



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, ALMACENAMIENTO Y
DISTRIBUCIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA LLUVIA EN EL
CONJUNTO MIXTO LAS VEGAS PLAZA.**

Oskar Ramírez Sánchez

Santiago Marín Daza

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría virtual y a distancia

Centro Regional Aburrá Sur

Especialización en Gerencia de Proyectos

Noviembre de 2022

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, ALMACENAMIENTO Y
DISTRIBUCIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA LLUVIA EN EL
CONJUNTO MIXTO LAS VEGAS PLAZA.**

Oskar Ramírez Sánchez

Santiago Marín Daza

Monografía presentada como requisito para optar al título de Especialista en
Gerencia de Proyectos

Asesor(a)

Angélica Escobar Pérez

Magíster en Finanzas

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría virtual y a distancia

Centro Regional Aburrá Sur

Especialización en Gerencia de Proyectos

Noviembre de 2022

Dedicatoria

Oskar Ramírez Sánchez

A mi Esposa Martha por tener paciencia, sacrificar tiempo y por el apoyo que me brindó; a mi hija Emilia gracias por el ánimo que me impulsó a continuar esta ardua labor cuando podíamos estar jugando juntos; a mi madre Martha y a mi hermana Lina por estar empujándome y motivando para seguir adelante; a mi compañero Santiago Marín gracias por estar ahí incondicionalmente para sacar adelante el proyecto; y para finalizar a mi compañero Daniel Gómez, que por casos de fuerza mayor no pudo continuar este proceso conmigo, pero sus aportes fueron de mucha excelencia y aprecio.

Santiago Marín Daza

Dedico este trabajo a Dios por darme la vida y la fuerza para lograr este trabajo, a mi hija Dulce María por ser ese motor que me impulsa día a día, a mi madre por el ánimo y atenciones siempre, a mi jefe David porque siempre creyó en mí, a mis hermanos por el ánimo que siempre me mostraron, muy especial a mi novia Andrea porque siempre estuvo para apoyarme, por último y más importante a mis compañeros Oskar y Daniel por luchar conmigo en esta etapa de mi vida, por trasnochar y madrugar conmigo por su paciencia y entrega sin ellos esto no hubiera sido posible.

Agradecimientos

Agradecemos primero que todo a Dios por darnos la vida y sabiduría para afrontar los retos, a nuestros profesores por esta gran labor de educarnos y por los consejos que aportaron para poder llegar al resultado de este trabajo, en especial agradecemos a la profe Angélica Escobar Pérez por cada aporte y comentario para que este trabajo tuviera un buen final, a la profe Narda Butrabi Neira que nos devolvió la motivación en uno de los momentos en el que pensamos desistir de esta investigación, fue de mucha ayuda cada palabra; a la universidad UNIMINUTO por ser parte de nuestro crecimiento personal y laboral por la paciencia que cada colaborador de la institución tuvo hacia nosotros.

Contenido

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos.....	4
Contenido	5
Lista de tablas.....	7
Lista de figuras	8
Lista de ecuaciones.....	9
Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción	12
1. Antecedentes.....	13
2. Descripción del problema.....	13
3. Objetivos.....	16
3.1 Objetivo general	16
3.2 Objetivos específicos	16
4. Justificación	17
5. Marco referencial.....	20
5.1 Marco conceptual	20
5.1.1 Atmósfera	20
5.1.2 Ciclo hidrológico	20
5.1.3 Clima.....	22
5.1.4 Conjunto residencial.....	23
5.1.5. Cuenca hidrográfica	23
5.1.6 Lluvia	24
5.1.7 Precipitación	24

5.1.8 Pluviosidad	25
5.2 Marco teórico.....	25
5.2.1 Estudio de la calidad del agua lluvia.....	26
5.2.2 Tratamiento del agua lluvia	27
5.2.3 Sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia	29
5.3 Marco legal	42
6. Diseño metodológico.....	45
6.1 Tipo de estudio y enfoque.....	45
6.2 Población de referencia.....	46
6.3 Análisis, procesos y procesamiento de datos.....	46
7. Análisis de resultados	47
7.1 Estudio del agua lluvia captada	47
7.2 Recolección del agua lluvia.....	50
7.3 Tratamiento del agua lluvia a almacenar	53
7.4 Almacenamiento del agua lluvia	54
7.5 Distribución del agua lluvia	56
7.6 Análisis económico.....	61
8. Conclusiones	66
9. Referencias.....	67

Lista de tablas

Tabla 1 Cálculo del costos del consumo de acueducto y alcantarillado de las zonas comunes del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza.	14
Tabla 2 Información de consumos por apartamentos del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza.....	15
Tabla 3 Datos de precipitación mensual en el municipio de Sabaneta, Antioquia.	16
Tabla 4 Relación de las características físicas, químicas y microbiológicas con su máximo valor de aceptación.....	27
Tabla 5 Coeficientes de rugosidad de tuberías para el cálculo de pérdidas de carga.....	40
Tabla 6 Coeficientes de rugosidad Hazen-Williams de tuberías de diferentes materiales	41
Tabla 7 Resultados de análisis de las propiedades fisicoquímicas del agua lluvia.	47
Tabla 8 Volumen mensual almacenado de acuerdo a las precipitaciones mensuales y el Coeficiente de escorrentía.....	55
Tabla 9 Cantidad de accesorios por torre en el Conjunto Mixto Las vegas Plaza .	59
Tabla 10 Cálculo de las pérdidas singulares por torre en el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza.....	59
Tabla 11 Presupuesto de estudios técnicos.....	63
Tabla 12 Presupuesto de construcción del prototipo.	64

Lista de figuras

Ilustración 1 Distribución del agua en el planeta.	19
Ilustración 2 Ciclo del agua	21
Ilustración 3 Cuenca hidrográfica del municipio de Sabaneta, Antioquia	23
Ilustración 4 Coeficientes de escorrentía para diferentes materiales	32
Ilustración 5 Valores del coeficiente K para pérdidas singulares	37
Ilustración 6 Terraza de la torre 1 Conjunto Mixto Las Vegas Plaza	49
Ilustración 7 Área de una de las torres del Conjunto Mixto las Vegas Plaza.....	49
Ilustración 8 Esquema de Recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia.....	50
Ilustración 9 Plano arquitectónico de la cubierta de la torre 1 y 2 del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza	52
Ilustración 10 Mapa sinóptico del proceso del tratamiento de agua lluvia	53
Ilustración 11 Tratamiento del agua lluvia almacenada	54
Ilustración 12 Gráfica de las precipitaciones mensuales.....	55
Ilustración 13 Procedimiento para la distribución del agua almacenada	57
Ilustración 14 Sección y fachada del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza.	61
Ilustración 15 Tarifas para servicios de acueducto y aguas residuales para el Municipio de Sabaneta.	62

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Diámetro hidráulico	30
Ecuación 2 Coeficiente de escorrentía	31
Ecuación 3 Volumen real o neto a almacenar	33
Ecuación 4 Caudal	34
Ecuación 5 Presión.....	35
Ecuación 6 Pérdidas de carga singulares.....	36
Ecuación 7 Formula de Darcy-Weisbash.....	38
Ecuación 8 Coeficiente de fricción en función de Reynolds y del coeficiente de rugosidad.	39
Ecuación 9 Numero de Reynolds en función del diámetro de la tubería	39
Ecuación 10 Coeficiente de rugosidad en función del diámetro de la tubería	39
Ecuación 11 Formula de Hazen-William en función del Caudal, el coeficiente de rugosidad y el diámetro de la tubería.....	41
Ecuación 12 Volumen con base en el área y la altura	51
Ecuación 13 Volumen real recolectado	52
Ecuación 14 Potencia de la bomba hidráulica.....	59
Ecuación 15 Columna de agua total	60

Resumen

El agua lluvia es un recurso hídrico que en el valle de Aburrá ha venido presentando aumentos significativos debido a la cantidad e intensidad de la pluviosidad; y que, al pensar en su utilización por medio de la recolección, su almacenamiento y distribución para el uso final en el riego de jardines y lavado de zonas comunes, impacta positivamente en la disminución del consumo de agua potable en un conjunto residencial de gran magnitud como es el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza; esto marca desde su primer enfoque, intrínsecamente, la autosostenibilidad ambiental que se busca dejar como huella para las futuras generaciones.

