



DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA BARRIO SAN GERMÁN - USME

Practica académica

Karen Daniella Melo Hernández
Facultad de ingeniería civil

CONVENIO
EN- MATERIAL STUDIO – CPS UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
2021

CONVENIO
EN- MATERIAL STUDIO – CPS UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
2021

Contenido	
Índice de tablas	6
DEFINICIONES	7
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
JUSTIFICACIÓN	11
DIAGNÓSTICO DE LA ZONA	12
Localización	12
Aspectos sociales y comerciales	13
Tipo de viviendas	13
Servicios públicos	15
CUBIERTAS	17
ESTADO DEL ARTE	19
Ciclo hidrológico	19
Sistemas de captación de agua lluvia	20
Sistemas de captación de agua lluvia en el pasado	20
Sistemas de captación de agua lluvia en la actualidad	22
Captación por cubierta	26
ANÁLISIS HIDROLÓGICO	33
PROPUESTA DISEÑO DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS	42
Caracterización de las viviendas	42
Vivienda 1	42
Vivienda 2	45
Vivienda 3	46
Justificación de la selección	47
Dotación de agua	49
Caudal de diseño	52
Captación	56

Vivienda 1	56
<i>Vivienda 2 y 3</i>	58
Recolección y conducción	58
Interceptor	61
Almacenamiento	64
Vivienda 1	64
PRESUPUESTO	70
RECOMENDACIONES	74
CONCLUSIONES	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	79

Índice de figuras

Figura 1 Gráfico de porcentaje de asentamiento por localidad en la ciudad de Bogotá.....	8
Figura 2 Localización Barrio San Germán – Usme.....	12
Figura 3 Fotografías de campo - Tipo de viviendas.....	14
Figura 4 Fotografías de campo - Tipo de viviendas.....	14
Figura 5 Fotografías de campo - Tipo de viviendas.....	15
Figura 6 Fotografías de campo - Tanques de almacenamiento por vivienda y comunal. ..	16
Figura 7 Fotografías de campo - Tanques de almacenamiento por vivienda y comunal. ...	16
Figura 8 Fotografías de campo – Zanjas para drenaje de aguas grises.	17
Figura 9 Panorama de las cubiertas en San Germán.....	18
Figura 10 Vivienda tipo Barrio San Germán	19
Figura 11 Esquema del ciclo hidrológico	20
Figura 12 Jagüey.....	21
Figura 13 Cisterna “Impluvium” en la construcción romana.....	22
Figura 14 Cisterna tipo capuchino.	23
Figura 15 Website de la aplicación Rain Water Harvesting.	25
Figura 16 Tanque de almacenamiento de agua.....	26
Figura 17 Sistema de captación de agua lluvia en techos	26
Figura 18 Teja propuesta Ecoplak.....	27
Figura 19 Pendientes en cubiertas inclinadas	27
Figura 20 Canales de recolección de agua	28
Figura 21 Esquema básico de un interceptor de primeras aguas.	29
Figura 22 Válvula de flotador y accesorios.	30
Figura 23 Tanque de recepción de primeras aguas	30
Figura 24 Alternativa de malla para impurezas de primeras aguas.	31
Figura 25 Sistema de captación de agua lluvia en techos	32
Figura 26 Mapa de estaciones CAR- Estación Bosque El y Doña Juana más cercanas al proyecto.	33
Figura 27 Precipitación máxima en 24 horas estación El Bosque CAR	34
Figura 28 Gráfica de regresión de la curva IDF.	37
Figura 29 Gráfica Ecuación Periodo de retorno T_r Vs. Coeficientes	38
Figura 30 Gráfica curva IDF para 6 periodos de retorno.....	40
Figura 31 Recomendación periodos de retorno para la estimación de caudal máximo de diseño en obras hidráulicas.....	41
Figura 32 Zona de lavado vivienda No. 1	43
Figura 33 Extracción del agua para uso domestico	44
Figura 34 Estado actual de la cubierta vivienda No. 1.	44
Figura 35 Estado actual de la cubierta vivienda No. 2.	46
Figura 36 Vista lateral vivienda No. 2.....	46
Figura 37 . Vista elevada zona alta barrio San Germán.....	48
Figura 38 Tanque comunal zona alta San Germán.	48
Figura 39 Características de la vivienda 1 y caudal de escorrentía	54
Figura 40 Características de la vivienda 2 y caudal de escorrentía	54
Figura 41 Características de la vivienda 3 y caudal de escorrentía	54

Figura 42 Alternativas de cubierta vivienda 1 (Limatesa y limahoya)	57
Figura 43 Detalle de instalación tejado de la cubierta	57
Figura 44 Esquema canaleta Pavco Amazonas	59
Figura 45 Esquema bajantes Pavco.....	60
Figura 46 Esquema básico interceptor 1	62
Figura 47 Ejemplo Malla en tanque de almacenamiento	63
Figura 48 Esquema básico interceptor con malla	64
Figura 49 Tanques vivienda 1.....	64
Figura 50 Esquema recolección sobre tapa del tanque	65
Figura 51 Propuesta sistema de aprovechamiento vivienda 2	65
Figura 52 Fachada lateral vivienda 2.	66
Figura 53 Esquema de tanques vivienda 2	67
Figura 54 Esquema básico tubería de rebose.....	67
Figura 55 Tanque de almacenamiento 220 litros	68
Figura 56 Propuesta sistema de aprovechamiento vivienda 3.	68
Figura 57 Tanques seleccionados para uso doméstico y riego.....	69

Índice de tablas

Tabla 1 Coeficientes de escurrimiento	28
Tabla 2 Estación CAR seleccionada.....	34
Tabla 3 Precipitación máxima en 24 horas para cada periodo de retorno	36
Tabla 4 Precipitación con factor de corrección	37
Tabla 5 Periodo de retorno y factores relacionados	38
Tabla 6 Intensidad de lluvia para cada periodo de retorno (mm/h)	39
Tabla 7 Caracterización vivienda No. 1	42
Tabla 8 Caracterización vivienda No. 2	45
Tabla 9 Caracterización vivienda No. 3	47
Tabla 10 Precipitación promedio mensual estación el Bosque	50
Tabla 11 Dotación de agua vivienda No. 1	51
Tabla 12 Dotación de agua vivienda No. 2	51
Tabla 13 Dotación de agua vivienda No. 1	52
Tabla 14 Determinación de volumen de tanque	55
Tabla 15 Relación volumen del tanque y dotación diaria.....	55
Tabla 16 Material canaletas.....	59
Tabla 17 Cumplimiento canaletas y observaciones	61
Tabla 18 Presupuesto vivienda 1 alternativa 1	70
Tabla 19 Presupuesto vivienda 1 alternativa 2	71
Tabla 20 Presupuesto vivienda 2	71
Tabla 21 Presupuesto vivienda 3 riego	72
Tabla 22 Presupuesto vivienda 3 doméstico	73
Tabla 23 Presupuesto general	73

DEFINICIONES

Polígono de monitoreo: es una zona susceptible o en proceso de desarrollo ilegal, ya sea por asentamiento o enajenación. (Secretaría de hábitat,2016)

Zona periférica: zona parte de un conjunto alejado del centro, especialmente de una ciudad. (RAE, 2021).

Estudio de factibilidad: se realiza para determinar la posibilidad de poder desarrollar un negocio o un proyecto que espera implementar. (Quiroa, M. (2020)

Desarrollo urbano: proceso por el cual una población avanza en aspectos políticos, sociales, económicos, financieros y también estructurales.

UPZ: son instrumentos de planeamiento que establecen la reglamentación urbanística para un conjunto de barrios que presentan características comunes en su desarrollo urbanístico, así como en sus usos y actividades predominantes. (CCB, 2021).

Capitación de agua: acción y efecto de obtener o recoger convenientemente el agua. (riego,2020).

Aprovechamiento de agua: uso de determinada cantidad de agua la cual es tomada de diversas formas (RAE, 2021), con el objetivo de usarla en varias cosas como, riegos, agua potable, uso doméstico etc.

Hidrología: es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, y propiedades físicas, químicas mecánicas. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares. (Insivumeh,2021)

Precipitación: es la caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre mediada normalmente en milímetros sobre un determinado periodo de tiempo. (Significados,2021)

INTRODUCCIÓN

Según un informe realizado por la ONG *Techos* se conoce que la ciudad de Bogotá contaba en el 2015 con 125 asentamientos informales de los cuales el 41% estaban conformados por mínimo 20 viviendas en estados desfavorables y precarios. Con base en lo anterior, se establece que el promedio de personas que habitan en estas zonas corresponde al 3% de la población total de la ciudad lo cual, acercándonos a una cifra sería aproximadamente 230.000 personas en condiciones de vulnerabilidad.

Hay que tener en cuenta que estas cifras crecen año tras año y van a la par con el aumento de la pobreza generada por distintos factores relacionados con el desarrollo económico del país, lo cual obliga a mucha población a migrar desde otros lugares especialmente hacia zonas periféricas de las ciudades donde normalmente existen dificultades para el acceso a los servicios públicos.

Un dato destacado en el informe es que el 43% de esta población contaba al menos con una conexión irregular a servicios públicos domiciliarios y el 13% no contaba con ningún tipo de acceso a estos. De igual forma, establece el porcentaje de estos territorios de acuerdo con cada una de las localidades de la ciudad como se muestra en la figura 1.

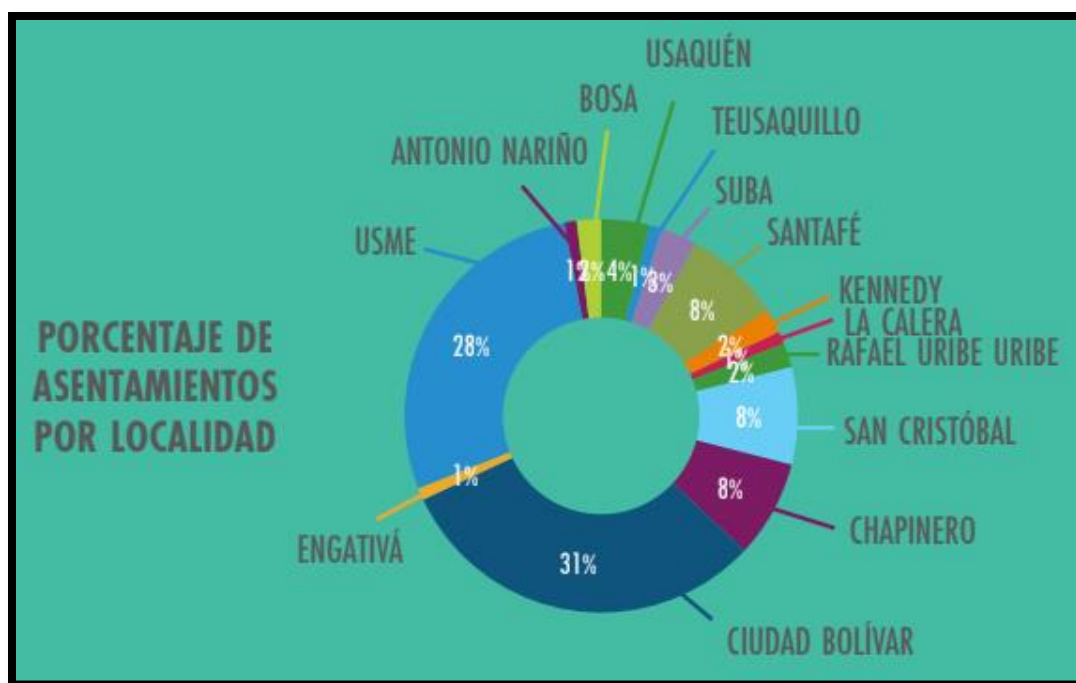


Figura 1 Gráfico de porcentaje de asentamiento por localidad en la ciudad de Bogotá
Fuente: ONG Techos, 2015

Como se puede observar, a la fecha el 59% de los asentamientos se encontraban ubicados en las localidades de Ciudad Bolívar y Usme con 31% y 28% respectivamente.

Este proyecto se enfoca en el estudio de la gestión del agua, en uno de estos asentamientos, específicamente en el Barrio San Germán ubicado en la localidad de Usme al sur de la ciudad de Bogotá, donde se realizará un diagnóstico a una alternativa para el aprovechamiento de aguas lluvias que puedan servir para consumo doméstico y posiblemente para consumo humano.

Se tendrá en cuenta diferentes factores ligados con las condiciones actuales de la zona por las cuales se hace necesaria la búsqueda de opciones que ayuden a la comunidad a abastecerse del recurso hídrico.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diagnosticar las características generales e hidrológicas del barrio San Germán ubicado en la localidad de Usme, para analizar alternativas de sistemas de recolección de aguas lluvia en esta zona.

Objetivos específicos

1. Recolectar información general de la zona y también información hidrológica para conocer el nivel de precipitación.
2. Realizar un análisis del tipo de cubiertas existentes en el barrio, específicamente tomando como referencia 3 viviendas.
3. Indagar sobre alternativas de sistemas innovadores y de bajo costo que permitan la recolección de aguas lluvias y evacuación de aguas en la vivienda informal.
4. Proponer una alternativa de recolección de aguas lluvias para consumo doméstico, que sea viable en su ejecución y económicamente responda a los principios de autogestión, modularidad y escalabilidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, en la ciudad de Bogotá se tiene reporte del crecimiento acelerado de los asentamientos informales en la zona periférica mostrando como resultado un aproximado de 1.537 ha de ocupación entre las cuales existen suelos de tipo urbano, de expansión y rural (POT, 2020). La mayoría de estas ocupaciones están ubicadas en la zona sur oriental de la ciudad y muchas veces tienen incidencia sobre áreas privadas.

Una de las áreas es el Parque Ecológico *Entre Nubes* ubicado en la localidad de Usme, que cuenta con una extensión de 626 ha de las cuales según el diagnóstico del POT 63,58 ha corresponden a áreas de ocupación informal. Actualmente, la Secretaría de Hábitat establece que en la zona existen varios polígonos de monitoreo entre los cuales se encuentra el Barrio San Germán donde se presentan afectaciones ambientales al ser un suelo de protección.

El lugar ha tenido dificultades en su proceso de legalización dentro del perímetro urbano de la ciudad durante varios años; esta formalización contribuiría a la adaptación del territorio para el acceso de servicios públicos como electricidad, gas, mejoras en infraestructura vial y también en sistemas de acueducto y alcantarillado. Sin embargo, al no contar con este permiso los habitantes han tenido que buscar otras maneras de poder atender en cierta medida sus necesidades básicas.

Para el acceso a servicios públicos como abastecimiento de agua en la zona, se realizan tomas ilegales del sistema de acueducto de la ciudad de Bogotá, específicamente del barrio La Flora por medio de conexiones artesanales que hacen la distribución del agua a través de tanques localizados en algunas viviendas y principalmente en un tanque localizado en la zona alta del barrio.

Una alternativa para controlar esta situación y ayudar a que todas las personas tengan acceso a este recurso es adoptar un sistema de captación de aguas lluvias, que por un lado podría ser un sistema eficiente si las características hidrológicas de la zona son aptas y de igual forma no generaría mayor intervención sobre el territorio, lo cual es importante tener en cuenta debido a su informalidad.

¿La implementación de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en el barrio San Germán podría ser una alternativa efectiva que cumpla con los principios de autogestión, modularidad y escalabilidad con base en las características propias de las viviendas que se encuentran actualmente en esta zona?

JUSTIFICACIÓN

El presente informe se enfocará en el diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra actualmente el Barrio San Germán en cuanto a su ciclo hidrológico para así poder determinar si es viable la implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia que tenga en cuenta los recursos materiales y económicos que se encuentren disponibles o a los que podría acceder la comunidad. De igual forma, se trata de hacer un estudio que permita al colectivo ENmaterial studio avanzar en temas de desarrollo urbano donde las personas que habitan la zona puedan ser partícipes en el proceso de ejecución y se les permita acceder al recurso hídrico de manera segura e independiente sin generar mayor afectación al territorio.

Por otra parte, el estudio tiene como propósito profundizar sobre el área de conocimiento relacionada con la hidrología y sistemas de captación de agua dentro del campo de la ingeniería civil, y posiblemente servir como referencia para la implementación de proyectos similares en otros lugares.

En primer lugar, se hará una evaluación general de la zona que tenga en cuenta los aspectos más relevantes para el proyecto como temas de servicios públicos y calidad de vida de la población. A partir de la información recolectada de diferentes entidades públicas y territoriales acerca de históricos hidrometeorológicos en estaciones de monitoreo, se realizará un análisis que contemple el estado de precipitaciones como base fundamental para conocer la viabilidad de alternativas para aprovechamiento de agua lluvia.

En este punto, se establecerá la zona más crítica del barrio y posteriormente se hará un análisis del estado de las viviendas y sus cubiertas, lo cual es fundamental para la implementación de cualquier sistema de recolección de agua de este tipo. Se escogerán 3 viviendas, y a partir de sus características se realizará el modelamiento del posible sistema.

