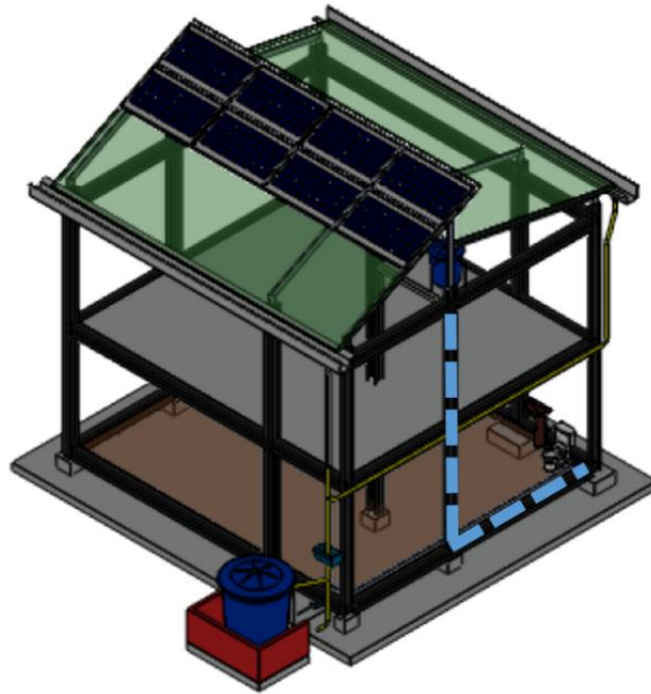
Figura 43. Puntos hidráulicos de la red de distribución



Fuente: Autores

La red de distribución está compuesta de tubería PVC de 1" y tubería PVC de 1/2" y sus accesorios complementarios. Se conectaron 6 metros de tubería de 1" a la salida del tanque aéreo paralelamente a la columna central de la estructura metálica, mediante un codo a nivel de piso horizontalmente se instaló 3,5 metros lineales de tubería hasta llegar al punto sanitario, reduciendo la tubería a 1/2" para realizar la conexión necesaria, seguidamente a 0,5 metros se conectó el lavamanos y finalmente a 1,5 metros el lavaplatos.

Figura 44. Red de distribución



Fuente: Autores

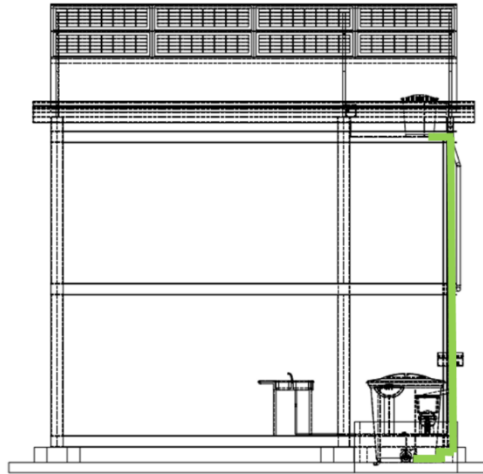
3.9. Red eléctrica

La red eléctrica tiene como función suplir energía a la bomba para realizar la función establecida en el diseño del sistema de aprovechamiento de agua lluvia, es decir, bombear el agua lluvia almacenada desde el tanque del primer nivel al tanque aéreo. (Ver Fig. 45)

El sistema de bombeo se alimenta de la red eléctrica comercial instalada en la vivienda, da inicio desde 10 cm bajo el piso de la estructura metálica y sube 6 metros paralelamente a la viga del lateral derecho, luego, mediante un accesorio codo, la tubería se direcciona horizontalmente por la viga hasta llegar al tanque elevado.

Se instaló tubería conduit PVC de ½" color verde como indicativo comercial y reglamentario de red eléctrica, en su interior cable dúplex de 2*12 canalizado desde el punto de salida del tanque de almacenamiento al punto de entrada del tanque de distribución.

Figura 45. Red eléctrica



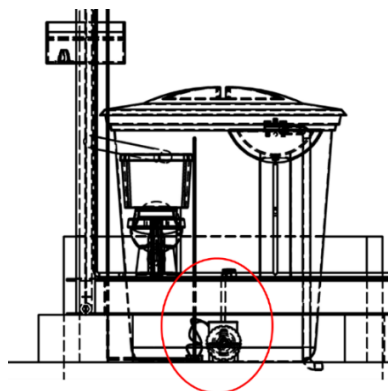
Fuente: Autores

3.10. Sistema de bombeo

El sistema de bombeo suministra el agua del tanque de almacenamiento directamente al tanque de suministro (aéreo). Se instaló en el extremo superior derecho sobre la zapata de la columna de la estructura metálica.

Se suministró una bomba tipo pedrollo de 110 V y 0,5 HP caballos de potencia, alimentada de la red eléctrica comercial cumple con la capacidad necesaria para bombear el agua a 6 metros de altura.