El estudio de esta investigación abarca áreas del conocimiento como la ingeniería, la hidrología, la hidráulica y en menor medida las finanzas, parte de la química básica y el análisis de resultados. El presente trabajo es un estudio cualitativo y cuantitativo, donde se aplican varios conceptos de la mecánica de fluidos que dan soporte a la metodología y que al final, son los parámetros que definen si el proyecto es viable o no. La investigación inicia con la descripción del proceso de recolección de agua lluvia que se capta en la cubierta de un edificio, esta se transporta hasta un tanque de almacenamiento donde se realiza el tratamiento adecuado para hacerla de uso doméstico y, por último, se entrega en cada canilla o grifería para su uso final, como es el riego de jardines y lavado de zonas comunes, canecas de basura, cuartos de aseo, entre otros.

Una vez se estudia y analizan los resultados teóricos obtenidos, se procede a cuantificar el costo de la implementación del sistema, para evaluar su viabilidad económica, para ello, se desarrolla un presupuesto de estudios técnicos y un presupuesto de construcción, de esta manera, se concluirá si es factible llevar a cabo su ejecución.

Palabras claves: recolección, agua lluvia, tratamiento del agua, almacenamiento, distribución, sistema de bombeo.

Abstract

Rainwater is a water resource that in the Aburrá Valley has been presenting significant increases due to the amount and intensity of rainfall; and that, when thinking about its use through collection, storage and distribution for final use in the irrigation of gardens and washing of common areas, has a positive impact on the reduction of drinking water consumption in a residential complex of great magnitude as is the Conjunto Mixto Las Vegas Plaza; this marks from its first approach, intrinsically, the environmental self-sustainability that is sought to leave as a footprint for future generations.

The study of this research covers areas of knowledge such as engineering, hydrology, hydraulics and to a lesser extent finance, part of basic chemistry and analysis of results. The present work is a qualitative and quantitative study, where several concepts of fluid mechanics are applied to support the methodology and, in the end, are the parameters that define whether the project is viable or not. The research begins with the description of the rainwater collection process that is captured on the roof of a building, this is transported to a storage tank where the appropriate treatment is performed to make it for domestic use and, finally, it is delivered to each faucet for its final use, such as garden irrigation and washing of common areas, garbage cans, cleaning rooms, among others.

Once the theoretical results obtained are studied and analyzed, the cost of implementing the system is quantified in order to evaluate its economic viability. To this end, a technical studies budget and a construction budget are developed, thus concluding whether it is feasible to carry out its implementation.

Keywords: collection, rainwater, water treatment, warehousing, distribution, pumping system.

Introducción

Es de conocimiento que los efectos negativos que está generando el cambio climático son una problemática que afecta a todos, es importante resaltar que los recursos naturales como se conocen iniciarán a tener cambios negativos; la temperatura aumentará, el nivel de los mares subirá y el agua escaseará, todo esto, causado por el mal manejo que le da el ser humano a los recursos del planeta. Por esta razón, este trabajo no está netamente enfocado en la parte económica sino también buscando el beneficio ambiental.

El planteamiento de este trabajo consiste en buscar recolectar el agua lluvia y complementar o suplementar (reemplazar) una parte del consumo que genera un edificio en actividades como el riego de jardines o el lavado de cuartos de basura, ya que son actividades que no requieren de agua potable para su eficaz funcionamiento. De esta manera, se puede lograr un beneficio económico y un autosostenimiento parcial. ¿Cómo se haría? Usando la cubierta del edificio se recolecta el agua lluvia y se conduce hasta un tanque donde se almacena. En caso de ser necesario el tratamiento al agua lluvia se llevaría a cabo, mediante los análisis de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua. Después el procedimiento es distribuir el agua por las redes de tuberías hasta cada punto que se requiera, para lograr lo anterior, se requiere hacer una serie de cálculos sistemáticos que permiten conducir el fluido hasta cada punto impulsado por una bomba hidráulica.

Una vez realizados los estudios técnicos, se llevará a cabo una revisión económica de la implementación del sistema con el fin de conocer la inversión en el proyecto y así poder determinar su viabilidad desde la parte económica.

1. Antecedentes

¿Es viable técnica y económicamente disminuir el consumo de agua potable a partir del diseño de un sistema alternativo de abastecimiento a través de la recolección de aguas lluvias para el uso en actividades como aseo y riego de jardinería en el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza?

2. Descripción del problema

La unidad residencial Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, se encuentra ubicada en el municipio de Sabaneta, Antioquia; al sur del valle de Aburrá; está constituida por 6 torres de 32 niveles y de 4 apartamentos por cada nivel, lo cual hace que se genere un alto consumo de agua potable. Por otro lado, las torres cuentan con puntos fijos, pasillos, parqueaderos, zona de juego, cuartos de basuras, entre otros espacios que componen las zonas comunes.

En los conjuntos residenciales, cada apartamento debe pagar una cuota de administración la cual cubre unos costos operativos y unos costos por concepto de servicios públicos; tales como energía, acueducto y alcantarillado. En las zonas comunes del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, el consumo por concepto de agua suministrada por el proveedor (EPM) genera en promedio un gasto económico alrededor de \$4.800.700 COP al mes. Dicho valor es consumido en actividades como: aseo de cada una de las torres; aseo de aproximadamente 2.000m² de zonas comunes y riego de 600m² de jardinerías. Lo anterior quiere decir que, anualmente los costos ascenderían a \$ 57.608.400 COP. (Estados financieros administración Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, 2020).

Tabla 1 *Cálculo del costos del consumo de acueducto y alcantarillado de las zonas comunes del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza.*

DEMANDA ZONAS COMUNES	VALOR ACUEDUCTO ALCANTARILLADO	COSTO ZONAS COMUNES	VALOR TOTAL ZONAS COMUNES
M³/MES	Costo (\$)/M³	Costo (\$)/M³/MES	Costo (\$)/M³/AÑO
652.80	\$ 7,353	\$ 4,800.700	\$ 57.608.400

Elaboración de proyectos.

De lo anteriormente mencionado, cabe resaltar que complejos tan grandes donde la población o el número de habitantes es considerablemente alto se debería tener un sistema alternativo de abastecimiento de agua, para no depender solo del agua potable y así poder percibir algún ahorro en los consumos de agua y dar un manejo ambiental adecuado del recurso hídrico en algunas actividades que no requieren agua potable.

Esta investigación permitirá plantear una alternativa para la optimización del recurso hídrico pluvial aplicado al Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, impactando positivamente alrededor de 768 familias, reduciendo la tasa promedio de consumo de los servicios públicos por concepto de acueducto y alcantarillado, el cual se vería reflejado en la disminución del pago de la cuota de administración.

Una de las delimitaciones del proyecto puede llegar a ser a futuro que el reglamento de propiedad horizontal, no permite realizar modificaciones o construcciones en zonas comunes, por tal motivo, no se permitiría intervenir la arquitectura o la estética de las fachadas de las torres y de ser así, las intervenciones al interior pueden resultar más costosas ya que las torres y los apartamentos se encuentran construidos, sumándole a lo anterior, puede que las reservas o el espacio útil dentro de los buitrones no permita la

instalación de nuevas tuberías, en otras palabras, sería más sencillo aplicarlo durante la etapa de construcción del edificio.