Por último, se examinará la posibilidad de realizar el tratamiento del agua con el fin de que los habitantes puedan consumirla, sin embargo, este último punto dependerá de la viabilidad del proyecto y el tiempo de ejecución del diagnóstico.

DIAGNÓSTICO DE LA ZONA

Localización

El barrio San Germán está localizado en la localidad de Usme al sur oriente de la ciudad de Bogotá entre las coordenadas 4.515797 N - 74.097070W y 4.519952 N - 74.095509W. Se considera un asentamiento de origen informal, debido a que ocupa una parte del Parque Ecológico Entre Nubes que está conformado por los cerros de Guacamayas, Juan Rey y Cuchilla del Gavilán ubicado en las localidades de Rafael Uribe, San Cristóbal y Usme. Es importante resaltar que este parque es un área protegida debido a que en una época era destinado para la extracción de material de cantera para uso constructivo.

Actualmente, San Germán se considera un polígono de monitoreo que hace referencia a un área identificada como zona susceptible o en proceso de desarrollo ilegal por asentamiento (Secretaría de Hábitat, 2016) y cuenta con un área aproximada de 10.17 ha divididas en 6 sectores referentes al tiempo de construcción y el crecimiento del barrio. De igual forma limita al oriente con las UPZ La Flora y Danubio de la misma localidad.



Figura 2 Localización Barrio San Germán – Usme.
Fuente: Google Earth, 2020.

Aspectos sociales y comerciales

Actualmente el barrio San Germán cuenta aproximadamente con 300 viviendas, lo cual refleja un crecimiento en los últimos años teniendo en cuenta 270 viviendas registradas para el año 2018 (Santamaria, 2019).

Desde el inicio y hasta el momento, el aumento de la población en este y otros asentamientos se debe a distintos factores sociales relacionados con la delincuencia, violencia, la migración nacional e internacional, desplazamiento forzado a causa del conflicto armado, desmovilización y también en el último año por la pandemia generada por el Covid-19 que ha puesto en crisis económica a gran parte de la población en el país por el aumento del desempleo, lo que obliga a las personas a desplazarse a estos lugares.

De ahí, que los habitantes del barrio tengan una precaria calidad de vida y por consiguiente tengan dificultades sobre distintos temas como son: seguridad, bienestar y un estilo de vida digno a falta de la intervención, aunado a la falta de apoyo del distrito.

En general, el barrio se encuentra habitado principalmente por madres cabeza de hogar, excombatientes, población vulnerable de distintas zonas dentro y fuera del país; el promedio de personas por familia es aproximadamente de 4 a 5 y se puede decir que el sustento económico de cada una ellas se da por el comercio informal donde los empleos más comunes son trabajos relacionados con la construcción, confección, servicios generales y también por establecimientos pequeños donde se encuentran productos básicos.

De igual forma, la población también sobrevive con ayuda de los barrios aledaños como La Flora, de donde se abastecen de servicios de agua potable y electricidad, y además del acceso a la educación y comercio en la mayoría de las ocasiones.

Tipo de viviendas

La mayoría de las casas que se encuentran en el barrio son construidas por la misma comunidad. Como las condiciones de pobreza son altas, muchas de estas construcciones han sido hechas sin ningún tipo de estudios o planeación y principalmente los materiales utilizados son maderas, tejas de zinc, latas y materiales reciclados, los cuales son ubicados de tal forma que se adaptan a un estilo de vivienda apta para vivir, pero sin un sistema estructural definido.



Figura 3 Fotografías de campo - Tipo de viviendas.
Fuente: propia, 2021.



Figura 4 Fotografías de campo - Tipo de viviendas.
Fuente: propia, 2021.

Asimismo, encontramos otro tipo de viviendas de 1 o 2 pisos construidas en bloque, y también sistemas de pórticos con vigas y columnas. Actualmente, existe un aumento en este tipo de casas las cuales son construidas por habitantes de la zona que parten de su conocimiento empírico para ejecutarlas y ponerlas en pie.



Figura 5 Fotografías de campo - Tipo de viviendas.
Fuente: propia, 2021.

Servicios públicos

En consideración de lo mencionado anteriormente, el Barrio San Germán no cuenta con la prestación de ningún tipo de servicios públicos a cargo del Distrito, debido a su condición de informalidad.

Por una parte, en cuanto al abastecimiento de agua, existe una conexión ilegal proveniente de la red de acueducto del barrio La Flora. Ésta llega desde la parte media del barrio y se encarga de distribuir el agua, no obstante, se puede evidenciar que en la zona de mayor pendiente donde se encuentran las viviendas más recientes, específicamente en el sector 1, la presión con la que viene el agua desde de la red no permite que esta ascienda lo suficiente, por ende, en este punto se tiene disposición de un tanque de almacenamiento

comunal donde las personas por medio de canecas y baldes adquieren este recurso. Cabe resaltar que tienen que realizar recorridos largos y agotadores todos los días ya que no existe ningún sistema de bombeo que permita subir el agua.



Figura 6 Fotografías de campo - Tanques de almacenamiento por vivienda y comunal.

Figura 7 Fotografías de campo - Tanques de almacenamiento por vivienda y comunal.

Fuente: propia, 2021.

En la figura 6 se puede ver un ejemplo de una vivienda que cuenta con su propio tanque de almacenamiento y en la figura 7 el tanque comunal ubicado sobre la vía principal del barrio.

En cuanto al alcantarillado, el barrio cuenta a con un sistema artesanal de zanjas ubicadas al frente de las viviendas por donde se evacuan las aguas grises. Su estado actual es desfavorable, ya que, solo algunas partes se encuentran cubiertas por maleza o por accesos peatonales de madera ubicados frente a las entradas de cada casa. De igual forma, tienen pozos artesanales realizados por la misma comunidad en reemplazo de pozos sépticos, donde se recolectan las aguas negras. Con base a la información recibida por un habitante de la zona, estos pozos pueden contar con una vida útil aproximada de 5 años.



Figura 8 Fotografías de campo – Zanjas para drenaje de aguas grises.
Fuente: propia, 2021.

CUBIERTAS

El estado actual de las cubiertas en San Germán varía según el estado en el que se encuentran las viviendas. Por una parte, podemos ver viviendas con tejado de Zinc en condiciones precarias, colocado sobre estructuras de madera y soportado por diversos elementos que impiden que los vientos fuertes levanten dichos tejados.

Por otro lado, las viviendas que han sido construidas recientemente o las que han tenido más planificación cuentan con cubiertas mejor elaboradas construidas con diferentes materiales para tejado como Zinc o fibrocemento y en algunos casos se encuentran viviendas con terrazas que tienen drenaje para el agua lluvia por medio de tuberías bajantes.

Los principales problemas que se encuentran en las cubiertas se fundamentan en el tipo de estructuras que tienen estas. La mayoría de las veces las viviendas y en este caso concreto, las cubiertas, son construidas por la comunidad y no cuentan con la estabilidad y elementos necesarios como amarres y anclajes que puedan brindar un buen funcionamiento, lo anterior a causa de la falta de recursos y mano de obra especializada.

Por otra parte, algunas de las cubiertas se han deteriorado con el tiempo debido a factores externos (condiciones climáticas), en específico la fuerza del viento; cuando ocurre esta situación los habitantes implementan alternativas como colocar elementos como llantas, ladrillos, etc. para sostener las cubiertas e impedir el paso del agua dentro de las viviendas durante eventos de precipitación.



Figura 9 Panorama de las cubiertas en San Germán
Fuente: El autor



Figura 10 Vivienda tipo Barrio San Germán
Fuente: El autor

ESTADO DEL ARTE

Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico consiste en el movimiento y la transformación del agua en sus estados (líquido, gaseoso y sólido). El proceso se lleva a cabo mediante a diversas condiciones climáticas que permiten al planeta mantener la vida de todos los ecosistemas.

Es importante tener en cuenta este ciclo ya que es base para conocer las condiciones en las que se presenta este recurso actualmente. La transformación se da mediante los procesos como: condensación, evaporación, transpiración, precipitación, almacenamiento, escorrentía, filtración y otros que se muestran en la figura 11.



Figura 11 Esquema del ciclo hidrológico

Fuente: <https://water.usgs.gov/gotita/watercyclegraphic.html>

Sistemas de captación de agua lluvia

La captación de agua lluvia ha sido un sistema alternativo implementado desde épocas ancestrales como instrumento de obtención del agua para consumo humano y también actividades agrícolas y riego de cultivos. Dependiendo de la zona donde se utilicen, estos varían respecto a la disponibilidad de recurso y las condiciones propias del territorio.

Actualmente, son una alternativa que permite el aprovechamiento de este recurso con el objetivo de disminuir el consumo de agua potable y de igual forma, se considera como una manera eficaz de reducir los costos de acceso. En muchas ocasiones, es implementado en zonas rurales y urbanas donde la accesibilidad de servicios públicos es precaria y se deben tener en cuenta soluciones que contribuyan al almacenamiento del agua para uso doméstico o riegos.

Sistemas de captación de agua lluvia en el pasado

América Latina. La captación de agua lluvia ha sido un método implementado desde hace más de tres siglos en el continente. El objetivo principal ha sido hacer uso del agua lluvia para fines domésticos en donde la principal fuente de captación son techos con mecanismos que almacenan el agua en diferentes estructuras como: presas de tierra,

estanques, jagüeyes; representando así la fuente principal de agua para riegos y ranchos (Anaya,1998).

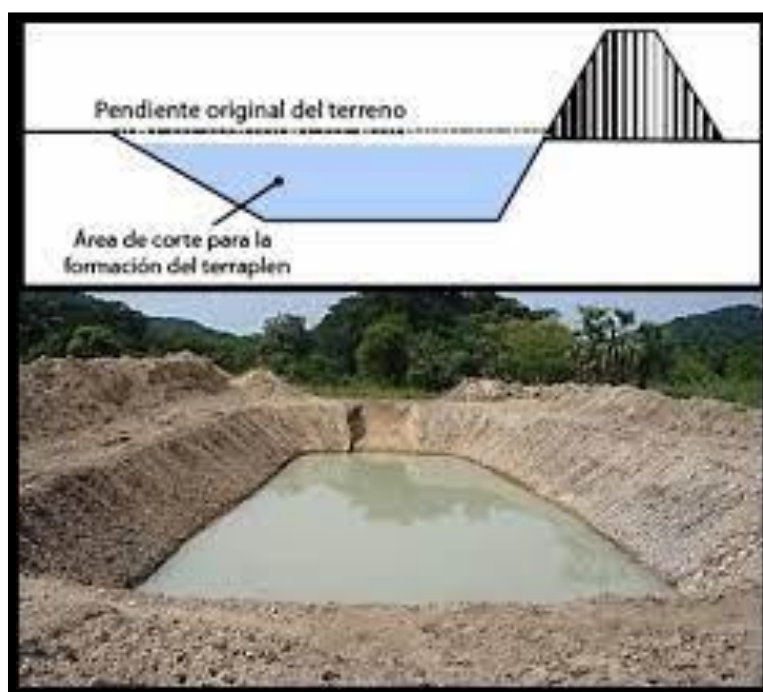


Figura 12 Jagüey

Fuente: SAGARPA - Diseño y construcción de Jagüeyes

https://0201.nccdn.net/1_2/000/000/170/8fa/Dise--o-y-Construcci--n-de-Jagueyes.pdf

Europa. En la época del imperio romano se construyeron los primeros almacenamientos de agua lluvia, mediante presas construidas con tierra y mampostería, utilizadas para almacenar el agua producida por la escorrentía. De igual forma, se implementaba el sistema para hacer la captación y almacenamiento del agua proveniente de las cubiertas y patios de las viviendas, complementado con cisternas para almacenamiento de agua con fines domésticos. (UNEP, 1983).

En las cisternas o estanques elaborados con piedra o mármol, reposaba el agua para que las impurezas con las que llegaba de la etapa de captación se sedimentaran y posteriormente mediante una salida en la parte superior, el agua más purificada era evacuada a otras cisternas subterráneas donde ya era apta para su uso. (Gilmart, 2011)



Figura 13 Cisterna “Impluvium” en la construcción romana.

Fuente: Fundación Aquae - <https://www.fundacionaquae.org/la-domus-romana-el-impluvium/>

Asia y África. Algunos de los ejemplos de sistemas de aprovechamiento de agua lluvias han sido descubiertos y estudiados históricamente en estas partes del planeta. Es el caso del Desierto de Negev, en Israel y Jordania donde se localizan sistemas que se estiman con un periodo de vida cercano a los 4.000 años. Estos sistemas funcionaban por medio del desmonte de tierras con poca altura lo cual aumentaba la escorrentía superficial, usada principalmente en zonas agrícolas y de poca elevación. (Ballén J, 2006).

Por otro lado, el Sistema de cisternas también era usado por los romanos al norte de África, debido a la escasez del recurso hídrico en algunas regiones áridas. Su fin principal era doméstico, para consumo humano y agrícola.

En Baluchistan, en la India, también se han identificado estructuras de piedra construidas como embalses de agua de lluvia, que datan del tercer milenio a.C. (Gould y Nissen-Petersen, 1999).

Sistemas de captación de agua lluvia en la actualidad

La implementación de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia ha sido una alternativa eficaz en lugares donde no hay una infraestructura adecuada que permita la distribución del recurso a todas las personas; esto se debe factores económicos y muchas veces sociales relacionados con el desarrollo de los países. Por otro lado, el crecimiento acelerado de la población ejerce lo que se conoce normalmente como “Estrés hídrico” que es cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible en determinado periodo de tiempo, generando así escases sobre las fuentes de agua convencionales.

América Latina. Hoy en día se han puesto en práctica diferentes alternativas para el aprovechamiento de agua lluvia en varios países. En México, el IMTA - Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, desarrolló sistemas de captación para viviendas a través de la construcción de almacenamiento como cisternas tipo Capuchino y tipo hormigón armado para recolección del agua con fines domésticos. (Acevedo, 2016).

Otro ejemplo se presenta en las zonas semiáridas al norte Brasil donde el gobierno implementó el programa “Un millón de cisternas” (P1MC), que después de un tiempo se convirtió en política de estado. Hasta el día de hoy se han instalado más de 600.000 cisternas para almacenamiento. El objetivo es hacer la recolección de agua que pueda servir para consumo humano, sin embargo, en el desarrollo de una segunda fase “Una Tierra y dos Aguas”, se estableció que podría tener también fines agrícolas. (Acevedo, 2016)



Figura 14 Cisterna tipo capuchino.

Fuente. ITMA - <https://blogdelagua.com/tematica/abastecimiento/imta-presenta-modelo-experimental-de-cisterna-capuchina/>

En la figura 14, se muestra la cisterna tipo capuchino que se implementó en México. Esta consiste en una estructura cilíndrica reforzada con malla electrosoldada en donde se puede almacenar hasta 11.000 L de agua. (ITMA, 2008).

Europa. Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en Europa son utilizados la mayoría de las veces por los altos costos del recurso. En países como Austria, Suiza y Bélgica existe el interés en aplicaciones tecnológicas para este tipo de casos. El interés surge a partir de la utilización del agua potable para usos industriales, lo cual a generado la necesidad de buscar otras fuentes de captación para estos usos y de igual forma usos como descarga de sanitarios, lavado de ropa para viviendas y riego de zonas verdes. Un ejemplo se da en Berlín, donde se han implementado sistemas de captación que recogen el agua lluvia por medio de los techos y luego el agua es almacenada en tanques subterráneos con una capacidad de 3.500m³. (Hidropluviales, 2012).

África. Actualmente la ONU y la UNESCO, han desarrollado una aplicación móvil que permite calcular la cantidad de lluvia que puede recogerse en la cubierta de una vivienda. Su funcionamiento se basa en información meteorológica de estaciones en todo el continente africano. Esta alternativa facilita la captación y el aprovechamiento del agua, ya que, a partir de la ubicación, las dimensiones de la casa, el número de habitantes y el consumo diario, la aplicación calcula la cantidad requerida. Actualmente esta aplicación está disponible de forma gratuita en diferentes tiendas de aplicaciones, sin embargo, la cobertura de esta solamente es para países africanos. (Novo, 2019).



Figura 15 Website de la aplicación Rain Water Harvesting.

Fuente: <http://www.rainwaterharvesting.africa/index2.html>

SUDS en Bogotá. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible son utilizados para mitigar los problemas de cantidad y calidad de las escorrentías urbanas, minimizando los impactos del desarrollo urbanístico y maximizando los valores sociales y ambientales de una zona. (Molina. M, 2011).

Estos sistemas pueden ser aplicados de diferentes formas, entre algunos ejemplos se encuentran: el aprovechamiento del agua a través de sistemas de techos verdes, humedales artificiales y en relación con este proyecto captación de agua en tanque de almacenamiento.