Figura 46. Ilustración bomba



Fuente: Autores

4. MEDICIONES DE CAMPO

El análisis del ahorro de agua potable se limitará para el sector de la población con menores ingresos, es decir, viviendas de estrato uno y dos, además como el sistema construido no cuenta con un sistema de potabilización, se analiza para fines no potables correspondientes aproximadamente al 40% del consumo de una vivienda. En cuanto a la toma de datos del agua captada y distribuida se realizó de forma empírica.

4.1. Ahorro de agua potable y costos del servicio

Uno de los beneficios más importantes del uso del agua lluvia, es la reducción en los costos de facturación por el servicio de agua potable. Para realizar la estimación del ahorro de agua potable se supone que la vivienda está conformada por cuatro personas, que la dotación neta por habitante de 140 Litros/Habitante-día (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017) y que el 40% del consumo doméstico se puede suplir sin ningún tratamiento (Elejalde, Joya, Ceballos, & González, 2015).

Con la siguiente ecuación se calcula el valor total de la facturación del servicio de agua potable.

$$V.F = TAc + TAI + TAs$$

Donde:

V.F (\$) = Valor de la factura

TAc (\$) = Total acueducto

TAI (\$) = Total alcantarillado

TAs (\$) = Total aseo

Se halla los valores TAc, TAI, y TAs correspondientes a estrato 1 y 2, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$TAc = \text{Cargo fijo} + \text{Cargo consumo}$$

$$TAI = \text{Cargo fijo} + \text{Cargo consumo}$$

$$TAs = \text{Tarifa segun estrato}$$

Basado en las tarifas que se encuentran vigentes a partir del presente año, se obtuvieron los siguientes valores correspondientes al costo de 1 m³ de agua potable al mes:

Para estrato 1

$$TAc = \$ 5.803 + \$ 1.169 = \$ 6.972$$

$$TAI = \$ 3.116 + \$ 895 = \$ 4.011$$

$$TAs = \$ 5.108$$

$$V.F = \$ 6.972 + \$ 4.011 + \$ 5.108 = \$ 16.091$$

Para estrato 2

$$TAc = \$ 7.386 + \$ 1.488 = \$ 8.874$$

$$TAI = \$ 3.966 + \$ 1.138 = \$ 5.104$$

$$TAs = \$ 10.673$$

$$V.F = \$ 8.874 + \$ 5.104 + \$ 10.673 = \$ 24.651$$

Conociendo la dotación neta por habitante, se calcula la dotación neta total de la vivienda conformada por 4 habitantes.

$$\text{Dotación neta total} = 140 \frac{L}{\text{hab. día}} \times 4 \text{ hab} = 560 \frac{L}{\text{día}} \times 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 16800 \frac{L}{\text{día}}$$

$$\text{Dotación neta total} = 16.8 \frac{m^3}{\text{mes}}$$

De esta dotación neta total el 40%, es decir, $6.72 \text{ m}^3/\text{mes}$, equivale al agua utilizada para usos no potables.

Calculamos el precio de facturación de este 40%, lo cual indicara el valor del ahorro que se estaría obteniendo al mes por el uso del sistema de captación de agua lluvia.

Para estrato 1

$$\text{Ahorro} \left(\frac{\$}{\text{mes}} \right) = 6.72 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \times 16091 \frac{\$}{\text{m}^3} = 108131 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Para estrato 2

$$\text{Ahorro} \left(\frac{\$}{\text{mes}} \right) = 6.72 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \times 24651 \frac{\$}{\text{m}^3} = 165654 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Teniendo en cuenta que el sistema está diseñado para un volumen de oferta de $7 \text{ m}^3/\text{mes}$ en los meses de invierno, es decir en promedio, 3 meses del año la oferta de agua lluvia abastece el 100% de la demanda, por tanto, se obtendría el total del ahorro estimado.

Esto quiere decir que el ahorro promedio es de $324.393 \text{ \$/año}$ para estrato 1 y de $496.962 \text{ \$/año}$

El costo del sistema fue de $\$ 3'581.186$, se estima que en una vivienda de estrato 1 se recuperaría la inversión aproximadamente en 11 años y en la vivienda de estrato 2 en 7 años.

4.2. Agua captada y distribuida

Las mediciones se realizaron de forma empírica, sin ninguna instrumentación especializada. De las mediciones realizada en el tanque de almacenamiento, se encontró que el sistema de bombeo llena del tanque aéreo de 250 litros a su nivel máximo en un tiempo promedio de 6 minutos y 40 segundos.

Se tomó el tiempo de utilización del volumen total del tanque aéreo para cada uno de los puntos hidráulicos para fines no potables, estos datos se presentan a continuación:

- Lavamanos = 59 minutos.
- Lavamanos y lavaplatos = 49 minutos.
- Lavamanos y sanitario (cada cinco minutos) = 50 min.
- Lavaplatos = 1 hora y 8 minutos.