La tabla 2 muestra la demanda que se tendría en los apartamentos por el uso de agua de los sanitarios, partiendo de que en cada apartamento hay dos sanitarios y que se realizan mínimo dos descargas al día.

Tabla 2 Información de consumos por apartamentos del Conjunto Mixto Las Vegas

Plaza

TORRE	NIVEL	APTOS	SANITARIOS	LITROS X SANITARIO	DESCARGAS AL DIA	TOTAL DEMANDA
(UND)	(UND)	(UND)	(UND)	(LITROS)	(UND)	(LITROS/MES)
6	32	4	2	4.8	4	884.736

Elaboración propia.

Los gastos por apartamento según la información de la tabla anterior, muestran el consumo de agua potable que podrían reemplazarse por agua lluvia si el sistema se implementara a gran escala, es decir, también en los apartamentos.

Otra delimitación que puede ocurrir es, que debido a la posición geográfica del conjunto residencial y según el curso meteorológico anual se pueda presentar escases de lluvias. Por ejemplo, como lo indica la tabla 3, los meses de mayor precipitación son abril y mayo, mientras que, por el contrario, los meses de enero y febrero presentan pocos eventos de lluvia, por lo cual el sistema no tendría abastecimiento y sería poco útil en ese periodo de tiempo.

Tabla 3 Datos de precipitación mensual en el municipio de Sabaneta, Antioquia.

PRECIPITACIONES (mm/mes)		
MES	CANTIDAD	UNIDAD
ENERO	147	mm/mes
FEBRERO	180	mm/mes
MARZO	277	mm/mes
ABRIL	347	mm/mes
MAYO	346	mm/mes
JUNIO	216	mm/mes
JULIO	178	mm/mes
AGOSTO	184	mm/mes
SEPTIEMBRE	255	mm/mes
OCTUBRE	321	mm/mes
NOVIEMBRE	304	mm/mes
DICIEMBRE	203	mm/mes
PROMEDIO	246.5	mm/mes

(CLIMADATE, 2022)

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica y económica de un sistema de recolección, almacenamiento y distribución de aguas lluvias que permita disminuir el consumo de agua potable en las áreas comunes del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza mediante su diseño y proyección económica.

3.2 Objetivos específicos

Analizar las propiedades físico-químicas del agua lluvia recolectada para su posterior tratamiento y uso final mediante análisis de resultados de la bibliografía consultada.

Diseñar el sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia en el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza.

Evaluar económicamente la implementación del sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia para el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza.

4. Justificación

El presente diseño plantea la viabilidad de un sistema alternativo de abastecimiento basado en la recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia para el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza ubicado en el municipio de Sabaneta, Antioquia; el cual busca disminuir el consumo de agua potable y reemplazarla por aguas recicladas no potables para utilizarlas en actividades básicas como el lavado de zonas comunes y riego de jardines; generando en los usuarios finales una conciencia ambiental sostenible y disminuyendo los altos costos en el pago de servicios públicos de acueducto y alcantarillado. Debido a que el proveedor realiza ambos cobros basados en las mediciones del agua que entra al edificio.

Analizando la metodología para la recolección de aguas lluvias aplicable a edificaciones, se puede diseñar la alternativa óptima desde el punto de vista técnico y financiero para el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, de forma tal, que sea un sistema de abastecimiento que cubra la necesidad de demanda del recurso hídrico en las zonas comunes.

De la literatura encontrada es importante resaltar los siguientes apuntes.

Mediante el indicador de huella hídrica se identificó que el Valle de Aburrá consume al año 383 billones de metros cúbicos y pierde alrededor del 34 % del agua que se abastece, lo cual evidencia que la demanda es muy superior a la oferta ecosistémica del territorio metropolitano. (Mejía, 2021, p.54)

Por otro lado, como menciona Mejía (2021):

El promedio de lluvia total anual en el valle de Aburrá es de 1.685 mm.

Durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos

temporadas lluviosas. Los meses de enero y febrero son los más secos del año. Las temporadas de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre. A mediados de año se presenta una disminución de lluvias en julio y agosto, tras lo cual, nuevamente comienzan a incrementarse. En los meses secos de principios de año, llueve alrededor de 9 días/mes; en los meses de mayores lluvias puede llover de 22 a 24 días/mes.

Se identificó además que los estratos residenciales 4, 5 y 6 de esta población consumen 220 litros de agua por día, lo que equivale al doble de la cantidad mínima para consumo habitual recomendada por la OMS (máximo 100 litros diarios), en tanto que las familias de estratos 1, 2 y 3 consumen entre 68 y 130 litros por día, pese a que se les suministra una cantidad superior por tratarse de un mayor número de habitantes. (p.34)

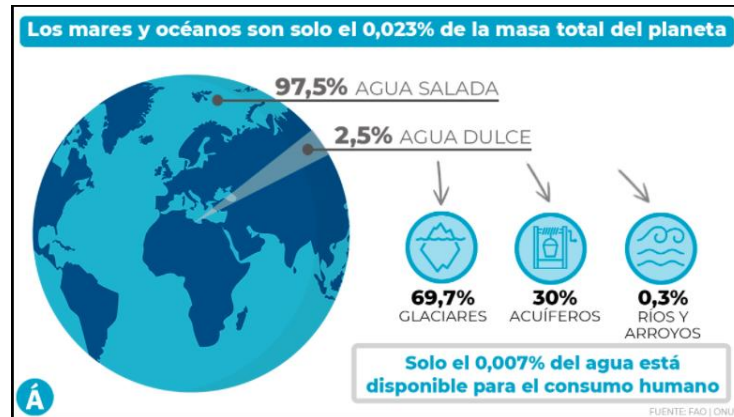
De lo anteriormente mencionado, se puede decir que, gran parte de la cantidad de agua lluvia que cae en la ciudad se desperdicia y teniendo en cuenta que se consume más agua de la que se produce en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá es consecuente estudiar y aplicar la recolección y aprovechamiento de esta agua que se termina desperdiciando en los sistemas de alcantarillados y en algunos casos generando inundaciones por el colapso de las redes.

En la actualidad hay pocas tendencias o enfoques al aprovechamiento del agua lluvia en zonas urbanas y sobre todo en países como Colombia que tienen una alta capacidad del recurso hídrico, debido a que cuenta con el suministro de agua potable de manera fácil.

Como se muestra en la figura 1, partiendo de la cantidad de agua dulce a nivel mundial la cual representa solo el 2.5% de la cantidad total; que de este porcentaje solo el

0.007% está disponible para el consumo humano, esto demuestra que a futuro el recurso se puede agotar. (UNESCO & WMO, 2006)

Ilustración 1 *Distribución del agua en el planeta.*



(Carrión, 2020)

A continuación, se describen algunas implementaciones de sistemas de recolección, almacenamiento y distribución que se han aplicado en el sector privado y comercial a nivel nacional.

Algunas de estas implementaciones se llevaron a cabo en dos centros comerciales de la ciudad de Bogotá; Titan Plaza y Unicentro, los cuales usan el agua captada en las cubiertas, la conducen a unos tanques de almacenamiento de agua y por último la distribuyen en el sistema hidráulico para el vaciado de las unidades sanitarias. (Villegas-Rodríguez, 2019)

Por otro lado, en el sector privado, en la ciudad de Bogotá en el barrio Venecia, se implementó el sistema de recolección y distribución de agua lluvia, y además se adicionó un proceso muy importante y fue el tratamiento de aguas lluvias con la puesta en marcha de una planta de tratamiento con el propósito de obtener agua potable para su propio uso durante gran parte del año. (Villegas-Rodríguez, 2019)

De la misma forma, se evidenciaron trabajos similares en el departamento de Antioquia, uno de ellos en el Municipio de Caldas, en la institución educativa María Auxiliadora, la cual cuenta con las siguientes características:

La infraestructura de la institución está compuesta por dos pisos, y en total, existen 29 baños (12 baños de niñas, 12 baños de niños y 5 baños adicionales). El área es de 3.708 m² entre los dos pisos, con un área útil de techos de 1.667 m², pero no existen jardines, por lo que se omitirá el uso de riego de jardines del diseño.