Tanques de almacenamiento de agua lluvia. Son tanques construidos sobre la superficie o enterrados que permiten la captación y el almacenamiento del agua para fines domésticos. El agua proviene de las cubiertas o superficies planas con sistemas de filtrado que permiten mejorar la calidad del agua. (Molina. M, 2011).

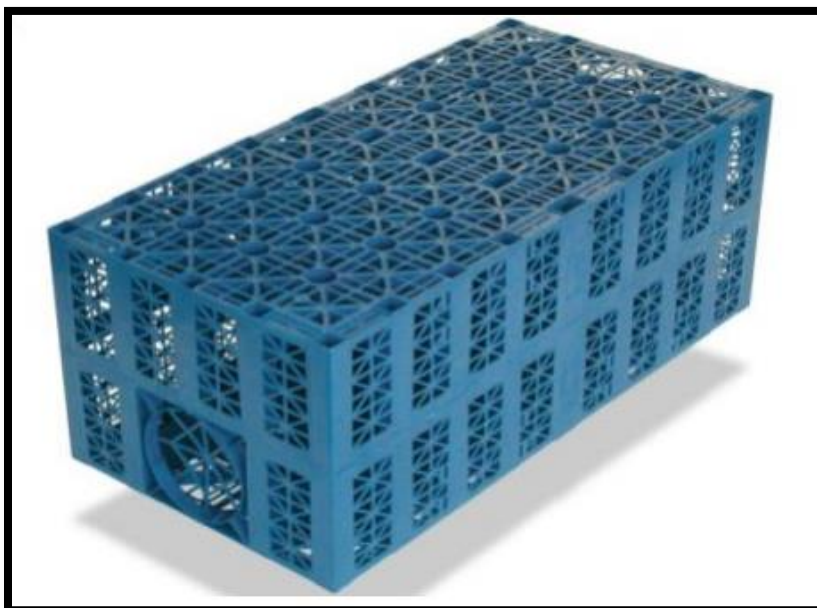


Figura 16 Tanque de almacenamiento de agua.
Fuente. <https://pavcowavin.com.co/>

Captación por cubierta

Este sistema de captación funciona almacenamiento del agua lluvia en tanques de almacenamiento. Se estructura en 4 partes principales: captación, recolección, interceptor y almacenamiento como se muestra en la figura 17.

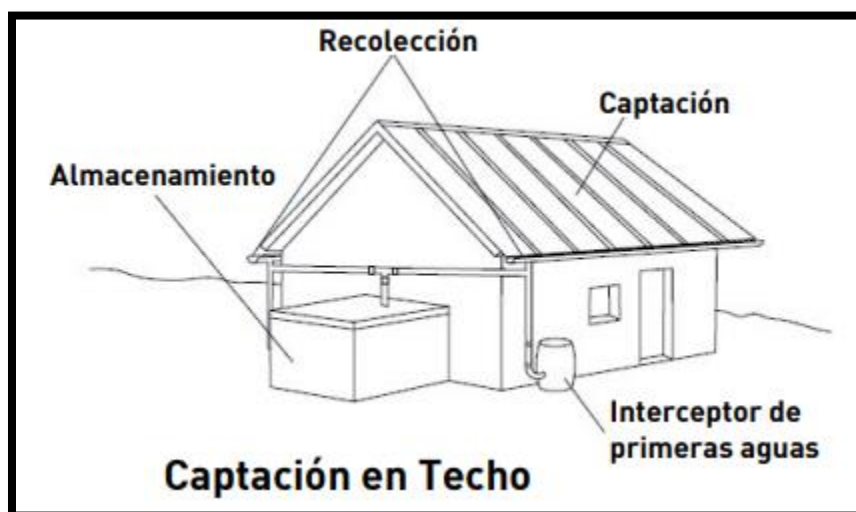


Figura 17 Sistema de captación de agua lluvia en techos
Fuente: Guía de diseño para captación de aguas lluvias (CEPIS,2004)

Captación: Se compone por la estructura de la cubierta y se caracteriza por tener una pendiente y superficie que permita el escurrimiento del agua hacia la etapa de recolección, estas condiciones están directamente relacionadas con el tipo de material. Normalmente los materiales usados son laminas metálicas, tejas, paja entre otros. Es importante mencionar que esto es determinante para el diseño del sistema de recolección debido a que por sus características físicas están expuestas a factores como infiltración o evaporación lo que representa un porcentaje de pérdidas correspondientes al coeficiente de escurrimiento el cual varía entre 0 y 1.



Figura 18 Teja propuesta Ecoplak
Fuente: <http://ecoplak.com/index.php/tejas-y-caballetes/>

			Pendiente mínima en %	
Tejado ^{(1) (2)}	Teja ⁽³⁾	Teja curva	32	
		Teja mixta y plana monocal	30	
		Teja plana marsellesa o alicantina	40	
		Teja plana con encaje	50	
	Pizarra		60	
	Placas y perfiles	Cinc		10
		Fibrocemento	Placas simétricas de onda grande	10
			Placas asimétricas de nervadura grande	10
			Placas asimétricas de nervadura media	25
		Sintéticos	Perfiles de ondulado grande	10
			Perfiles de ondulado pequeño	15
			Perfiles de grecado grande	5
		Galvanizados	Perfiles de grecado medio	8
			Perfiles nervados	10
			Perfiles de ondulado pequeño	15
			Perfiles de grecado o nervado grande	5
Perfiles de grecado o nervado medio			8	
Aleaciones ligeras		Perfiles de nervado pequeño	10	
		Paneles	5	
		Perfiles de ondulado pequeño	15	
	Perfiles de nervado medio	5		

Figura 19 Pendientes en cubiertas inclinadas
Fuente: Documento Básico HS Salubridad. (MITMA, 2019)

En la figura 19, se encuentran algunos materiales para cubierta con su pendiente mínima y en la tabla 1 algunos coeficientes de escurrimiento.

Tabla 1 Coeficientes de escurrimiento

Material	Coeficiente de escurrimiento
Lámina galvanizada	0.9
Lamina de asbesto	0.8 a 0.9
Teja	0.6 a 0.9
Palma	0.2

Fuente: Anaya, (2006)

Recolección: Esta parte se compone principalmente por canaletas ubicadas en la zona inferior de la cubierta, por estas el agua se acumula antes de llegar a su lugar de deposición. Los materiales que se deben utilizar deben ser livianos, resistentes al agua y estar perfectamente ensamblados para que no exista ningún tipo de fuga y desperdicio de agua. Algunos de los materiales más comunes son: PVC, metal o madera.



Figura 20 Canales de recolección de agua

Fuente: Sodimac-Hágalo usted mismo https://apihum.hagaloustedmismo.cl/wp-content/uploads/2020/05/te-is01_canaletas-bajadas-de-agua-2.pdf

Interceptor: Es un dispositivo de descarga donde llegan las primeras aguas provenientes de la captación. Es utilizado para impedir que otros materiales que vienen junto al agua en el periodo de lluvia lleguen al tanque de almacenamiento. De este modo se puede garantizar que el agua reduzca su carga contaminante y sus niveles de impurezas. Para su diseño, se debe tener en cuenta el volumen de agua de lavado del techo que normalmente se estima en 1 litro por m².

El funcionamiento comienza cuando el agua va por medio de las bajantes que están unidas a las canaletas. Para poder garantizar que el tanque interceptor recolecte las primeras aguas, se dispone de una válvula de flotador que impide el paso del agua cuando este se encuentre lleno. Luego, el agua seguirá su curso hacia el tanque de almacenamiento por medio de accesorios de cambio de dirección en la tubería. Por último, se utilizan válvulas de purga para hacer control del volumen de agua almacenado después de cada periodo de lluvia.

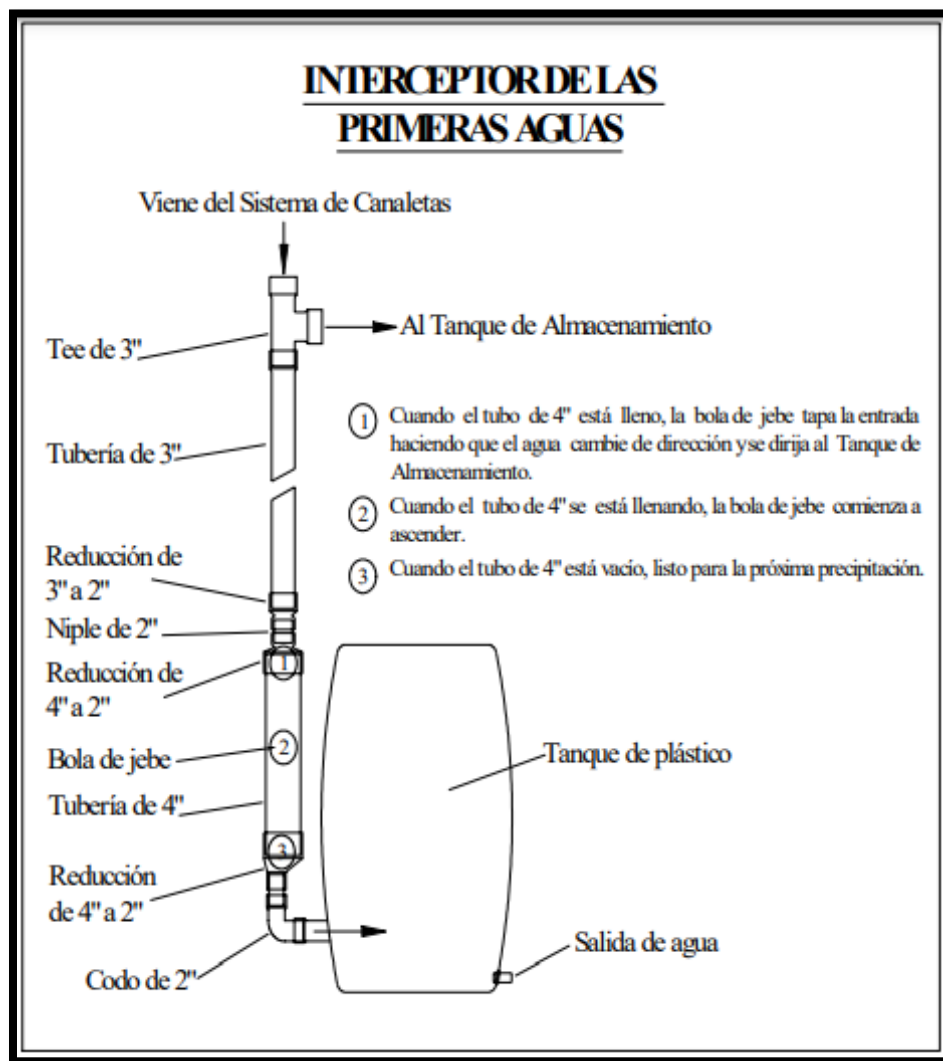


Figura 21 Esquema básico de un interceptor de primeras aguas.
Fuente: Guía de diseño para captación de aguas lluvias. CEPIS, (2004)



Figura 22 Válvula de flotador y accesorios.

Fuente: GRIVAL <https://www.grival.com/soluciones-para-agua/valvulas-de-control/kit-de-instalacion-tanque-reserva/kit-valv-abst-valv-bol-chq-1-2-cross/>



Figura 23 Tanque de recepción de primeras aguas

Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria. (Hernández. F. 2018)



Figura 24 Alternativa de malla para impurezas de primeras aguas.
Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso.
Manual de capacitación para la participación comunitaria. (Hernández. F. 2018)

En la figura 24, se observa una alternativa para tanque interceptor adecuado a partir de canecas plásticas, su funcionamiento consiste en colocar una malla a la mitad que retenga toda la basura y demás impurezas recolectadas de las primeras aguas. Básicamente sirve como un filtro del agua.

Almacenamiento: Es el último paso del proceso de recolección de agua. Corresponde a un taque con dimensiones deben cumplir con las condiciones de recolección máximas en la zona y de igual forma debe cumplir con especificaciones como: impedir el ingreso de agentes externos y contaminantes, contar con elementos de drenaje y distribución del agua.



Figura 25 Sistema de captación de agua lluvia en techos
Fuente: PRENSA.COM ¿Cómo cosechar agua lluvia?
https://www.prensa.com/cultura/Cosechar-agua-lluvia_0_2913458660.html

ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Teniendo en cuenta las características mencionadas anteriormente de San Germán y también partiendo del esquema básico de captación de agua lluvia, se debe desarrollar un análisis de la información hidrológica partir de la recolección de datos de las estaciones de monitoreo de la CAR- Corporación Autónoma, que comprende la cuenca hidrográfica donde está establecida la zona de estudio.

En este caso se va a realizar el análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación más cercana. Aquí se destacarán datos como la variación de esta respecto a un periodo de tiempo (curva IDF), el volumen de agua que es posible recolectar respecto a un área determinada de captación y las temporadas que presentan mayores intensidades de lluvia y niveles de precipitación más altos para calcular la dotación diaria de agua en cada vivienda.



Figura 26 Mapa de estaciones CAR- Estación Bosque El y Doña Juana más cercanas al proyecto.

Fuente: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5d27bcc108fde.pdf>

Tabla 2 Estación CAR seleccionada

Código	Nombre	Entidad	Cuenca	Elevación m.s.n.m	Fecha instalación	Fecha Suspensión
2120085	Bosque El	CAR	Rio Tunjuelo	3175	3/01/1989	-

Fuente: El Autor

A partir de estos datos de precipitación máxima en 24 horas se calculó el valor más alto para cada uno de los años que se tuvieron en cuenta en el registro (1991-2019).

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA													
PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)													
ESTACIÓN : 2120085 BOSQUE EL													
Latitud	4° 28' 24" N	X=N=986 370	Departamento	BOGOTA		Corriente	R. TUNJUELO			Categoría	PG		
Longitud	74° 5' 3,8" W	Y=E=995 560	Municipio	SANTAFE DE BOGOT		Cuenca	R. TUNJUELO			Fecha Instalación	#####		
Elevación	3175 m.s.n.m		Oficina Provincial	1 BOGOTÁ - LACALERA						Fecha Suspensión			
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	P MÁX
1991	6,00	10,00	29,00	25,00	26,00	14,00	30,00	24,00	18,00	12,00	19,00	15,00	30,0
1992	5,00	16,00	77,00	8,00	19,00	9,00	11,00	11,00	11,00	9,00	29,00	24,00	77,0
1993	7,00	2,00	11,00	10,00	10,00	20,00	16,00	20,00	22,00	12,00	45,00	9,00	45,0
1994	30,00	45,00	28,00	28,00	10,00	20,00	25,00	30,00	20,00	16,00	38,00	18,00	45,0
1995	11,00	21,00	5,00	11,00	11,00	20,00	18,00	31,00	14,00	10,00	8,00	40,00	40,0
1996	19,00	24,00	19,00	22,00	62,00	17,00	30,00	18,00	29,00	11,00	17,00	15,00	62,0
1997	43,00	11,00	26,00	19,00	27,00	11,00	34,00	10,00	19,00	12,00	18,00	2,00	43,0
1998	3,00	10,00	38,00	8,00	52,00	32,00	29,00	14,00	14,00	28,00	24,00	31,00	52,0
1999	18,00	2,00	12,00	30,00	16,00	17,00	13,00	15,00	20,00	34,00	40,00	16,00	40,0
2000	15,00	26,00	30,00	22,00	25,00	19,00	11,00	11,00	11,00	11,00	31,00	12,00	31,0
2001	12,00	12,00	15,00	8,00	6,00	6,00	5,00	6,00	5,00	15,00	31,00	27,00	31,0
2002	4,00	2,00	15,00	18,00	4,00	22,00	4,00	5,00	8,00	22,00	14,00	11,00	22,0
2003	2,00	3,00	10,00	8,00	10,00	20,06	19,93	190,00	112,00	113,00	52,00	74,00	190,0
2004	0,00	15,00	18,00	24,00	31,00	2,00	20,00	11,00	20,17	22,37	24,67	19,52	31,0
2005	11,76	15,34	21,77	20,68	57,00	3,00	13,00	2,00	6,00	5,00	5,00	1,00	57,0
2006	10,60	1,50	10,90	10,80	10,70	10,60	13,20	10,50	10,50	10,70	11,30	5,60	13,2
2007	0,00	11,00	16,00	23,00	22,00	24,00	14,00	22,00	15,00	43,00	23,00	16,00	43,0
2008	20,00	20,00	21,77	20,68	23,58	20,06	19,93	22,65	20,17	22,37	24,67	19,52	24,7
2009		11,00	15,00	11,00	11,00	16,00	25,00	16,00	11,00	27,00	13,00	12,00	27,0
2010	0,00	11,00	11,00	21,00	27,00	29,00	23,00	11,00	24,00	35,00	45,00	23,00	45,0
2011	16,00	11,00	23,00	44,00	36,00	25,00	13,00	14,00	15,00	31,00	26,00	17,00	44,0
2012	25,00	25,00	38,00	51,00	15,00	43,00	27,00	16,00	33,00	23,00	20,00	24,00	51,0
2013	7,00	44,00	9,00	30,00	30,00	26,00	25,00	17,00	17,00	12,00	22,00	10,00	44,0
2014	7,00	6,00	20,00	23,00	20,00	36,00	26,00	19,00	12,00	10,00	21,00	18,00	36,0
2015	5,00	43,00	24,00	15,00	15,00	20,00	24,00	28,00	27,00	6,00	24,00	10,00	43,0
2016	3,00	7,00	13,00	30,00	32,00	20,00	21,00	30,00	28,00	12,00	41,00	18,00	41,0
2017	31,00	25,00	28,00	12,00	30,00	34,00	21,00	15,00	10,00	37,00	12,00	32,00	37,0
2018	10,00	5,00	25,00	26,00	22,00	26,00	27,00	15,00	13,00	25,00	12,00	27,00	27,0
2019	8,00	10,00	21,77	20,68	23,58	20,06	19,93	22,65	20,17	22,37	24,67	19,52	24,7
PROMEDIO	11,76	15,34	21,77	20,68	23,58	20,06	19,93	22,65	20,17	22,37	24,67	19,52	

Figura 27 Precipitación máxima en 24 horas estación El Bosque CAR

Fuente: CAR- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- Información hidrometeorológica. Ajustado.