Los datos fueron tomados de forma empírica, por lo tanto, tienen un margen de error significativo y limita el análisis detallado del sistema construido, porque no se cuenta con los volúmenes reales de suministro. En consecuencia, se recomienda implementar un sistema de monitoreo en tiempo real que permita medir el caudal, el nivel del tanque y el volumen de captación, debido a que proporciona una estimación real del potencial de sustitución de un sistema de captación de agua lluvia.

5. VIABILIDAD TÉCNICA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN CONSTRUIDO

La viabilidad técnica realizada en el sistema se realizó mediante el análisis cualitativo de sus diversos componentes con base en unas preguntas claves seleccionadas de la revisión bibliográfica y por medio de un análisis cuantitativo de la confiabilidad y eficiencia aproximada del sistema del tanque de almacenamiento seleccionado.

5.1. Evaluación técnica cualitativa del sistema de captación de agua lluvia

La metodología utilizada para la evaluación técnica del sistema de captación construido de forma cualitativa se realizó mediante el análisis de algunas preguntas claves, basadas en algunos factores específicos que permiten dar respuesta clara y concreta a las principales variables del sistema de aprovechamiento de agua lluvia.

Se analizó el sistema de captación y distribución de agua lluvia, el sistema de almacenamiento y el sistema de distribución, cada uno con sus respectivas preguntas y factores claves a considerar.

En la tabla 8 se presenta la metodología utilizada para evaluar la viabilidad técnica del sistema de captación de agua lluvia. Se puede apreciar las diferentes preguntas claves con sus respectivos factores. Las preguntas están relacionadas con las características de los diferentes componentes y permite inferir si es viable implementar el sistema, de acuerdo con las condiciones del proyecto.

Cabe resaltar que el sistema se construyó en las instalaciones del laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana, en un prototipo de vivienda que permite realizar instalaciones, simulando las instalaciones de una vivienda convencional. De esta forma, permitiendo realizar simulaciones a escala y llegar a resultados aproximados a la realidad.

Tabla 8. Metodología de evaluación de un sistema de recolección de agua lluvia

<i>Componente del sistema</i>	<i>Preguntas clave para hacer</i>	<i>Factores clave a considerar</i>
Sistema de recolección y transporte	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Puede el techo establecer un sistema de recolección de agua lluvia? • ¿La pendiente del techo y el material del techo son apropiados? • ¿Puede el sistema de recolección desviar el agua a una ubicación central? 	<ul style="list-style-type: none"> • Los techos empinados pueden ser un desafío para la recolección de agua lluvia. • El material poroso del techo puede afectar la cantidad de agua disponible y los techos de ángulo bajo pueden ocasionar una mayor cantidad de desechos y cargas contaminantes. • Tener toda el agua de lluvia recogida en un lugar reduce significativamente los costos y la complejidad al permitir un solo sistema de almacenamiento.
Sistema de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Se puede instalar un tanque interior o una cisterna externa? • ¿Hay conexiones eléctricas disponibles? 	<ul style="list-style-type: none"> • Un sistema avanzado requiere un tanque de almacenamiento interno o una cisterna subterránea, estos requieren espacio en el interior o la capacidad de excavar en el sitio. También es posible instalar el tanque superficialmente, si se dispone del espacio. • Se requerirán conexiones eléctricas para operar bombas y otros equipos.
Sistema de distribución	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Se puede acceder al sistema de plomería para integrar el agua de lluvia? 	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe acceder a la plomería, a los accesorios de uso final, incluidos inodoros y urinarios, para instalar el sistema de distribución de agua de lluvia. En un edificio existente, esto puede requerir la apertura de muros. Esto es más fácil de lograr durante la construcción.

Fuente: Disponible en <http://waterandwine.bloomcentre.com/modules/>

En la tabla 9 se evidencia la evaluación técnica del sistema de recolección construido a partir del análisis realizado en base en las preguntas claves relacionadas con las características del área de captación. Resaltando como variables principales la geometría, el material y la pendiente del área de captación que van directamente relacionadas con la eficiencia y el funcionamiento del sistema.