(Castañeda, 2010, p.17)

La investigación a realizar del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza se divide en dos áreas de estudio de información, tanto cualitativa como cuantitativa, ya que se requiere conocer las propiedades químicas y físicas del agua captada, como también investigar los parámetros técnicos para el prototipo; la demanda de volumen a captar, la capacidad de volumen a almacenar y los caudales y presiones que se van a distribuir. Por otro lado, se debe tener otra área de investigación y es el tema financiero, el cual, adaptado a la necesidad de cada área común, la geometría del edificio y los análisis técnicos, dará como resultado el costo financiero del prototipo a diseñar.

5. Marco referencial

5.1 Marco conceptual

5.1.1 *Atmósfera*

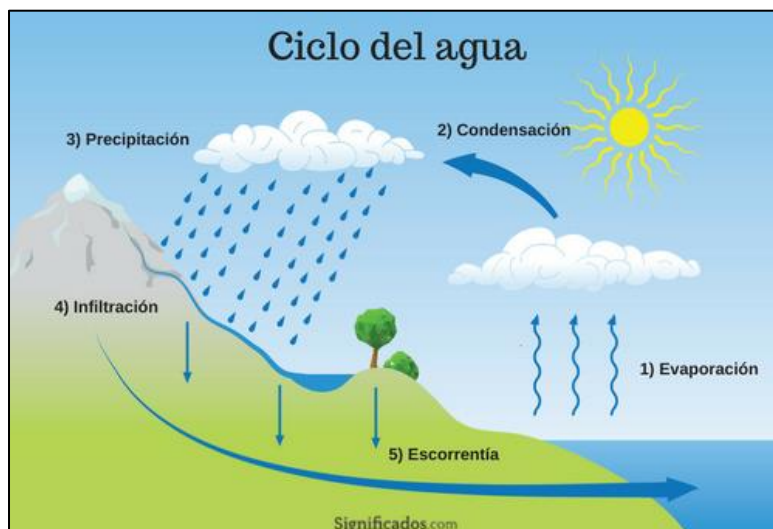
La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la tierra y que se mantiene unida al planeta por la fuerza de la gravedad. (IDEAM, 2019)

5.1.2 *Ciclo hidrológico*

Sucesión de etapas que atraviesa el agua de la atmósfera: evaporación a partir del suelo, el mar a las aguas continentales, condensación en forma de nubes,

precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación. Estas son las etapas del ciclo del agua. (IDEAM, 2019)

Ilustración 2 *Ciclo del agua*



(Significados.com, 2022)

Evaporación. La evaporación es una fase del ciclo del agua que consiste en el cambio de su estado líquido a gaseoso, y tiene lugar cuando el sol calienta la superficie de los ríos, lagos, lagunas, mares y océanos. La transpiración, a su vez, es un tipo de evaporación que transforma en vapor el agua contenida en las plantas. La parte de vapor de agua que permanece suspendida en el aire se conoce con el nombre de humedad. Al transformarse en vapor, el agua sube a la atmósfera, donde tendrá lugar la siguiente fase: la condensación. (IDEAM, 2019)

Condensación. Durante la condensación el vapor de agua que ha subido a la atmósfera se enfría y se concentra en partículas que formarán nubes y neblina. Una vez allí, pasarán a estado líquido nuevamente y serán transportadas por corrientes de aire hasta que se produzca el siguiente paso: la precipitación. (IDEAM, 2019)

Precipitación. La precipitación tiene lugar cuando el agua condensada de la atmósfera desciende a la superficie en forma de pequeñas gotas. En las regiones más frías del planeta el agua pasa del estado líquido al sólido (solidificación) y se precipita como nieve o granizo. Cuando se produce el deshielo, el agua volverá al estado líquido en un proceso conocido como fusión. (IDEAM, 2019)

Infiltración. Es el proceso por el que el agua que ha caído en la superficie terrestre, mediante precipitaciones, penetra en el suelo. Una parte queda en la zona más superficial y es aprovechada por la naturaleza y los seres vivos. Otra parte se filtra a través de los poros hasta alcanzar la capa freática, una capa interna compuesta de roca en la que se almacena el agua. (IDEAM, 2019)

Escorrentía. La escorrentía superficial es el desplazamiento del agua a través de la superficie, gracias a los declives y accidentes del terreno, para entrar de nuevo en los ríos, lagos, lagunas, mares y océanos. Además, es el principal agente geológico de erosión y transporte de sedimentos. La escorrentía subterránea es el desplazamiento de las aguas que se mueven a través de la capa freática. Cuando los depósitos de agua subterránea, conocidos como acuíferos, se llenan hasta desbordarse, pueden producirse manantiales que devuelven el agua a las corrientes fluviales. (IDEAM, 2019)

5.1.3 Clima

Síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizada por estadísticas a largo plazo (valores medios, varianzas, probabilidades de valores extremos, etc.) de los elementos meteorológicos en dicho lugar.

Es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo, en un periodo y región dados, y controlado por factores forzantes y determinantes, y por la interacción entre los diferentes componentes del

sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera).
(IDEAM, 2019)

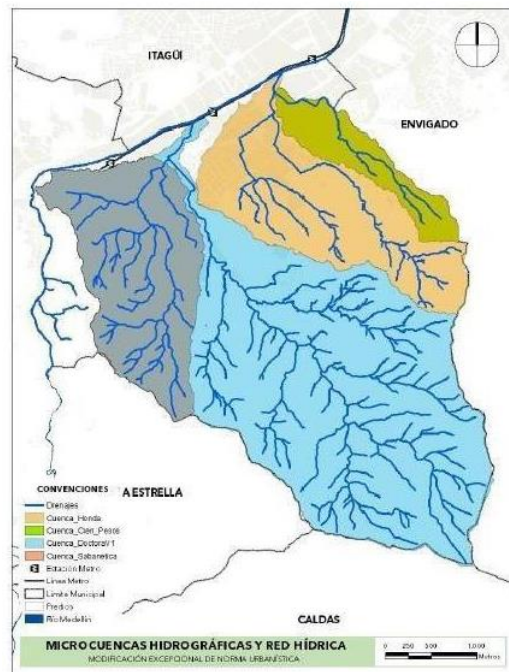
5.1.4 Conjunto residencial

Un conjunto residencial es un grupo de viviendas en edificios que han sido concebidos dentro de un mismo proyecto integral y con una misma identidad, estilo y acabados. Las viviendas que se ubican dentro de un conjunto residencial suelen compartir, en la mayoría de los casos, zonas comunes como vías de acceso, lugares de estacionamiento, zonas de ocio o zonas verdes entre otros. (REALIA, 2022)

5.1.5. Cuenca hidrográfica

Superficie de terreno que recoge el agua que alimenta, parcial o totalmente, una corriente de agua. (IDEAM, 2019)

Ilustración 3 Cuenca hidrográfica del municipio de Sabaneta, Antioquia



(CORANTIOQUIA, 2018)

5.1.6 Lluvia

Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor de 0,5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas. Si no alcanza la superficie terrestre no sería lluvia, sino virga, y, si el diámetro es menor, sería llovizna.

La lluvia depende de tres factores: la presión atmosférica, la temperatura y, especialmente, la humedad atmosférica. El agua puede volver a la tierra, además, en forma de nieve o de granizo. Dependiendo de la superficie contra la que choque, el sonido que producirá será diferente. (IDEAM, 2019)

5.1.7 Precipitación

La precipitación consiste en la caída de un conjunto de partículas. Las formas de precipitación son: lluvia, llovizna, nieve, cinarra, nieve granulada, polvo diamante, granizo y gránulos de hielo.