Después, por medio de una distribución de probabilidad es posible calcular valores de niveles máximos de precipitación con base en una serie de datos hidrológicos en un rango de tiempo, para este caso un rango de 10 a 15 años. la distribución de probabilidad de Gumbel es una de las distribuciones más utilizadas para analizar este tipo de información hidrológica debido a que es una de las más exactas para conocer valores extremos y en esta se establecen los parámetros propios para cálculo de la función de probabilidad que determina la precipitación máxima para diferentes periodos de retorno y así y poder calcular las precipitaciones promedio y luego hallar la gráfica de regresión de la curva IDF en este caso para 6 periodos.

Distribución de probabilidad de Gumbel

En primer lugar, se determinan los parámetros de la distribución de una muestra teniendo en cuenta los valores de la media aritmética y la desviación estándar que indica la dispersión de los datos de precipitación.

Para calcularlos se utilizaron las funciones de la hoja de cálculo, sin embargo, las ecuaciones que representan estos parámetros son:

$$x = \frac{\sum xi}{N} \quad (1)$$

$$\partial = \frac{\sqrt{\sum (xi - x)^2}}{n + 1} \quad (2)$$

$$\mu = x - 0,450047 * \partial \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * \partial \quad (4)$$

Donde,

X = Media aritmética

σ = Desviación estándar de la muestra

μ y β = Parámetros propios de la distribución Mu y Beta.

Teniendo esos valores reemplaza con la fórmula de probabilidad de Gumbel para halla la precipitación máxima promedio en varios periodos de tiempo, en este caso los periodos de retorno.

$$F(x) = e^{-e^{\frac{(x'-\mu)}{\beta}}} \quad (5)$$

Donde,

X'=Valor asumido, suma de los parámetros Beta y Mu de la distribución y una variable aleatoria Y correspondiente a:

$$Y = -Ln(Ln\left(\frac{Tr}{Tr - 1}\right)) \quad (6)$$

Tabla 3 Precipitación máxima en 24 horas para cada periodo de retorno

Pmax c/24h (mm)			
Tr (años)	Y	X barra	P(x)
2	0,37	15,92	0,001
5	1,50	46,68	0,963
10	2,25	67,05	0,999
15	2,67	78,54	1,000
20	2,97	86,58	1,000
30	3,38	97,82	1,000
50	3,90	111,87	1,000
75	4,31	122,97	1,000
100	4,60	130,82	1,000
200	5,30	149,70	1,000
500	6,21	174,61	1,000

Fuente: El autor

Teniendo en cuenta los valores del X' para cada periodo de retorno, se utilizó un factor de corrección estándar para calcular la precipitación diaria en varios intervalos de tiempo medidos en horas.

Este paso se realizó para cada uno de los periodos de retornos consecutivamente.

Tabla 4 Precipitación con factor de corrección

P (mm/d)								
Periodos de retorno								
Horas	Factor	2	5	10	15	20	30	50
24	1	15,92	46,68	67,05	78,54	86,58	97,82	111,87
18	0,91	14,48	42,48	61,01	71,47	78,79	89,02	101,80
12	0,8	12,73	37,34	53,64	62,83	69,27	78,26	89,50
8	0,68	10,82	31,74	45,59	53,41	58,88	66,52	76,07
6	0,61	9,71	28,47	40,90	47,91	52,82	59,67	68,24
5	0,57	9,07	26,61	38,22	44,77	49,35	55,76	63,77
4	0,52	8,28	24,27	34,86	40,84	45,02	50,87	58,17
3	0,46	7,32	21,47	30,84	36,13	39,83	45,00	51,46
2	0,39	6,21	18,20	26,15	30,63	33,77	38,15	43,63
1	0,3	4,77	14,00	20,11	23,56	25,97	29,35	33,56

Fuente: El autor

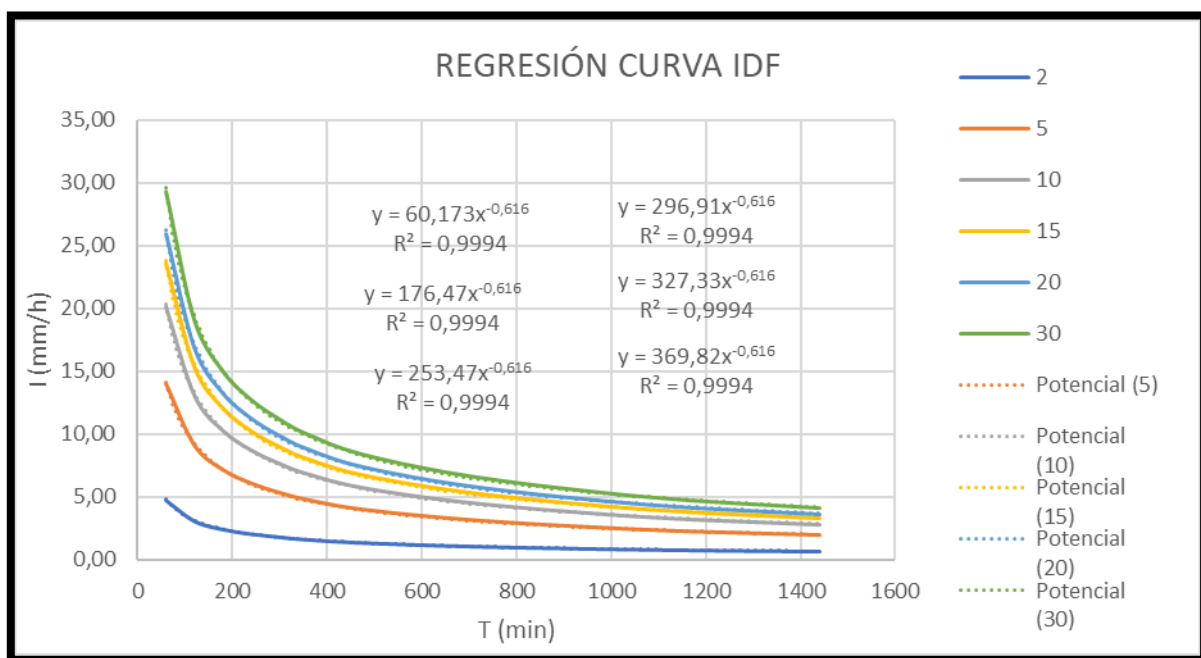


Figura 28 Gráfica de regresión de la curva IDF.

Fuente: El autor

Teniendo la gráfica de regresión de la curva IDF sacamos la línea de tendencia para cada periodo de retorno y los valores obtenidos a partir de las ecuaciones se utilizaron para hallar la gráfica Exponente Vs. Coeficiente que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 Periodo de retorno y factores relacionados

Tr (años)	Coeficiente	Exponente
2	60	-0,616
5	176,47	-0,616
10	253,47	-0,616
15	296,91	-0,616
20	327,33	-0,616
30	369,82	-0,616

Fuente: El autor

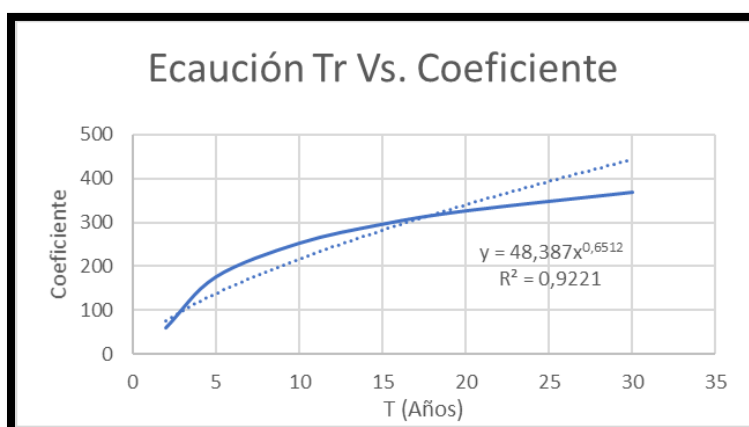


Figura 29 Gráfica Ecuación Periodo de retorno Tr Vs. Coeficientes

Fuente: El autor

Después utilizamos los valores de Alpha, Gama y Beta sacados de la distribución de Gumbel y la gráfica 29 para poder hallar las intensidades dependiendo de los periodos de retornos y así graficar la curva IDF.

Es importante conocer los datos de la intensidad ya que esta representa la cantidad de lluvia que cae en un periodo determinado de tiempo y dentro del análisis hidrológico es fundamental para hallar el caudal de escorrentía mediante el método racional, del cual se hablará más adelante.

$$I = \frac{\alpha T^{\beta}}{t^{\gamma}} \quad (7)$$

Donde,

I= Intensidad [mm/h]

T= Período de retorno en años

t= duración de la lluvia [min]

α = Coeficiente ecuación de la gráfica Período de retorno Vs. Coeficientes

β = Exponente de la ecuación de la gráfica Período de retorno Vs. Coeficientes

γ = Exponente ecuaciones de la regresión de la curva IDF

Alpha	109,85
Gama	0,616
Beta	0,467

A continuación, se muestra la tabla de intensidades para cada periodo de retorno, aplicando los parámetros calculados con anterioridad.

Tabla 6 Intensidad de lluvia para cada periodo de retorno (mm/h)

Intensidad (mm/h)							
Periodos de retorno							
Horas	min	2	5	10	15	20	30
24	1440	0,86	1,56	2,45	3,19	3,85	5,02
18	1080	1,03	1,87	2,93	3,81	4,60	5,99
12	720	1,32	2,39	3,76	4,90	5,90	7,69
8	480	1,69	3,07	4,83	6,28	7,58	9,87
6	360	2,02	3,67	5,76	7,50	9,05	11,78
5	300	2,26	4,11	6,45	8,40	10,12	13,18
4	240	2,59	4,71	7,40	9,63	11,62	15,12
3	180	3,10	5,62	8,83	11,50	13,87	18,06
2	120	3,98	7,22	11,34	14,76	17,80	23,18
1	60	6,09	11,07	17,38	22,63	27,29	35,53

Fuente: El autor.

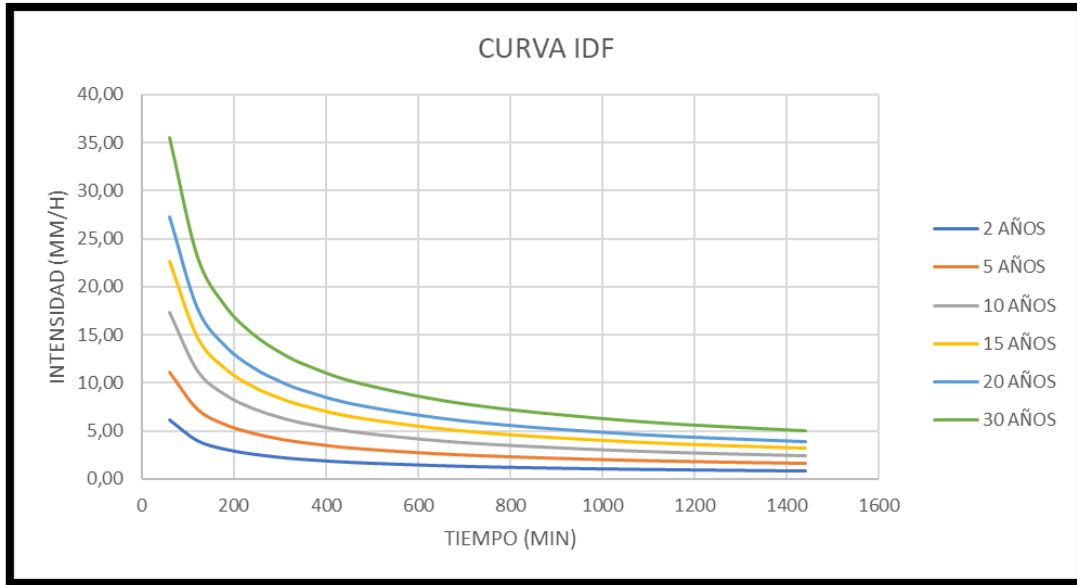


Figura 30 Gráfica curva IDF para 6 periodos de retorno.
Fuente: El autor

En la figura 30, se puede observar la gráfica IDF – Intensidad -Duración – Frecuencia, la cual representa la intensidad de un evento de precipitación fuerte expresado normalmente en [mm/h], lo anterior durante un determinado tiempo [min]. Normalmente esta grafica nos muestra varias curvas que dependen directamente de el periodo de retorno referente a la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de precipitación.

Dentro del análisis hidrológico y el diseño de cualquier estructura hidráulica, el valor de la intensidad es fundamental para conocer el caudal de diseño. Este caudal normalmente se halla aplicado el método racional que ayuda a establecer la máxima descarga de agua dentro de una cuenca hidrográfica.

La expresión utilizada para hacer este cálculo es la siguiente:

$$Q = \frac{C I A}{360} \quad (8)$$

Donde,

Q = Caudal máximo [m³]

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad del periodo de lluvia [mm/h]

A = Área aferente o de la cuenca [ha]

Para este caso en específico se calculará la intensidad con un periodo de retorno de 5 años, este valor se tiene en cuenta debido al tamaño del sistema de recolección de agua lluvia, el área de captación y a que es un tipo de estructura que se espera este en perfecto funcionamiento durante un periodo de tiempo corto en comparación con otras estructuras más grandes a las que se les debe estimar un periodo de retorno de más años ya que hay que tener en cuenta una probabilidad de ocurrencia de un evento de precipitación diferente.

Se debe tener clara la elección de este valor dentro de la curva IDF, ya que sin este dato no es posible avanzar en el proceso de análisis de caudales de escorrentía que es un valor absolutamente necesario para comenzar a diseñar el sistema. En la figura 31 se muestran algunos valores recomendados de periodos de retorno dependiendo el tipo de zona.

TABLA 1. RECOMENDACIÓN DE PERÍODOS DE RETORNO PARA LA ESTIMACIÓN DEL GASTO MAXIMO DE DISEÑO EN LAS OBRAS HIDRAULICAS		
	TIPO DE OBRA HIDRAULICA	Tr (AÑOS)
1	DRENAJE PLUVIAL	
1.1	Lateral libre en calles de poblados donde se tolera encharcamiento de corta duración	2
1.2	Lateral libre en calles de poblados donde no se tolera encharcamiento temporal	2
1.3	Zonas agrícolas	5
1.4	Zonas urbanas:	
	a) Poblados pequeños con menos de 100,000 habitantes	2-5
	b) Poblados medianos entre 100,000 y 1 000,000 habitantes	5-10
	c) Poblados grandes con mas de 1 000,000 de habitantes	10-25
1.5	Aeropuertos, estaciones de Ferrocarril y Autobuses	10
1.6	Cunetas y contracunetas en caminos y carreteras	5

Figura 31 Recomendación periodos de retorno para la estimación de caudal máximo de diseño en obras hidráulicas

Fuente: http://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_cna.html

PROPUESTA DISEÑO DE SISTEMA DE RECOLECCION Y REUTILIZACION DE AGUAS LLUVIAS

Para el proyecto se seleccionaron 3 viviendas, las cuales a partir de un análisis desarrollado en campo cumplieron con los intereses principales para ejecutar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia. Cada una tiene características distintas y sobre ellas se va a desarrollar un plan de trabajo que se describirá a continuación.