Tabla 9. Evaluación técnica del sistema de recolección y transporte

<i>Preguntas claves</i>	<i>Análisis</i>
<p><i>¿Puede el techo establecer un sistema de recolección de agua lluvia?</i></p>	<p>El techo de una infraestructura es el área más utilizada comúnmente para la implementación de sistemas de recolección de agua lluvia, ya que se encuentran a la intemperie permitiendo fácilmente su captación y canalización. Al existir diversos tipos de techo con especificaciones geométricas variables, se presentan casos con dificultad de instalación en el sistema de recolección, como lo son los techos empinados generando desbordamientos según su elevación e impidiendo mantener la estética original de la infraestructura.</p> <p>En relación al techo del prototipo de vivienda donde se implementó el sistema de recolección de agua lluvia, presenta características muy favorables para la instalación del sistema de recolección, debido a que las dos laminas termoaislantes que conforman el techo de dos aguas tienen pendientes de 20% y 50% respectivamente, lo que facilita la instalación de canaletas en dirección perpendicular al flujo de agua que se desliza sobre la superficie, captando un volumen de agua significativo en épocas de lluvia.</p>
<p><i>¿La pendiente del techo y el material del techo son apropiados?</i></p>	<p>El área de captación para un sistema de recolección de agua lluvia debe garantizar que la pendiente y el material de techo brinde las condiciones adecuadas para que el agua fluya con facilidad. Los techos porosos y de pequeños ángulos no son eficientes en sistemas de captación de agua lluvia, ya que, ocasionan baja cantidad de agua disponible y mayor cantidad de desechos y contaminantes.</p> <p>Las pendientes y el material del techo del sistema de recolección de agua lluvia construido tienen las condiciones adecuadas para que el agua lluvia se deslice con facilidad y se pueda captar el agua. El acero galvanizado es un material con alta eficiencia ante la corrosión, oxidación y descamación, de esta manera se garantiza la calidad del agua lluvia captada y almacenada.</p>
<p><i>¿Puede el sistema de recolección desviar el agua a una ubicación central?</i></p>	<p>El sistema de almacenamiento construido cuenta con dos puntos destinados a la conservación de la escorrentía, en primer lugar, el agua lluvia captada desde la superficie es transportada por gravedad mediante canaletas y bajantes hacia el tanque de almacenamiento, ubicado en el exterior del prototipo de vivienda. Seguidamente mediante un sistema de bombeo se transporta el agua almacenada hacia un tanque a 12 metros de altura para dar inicio al ciclo de distribución a los puntos hidráulicos.</p>

Fuente: Autores

En la tabla 10 se presenta el resultado de la evaluación técnica del sistema de almacenamiento relacionadas con las conexiones que involucran el tanque de almacenamiento y las características del entorno. Evidenciando la importancia del clima en la construcción de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, siendo este

un factor que permite determinar el diseño de algunos componentes tales como la ubicación del tanque de almacenamiento, el material de redes de captación y distribución, entre otras.

Tabla 10. Evaluación técnica del sistema de almacenamiento

<i>Preguntas claves</i>	<i>Análisis</i>
¿Se puede instalar un tanque interior o una cisterna externa?	La implementación del sistema en la ciudad de Bucaramanga cuenta con un clima templado – seco y una temperatura promedio de 22.6 °C, por esta razón no se ve la necesidad de construir el tanque de almacenamiento interno o subterráneo, ya que la temperatura mínima se presencia en la madrugada en un rango de 18°C – 19°C, siendo este rango de temperaturas un clima adecuado para la conservación del agua en estado líquido. Sin embargo, se adecua el sitio de ubicación del tanque en condiciones óptimas para su conservación y mantenimiento.
¿Hay conexiones eléctricas disponibles?	El sistema de distribución es implementado de la mano con un sistema de bombeo, mediante el cual se transporta el agua lluvia desde el primer tanque de almacenamiento que es abastecido por canales y bajantes, hacia el tanque de distribución a 6 metros de altura. La red eléctrica es suplida por punto de luz comercial, su recorrido inicia desde la red de salida del tanque exterior hacia la red de entrada del tanque elevado y paralelamente a los flotadores eléctricos de los dos tanques respectivos para finalmente dar conexión al tablero de control de la bomba, el cual indica el inicio y finalización de operación de la mismo.

Fuente: Autores

La evaluación técnica del sistema de distribución se puede apreciar en la tabla 11. Observando la relevancia que se presenta en la elección de la ubicación de las redes de distribución, ya que para su mantenimiento y reparación requieren de una intervención periódica según indicaciones, de esta manera se busca facilidad para acceder a estas, por esta razón las redes del sistema construido están ubicadas externamente, es decir, se encuentran a la intemperie.

Tabla 11. Evaluación técnica del sistema de distribución

<i>Preguntas claves</i>	<i>Análisis</i>
<i>¿Se puede acceder al sistema de plomería para integrar el agua de lluvia?</i>	<p>El prototipo de vivienda en el cual se implementó el sistema de aprovechamiento de agua lluvia es una estructura metálica con cerramiento en reja de 5mm, la cual no cuenta con muros en concreto facilitando la instalación y adición al sistema de plomería la red que será suplida por agua lluvia.</p> <p>La red de abastecimiento de agua lluvia fue construida como red suplementaria a la red de distribución de agua ya existente, es decir, hay posibilidad mediante un bypass la elección de paso de agua tanto potable como de agua lluvia para dar uso a los puntos hidráulicos conectados como sanitario, lavamanos y lavaplatos.</p>

Fuente: Autores

5.2. Análisis de la eficiencia del tanque

Se cuenta con una estación pluviográfica localizada en el campus universitario de la Universidad Pontificia Bolivariana a 998 metros sobre el nivel del mar, la estación cuenta con registro disponible desde el año 2009 de la precipitación diaria. En la tabla 12 se aprecia las precipitaciones promedio mensuales del lugar de implementación.