La precipitación es la caída de partículas de agua líquida o sólida que se originan en una nube, atraviesan la atmósfera y llegan al suelo. La cantidad de precipitación es el volumen de agua lluvia que pasa a través de una superficie en un tiempo determinado. (IDEAM, 2019)

De acuerdo con Javier Sánchez de la Universidad de Salamanca (2020) existen tres tipos de precipitación de acuerdo según su origen:

Ciclónicas. Que son provocadas por los frentes asociados a una borrasca o ciclón. La mayor parte del volumen de la precipitación recogido en una cuenca se debe a este tipo de precipitaciones.

Convección. Se producen por el ascenso de bolsas de aire caliente; son las tormentas de verano.

Orográficas. Se presentan cuando masas de aire húmedo son obligadas a ascender al encontrar una barrera montañosa.

5.1.8 Pluviosidad

Concepto referente a la cantidad de lluvia que cae en un lugar y en un periodo de tiempo determinado, es decir, la cantidad de precipitación sobre un lugar en la superficie de la tierra es llamada pluviosidad o monto pluviométrico, también se conoce como precipitación (meteorología), la cual se describe como fenómenos naturales producidos en la atmósfera y llegan a la superficie terrestre, estos fenómenos son conocidos como lluvias, llovizna, nieve, granizo, y otros como la neblina o el rocío que son formas de condensación más no de precipitación. (IDEAM, 2019)

5.2 Marco teórico

Para el diseño del sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia en el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza se tienen varias justificaciones y bases teóricas que hacen parte fundamental para su desarrollo e implementación; las áreas de estudio que abarca son la hidrología, la mecánica de fluidos y la hidráulica de los fluidos. Con base en lo anterior, se recorrerá por algunos conceptos claves, expresiones matemáticas y análisis de los resultados que llevarán a cumplir el alcance del proyecto.

Para enfocar la investigación hacia el diseño del aprovechamiento de agua lluvia en cualquier edificación o institución, es necesario ampliar el panorama de estudio, analizar los parámetros y las variables que afectan directa o indirectamente el sistema de aprovechamiento, y evaluar los resultados de dichas variables dentro y fuera del sistema para verificar su funcionalidad y optimización final.

El agua lluvia está compuesta no solamente de partículas de hidrogeno y oxigeno (H_2O), también tiene integradas partículas que obtiene en el tránsito del ciclo hidrológico que alteran sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Por otro lado, cuando el agua lluvia entra en contacto con superficies como la cubierta de un edificio, incorpora material particulado como arena, polvo, sedimentos del material que compone la cubierta, materiales vegetales y hasta materiales orgánicos. Por tal motivo, es necesario realizar pruebas o análisis de muestras del agua lluvia con el fin de identificar las partículas que la componen y así determinar qué clase de tratamiento se le debe hacer al agua para que sea de uso doméstico, es decir, apta para labores de aseo o riego de jardinería.

5.2.1 Estudio de la calidad del agua lluvia

Se ha encontrado que la concentración de contaminantes presentes en las aguas lluvias urbanas depende también de depósitos atmosféricos en tiempo seco y en tiempo de lluvia (Gromaire et al., 1999); Adicionalmente, Rodríguez et al., 2015) muestran cómo la composición típica de agua lluvia necesita de un alto grado de tratamiento para cumplir con los valores admisibles basados en los atributos y propiedades del agua y teniendo en cuenta el impacto del entorno en el medio ambiente; (olores e impactos estéticos), en particular el color del agua. La calidad del agua lluvia para uso doméstico debe cumplir con una serie de requisitos para que sea apta, aunque no debe ser potable se busca que el agua cumpla algunos parámetros físicos, químicos y de microorganismos que no afecten la salud de los usuarios. En la siguiente tabla se describen los parámetros y los valores adecuados para uso doméstico con un tratamiento convencional.

Tabla 4 *Relación de las características físicas, químicas y microbiológicas con su máximo valor de aceptación.*

PARÁMETRO	VALOR
Amoniaco (NH ₃)	1,0
Arsénico	0,01
Bario	1,0
Cadmio	0,01
Cianuro	0,2
zinc	15,0
Cloruros	200,0
Cobre	1,0
Compuestos Fenólicos	0,002
Cromo	0,05
Mercurio	0,002
Nitratos	10,0
Nitritos	1,0
pH (Unidades de pH)	5,0-9,0
Plata	0,05
Plomo	0,01
Selenio	0,01
Sulfatos (SO ₄)	400,0
Tensoactivos	0,5
Coliformes Totales (ppm)	20.000
Coliformes Fecales (ppm)	2.000

(Fibras y Normas de Colombia SAS, 2022)

Para que el agua lluvia cumpla con algunos estándares de calidad, no se requieren de todos ya que no es para consumo humano, se debe hacer el adecuado tratamiento de agua, buscando disminuir al máximo los parámetros microbiológicos y así mitigar en los usuarios el riesgo de una infección a corto, mediano o largo plazo, ese tratamiento de agua se realiza baso en los siguientes procesos.

5.2.2 Tratamiento del agua lluvia

El agua lluvia dentro de las partículas que la componen tiene variables en sus propiedades físico-químicas que la alteran, ya sea un pH ácido o alcalino, contener minerales pesados, microorganismos, etc., los cuales se deben controlar para que no sean perjudiciales para la salud de los usuarios finales. Este proceso se lleva a cabo en el sistema de tratamiento de agua lluvia, el cual consiste en realizar una sedimentación de las partículas en suspensión, una filtración de materiales de diferentes tamaños y si es necesario un tratamiento adicional a sus propiedades químicas. Algunos de los tratamientos que se aplica al agua lluvia son los siguientes:

Sedimentación. Es la técnica de separación más frecuente utilizada para eliminar los sólidos en suspensión y los coloides de las aguas, la eliminación de los sólidos dispersos por sedimentación se basa en la diferencia del peso específico entre las partículas sólidas y el líquido en el que se encuentran. Un ejemplo del anterior proceso es el asentamiento de partículas de arena dentro del agua. (PRADANA PEREZ & J., 2019).

Flotación. Consiste al igual que la sedimentación, en un proceso de separación de sólido-líquido basado en su diferencia de densidades. Con la flotación, se pretende separar aquellos elementos sólidos, que, por su menor densidad respecto al líquido, pueden flotar o ser susceptibles de flotar con respecto al líquido. Tal como flota la hoja de un árbol o la pluma de un ave sobre el agua. (PRADANA PEREZ & J., 2019).

Desinfección. Es un proceso para la disminución de microorganismos patógenos. El agua natural es un medio de contagio directo al transportar directa (ingestión o contacto) o indirectamente (materias, huéspedes intermedios), algunos agentes productores de enfermedades. Los métodos empleados para la desinfección del agua se pueden clasificar en:

Químicos. Para el tratamiento químico hay una gran variedad de productos que ayudan a disminuir los microorganismos, entre estos se encuentran, los coagulantes, inhibidores de corrosión, desinfectantes como el cloro, dióxido de cloro, ozono o hipoclorito. Uno de los métodos más usados es la cloración, el cual consiste en agregar la cantidad de cloro según el tamaño del contenedor, por medio de la siguiente dosificación. Para un litro de agua debe aplicar una gota de cloro comercial, cuya concentración es al 5%. Para 20 litros de agua aplicar 20 gotas de cloro, y así sucesivamente según el volumen de agua. Luego, revolver y esperar 30 minutos para disponer del agua. (Rivera C. 2020).