Caracterización de las viviendas

Vivienda 1

Tabla 7 Caracterización vivienda No. 1

Vivienda No. 1		
Propietario		Luis Montero
Número de habitantes	5	
Área [m2]	60	
No. Pisos	1	
Cubierta	Fibrocemento	
Acceso de agua potable		La vivienda cuenta con un tanque de agua potable. Este funciona por medio de una motobomba que lleva el agua hasta este punto, que es el más alto del barrio.

Fuente: El autor

En general, la vivienda cuenta con las condiciones necesarias en cuanto al acceso de agua potable y también tiene un sistema de evacuación de aguas negras por medio de un pozo séptico, construido al interior de la vivienda.

El tanque de agua que se muestra en la tabla distribuye el agua hacia el interior de la casa por medio de una tubería que conduce a la zona del baño, lavadero y cocina, como se muestra en las figuras 32 y 33.

En el exterior de la vivienda existe un tanque metálico donde se almacena el agua lluvia que proviene de la cubierta, sin embargo, las condiciones de estos elementos no permiten que el agua se almacene correctamente. Hasta el momento el agua no es utilizada en la vivienda y se evacua por medio de una tubería bajante conectada al tanque.

La cubierta se encuentra en buen estado, no obstante, como la vivienda va a remodelarse, en la etapa de captación se dará una alternativa de cubierta nueva que tenga en cuenta diferentes parámetros a los que se encuentran actualmente.

Junto con el propietario se planteó la idea implementar otra alternativa de recolección ya que esto podría aportar al aprovechamiento del agua también a iniciativas de construcción de viviendas autoportantes a futuro.



Figura 32 Zona de lavado vivienda No. 1
Fuente: El autor



Figura 33 Extracción del agua para uso domestico
Fuente: El autor

Por otra parte, el estado de la cubierta es aceptable y está construida en mayor proporción con tejas de fibrocemento debido a que en el pasado la cubierta existente (zinc), se elevaba por la fuerza del viento y correspondía a un riesgo en el interior de la vivienda.



Figura 34 Estado actual de la cubierta vivienda No. 1.
Fuente: El autor

Vivienda 2

Tabla 8 Caracterización vivienda No. 2

Vivienda No. 2		
Propietario		Claudio
Número de habitantes	4	
Área [m2]	72	
No. Pisos	1	
Cubierta	Zinc	
Acceso de agua potable		La vivienda se abastece del suministro de agua por medio del tanque comunal por medio de mangueras conectadas a una moto bomba que eleva el nivel el agua.

Fuente: El autor

En esta vivienda el estado de la cubierta es en mayor proporción favorable ya que cuenta con las condiciones necesarias de pendiente. El diseño partiría de la reestructuración de las canales y bajantes, para realizar la conexión con los demás elementos del sistema de aprovechamiento seleccionado como tanque interceptor de aguas y tanque de almacenamiento.

Ésta cubierta se divide en 3 partes, de las cuales la primera no se tiene en cuenta debido a que es donde se presenta mayor cantidad de elementos no estructurales y menor pendiente. La zona central conduce el agua directamente a una canaleta ubicada hacia el centro de la vivienda.



Figura 35 Estado actual de la cubierta vivienda No. 2.
Fuente: El autor

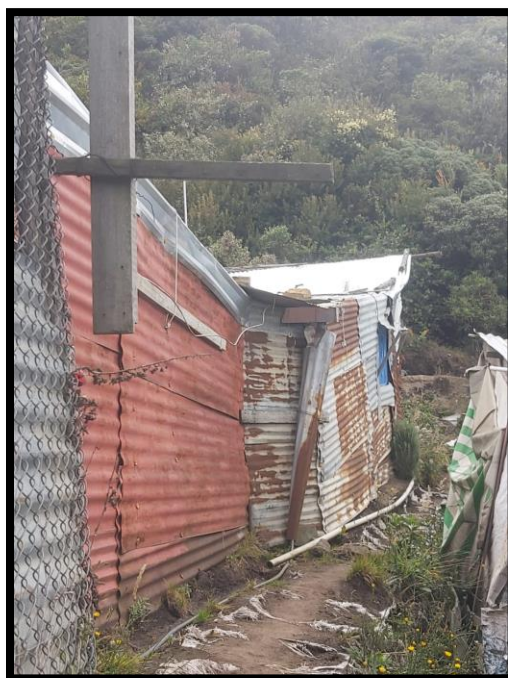


Figura 36 Vista lateral vivienda No. 2.
Fuente: El autor

Vivienda 3

Tabla 9 Caracterización vivienda No. 3

Vivienda No. 3		
Propietario		Berselí Lagos
Número de habitantes	8	
Área [m2]	58	
No. Pisos	1	
Cubierta	Fibrocemento a dos aguas	
Acceso de agua potable		La vivienda se abastece del suministro de agua por medio del tanque comunal

Fuente: El autor

En esta vivienda el estado de la cubierta permite poder ejecutar el sistema de aprovechamiento de agua lluvia ya que no tiene mayores consideraciones, lo único que se debe contemplar es la parte de atrás donde existen algunos elementos sobrepuestos en la misma. Por otra parte, la vivienda tiene acceso al agua potable por medio del tanque comunal al igual que se muestra en la vivienda 2.

Justificación de la selección

Implementar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en estas viviendas se fundamenta en primer lugar por su ubicación. Al ser de las ultimas casas de la zona alta del barrio, significa que el acceso al agua es más complicado que el de otras viviendas que cuentan directamente a la conexión del acueducto. Este factor es fundamental ya que, por las condiciones topográficas, la presión de las conexiones de abastecimiento solamente alcanza a elevar el agua hasta determinado punto, específicamente donde se localiza el tanque comunal que sirve como suministro para este tipo de viviendas.

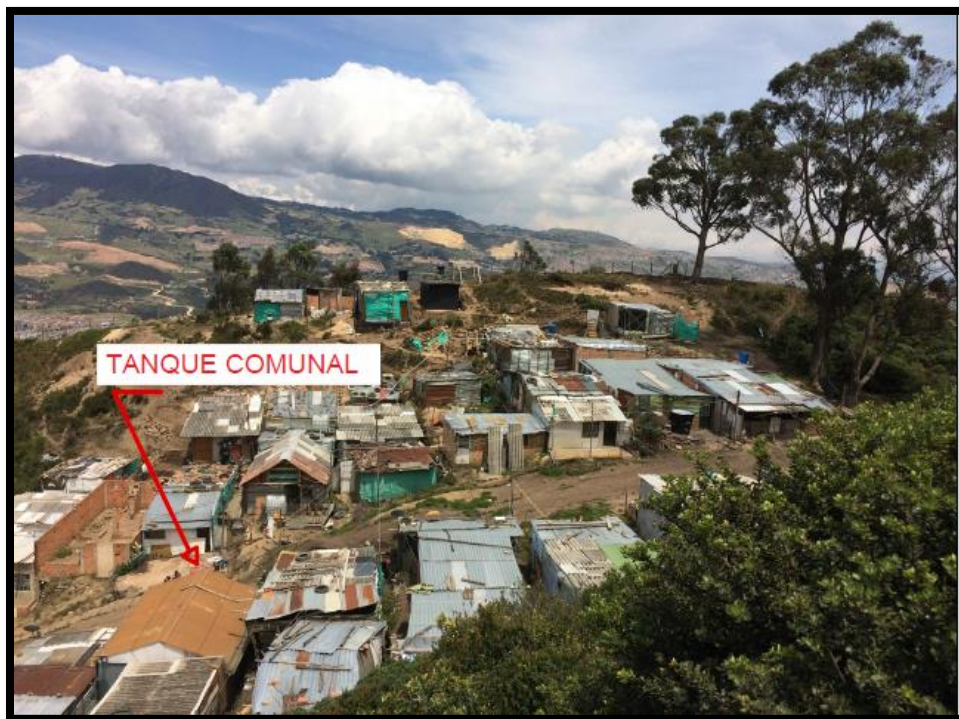


Figura 37 . Vista elevada zona alta barrio San Germán.
Fuente: El autor



Figura 38 Tanque comunal zona alta San Germán.
Fuente: El autor

En primer lugar, se eligió la vivienda 1 ya que esta se va a remodelar próximamente, en este caso, el objetivo es realizar la modelación de una vivienda desde el inicio para tener un punto de referencia en dado caso que en el futuro la población pueda expandirse o los demás habitantes tengan la posibilidad de mejorar las condiciones de habitabilidad de sus casas.

En principio, el trabajo se va a desarrollar en conjunto con un diseño estructural, de donde partiremos para conocer las dimensiones y las características básicas, principalmente con el fin de determinar el tipo de cubierta a implementar y así definir los niveles de captación para el sistema de recolección.

Por último, en las viviendas 1 y 2 se pretende hacer el estudio a partir de las condiciones existentes, las cuales parten de las características y materiales con los que están construidas las cubiertas actualmente. En cada uno de los casos se analizará la viabilidad de implementar estos sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

Dotación de agua

El cálculo para la dotación diaria de agua por vivienda se realizó a partir de los datos de precipitación promedio mensual en la estación de monitoreo El Bosque – CAR, anexo F. De igual forma se tiene en cuenta el área horizontal que corresponde al área de captación y también el coeficiente de escorrentía determinado a partir del material en el que está construida la cubierta. Este dato corresponde a la cantidad de agua que utiliza una familia diariamente para sus actividades domésticas, y normalmente se expresa en [Litros/habitante-Día].

Tabla 10 Precipitación promedio mensual estación el Bosque

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA												
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica												
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN EL BOSQUE (mm)												
Latitud	4° 28' 24,8" N	X=N=986370	Departame	BOGOTA	Corriente	R. TUNJUELO	Categoría		PG			
Longitud	74° 5'3,8" W	Y=E=999311	Municipio	SANTA FE DE BOGOTA	Cuenca	R. TUNJUELO	Fecha Instalación		#####			
Elevación	3175 m.s.n.m		Oficina Provincial		1 BOGOTÁ - LA CALERA					Fecha Suspensión		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2005	37,8	48,5	91,0	106,3	112,6	21,9	64,8	9,7	16,0	15,2	15,2	1,0
2006	90,2	2,8	82,1	97,8	106,8	113,3	156,9	42,3	16,2	77,2	86,0	24,2
2007	37,8	32,7	95,4	128,2	88,3	223,7	57,9	128,2	58,5	147,8	77,3	127,2
2008	47,8	55,3	91,0	106,3	130,7	120,5	131,2	106,9	69,7	97,6	103,3	62,2
2009	37,8	38,7	56,5	96,1	52,5	113,1	147,8	87,7	66,7	106,1	40,6	28,5
2010	0,0	29,1	40,5	130,6	133,1	134,3	93,9	63,7	67,0	155,0	154,2	99,6
2011	29,3	55,9	141,0	234,5	220,2	110,8	126,1	59,2	87,4	194,8	175,0	112,3
2012	50,9	66,6	174,0	223,4	135,1	156,0	206,7	142,5	94,0	153,0	54,3	87,0
2013	24,0	108,4	57,3	126,7	174,7	83,9	196,5	87,4	45,3	73,8	102,5	65,4
2014	24,7	17,8	109,0	131,0	128,5	288,5	219,1	114,5	63,1	83,7	158,2	58,5
2015	21,6	77,8	86,9	93,9	102,3	255,8	170,3	104,7	81,4	44,2	83,5	37,3
2016	5,8	34,9	51,3	142,0	178,0	139,9	161,6	184,2	128,0	89,0	123,6	80,4
2017	119,1	57,8	210,7	66,6	170,8	189,5	190,0	132,8	52,2	140,4	92,7	102,5
2018	50,8	19,3	99,1	193,1	224,6	216,8	228,2	134,5	75,1	100,5	62,4	43,0
2019	22,2	15,2	91,3	128,3	157,5	120,5	131,2	106,9	69,7	97,6	103,3	62,2
Totales	599,8	660,8	1477,2	2004,9	2115,7	2288,5	2282,2	1505,2	990,3	1575,9	1432,1	991,2
Promedio	35,3	38,9	86,9	117,9	124,5	134,6	134,2	88,5	58,3	92,7	84,2	58,3

Fuente: El autor

Según la guía para diseño para captación de agua lluvia, el primer es calcular el volumen de abastecimiento para cada mes en relación con la altura de precipitación, el área horizontal y el coeficiente de escorrentía. Luego se halló el valor acumulado del cual se escoge el total para así poder determinar la dotación diaria.

$$Abastecimiento = P * A * m^2 * C \quad (9)$$

$$Dot \left[\frac{\text{litros}}{\text{hab}} - \text{día} \right] = \frac{Abastecimiento \text{ acumulado } m^3 - reserva \text{ } m^3 * \left(\frac{1000 \text{ lt}}{m^3} \right)}{365 \text{ días} * \# \text{ habitantes}} \quad (10)$$

Ejemplo dotación vivienda 1:

Precipitación promedio Junio: 134,60 mm

Área de captación: 60 m²

Número de habitantes: 5

Coeficiente de escorrentía: 0.8

$$Abastecimiento \text{ Junio} = \frac{35,30 \text{ mm}}{1000} * 60 \text{ m}^2 * 0.8 = 6,46 \text{ m}^3$$

$$Abastecimiento \text{ Acumulado} = \sum Abastecimiento \text{ de cada mes}$$

$$Dot \left[\frac{\text{litros}}{\text{hab}} - \text{día} \right] = \frac{50,61 \text{ m}^3 - 1,00 \text{ m}^3 * \left(\frac{1000 \text{ lt}}{\text{m}^3} \right)}{365 \text{ días} * 5} = 27,18 \frac{\text{Lt}}{\text{hab. día}}$$

Tabla 11 Dotación de agua vivienda No. 1

Vivienda No. 1			
Coefficiente escorrentia	0,8	Área de captación [m ²]	60
Mes	precipitación promedio [mm]	Abastecimiento parcial [m ³]	Abastecimiento acumulado [m ³]
Junio	134,60	6,46	6,46
Julio	134,20	6,44	12,90
Mayo	124,50	5,98	18,88
Abril	117,90	5,66	24,54
Octubre	92,70	4,45	28,99
Agosto	88,50	4,25	33,24
Marzo	86,90	4,17	37,41
Noviembre	84,20	4,04	41,45
Septiembre	58,30	2,80	44,25
Diciembre	58,30	2,80	47,04
Febrero	38,90	1,87	48,91
Enero	35,30	1,69	50,61
Número de habitantes	5	Dotación diaria [Litros/hab-día]	27,18

Fuente: El autor

Tabla 12 Dotación de agua vivienda No. 2

Vivienda No. 2			
Coefficiente escorrentia	0,9	Área de captación [m ²]	72
Mes	precipitación promedio [mm]	Abastecimiento parcial [m ³]	Abastecimiento acumulado [m ³]
Junio	134,60	8,72	8,72
Julio	134,20	8,70	17,42
Mayo	124,50	8,07	25,49
Abril	117,90	7,64	33,13
Octubre	92,70	6,01	39,13
Agosto	88,50	5,73	44,87
Marzo	86,90	5,63	50,50
Noviembre	84,20	5,46	55,95
Septiembre	58,30	3,78	59,73
Diciembre	58,30	3,78	63,51
Febrero	38,90	2,52	66,03
Enero	35,30	2,29	68,32
Número de habitantes	4	Dotación diaria [Litros/hab-día]	46,11

Fuente: El autor

Tabla 13 Dotación de agua vivienda No. 1

Vivienda No. 3			
Coeficiente escorrentia	0,8	Área de captación [m ²]	58,5
Mes	precipitación promedio [mm]	Abastecimiento parcial [m ³]	Abastecimiento acumulado [m ³]
Junio	134,60	6,30	6,30
Julio	134,20	6,28	12,58
Mayo	124,50	5,83	18,41
Abril	117,90	5,52	23,92
Octubre	92,70	4,34	28,26
Agosto	88,50	4,14	32,40
Marzo	86,90	4,07	36,47
Noviembre	84,20	3,94	40,41
Septiembre	58,30	2,73	43,14
Diciembre	58,30	2,73	45,87
Febrero	38,90	1,82	47,69
Enero	35,30	1,65	49,34
Número de habitantes	5	Dotación diaria [Litros/hab-día]	26,49

Fuente: El autor

Caudal de diseño

A partir de la información recolocada del análisis hidrológico y conociendo las características de las viviendas de estudio se determinó el caudal de escorrentía con el cual es un dato fundamental para el diseño de los elementos que hacen parte del sistema de captación de agua lluvia.