Tabla 12. Precipitación mensual promedio

Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
32.2	133.8	107.1	146.2	149.6	92.5	58.2	117.9	89.1	174.1	187.5	74.4

Fuente: Autores

La dotación neta debe determinarse haciendo uso de la información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores. La dotación no debe superar los valores máximos establecidos en la Tabla 13. En este caso se tomará el valor máximo de la dotación neta igual a 140 litros/habitante-día y como el sistema construido está diseñado para usos no potables se puede suplir el 40% con agua lluvia sin un debido tratamiento.

Tabla 13. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

<i>Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida</i>	<i>Dotación Neta (litros/habitante*día)</i>
> 2000 m.s.n.m	120
1000- 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: RESOLUCIÓN 0330 DEL 2017 (RAS)

La Unidad de Tecnología para el Desarrollo (Development Technology Unit, DTU) es una unidad de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Warwick cuyo objetivo es investigar y promover tecnologías sostenibles apropiadas para su aplicación en países de bajos ingresos. La DTU desarrolló una aplicación que tiene como función modelar un sistema de captación de agua lluvia, en periodos de 10 años. Parte de algunas suposiciones que cada día se suma la precipitación recolectada y se resta la demanda del usuario. Además, se supone que solo el 85% del agua que llega al área de captación llega al tanque. Los datos solicitados por la aplicación son: diez años de datos las precipitaciones mensuales, la demanda nominal, el área de captación.(Development Technology Unit, 2005)

Como resultado del análisis se calcula la confiabilidad y eficiencia aproximada del sistema para una selección de tamaños de tanques. También, se analiza cómo se utilizará el agua de lluvia dando una demanda nominal diaria y eligiendo entre tres estrategias de gestión del agua.

La aplicación tiene tres posibles estrategias de gestión del recurso hídrico: la primera es si hay una demanda constante en donde se asume que el usuario extrae una cantidad determinada de agua del tanque todos los días si hay suficiente para hacerlo, de lo contrario, el usuario toma lo que queda en el tanque. La segunda implica la variación conforme con el contenido del tanque, es decir el usuario extrae una cantidad que depende del volumen de agua en el tanque y la tercera estrategia parte de la variación según la temporada, que consiste en que el usuario toma más agua del

tanque si ha llovido recientemente y menos cuando no lo ha hecho. Esto ayuda a la conservación del agua y aumenta la confiabilidad del sistema para un tamaño de tanque dado.

Con los datos de precipitación media anual desde el año 2011 hasta el año 2018, que se obtuvieron de la estación pluviométrica ubicada en el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana, se realizó el análisis de la eficiencia del tanque del sistema construido. Además, se escogió como estrategia de gestión la variación según la temporada, ya que durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos lluviosas. Las temporadas de lluvia se extienden de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que los meses más secos son diciembre, enero y febrero, y en menor proporción, junio, julio y agosto de acuerdo con el IDEAM. Esta variación del volumen en función de la temporada de lluvias ocasiona que algunos meses de sequía exista déficit del volumen de agua requerido y que en los meses con mayores precipitaciones haya superávit de agua lluvia que al ser utilizada disminuya la dependencia del agua potable proveniente de la red.

Al analizar los rendimientos que arrojó la aplicación se puede estudiar si se debe cambiar el tamaño elegido, disminuir o aumentar la demanda nominal, o elegir una estrategia de gestión distinta de manera que los rendimientos sean aceptables.

En la tabla 14 se presentan los resultados para una demanda nominal de 560 litros/día asumiendo que el agua captada sería destinada para cualquier uso y que es para una vivienda conformada por cuatro usuarios.

Tabla 14. Resultados en relación con la demanda nominal de 560 litros/día

	Tanque	Comparaciones		
<i>Volumen del tanque (litros)</i>	2000	1100	4300	17000
Confiabilidad	12 %	11%	19%	21%
Satisfacción	24%	18%	31%	32%
Eficiencia	76%	55%	95%	100%

Fuente: Autores

En los resultados obtenidos de la fiabilidad del tanque de 2000 litros da como resultado es de 12%, lo que traduce que para una demanda nominal de 560 Lt/día es necesario recurrir a la red o aumentar el tamaño del tanque lo que brindaría mayor fiabilidad, pero aumentaría el costo del sistema aproximadamente un 60% si se duplica el tamaño, pero no es viable porque de igual forma se obtendría una fiabilidad baja. La opción más viable para aumentar la fiabilidad sería disminuir la demanda diaria a menos de la mitad, donde se obtendría una fiabilidad del 50 %.