Mecánicos. Entre los procesos mecánicos se encuentran la sedimentación y filtración. La filtración consiste en instalar un dispositivo que impide que material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada. Por otro lado, la sedimentación consiste en instalar obstáculos como piedras de diferentes diámetros o tamaños para que el agua circule por los vacíos entre ellas y de esta manera se asienten las partículas que la integran.

5.2.3 Sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia

Concerniente al diseño del sistema de recolección, almacenamiento y distribución del agua lluvia para el Conjunto Mixto las vegas Plaza, la teoría tiene los siguientes fundamentos o bases para describir cada uno de los procesos que conlleva, los cuales se relacionan a continuación:

Recolección. La recolección es el proceso mediante el cual se obtiene el agua lluvia, se realiza específicamente usando el área de la cubierta de un edificio como superficie de contacto con el agua, logrando captar la mayor cantidad de agua en una precipitación.

El proceso que continúa es conducir las aguas lluvias captadas a través de tuberías hasta un sitio de almacenamiento, es importante tener en cuenta que las dimensiones técnicas de estas tuberías se definen mediante el siguiente término.

Diámetro hidráulico. El diámetro hidráulico es un parámetro característico de la sección de un tubo o canal genérico y permite estudiar el comportamiento del flujo de igual modo que si éste fuera circular. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1 *Diámetro hidráulico*

$$Dh = \frac{4A}{P} \quad (1)$$

(Shames, 1995)

Donde:

A es el área de la sección transversal del conducto (m²)

P es el perímetro húmedo (m)

Seguidamente, se conduce el agua por estas tuberías y se lleva hasta el lugar donde será almacenada para su posterior uso.

Almacenamiento. El almacenamiento es el segundo proceso del sistema de aprovechamiento de agua lluvia y consiste en concentrar el volumen de agua requerida según la demanda de la población objeto de estudio. Este almacenamiento se puede hacer mediante tanques prefabricados de diferentes materiales como fibra de vidrio, plástico, concreto o acero. (Benitez Edwar, 2020)

El agua lluvia almacenada no es la misma cantidad que fue captada al momento de la precipitación, dependiendo de las características que componen la cubierta del edificio, hay una pequeña cantidad que se pierde debido a los materiales de la superficie de contacto; para ello existe un parámetro que correlaciona estas variables.

Coeficiente de escorrentía. El coeficiente de escorrentía depende de factores como el tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo); su cantidad, su intensidad y distribución en el tiempo; humedad inicial del suelo; tipo de suelo (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente, microrrelieve y rugosidad); del tipo de cobertura vegetal existente; la intercepción del provoke; lapso de tiempo considerado (minutos, duración del aguacero, horas, días, meses, un año). El coeficiente de escorrentía puede tomar valores comprendidos entre cero y uno (Martínez, A., 2006)

El coeficiente de escorrentía C , es definido como la relación entre la escorrentía superficial de un evento (E_s) y la precipitación total del mismo (P). Sirve para establecer el porcentaje de agua que se escurre en superficie. Se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 2 *Coeficiente de escorrentía*

$$C = \frac{E_s}{P} \quad (2)$$

(Shames, 1995)

Donde:

C es Coeficiente de escorrentía

E_s Escorrentía superficial (mm)

P es la precipitación total (mm)

Ilustración 4 Coeficientes de escorrentía para diferentes materiales

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor del 50 % del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor del 75 % del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

(Martínez, 2006)

La ilustración 4 presenta en la primera columna la descripción de la superficie de diferentes materiales y en algunos casos teniendo en cuenta su inclinación; en las siguientes columnas presenta diferentes tipos de periodos de retorno que varían desde 2 años hasta 500 años, con el fin de promediar distintos eventos de precipitaciones; por último, los valores que se relacionan representan el valor del coeficiente de escorrentía en función de las variables de escorrentía superficial y la precipitación.

Periodo de retorno. El Periodo de Retorno de cualquier evento extremo (lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, etc.), se define como el lapso o número

de años que, en promedio, se cree que será igualado o excedido dicho evento, es decir; es la frecuencia con la que se presenta un evento. El grado de magnitud de un fenómeno extremo está relacionado de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia, las precipitaciones muy intensas ocurren con una frecuencia menor que las moderadas o débiles. (Méllice y Reason, 2007).

Para calcular el volumen de agua lluvia a almacenar, se deben conocer tres variables, la primera es el área de la superficie de contacto, la segunda es la altura o el espesor de agua que se presenta en un evento de precipitación y la tercera es la corrección del volumen por medio del coeficiente de escorrentía; lo anterior se expresa mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 3 Volumen real o neto a almacenar

$$Vol = A * h * C \quad (3)$$

Donde:

A es el área de la cubierta (m²)

h es la precipitación en mm convertidos a metros (m)

C es el coeficiente de Escorrentia (adimensional)

Una vez el agua lluvia es almacenada en un tanque, el procedimiento a seguir es distribuirla hasta cada uno de los puntos donde será usada. Para este procedimiento se requieren conocer y aplicar varios parámetros de la mecánica de fluidos para conducir el flujo hasta tales puntos.

Para llevar a cabo lo anterior, se definirán los parámetros que involucra el proceso:

Distribución. En el proceso final donde se entrega el agua captada y almacenada en uno o varios tanques y se distribuye a cada uno de los puntos hidráulicos como lo son las canillas de riego para zonas verdes, para los jardines, o para el lavado de shut y

cuartos de basuras. Normalmente, la distribución se realiza mediante tuberías de PVC (Policloruro de vinilo), presión y los diámetros varían de acuerdo a la velocidad del flujo, el tipo de caudal y presión que requiere en cada punto, para ello se definen estas variables para tener mayor claridad.

Flujo. Forma parte de un ciclo natural que se origina en la precipitación de agua de lluvia, escorrentía y/o infiltración en el terreno, descarga en masas de agua superficial (ríos, lagos) y en el mar. (Shames, 1995)

Fuerza de gravedad. Fuerza de gravedad es la fuerza física que ejerce la masa del planeta sobre los objetos que se hallan dentro de su campo gravitatorio. De esta manera, la gravedad representa el peso de un cuerpo. Es representado por la letra g y su valor es de 9.8m/s^2 . (Visionlearning, 2004).

La fuerza de gravedad se utiliza para calcular algunas variables como la potencia de la bomba hidráulica, las pérdidas de carga singulares o las pérdidas de carga por fricción.

Velocidad. La velocidad es la cantidad de metros por segundo que recorre el agua en una tubería. (Shames, 1995)

Caudal. Es el aforo de volumen de agua por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal de una corriente de agua. Necesario para calcular la cantidad de agua en un tiempo estimado dentro de una tubería. Se determina a través de la siguiente expresión matemática:

Ecuación 4 Caudal

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4)$$

(Shames, 1995)

Donde:

Q es el caudal (m³/s)

V es el volumen (m³)

t en el tiempo (s)

Por otra parte, para definir el diámetro de la tubería se requiere conocer la presión de soporta dicha tubería, por lo tanto, se define este término:

Presión. Es la fuerza que actúa sobre una superficie determinada. Una misma fuerza puede producir más o menos presión según la superficie sobre la que actúa. Se determina mediante la siguiente expresión matemática. (Shames, 1995)

Ecuación 5 *Presión*

$$P = \frac{F}{A} \quad (5)$$

(Shames, 1995)

Donde:

P es la presión (Psi)

F es la fuerza (Lb)

A es el área (inch²)

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que las tuberías no son solo rectas y que la componen accesorios como uniones, tees y codos, que permiten hacer cambios de dirección o distribuciones del mismo flujo, lo cuales afectan el caudal y la presión dentro de la tubería. A este fenómeno se le conoce como perdida de carga.