Para el cálculo de los caudales se utilizó un coeficiente la escorrentía del material de la teja con valores promedio de [0.8-0.9], la intensidad fue hallada a partir de la ecuación de la gráfica de la curva IDF para un periodo de retorno de 5 años en la que fue necesario tener en cuenta un tiempo de concentración [Tc] determinado de la siguiente forma:

$$Tc = \frac{0,707 * (1,1 - C) * L^{\frac{1}{2}}}{S^{\frac{1}{3}}}$$

Donde:

T_c= Tiempo de concentración [seg]

C=Coeficiente de escorrentía

L=Longitud del punto más alto de captación al punto más bajo (longitud de la cubierta) [m]

S=Pendiente de la cubierta

Ejemplo tiempo de concentración vivienda 1

Coeficiente de escorrentía: 0.8

Longitud del punto más alto de captación al más bajo: 6m

Pendiente de la cubierta S: 0,10

$$T_c = \frac{0,707 * (1,1 - 0.8) * 6m^{\frac{1}{2}}}{0.10^{\frac{1}{3}}} = 1,12 \text{ m}$$

Con los resultados obtenidos se calculó el valor del caudal en [L/s]; para obtener este dato en las unidades mostradas se hizo la conversión del área en hectáreas dividiendo el valor por 10000 y la intensidad se multiplico por un factor de conversión de 2,78.

$$Q = \frac{Am^2}{10.000} * I * 2,78 * C$$

Ejemplo caudal vivienda 1

Coeficiente de escorrentía: 0.8

Área horizontal: 60m²

Intensidad: 217,31 m/h

$$Q = \frac{60m^2}{10.000} * \frac{217,31m}{h} * 2,78 * 0,8 = 2,90 \frac{L}{s}$$

FICHA VIVIENDA 1		
PROPIETARIO	Luis Montero	
OBSERVACIONES	El sistema se va a implementar sobre la nueva vivienda que se va a contruir.	
AREA HORIZONTAL	A [m2]	60
LONGITUD CUBIERTA	L [m]	6
PENDIENTE CUBIERTA	S [%]	0,1
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	TC [min]	1,12
INTENSIDAD	[m/h]	217,31
COEF. ESCORRENTIA	C	0,8
MATERIAL CUBIERTA	fibrocemento	
CAUDAL DE ESCORRENTIA	[L/s]	2,90



Figura 39 Características de la vivienda 1 y caudal de escorrentía
Fuente: El autor

FICHA VIVIENDA 2		
PROPIETARIO	CLAUDIO	
OBSERVACIONES		
AREA HORIZONTAL	A [m2]	72
LONGITUD CUENCA	L [m]	6,5
PENDIENTE CUENCA	S [%]	0,1
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	TC [min]	0,78
INTENSIDAD	[m/h]	272,17
COEF. ESCORRENTIA	C	0,9
MATERIAL CUBIERTA	Zinc	
CAUDAL DE ESCORRENTIA	[L/s]	4,90



Figura 40 Características de la vivienda 2 y caudal de escorrentía
Fuente: El autor

FICHA VIVIENDA 3		
PROPIETARIO	BERSELI LAGOS	
OBSERVACIONES		
AREA HORIZONTAL	A [m2]	58,5
LONGITUD CUENCA	L [m]	6
PENDIENTE CUENCA	S [%]	0,1
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	TC [min]	0,75
INTENSIDAD	[m/h]	278,96
COEF. ESCORRENTIA	C	0,9
MATERIAL CUBIERTA	Fibrocemento	
CAUDAL DE ESCORRENTIA	[L/s]	4,08



Figura 41 Características de la vivienda 3 y caudal de escorrentía
Fuente: El autor

A partir de la información de caudal de escorrentía de cada vivienda, se hizo la relación entre este valor y la dotación total que tiene en cuenta el consumo de todos los habitantes de las viviendas.

En la tabla 14, se puede observar la determinación final del volumen del tanque donde:

- Columna [2]: Corresponde al valor del caudal en m³/s, para llegar a este valor se hizo la conversión de litros a m³ dividiendo por 1000.
- Columna [3]: Volumen del tanque, corresponde al valor del caudal [2] dividido el tiempo de concentración en segundos.
- Columna [4]: Volumen del tanque [3] en litros.
- Columna [5]: Volumen comercial de tanques, aquí se hizo una aproximación del volumen necesario para cada uno de los casos.
- Columna [6]: Peso del tanque lleno [kg].

Tabla 14 Determinación de volumen de tanque

DETERMINACIÓN DE VOLUMEN DEL TANQUE					
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
VIVIENDA	Q [m ³ /s]	V [m ³]	V [Litros]	VOLUMEN COMERCIAL [Litros]	PESO DEL TANQUE LLENO [Kg]
1	0,0029	0,1554	155,4390428	250	250
2	0,0037	0,2841	284,0735756	500	500
3	0,0050	0,4041	404,0706965	500	500

Fuente: El autor

Luego se realizó el cálculo de la dotación total por vivienda con ayuda de las tablas 11, 12 y 13. Como se conoce la dotación [Litro/habitante. Día], se multiplicó el valor por el total de ocupantes y se realizó un análisis entre este valor y el volumen del tanque escogido, trayendo como resultado que se encuentra dentro del rango límite de almacenamiento durante un periodo de precipitación.

Tabla 15 Relación volumen del tanque y dotación diaria

DOTACIÓN DE AGUA			Relación Volumen tanque y dotación total
VIVIENDA	D [L/hab. Día]	Total D	
1	27,18	108,72	CUMPLE
2	46,11	184,44	CUMPLE
3	16,46	131,68	CUMPLE

Fuente: El autor

Captación

Vivienda 1

Para este caso se establecieron dos alternativas de cubiertas que fueron evaluadas de tal forma que se llegara a determinar cuál es la más conveniente para el sistema de captación. Este análisis y prediseño se estableció desde un inicio planteando una estructura básica la cual se pretende sea construida por terceros.

La primera opción es una cubierta a dos aguas o limatesa, que es la estructura básica; de esta, debido a las condiciones del terreno solo podría hacerse captación de una de las aguas, en este caso de la fachada principal de la vivienda. Como se muestra en el Anexo A, Propuesta sistema de aprovechamiento de agua lluvia vivienda 1.

La segunda opción es una cubierta mariposa o limahoya, la cual se plantea como una alternativa donde se puede hacer recolección de toda la escorrentía de la lluvia para su almacenamiento. Véase en el anexo A, Propuesta sistema de aprovechamiento de agua lluvia vivienda 1.

En cada una de las alternativas se analizó el tipo de estructura en la cual se pretende construir la vivienda. Esta estructura hace uso de materiales reciclados con condiciones y características físicas propias e importantes al momento de realizar el diseño real de la cubierta ya que este puede variar.

De igual forma se realizó un esquema de cómo debería ir la ubicación de los elementos básicos de la cubierta en dado caso que esta se vaya a construir. Hay que resaltar estos esquemas se realizan con el fin de comprender como sería el proceso de captación que en última instancia es el objetivo principal del proyecto.

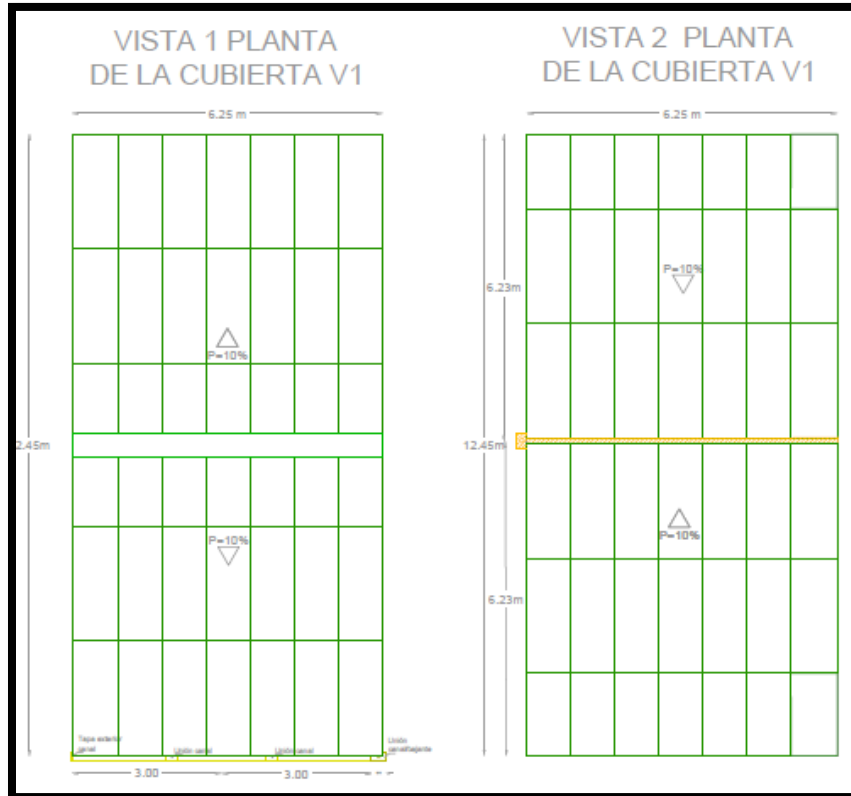


Figura 42 Alternativas de cubierta vivienda 1 (Limatesa y limahoya)
Fuente: El autor

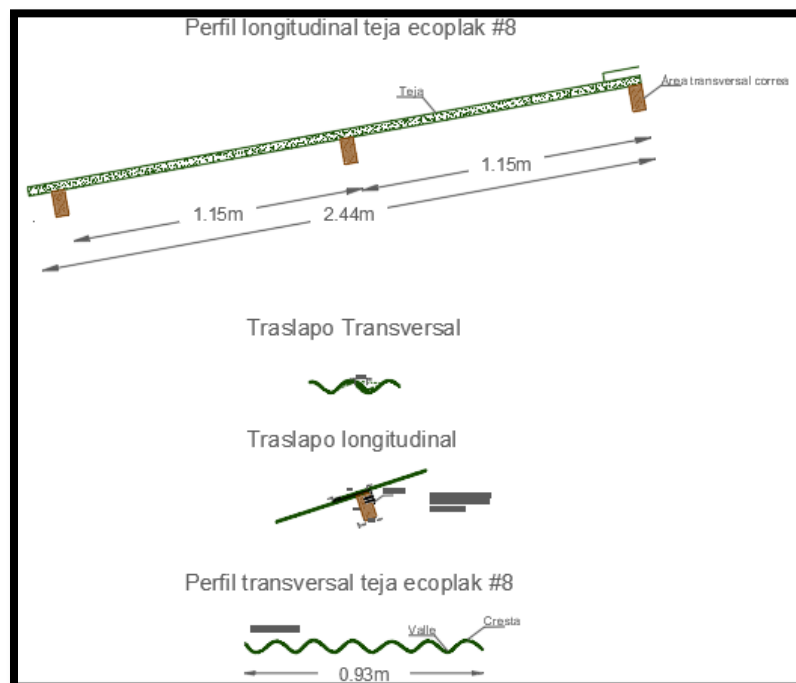


Figura 43 Detalle de instalación tejado de la cubierta
Fuente: El autor

Vivienda 2 y 3

En principio para la elección de las viviendas, se tuvo en cuenta el estado de las cubiertas. Las viviendas 2 y 3 actualmente cumplen con las condiciones básicas para poder aportar al sistema de recolección. Fue por este motivo que se seleccionaron y a diferencia de la vivienda 1 que es un modelamiento de una futura vivienda, estas solamente deben seguir las recomendaciones que se mostraran más adelante en el documento.

Recolección y conducción

Para el diseño del sistema de recolección y conducción, se estableció el mismo proveedor de canaletas para cada vivienda, lo anterior con el fin de manejar un mismo modelamiento del sistema y simplificar el proceso de selección de material teniendo en cuenta el cumplimiento de estos para cada caso.

Aquí principalmente el parámetro que nos permite determinar si las canaletas y bajantes funcionan para las viviendas es el área horizontal de la cubierta. En este caso el diseño se realizó con base en el Anexo B, Manual de sistemas de canales y bajantes PAVCO. Colombia; donde se encuentra toda la información correspondiente a las ventajas del sistema, esquemas de diseño, información de accesorios, guía de instalación para diferentes casos, transporte y mantenimiento de los materiales.

Para este caso se puede tomar el manual como guía de instalación de las canaletas ya que en esta parte se encuentra a detalle el proceso de instalación en dado caso que se decida construir. El Diseño se hizo para realizar una instalación de canaleta sobre muro debido a los voladizos del tejado en la cubiertas que son relativamente cortos.

Tabla 16 Material canaletas

MATERIAL CANALETAS	
Pendiente mínima de las canaletas %	1
Canal Amazona PAVCO	
Longitud [m]	3
capacidad cubiertas [m2]	90
Bajantes por cada 90m2	1

Fuente: El autor

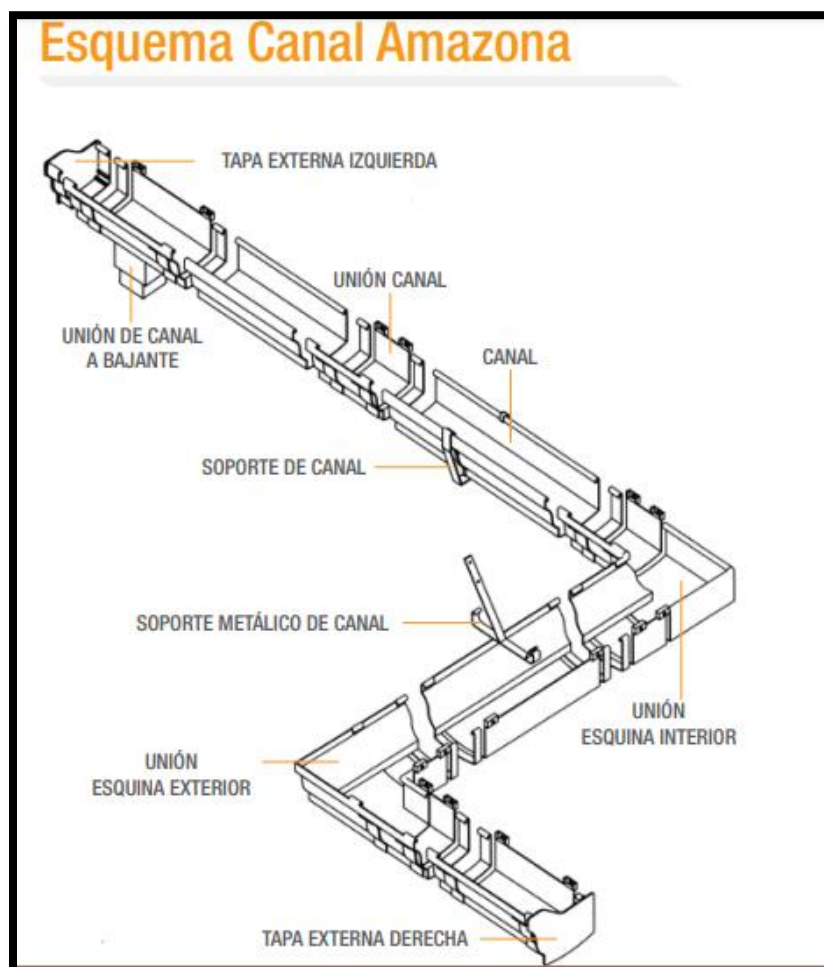


Figura 44 Esquema canaleta Pavco Amazonas

Fuente: Manual de sistemas de canales y bajantes PAVCO. Colombia
<https://pavcowavin.com.co/manuales-tecnicos>

Bajantes y tubería seleccionada

Para todos los diseños se seleccionó una tubería de conducción de 3 pulgadas teniendo en cuenta los accesorios que se pueden utilizar para su ensamblaje y de igual forma garantizando la conexión al sistema de bajantes de la canaleta.

En cada una de las propuestas y sus presupuestos se muestra a detalle cada uno de los elementos necesarios para el sistema de recolección. Allí se puede observar cómo iría dispuesta la ubicación de cada uno como un ejemplo inicial que puede variar debido a las condiciones reales de las viviendas.

En la tabla 17 se establece el cumplimiento del sistema de canaletas para cada área de cubierta y se establecen algunas observaciones relacionadas con el estado actual de estas.