En cuanto a la satisfacción, dio como el resultado el 24 %, es decir, aproximadamente un cuarto del agua utilizada proviene del tanque de agua lluvia, si se desea aumentar ese porcentaje en gran medida se debe disminuir la demanda diaria a menos de la mitad, ya que aumentar el tamaño del tanque traería consigo aumentos poco significativos y si mayores costos.

Se obtuvo una eficiencia que es de 76% la cual es la medida de rendimiento de mayor valor, lo que nos indica que la cantidad de agua captada es gran parte de la estimada teóricamente, la cual llegaría al 100 % con un tanque aproximadamente 8 veces más grande o una demanda diaria alrededor de 200 litros.

También se realizó el análisis partiendo de que la demanda nominal es de 224 litros/día, que corresponde solo a usos no potables en una vivienda conformada por cuatro usuarios. En la tabla 15 se presentan los resultados del análisis de la eficiencia del tanque.

Tabla 15. Resultados en relación con la demanda nominal de 224 litros/día

	Tanque	Comparaciones		
<i>Volumen del tanque (litros)</i>	2000	1100	4300	17000
Confiabilidad	46%	34%	67%	79%
Satisfacción	56%	42%	73%	83%
Eficiencia	68%	51%	88%	99%

Fuente: Autores

La viabilidad aumentó significativamente al cambiar la demanda nominal a 224 litros/día que corresponde al uso del agua con fines no potables con respecto a la demanda nominal que no discrimina el tipo de uso. El sistema en la mitad de los días del año puede suplir la demanda solo con agua lluvia.

El 56% de la demanda total puede ser suplido con agua lluvia, pero solo si el agua es destinada para usos no potables. Partiendo de ese hecho, aproximadamente la mitad de del tiempo se abastecería del sistema construido.

La eficiencia por el contrario disminuyó un 12% en comparación a los resultados anteriores, esto implica más desperdicio de agua lluvia sin recolectar.

6. CONCLUSIONES

El proceso constructivo de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia puede verse afectado por factores como: el tipo de terreno, la altura de instalación del sistema de recolección, el material del área de techo y la ruta de instalación de red de distribución ya existente.

La efectividad de funcionamiento del sistema empleado está directamente relacionada con el mantenimiento preventivo y la limpieza de este, ya que existen diversos factores que pueden influir en el deterioro y la obstrucción de las canaletas, los bajantes, el filtro y demás componentes del sistema.

La eficiencia y satisfacción de operación del sistema de aprovechamiento de agua lluvia se ve afectada positiva o negativamente según la variación relacionada a las temporadas de lluvia. Siendo el sistema durante los meses de marzo, abril y mayo del año presente confiable en un 47% y eficiente en un 67%. De esta manera, se estima que el periodo de mitad de año es la temporada que permite suplir la totalidad de la demanda de agua mediante agua lluvia, pero solo para fines no potables.

Mediante la implementación del sistema de captación de agua lluvia, se disminuye en un 40% los costos de consumo de agua potable y alcantarillado para estrato 1 y 2, siendo este ahorro el consumo mensual promedio en una vivienda compuesta por cuatro habitantes sólo en usos no potables.

Implementar lineamientos técnicos de seguridad y salud en el trabajo, es un aspecto relevante durante la ejecución de las actividades planeadas en la obra. Esto nos garantiza ambientes sanos y libres de accidentes, además, de evitar retrasos en la ejecución debido a sanciones por incumplimiento.

La planeación del proyecto en términos de tiempo, calidad y recursos permite ejecutar sin retrasos en las actividades planeadas, evitar sobrecostos y dar por finalizado con los objetivos planteados en la construcción del sistema.

El análisis de datos de campo estima que aproximadamente en 11 y 7 años se ve recuperada la inversión inicial de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para estratos 1 y 2 respectivamente.

En la evaluación de la viabilidad técnica de la eficiencia del tanque se puede estudiar si se debe cambiar el tamaño elegido, disminuir o aumentar la demanda nominal, o elegir una estrategia de gestión distinta de manera que los rendimientos sean aceptables.

Podemos concluir que el sistema de captación de agua lluvia, cuenta con una buena viabilidad del tanque de almacenamiento, la cual nos brinda, continuidad y cantidad de agua adecuada, siempre y cuando no se exceda de la demanda nominal de 224 litros/día, y no se haga uso inapropiado del agua.

7. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar mantenimiento preventivo de los componentes del sistema para garantizar el perfecto funcionamiento y operación deseada, a pesar de que se posea un sistema de auto limpieza.