Pérdida de carga. Dentro de una tubería se presenta un fenómeno debido a los materiales y el comportamiento del flujo dentro de este como lo explica (Shames, 1995):

El flujo de un líquido en una tubería viene acompañado de una pérdida, que suele expresarse en términos de energía por unidad de peso de fluido circulante

(dimensiones de longitud), denominada habitualmente pérdida de carga. En el caso de tuberías horizontales, la pérdida de carga se manifiesta como una disminución de presión en el sentido del flujo. La pérdida de carga está relacionada con otras variables fluidodinámicas según sea el tipo de flujo, laminar o turbulento. Además de las pérdidas de carga lineales (a lo largo de los conductos), también se producen pérdidas de carga singulares en puntos concretos como codos, ramificaciones, válvulas, etc. Además de las pérdidas de carga continuas o por rozamiento, en las conducciones se produce otro tipo de pérdidas debido a fenómenos de turbulencia que se originan al paso de líquidos por puntos singulares de las tuberías, como cambios de dirección, codos, juntas, derivaciones, etc, y que se conocen como pérdidas de carga accidentales, localizadas o singulares (h_L , h_s), que sumadas a las pérdidas de carga continuas (h_C) dan las pérdidas de carga totales (h_T). (p. 353)

Las pérdidas localizadas o singulares se expresan mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 6 *Pérdidas de carga singulares*

$$h_s = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (6)$$

(Shames, 1995)

Donde:

h_s es la pérdida singular

K es el coeficiente de pérdida singular (adimensional)

v es la velocidad (m/s)

g es la fuerza de gravedad (m/s^2)

Los valores de K se presentan en la siguiente ilustración.

Ilustración 5 Valores del coeficiente *K* para pérdidas singulares

	Diámetro nominal, pulg											
	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	3	4	5	6	8-10	12-16	18-24
Válvula de compuerta (abierto)	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.096
Válvula de globo (abierto)	9.2	8.5	7.8	7.1	6.5	6.1	5.8	5.4	5.1	4.8	4.4	4.1
Codo estándar (atornillado) 90°	0.80	0.75	0.69	0.63	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36
Codo estándar (atornillado) 45°	0.43	0.40	0.37	0.34	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19
"T" estándar (flujo recto)	0.54	0.50	0.46	0.42	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24
"T" estándar (flujo cruzado)	1.62	1.50	1.38	1.26	1.14	1.08	1.02	0.96	0.90	0.84	0.78	0.72

(Shames, 1995)

Los valores de *K* están en función de la relación entre la longitud del accesorio y su diámetro interno o nominal. Los valores de *K* describen el recorrido que hace el flujo contra las paredes de los accesorios como válvulas, codos, o tees.

Metodologías. Una vez se determinen y calculen las variables del sistema, se pueden aplicar dos metodologías que existen en la teoría; estas se fundamentan en los parámetros explicados anteriormente, con el propósito de lograr identificar cual será el sistema de bombeo más apto para la distribución del agua lluvia.

Metodología de Darcy-Weisbach. La fórmula de Darcy-Weisbach es una de las ecuaciones que se suele utilizar ampliamente en hidráulica, la cual permite el cálculo de pérdida de carga generada por la fricción dentro de una tubería llena, se describe mediante la siguiente expresión matemática:

Ecuación 7 *Formula de Darcy-Weisbach*

$$h = f * \left(\frac{l}{D}\right) * \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad (7)$$

(Shames,1995)

En donde:

h: pérdida de carga o energía (m)

f: coeficiente de fricción (adimensional)

l: longitud de la tubería (m)

D: diámetro interno de la tubería (m)

v: velocidad media (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

El coeficiente de fricción f está en función del número de Reynolds (Re) y del coeficiente de rugosidad de las paredes de la tubería. El coeficiente de fricción describe la presión en contra del flujo que generan los materiales y la geometría del conducto, y es alterado de acuerdo al régimen de flujo, que puede ser laminar o turbulento.

En el régimen laminar las capas de flujo va en la dirección paralela de la tubería y de manera ordenada o uniformemente distribuida, (Sames, 1995); por otro lado, en el régimen turbulento, las capas del flujo tienen un fuerte intercambio de movimiento lo que genera una

distribución de las capas del flujo en direcciones totalmente dispersas con relación a la dirección de la tubería. El coeficiente de fricción se describe mediante la siguiente expresión (Er):

Ecuación 8 *Coeficiente de fricción en función de Reynolds y del coeficiente de rugosidad.*

$$f = f(Re, Er) \quad (8)$$

(Shames, 1995)

Ecuación 9 *Numero de Reynolds en función del diámetro de la tubería*

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

(Shames, 1995)

Donde:

D es el diámetro de la tubería (m)

v es la velocidad media (m/s)

ρ es la densidad del agua (kg/m³)

μ es la viscosidad del agua (kg/m*s)

Ecuación 10 *Coeficiente de rugosidad en función del diámetro de la tubería*

$$Er = \frac{e}{D} \quad (10)$$

(Shames, 1995)

Donde:

e es la rugosidad absoluta de la tubería (mm)

D es el diámetro de la tubería (m)

Tabla 5 Coeficientes de rugosidad de tuberías para el cálculo de pérdidas de carga.

	Rugosidad k (mm)		Manning n		Hazen-Williams C	
	nueva	en servicio	nueva	en servicio	nueva	en servicio
Fundición	0.100	0.200	0.012	0.017	130	100
Hormigón	0.300	3.000	0.013	0.017	140	110
Acero	0.030	0.100	0.008	0.011	120	90
PE	0.005	0.030	0.007	0.009	150	140
PVC-O	0.003	0.060	0.007	0.009	150	140
PRFV	0.030	0.060	0.009	0.010	110	100

(Shames. 1995)

La tabla anterior describe los coeficientes que se usan de acuerdo al método de medición y con relación al material que compone la tubería, para el caso de transporte de aguas lluvias, se sugiere utilizar material PVC ya que presenta poca rugosidad comparada contra materiales como el acero o el hormigón, y por otro lado, el PVC es un material más liviano, de costo económico y uso comercial, lo que facilita la utilización en la actualidad.

Asimismo, se puede considerar otra metodología desarrollada en la teoría para encontrar las pérdidas totales del sistema.

Metodología de Hazen-Williams. Este método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye a temperaturas entre (5°C - 25°C). La ecuación es empírica y tiene un uso muy extendido en la ingeniería civil, la fórmula es elemental y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad "C" no es en función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de cargas por fricción en las tuberías para redes de distribución de diversos materiales. (EditorIngCivil, 2012).

Ecuación 11 *Formula de Hazen-William en función del Caudal, el coeficiente de rugosidad y el diámetro de la tubería.*

$$h = 10.647 * \frac{1}{C^{1.852}} * \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} * L \quad (11)$$

(EditorIngCivil, 2012)

Donde:

h es pérdida de carga (m)

Q es caudal (m³/s)

C coeficiente de rugosidad (adimensional)

D es el diámetro de la tubería (m)

L es longitud de la tubería (m)

Tabla 6 *Coeficientes de rugosidad Hazen-Williams de tuberías de diferentes materiales*

Material	C min	C max
Asbesto-cemento	140	140
Hierro fundido nueva	130	130
Hierro fundido 10 años	107	113
Hierro fundido 20 años	89	100
Hierro fundido 30 años	75	90
Hierro fundido 40 años	64	83
Concreto	100	140
Cobre	130	140
Acero	90	110
Hierro galvanizado	120	120
Polietileno	140	140
Policloruro de vinilo (PVC)	150	150
Plástico fibroreforzado (FRP)	150	150

(Shames, 1995)

La anterior tabla presenta los valores del coeficiente que solo se pueden utilizar para la metodología de Hazen-William, ya que el método de medición está en función de estos coeficientes. Para el caso puntual de análisis de la investigación de estudio, se utilizará el material PVC, y tiene la singularidad que los valores máximos y mínimos son los mismos.