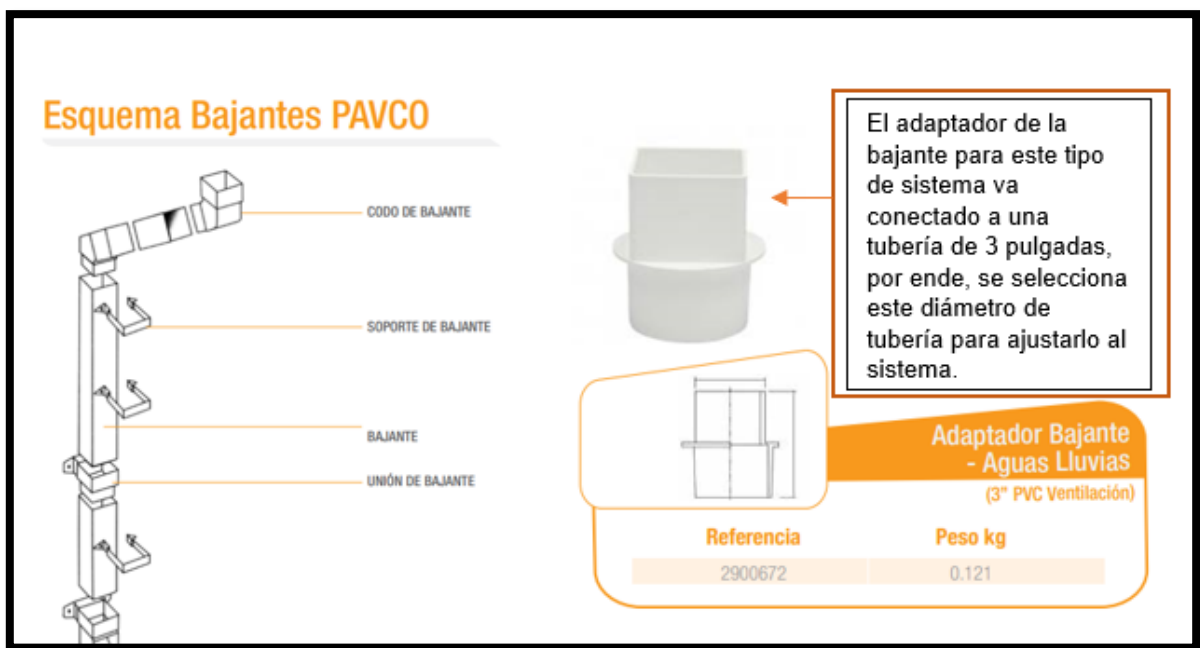


Figura 45 Esquema bajantes Pavco

Fuente: Manual de sistemas de canales y bajantes PAVCO. Colombia
<https://pavcowavin.com.co/manuales-tecnicos>

Tabla 17 Cumplimiento canaletas y observaciones

Vivienda	Área cubierta [m2]		Observaciones
1	60	CUMPLE	
2	54	CUMPLE	En este caso la vivienda ya cuenta con una canaleta de recolección ubicada en la parte central de la cubierta (limahoya), se recomienda aumentar la pendiente de esta para que esta pueda ser autolimpiable y se eviten problemas de drenaje.
3	72	CUMPLE	La cubierta esta conformada por dos aguas, de las cuales la de la parte de atrás corresponde al área más pequeña que se puede tener en cuenta para un sistema de almacenamiento de riego de menor capacidad. Aquí se recomienda que para el buen funcionamiento del sistema se realice un mantenimiento al tejado que actualmente cuenta con algunos materiales sobrepuestos que aportan a la estabilidad del mismo. para dicho proceso se puede hacer uso de ganchos de amarre sobre los elementos estructurales que soporten la cubierta en general.

Fuente: El autor

Interceptor

En la etapa de intercepción se tuvieron en cuenta dos alternativas. La primera mediante un sistema de tubería de captación de primeras aguas y la segunda por medio de la utilización de una malla de retención de contaminantes.

En La figura 46 se muestra el sistema utilizado para la vivienda 1 y 3, el funcionamiento de este es por medio de una tubería conectada a la bajante principal donde existe una trama de alambre que atraviesa la tubería transversalmente en la zona superior cuya función es impedir el paso de una esfera de icopor una vez esta se encuentre a su punto máximo de captación.

De esta forma se puede asegurar que el material contaminado producto del evento de precipitación inicial se retenga y de esta forma se garantice un almacenamiento apto para uso doméstico. En el momento que esta tubería está a tope, el agua es redireccionada al tanque de almacenamiento.

Proceso de instalación

1. Cuando se tenga el tubo con las medidas necesaria en cada caso colocar la tapa en la parte inferior.
2. Introducir la esfera de icopor dentro del tubo.
3. Con ayuda de la trampa (alambre) perforar el tubo en la zona superior transversalmente.
4. Ajustar la tubería al accesorio (tee) ubicado en la zona inferior de la bajante principal.

Nota: Para ver el proceso completo de instalación ver anexo C, video Captación de agua lluvia.

Mantenimiento Interceptor 1

El mantenimiento de este sistema de captación de primeras aguas se realiza de forma manual, el procedimiento corresponde a retirar el tapón inferior de la tubería con el fin de evacuar el agua. Una vez este se encuentre vacío se ubica de nuevo la esfera de icopor y se coloca la tapa de la tubería.

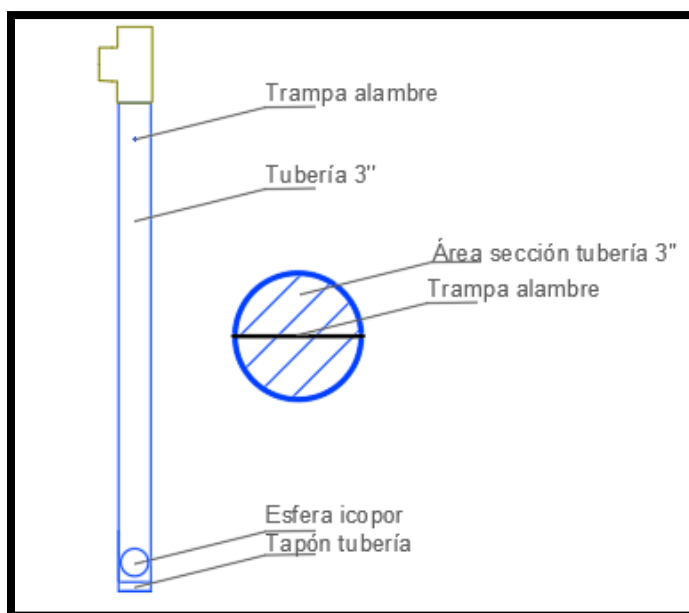


Figura 46 Esquema básico interceptor 1
Fuente: El autor

Por otra parte, en La figura 44 se muestra es sistema utilizado para la vivienda 2 y 3, esta alternativa funciona colocando una malla de polietileno sobre el tanque de almacenamiento. Específicamente ésta se diseñó para el sistema de captación de agua

lluvia para riego, como otra manera de uso distinta al doméstico debido a factores relacionados con las dimensiones encontradas en terreno.

La malla utilizada tiene aberturas de 1/2x1/2 pulgadas, lo cual garantiza que el material contenido en las primeras aguas mayor a este tamaño sea retenido durante el proceso de precipitación.

Proceso de instalación

1. Medir el área necesaria para cubrir la parte superior del tanque dejando un borde libre para realizar el amarre.
2. Ubicar la malla y rodearla con la manguera de tal forma que quede ajustado al tanque.
3. Utilizar los amarres plásticos para reforzar.

Mantenimiento Interceptor de malla

Retirar la tapa del tanque y de forma manual limpiar el material contenido sobre la malla, posterior a esto colocar la tapa del tanque nuevamente.



Figura 47 Ejemplo Malla en tanque de almacenamiento
<https://www.youtube.com/watch?v=4bv4xPEXJsQ>
Fuente: El autor

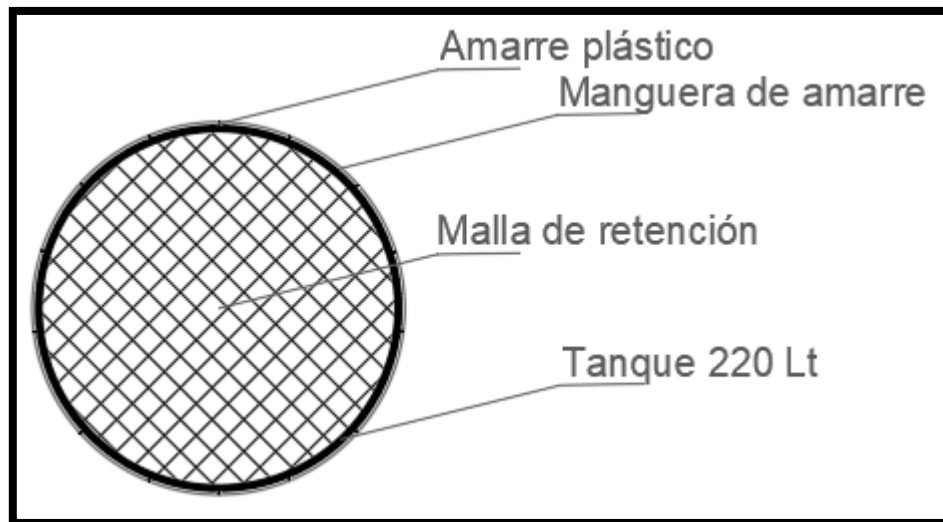


Figura 48 Esquema básico interceptor con malla
Fuente: El autor

Almacenamiento

Vivienda 1

Como en este caso existen dos alternativas de sistema de recolección, en cada uno se implementó un tanque de almacenamiento distinto con el objetivo de hacer una relación de costos. Sin embargo, dichos costos no varían de manera relevante y ambas opciones cumplen con la capacidad mínima de volumen como se muestra en la tabla 14.

El almacenamiento del agua en cada uno se da desde la zona superior del tanque conectando la tubería de la bajante sobre la tapa del tanque. A la cual se le hace una abertura que permita la recolección de forma más sencilla.

Tanque alternativa 1 250 L Medidas= 94x78 cm	Tanque 250 L Medidas= 81x72 cm
	

Figura 49 Tanques vivienda 1
Fuente: El autor

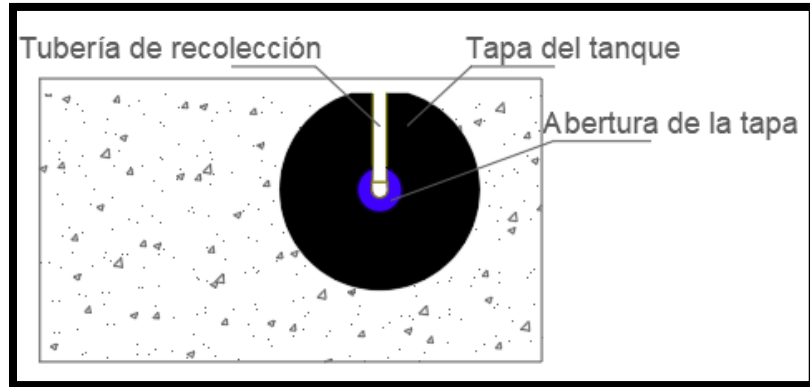


Figura 50 Esquema recolección sobre tapa del tanque
Fuente: El autor

De igual forma para ambos tanques es necesario una tubería de rebose de 2" que permite controlar la capacidad de llenado del tanque. Este proceso de conexión se puede realizar manualmente, o se puede usar las conexiones propias que tiene el tanque.

Por último, la base del tanque puede diseñarse con la misma placa donde se va a construir la vivienda, esta alternativa para pueda sostener la carga del tanque cuando este se encuentre lleno y le brinde la estabilidad necesaria.

1Litro de agua = 1kg

Vivienda 2



Figura 51 Propuesta sistema de aprovechamiento vivienda 2
Fuente: El autor.

Para esta vivienda se utilizaron dos tanques con capacidad de 220 litros cada uno, las dimensiones de estos permiten que se puedan ubicar en la fachada lateral la cual cuenta con poco espacio debido a que a que en esta parte pasa una canal de agua. El espacio aproximado es de 0.80 metros como se puede ver en la figura 52.



Figura 52 Fachada lateral vivienda 2.
Fuente: El autor

Como el volumen de almacenamiento es aproximadamente de 300 litros según los cálculos de precipitación realizados, ambos tanques van conectados para hacer la recolección del agua. Cabe aclarar que al momento que estos tanques lleguen a su límite de capacidad, se ubicó una tubería de rebose que permite la evacuación del excedente.

El uso de este recurso puede destinarse para riego de plantas o si bien se desea, para uso doméstico. En la parte inferior se coloca una tubería de salida con una llave de $\frac{1}{2}$ pulgada que permite recolectar el agua que se necesite en un periodo determinado de tiempo como se puede ver en la figura 53.

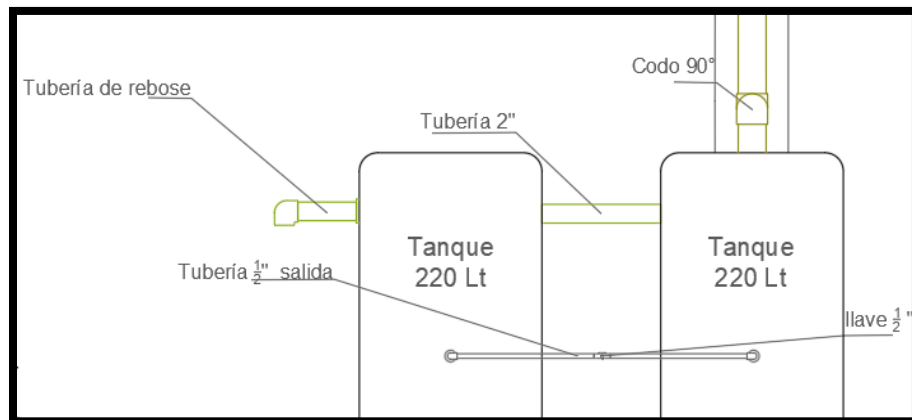


Figura 53 Esquema de tanques vivienda 2
Fuente: El autor



Figura 54 Esquema básico tubería de rebose
Fuente: ANAF AE Honduras, https://www.youtube.com/watch?v=r_JEI2EKEUY



Figura 55 Tanque de almacenamiento 220 litros

Fuente: El autor

Nota: Hay que realizar un análisis del terreno para establecer si es posible colocar los tanque es esta zona ya que quedaría colindante con la canal que se encuentra al lado derecho de la vivienda. Sin embargo, se pueden revisar opciones de estructuras prefabricadas que puedan soportar las cargas de cada uno de estos.

Vivienda 3

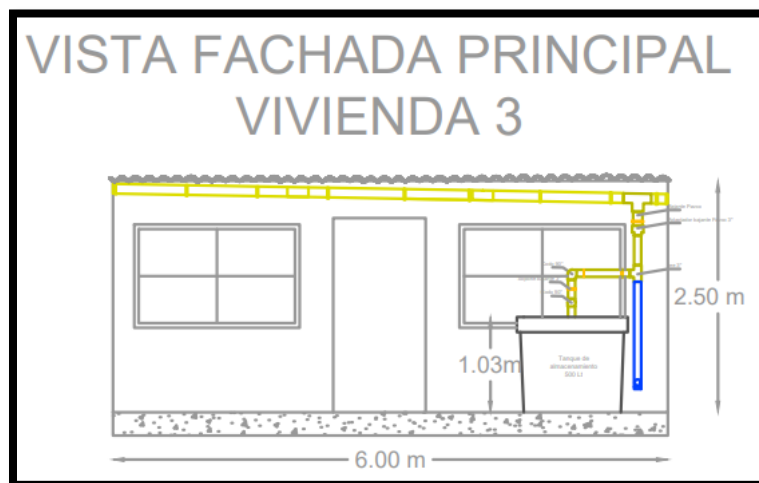


Figura 56 Propuesta sistema de aprovechamiento vivienda 3.

Fuente: El autor.

En esta vivienda se podría ubicar en la parte del frente un tanque del almacenamiento de agua para uso doméstico con capacidad de 500 litros y en el interior de

la casa se pretende ubicar un tanque de menor capacidad en el cual se puede recolectar agua para riego de plantas y/o uso doméstico.



Figura 57 Tanques seleccionados para uso doméstico y riego
Fuente: El autor

El funcionamiento de estos tanques de almacenamiento es el mismo que se muestra en las viviendas 1 y 2 respectivamente.

PRESUPUESTO

A continuación, se muestran los presupuestos para cada una de las viviendas, teniendo en cuenta las cantidades necesarias en cada caso.