El chequeo del sistema de bombeo y su conexión a la red eléctrica, requiere de una revisión constante para evitar cortos y descargas que puedan ocasionar la quema de la bomba y por consecuencia el funcionamiento del sistema.

En temporadas de abundante precipitación es necesario el chequeo diario de las canaletas de recolección, verificando la no presencia de desechos sólidos que impidan el recorrido del agua, lo cual ocasionaría el no funcionamiento del sistema, ya que no llegaría agua lluvia al sistema de almacenamiento.

Se recomienda dar continuidad en el proyecto, realizar la monitorización del sistema construido, a través de sensores y evaluar la calidad del agua captada por el sistema.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barron, J., Salas, J. C., Institute, S. E., & Programme, U. N. E. (2009). *Rainwater Harvesting: A Lifeline for Human Well-being*. United Nations Environment Programme.
- Cajina Canelo, M. J., & Faustino Manco, J. (2007). Alternativas de captación de agua, la esperanza de mejores cosechas y la conservación ambiental: cogestión de actores locales y acción colectiva en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua.
- CAMACOL & I.F.C., (Corporación Financiera Internacional). (2015). *Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Código de construcción sostenible en Colombia*. Recuperado a partir de <http://camacol.co/informacion-tecnica/reglamentos-tecnicos>
- Conpes, D. (2018). 3919.(2018). *Política nacional de edificaciones sostenibles*, 50.
- Development Technology Unit. (2005). RAINWATER TANK PERFORMANCE CALCULATOR: DATA INPUT. Recuperado a partir de <https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/group/structural/dtu/rwh/model/>
- Dumit Gómez, Y., & Teixeira, L. G. (2017). Residential rainwater harvesting: Effects of incentive policies and water consumption over economic feasibility. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 56-67. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.015>
- Elejalde, H. D., Joya, A. M. J. C., Ceballos, J. J., & González, A. (2015). *Guía 4 Guía para el diseño de Edificación Sostenible* (1.ª ed.). Recuperado a partir de <http://www.metropol.gov.co/construccionsostenible/Pages/inicio.aspx>
- Gould, J. (2015). Rainwater Harvesting for Domestic Supply. En Q. Zhu, J. Gould, Y. Li, & C. Ma (Eds.), *Rainwater Harvesting for Agriculture and Water Supply* (pp. 235-268). Singapore: Springer Singapore. http://doi.org/10.1007/978-981-287-964-6_8
- Gualdrón Becerra, N. (2014). Captación de agua lluvia como alternativa comunitaria ante la escasez y la contaminación para el consumo humano y actividades agropecuarias en las veredas El Salado y La Aguada del municipio de Lebrija Santander, Colombia.
- Haque, M. M., Rahman, A., & Samali, B. (2016). Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. *Journal of Cleaner Production*, 137, 60-69. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.038>
- IDEAM, I. de H. M. y E. A. (2015). Atlas Climatológico de Colombia. Recuperado a partir de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- Lo, A. G., & Gould, J. (2015). Rainwater Harvesting: Global Overview. En Q. Zhu, J.

- Gould, Y. Li, & C. Ma (Eds.), *Rainwater Harvesting for Agriculture and Water Supply* (pp. 213-233). Singapore: Springer Singapore. http://doi.org/10.1007/978-981-287-964-6_7
- Maksimović, Č., Kurian, M., & Ardakanian, R. (2015). What Are the Main Options for Applying the Multiple-Use Water Services Paradigm? (pp. 27-68). http://doi.org/10.1007/978-3-319-06275-4_2
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución 0330 de 2017 (2017). Colombia. Recuperado a partir de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>
- Molina-Prieto, L. F. (2015). Gestión urbana del recurso pluvial: estrategias, políticas y normativa urbana en cinco países europeos. *Revista de Investigación*, 8(1), 125-138.
- Montes, M. P. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de «Lluviatl» en México. *Consejo asesor Internacional*.
- Notaro, V., Liuzzo, L., & Freni, G. (2016). Reliability Analysis of Rainwater Harvesting Systems in Southern Italy. *Procedia Engineering*, 162, 373-380. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.077>
- Novak, C. A., DeBusk, K. M., & Van Geisen, E. (2014). *Designing Rainwater Harvesting Systems*. Somerset, UNITED STATES: John Wiley & Sons, Incorporated. Recuperado a partir de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouis-ebooks/detail.action?docID=1650821>
- Novak, C. A., Van Giesen, E., & DeBusk, K. M. (2014). *Designing rainwater harvesting systems: integrating rainwater into building systems*. John Wiley & Sons.
- Organization, W. H., & UNICEF. (2017). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines*. World Health Organization.
- Restori, A. F. (2011). Antecedentes de la Captación del Agua de Lluvia. *Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento de Agua Lluvia, Mexico*.
- Suarez, J. M. (2017). *EVALUACIÓN CON CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA Y ENERGÍA ENFOCADO A VIVIENDA DE BAJO COSTO*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Syed Azizul Haq, Pe. (2016). *Harvesting Rainwater from Buildings*. Springer. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-46362-9>
- Zeleňáková, M., Markovič, G., Kaposztásová, D., & Vranayová, Z. (2014). Rainwater Management in Compliance with Sustainable Design of Buildings. *Procedia Engineering*, 89, 1515-1521. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.442>

ANEXOS

Anexo A. Presupuesto del sistema construido.

	CUADRO PRESUPUESTO							
	RUBRO/ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	% INCIDENCIA	FUENTES	
							RECURSOS PROPIOS	UPB
Personal	Dr. Tesis	Hora	40	\$19,600	\$784,000	22%		\$ 784,000
	Paula Andrea Avila Suarez	Hora	400	\$2,000	\$800,000	22%	\$ 800,000	-
	Viviana Avila Suarez	Hora	400	\$2,000	\$800,000	22%	\$ 800,000	-
Mano de Obra	Personal de Laboratorio	Hora	12	\$25,000	\$300,000	8%	-	\$ 300,000
	Oficial Plomero	Día	4	\$85,000	\$340,000	9%	\$ 340,000	-
	Ayudante Plomero	Día	4	\$85,000	\$340,000	9%	\$ 340,000	-
	Des-instalación placa metalica							
Equipos	Equipo de presion marca PEDROLLO de 0,5hp con tanque de 24 lts. a 110 voltios	Und	1	\$450,000	\$450,000	13%	-	\$ 450,000
	Andamios certificados de 1.40 * 3 de 6 mts de altura	Día	5	\$36,500	\$182,500	5%	\$ 182,500	-
Materiales	Red hidraulica							
	Tanque 200 Litros	Und	1	\$600,000	\$600,000	17%	-	\$ 600,000
	Tanque 250 Litros	Und	1	\$180,000	\$180,000	5%	-	\$ 180,000
	Bajante cuadrado PAVCO	ml	3	\$24,000	\$72,000	2%	-	\$ 72,000
	Canal PAVCO, unión canal, tapa externa	ml	16	\$27,000	\$432,000	12%	-	\$ 432,000
	Union canal a bajante	Und	2	\$11,207	\$22,414	1%	-	\$ 22,414
	Tubería PVC 3"	ml	14	\$7,734	\$108,276	3%	-	\$ 108,276
	Red electrica							
	Cable duplex de 2*14 awg	ml	40	\$1,900	\$76,000	2%	\$ 76,000	-
	Tubo electrico	ml	24	\$0	\$0	0%		
	Terminal de 1/2"	Und	6	\$300	\$1,800	0%	\$ 1,800	
	Caja de paso rectangular	Und	3	\$400	\$1,200	0%	\$ 1,200	
	Accesorios							
	Pelota Icopor	Und	2	\$800	\$1,600	0%	\$ 1,600	-
	Amarres # 8	Und	20	\$100	\$2,000	0%	\$ 2,000	-
	Amarres # 14	Und	10	\$90	\$900	0%	\$ 900	-
	Platina aluminio lisa 1*1/16	ml	18	\$1,583	\$28,494	1%	\$ 28,494	-
	Soldadura 1/8 gerfor	Und	2	\$19,100	\$38,200	1%	\$ 38,200	-
	Placas en concreto							
	Cemento Cemex	Kg	200	\$400	\$80,000	2%	\$ 80,000	-
	Arena pareja	M3	0.44	\$72,000	\$31,680	1%	\$ 31,680	-
	Triturado de 1/2"	M3	0.44	\$80,000	\$35,200	1%	-	\$ 35,200
	Agua potable	Lts	140	\$50	\$7,000	0%	-	\$ 7,000
	Varilla 1/4"	Kg	1.5	\$2,701	\$4,052	0%	\$ 4,052	-
Varilla 3/8"	Kg	2.3	\$2,557	\$5,881	0%	\$ 5,881	-	
Varilla 1/2"	Kg	4	\$2,448	\$9,792	0%	\$ 9,792	-	
Varilla 5mm	Kg	5.4	\$2,444	\$13,198	0%	-	\$ 13,198	
Ladrillo estructural H-10	Und	40	\$2,300	\$92,000	3%	-	\$ 92,000	
Transportes	Acarreo andamios	Global	1	\$40,000	\$40,000	1%	\$ 40,000	-
	Acarreo materiales construcción	Und	5	\$15,000	\$75,000	2%	\$ 75,000	-
Gastos generales	Papeleria	Und	100	\$100	\$10,000	0%	\$ 10,000	-
	Impresiones	Und	150	\$150	\$22,500	1%	\$ 22,500	-
	Imprevistos	Und	10	\$10,000	\$100,000	3%	\$ 100,000	-
Total					\$3,581,186			