Tabla 18 Presupuesto vivienda 1 alternativa 1

PRESUPUESTO VIVIENDA 1 ALTERNATIVA 1			
MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
TANQUE 250 LITROS COLEMPAQUES	1	\$ 135.900,00	\$ 135.900,00
CANAleta PAVCO AMAZONAS	3	\$ 107.997,00	\$ 323.991,00
TUBERIA BAJANTE 3" 6m	1	\$ 74.900,00	\$ 74.900,00
CODO 90° 3"	2	\$ 5.400,00	\$ 10.800,00
UNIÓN CANAleta PAVCO	3	\$ 10.033,00	\$ 30.099,00
ADAPTADOR BAJANTE PAVCO	1	\$ 5.560,00	\$ 5.560,00
TUBERIA BAJANTE PAVCO	1	\$ 21.841,25	\$ 21.841,25
TEE 3"	1	\$ 7.300,00	\$ 7.300,00
TEFLÓN	3	\$ 8.900,00	\$ 26.700,00
SOPORTE BAJANTE METALICO 3"	3	\$ 2.000,00	\$ 6.000,00
ESFERA DE ICOPOR	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
TRAMPA (ALAMBRE)	1	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
SOPORTE CANAleta PAVCO	9	\$ 2.782,00	\$ 25.038,00
TAPA TUBERÍA 3"	1	\$ 1.100,00	\$ 1.100,00
LUBRICANTE DE SILICONA PAVCO	2	\$ 6.627,00	\$ 13.254,00
SOPORTE BAJANTE PAVCO	1	\$ 4.681,00	\$ 4.681,00
Total			\$ 692.164,25

Fuente: El autor

Tabla 19 Presupuesto vivienda 1 alternativa 2

PRESUPUESTO VIVIENDA 1 ALTERNATIVA 2			
MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
TANQUE 250 LITROS HUMBOLDT	1	\$ 132.900,00	\$ 132.900,00
VIGA CANAL	2	\$ 250.000,00	\$ 500.000,00
CODO 90° 3"	3	\$ 5.400,00	\$ 16.200,00
TUBERIA BAJANTE 3" 6m	1	\$ 74.900,00	\$ 74.900,00
SOPORTE BAJANTE METALICO 3"	6	\$ 2.000,00	\$ 12.000,00
ESFERA DE ICOPOR 7cm	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
TRAMPA (ALAMBRE)	1	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
TAPA TUBERÍA 3"	1	\$ 1.100,00	\$ 1.100,00
TEE 3"	1	\$ 7.300,00	\$ 7.300,00
TEFLÓN	3	\$ 8.900,00	\$ 26.700,00
LUBRICANTE DE SILICONA PAVCO	2	\$ 6.627,00	\$ 13.254,00
Total			\$ 789.354,00

Fuente: El autor

Tabla 20 Presupuesto vivienda 2

PRESUPUESTO VIVIENDA 2			
MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
BARRIL 220 LITROS	2	\$ 60.000,00	\$ 120.000,00
BAJANTE VIGA CANAL	1	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
CODO 90° 3"	2	\$ 5.400,00	\$ 10.800,00
TUBERIA BAJANTE 3" 6m	1	\$ 74.900,00	\$ 74.900,00
SOPORTE BAJANTE METALICO 3"	2	\$ 2.000,00	\$ 4.000,00
TEFLÓN	3	\$ 8.900,00	\$ 26.700,00
LUBRICANTE DE SILICONA PAVCO	2	\$ 6.627,00	\$ 13.254,00
TUBERIA 1/2"	1	\$ 11.900,00	\$ 11.900,00
TEE 1/2"	1	\$ 650,00	\$ 650,00
CODO 90° 1/2"	2	\$ 450,00	\$ 900,00
PASA CASCOS 1/2"	2	\$ 500,00	\$ 1.000,00
LLAVE 1/2"	1	\$ 24.900,00	\$ 24.900,00
MALLA DE RETENCIÓN Colmallas 1,20mx1.0m	1	\$ 13.200,00	\$ 13.200,00
Total			\$ 342.204,00

Fuente: El autor

Tabla 21 Presupuesto vivienda 3 riego

PRESUPUESTO VIVIENDA 3 RIEGO			
MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
BARRIL 220 LITROS	1	\$ 60.000,00	\$ 60.000,00
BAJANTE VIGA CANAL	1	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
CODO 90° 3"	4	\$ 5.400,00	\$ 21.600,00
TUBERIA BAJANTE 3" 6m	1	\$ 74.900,00	\$ 74.900,00
SOPORTE BAJANTE METALICO 3"	2	\$ 2.000,00	\$ 4.000,00
TEFLÓN	2	\$ 8.900,00	\$ 17.800,00
LUBRICANTE DE SILICONA PAVCO	2	\$ 6.627,00	\$ 13.254,00
TUBERIA 1/2"	1	\$ 11.900,00	\$ 11.900,00
PASA CASCOS 1/2"	1	\$ 500,00	\$ 500,00
LLAVE 1/2"	1	\$ 24.900,00	\$ 24.900,00
MALLA DE RETENCIÓN Colmallas Huecos	1	\$ 43.400,00	\$ 43.400,00
CANAleta PAVCO AMAZONAS	2	\$ 4.900,00	\$ 9.800,00
UNIÓN CANALETA PAVCO	2	\$ 10.033,00	\$ 20.066,00
ADAPTADOR BAJANTE PAVCO	1	\$ 5.560,00	\$ 5.560,00
TUBERIA BAJANTE PAVCO	1	\$ 21.841,25	\$ 21.841,25
SOPORTE CANALETA PAVCO	9	\$ 2.782,00	\$ 25.038,00
SOPORTE BAJANTE PAVCO	1	\$ 4.681,00	\$ 4.681,00
Total			\$ 399.240,25

Fuente: El autor

Tabla 22 Presupuesto vivienda 3 doméstico

PRESUPUESTO VIVIENDA 3 DOMESTICO			
MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
TANQUE 500 LITROS HUMBOLDT	1	\$ 174.900,00	\$ 174.900,00
CANAleta PAVCO AMAZONAS	3	\$ 107.997,00	\$ 323.991,00
TUBERIA BAJANTE 3" 6m	1	\$ 74.900,00	\$ 74.900,00
CODO 90° 3"	3	\$ 5.400,00	\$ 16.200,00
UNIÓN CANALETA PAVCO	3	\$ 10.033,00	\$ 30.099,00
ADAPTADOR BAJANTE PAVCO	1	\$ 5.560,00	\$ 5.560,00
TUBERIA BAJANTE PAVCO	1	\$ 21.841,25	\$ 21.841,25
TEE 3"	1	\$ 7.300,00	\$ 7.300,00
TEFLÓN	3	\$ 8.900,00	\$ 26.700,00
SOPORTE BAJANTE METALICO 3"	3	\$ 2.000,00	\$ 6.000,00
ESFERA DE ICOPOR	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
TRAMPA (ALAMBRE)	1	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
SOPORTE CANALETA PAVCO	9	\$ 2.782,00	\$ 25.038,00
TAPA TUBERÍA 3"	1	\$ 1.100,00	\$ 1.100,00
LUBRICANTE DE SILICONA PAVCO	1	\$ 6.627,00	\$ 6.627,00
SOPORTE BAJANTE PAVCO	1	\$ 4.681,00	\$ 4.681,00
Total			\$ 729.937,25

Fuente: El autor

Tabla 23 Presupuesto general

PRESUPUESTO GENERAL MATERIAL QUE SE PUEDE COMPRAR PARA LAS 3 VIVIENDAS			
MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
TUBERÍA 2"	1	\$ 52.900,00	\$ 52.900,00
CODO 2"	5	\$ 4.424,00	\$ 22.120,00
MANGUERA	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
AMARRE PLASTICO PAQUETE	1	\$ 4.900,00	\$ 4.900,00
Total			\$ 99.920,00

Fuente: El autor

Nota: En la tabla 23 se establecieron materiales que pueden compararse en conjunto con las tres viviendas, esto ayudaría a reducir costos y optimizar los materiales que principalmente son destinados en primer lugar para la tubería de rebose y la malla de retención (Interceptor de malla)

RECOMENDACIONES

- Para la vivienda 1 se recomienda tener en cuenta la alternativa número 1 debido a que esta tiene un mejor presupuesto y el tipo de cubierta permite utilizar materiales más convencionales como lo es el sistema de canaleta Amazonas de Pavco. De tal modo que simplificaría el proceso ya que ya existen las guías de instalación y manejo de los elementos necesarios.
- La cubierta de la vivienda 1 en el esquema se hizo a partir de las dimensiones y características de un tejado realizado con material reciclado, se recomienda hacer uso de este ya que puede reducir costos y de igual forma y en comparación con tejados convencionales como con el que cuenta actualmente que es de fibrocemento, puede reducir las cargas sobre la estructura ya que es más liviano.
- En cada uno de los casos se debe realizar un análisis que tenga en cuenta las condiciones del suelo para así poder determinar si los tanques de almacenamiento pueden ser ubicados de tal forma que permitan condiciones de seguridad y acceso.
- Para la vivienda 2 es importante hacer un análisis de la canal principal ya que esta actualmente no cuenta con la pendiente necesaria que garantice la autolimpieza del sistema.
- Para la vivienda 2 es necesario establecer las dimensiones reales de la canal para determinar los elementos que se requieren para la bajante de agua.
- En la vivienda 3 es importante realizar un mantenimiento a la cubierta con el fin de garantizar el flujo de escorrentía necesario para el sistema de recolección
- Con base a la ubicación de los tanques de almacenamiento, se debe realizar un diseño de instalaciones hidrosanitarias para la conectividad del agua al interior de la vivienda. Aquí es importante tener en cuenta que la ubicación de cada uno de los tanques se estableció dependiendo de la ubicación de las zonas húmedas como, baños, cocinas y zona de lavado.

CONCLUSIONES

- La implementación de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia puede ser una alternativa efectiva para implementar en el barrio San Germán y demás lugares que requieran el acceso al agua para diferentes fines. Son sistemas que parten de la captación de agua en un área determinada y pueden complementarse con las demás etapas (recolección, intercepción y almacenamiento).
- En las propuestas se trató de que los elementos estuvieran ubicados de tal forma que fuera más sencilla su instalación y su ubicación dentro del terreno, y de igual forma se tuvo en cuenta la cantidad de materiales necesarios, dejando como último resultado las opciones más accesibles.
- En cada caso se puede observar que se cumplen los principios de autogestión, modularidad y escalabilidad, en primer lugar, porque los mismos habitantes pueden hacer parte del proceso de instalación, también son propuestas que dependen del estado de las viviendas y se pueden adaptar fácilmente si se requiere y por último se pueden tomar como un modelo a seguir en otras viviendas del sector.
- En el proceso del diagnóstico se logró recolectar la información hidrológica necesaria de la zona, que permitió desarrollar las demás etapas. La importancia de este punto no solo se puede utilizar para efecto del mismo proyecto, si no que puede servir como ayuda para otros proyectos que se quieran realizar en el barrio San Germán.
- Es fundamental reconocer las condiciones en las que se encuentran las viviendas del barrio San Germán para entender como es el manejo temas como los servicios públicos y por medio de diferentes áreas del conocimiento poder generar un aporte que beneficie a la comunidad y de igual forma sirva como un proceso de aprendizaje para los practicantes y de igual forma para el colectivo.
- Cada una de las propuestas desarrolladas en el diagnóstico, permitió ver una alternativa distinta para el aprovechamiento de agua lluvia como segunda opción por la dificultad de acceso a servicios públicos. En el caso de la vivienda número 1, esta puede servir como un modelo que se pueda implementar en nuevas viviendas que se vayan a construir desde cero o en dado caso se vayan a reestructurar.

- Por cuestiones de tiempo y dificultad de acceso al barrio por problemas de salud pública relacionados con el Covid-19 y factores ajenos, es importante seguir desarrollando las propuestas, ya que estas pueden tener algunas variaciones referentes a los dimensionamientos.
- Al realizar las correcciones correspondientes en cada una de las propuestas y realizando las conexiones hidrosanitarias, el siguiente objetivo sería poder ejecutar el proyecto teniendo en cuenta la disponibilidad de los recursos y la aceptación por parte de la comunidad.
- En el caso de la vivienda 3, donde actualmente existe un proyecto diferente para un tanque de almacenamiento de agua lluvia el frente de la vivienda, se puede omitir la primera parte y profundizar en el análisis del sistema de recolección para riego que se encuentra en la parte de atrás al interior de la vivienda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, J. (2016). CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN AMÉRICA LATINA. Chile.

Aguilera, M. (2007). Estimación de funciones de probabilidad, para caudales máximos, en la región de Maule. Chile. [3] [4]

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ, (2017). Resumen documento diagnóstico plan de ordenamiento territorial. Bogotá. Recuperado de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/201708_resumendiagnosticopot_v3.0.pdf

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ, (2020). Documento diagnóstico. Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. Secretaria de planeación recuperado de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/tomo_3._poblacion-mot_pot_2020.pdf

Anaya Garduño M. (2006). Sistemas de captación y aprovechamiento del agua para comunidades marginadas

Anaya M. (1998). "Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y El Caribe. Manual Técnico", Ed. Agencia de Cooperación Técnica IICA-México, México.

Ballén J. A., Galarza M. A., Ortiz R. O. (2006). "Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia", VI SEREA. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, Joao Pessoa, Brasil.

CCB. (2021). Unidades de planeamiento zonal. Cámara de comercio de Bogotá. Bogotá recuperado de <https://www.ccb.org.co/Preguntas-frecuentes/Transformar-Bogota-Articulacion-publico-privada/Preguntas-frecuentes-sobre-Desarrollo-Urbano-y-Regional/Que-son-las-Unidades-de-Planeamiento-Zonal-UPZ>

CEPIS. (2004). Guía de diseño para captación de agua lluvia. Lima. Recuperado de <https://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%204%20Lluvia/Guia%20de%20dise%C3%B1o%20para%20captaci%C3%B3n%20del%20agua%20de%20lluvia.pdf> [9] [10]

Distribución de probabilidad de Gumbel. Recupe4rado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_de_Gumbel#:~:text=En%20teor%C3%A](https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_de_Gumbel#:~:text=En%20teor%C3%A9tica%20de%20probabilidad%20y,usa%20para%20calcular%20valores%20extremos.) Da%20de%20probabilidad%20y,usa%20para%20calcular%20valores%20extremos. [5] [6]

Gilmart. D. (2011). El abastecimiento del agua en las ciudades romanas. Recuperado de: <https://historicodigital.com/aqua-el-abastecimiento-de-agua-en-las-ciudades-romanas.html>

Gould J. y E. Nissen-Petersen, 1999. Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation. Action Publishing, EUA.

Hernández F. (2018). Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria.

HIDROPLUVIALES. (2012). Captación en el mundo. Recuperado de <https://hidropluviales.com/2012/11/29/captacion-en-el-mundo/>

Insivumeh. (2021). Hidrología. Ministerio de comunicaciones, infraestructura y vivienda. Guatemala. Recuperado de <https://insivumeh.gob.gt/institucional/que-es-hidrologia/>

ITMA. (2008). Manual de instalación cisterna (tipo cilindro capuchino). México.

López, J. (2017). Desviación estándar o típica. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/desviacion-tipica.html> [2]

MITMA. (2019). Documento Básico HS Salubridad. Ministerio de Fomento. España. Recuperado de <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DBHS.pdf>

Molina M. (2011). Sistemas Urbanos De Drenaje sostenible. Secretaria de Ambiente. Alcaldía de Bogotá. Recuperado de [http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+So](http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible)
stenible

Novo, C. (2019). Una innovadora app para mejorar la captación de agua de lluvia en África. Recuperado de <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/innovadora-app-mejorar-captacion-agua-lluvia-africa>

ONG TECHOS. (2015). Derecho a Bogotá, informe de asentamientos informales. Recuperado de <https://www.techo.org/colombia/plataforma-asentamientos/>

Quiroa, M (2020) Estudio de factibilidad. Recuperado de Estudio de factibilidad - Qué es, definición y concepto | 2021 | Economipedia

RAE, (2021). Diccionario de la real academia española. Madrid. Recuperado de Definición de aprovechamiento de aguas - Diccionario panhispánico del español jurídico - RAE

RAE, (2021). Diccionario de la real academia española. Madrid. Recuperado de <https://dle.rae.es/periferia>

RIEGO. (2020). Diccionario de términos. Recuperado de <https://www.riego.org/glosario/tag/captacion-de-aguas/>

SANTAMARIA, J. (2019). "Entre nubes": retratos de un microcosmos del conflicto. *Semana*. Recuperado de <https://www.semana.com/agenda/articulo/entre-nubes-retratos-de-un-microcosmos-del-conflicto/73215/>

SECRETARIA DE HABITAT, (2016). Polígonos de monitoreo secretaria de hábitat alcaldía mayor de Bogotá. Bogotá. Recuperado de <https://www.habitatbogota.gov.co/node/173>
<https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/poligonos-de-monitoreo>

SIGNIFICADOS. (2021). Definición de precipitación. Recuperado de <https://www.significados.com/precipitacion/>

Tutoriales al día. Determinación de caudales máximos por método racional. Recuperado de: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/determinacion-de-caudales-maximos-con-el-metodo-racional/>
<https://www.youtube.com/watch?v=bk6u4fLUWRw&t=85s> [8]

UNEP. (1983). Rain and Stormwater Harvesting in Rural Areas. United Nations Environment Programme, Water Resources Series.

ANEXOS

ANEXO A. Propuesta sistema de aprovechamiento de agua lluvia vivienda 1.

ANEXO B. Manual de sistemas de canales y bajantes PAVCO. Colombia
<https://pavcowavin.com.co/manuales-tecnicos>

ANEXO C. Video, Captación de agua lluvia.
https://www.youtube.com/watch?v=r_JEI2EKEUY

ANEXO D. Propuesta sistema de aprovechamiento de agua lluvia vivienda 2.

ANEXO E. Propuesta sistema de aprovechamiento de agua lluvia vivienda 3.

ANEXO F. Análisis de precipitaciones mensuales promedio.