Finalmente, las variables como la velocidad, el caudal, la presión y las pérdidas de carga, se calculan en la teoría con el objetivo de encontrar la bomba hidráulica que sea más eficiente para hacer funcionar el proceso de la distribución del agua lluvia hacia el sistema, de esta manera, se explica que es una bomba hidráulica y cuál es su funcionamiento.

Bomba hidráulica. Una vez recolectada y almacenada el agua lluvia en el tanque de almacenamiento, para realizar la distribución es necesaria una bomba hidráulica la cual es una máquina generadora que transforma la energía con la que es accionada (generalmente energía mecánica) en energía del fluido. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli; el cual describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente, (para este caso tuberías de PVC). En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión a otra de mayor presión. (Shames, 1995)

5.3 Marco legal

Revisando la legislación colombiana aplicable con el objetivo general, solamente se encuentra el proyecto de Ley 373 de 1997, el cual establece el programa de uso eficiente de agua potable y se presentó en el Congreso de la República de Colombia en ese mismo año, durante el gobierno del presidente Ernesto Samper Pizano, y con la

iniciativa del ministro de desarrollo económico Orlando José Cabrales Martínez. A continuación, se explican los artículos del proyecto de ley que estaban enfocados con el objetivo de esta investigación.

Las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales encargadas del manejo, protección y control del recurso hídrico en su respectiva jurisdicción, aprobarán la implantación y ejecución de dichos programas en coordinación con otras corporaciones autónomas que compartan las fuentes que abastecen los diferentes usos. (Congreso de la República de Colombia, 1997, p. 1)

ART. 1 del proyecto de Ley 373 de 1997. Programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.

Artículo 1°. Objeto. El objeto de la presente ley es implementar e incentivar el establecimiento de sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y captación de energía solar en las edificaciones nuevas y preexistentes en el territorio nacional, lo anterior con el propósito de cuidar el recurso hídrico, mejorar la eficiencia energética y contribuir a la preservación del Medio Ambiente.

Artículo 2°. Ámbito de aplicación. En todas las nuevas edificaciones, instalaciones, equipamientos, viviendas y obras públicas que se construyan en el perímetro urbano será obligatorio contar con un sistema que permita efectuar la recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y con un sistema de captación y aprovechamiento de energía solar, con el fin de ser aplicados en los inmuebles.

Parágrafo 1º. El gobierno nacional, a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y el Ministerio de Minas y Energía, reglamentará las especificaciones técnicas del sistema de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y del sistema de captación y aprovechamiento de energía solar, en el término de un (1) año, contado a partir de la fecha de promulgación de la presente ley.

Parágrafo 2º. Las edificaciones y usuarios preexistentes podrán adecuar sus instalaciones para contar con un sistema de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y con un sistema de captación y aprovechamiento de energía solar, conforme a la reglamentación de que trata el parágrafo 1º del presente artículo.

Parágrafo 3º. El Gobierno nacional, a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, y del Ministerio de Minas y Energía, definirá incentivos que permitan que las edificaciones a las que hace referencia el presente parágrafo adecúen sus instalaciones conforme a lo estipulado en la presente ley.

Artículo 3º. Fondo Nacional para el Uso y el Aprovechamiento de las Aguas Lluvias y la Energía Solar. Créase el Fondo Nacional para el Uso y el Aprovechamiento de las Aguas Lluvias y la Energía Solar como una cuenta especial sin personería jurídica adscrita al Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, con el propósito de diseñar y financiar estímulos e incentivos para la implementación de sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y sistemas de captación y aprovechamiento de energía solar. El Fondo Nacional para el Uso y el Aprovechamiento de las Aguas Lluvias y la Energía Solar deberá ser financiado, entre otras, por las siguientes fuentes:

1. Los recursos del Presupuesto General de la Nación.

2. Los recursos de libre inversión del componente de Propósito General del Sistema General de Participaciones.

3. Recursos de cooperación internacional.

4. Las donaciones de personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras y organismos internacionales.

Artículo 4°. Vigencia y derogatorias. La presente ley deroga las disposiciones que le sean contrarias y rige a partir de la fecha de su publicación. (Congreso de la Republica de Colombia, 2017)

Lamentablemente, la propuesta se quedó solo en un proyecto y no se pudo llevar a cabalidad, pero cabe resaltar que la iniciativa es acorde al plan de desarrollo sostenible y estaba enfocada al uso ambiental y sostenible del agua potable; se puede decir que, si se hubiera aprobado por el congreso de la República de Colombia, a la fecha todas las edificaciones contarían con un sistema alternativo de abastecimiento de agua lluvia y las metodologías estudiadas serían de obligatorio cumplimiento.

6. Diseño metodológico

6.1 Tipo de estudio y enfoque

La investigación para el diseño del sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia, tiene un enfoque de carácter cuantitativo, ya que se centra en la recopilación y análisis de datos, definida a partir de unos objetivos de investigación y formulada en una hipótesis, que mediante el desarrollo de una metodología contrarrestará esta hipótesis. (Hernández Sampieri et al, 2014). Es de tipo no experimental, ya que el investigador, no puede controlar, manipular o alterar a los datos, sino que se basa en la interpretación de la información para llegar a una conclusión, para ello, se tomarán como referencia algunas investigaciones de un previo rastreo bibliográfico a partir de artículos de revistas científicas, medios de comunicación y trabajos de grado. Además, es una

investigación transversal porque analiza un momento exacto y descriptiva por que presenta una o más variables para obtener los datos y realizar una descripción de ellos. (Hernández Sampieri et al, 2014).

6.2 Población de referencia

El estudio de la muestra para esta investigación es referente a un objeto, en el caso particular el edificio Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, donde se realizará el proceso de recolección de datos a partir de información documentada como son los planos arquitectónicos y el informe financiero anual del conjunto.

6.3 Análisis, procesos y procesamiento de datos

Se realizará un estudio concienzudo mediante buenas prácticas de recolección y tabulación de datos que permita generar una información clara y fácil de entender, además de corroborable según las fuentes consultadas. Para ellos se procederá con el rastreo bibliográfico, consulta de documentos sobre el aprovechamiento de aguas lluvias a nivel nacional e internacional.

Se realizará la revisión de los consumos de agua potable que se generan en el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza a partir de documentos de la administración, como el estado financiero anual del edificio, por concepto de gastos asociados al aseo de las zonas comunes y el riego de jardines.

Se determinará la cantidad posible de agua lluvia que se pueda recolectar en un evento de precipitación a partir de la geometría de la cubierta del edificio, para usar la metodología planteada en el marco teórico y adaptarla a la investigación del conjunto Mixto Las Vegas Plaza.

Se procederá a realizar los cálculos que permitan determinar los resultados para su análisis y posteriores conclusiones y recomendaciones.

7. Análisis de resultados

7.1 Estudio del agua lluvia captada

Partiendo de la necesidad de saber la calidad del agua lluvia que se va a captar en el municipio de Sabaneta es importante resaltar las pruebas que se harán y la frecuencia con la que se realizarán estas, además se debe cumplir con la reglamentación vigente para el uso de aguas domésticas según se muestra en la tabla 7.

Tabla 7 Resultados de análisis de las propiedades fisicoquímicas del agua lluvia.

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO				
Parámetro	Método	Ref. Est. Methods	Resultados	Valor Permissible
Hierro Total (mg Fe/L)	Absorción Atómica	3030 E; 31 11 B	<0,022	Menor de 0,3
pH a 25°C (unidades de pH)	Electrométrico	4500 - H : B	6.64	Entre 6,5 y 9,0
Turbiedad (NTU)	Nefelométrico	2530 B	5.81	Menor de 2
Color Aparente (UPC)	Fotométrico	2120 C	55.8	Menor de 15
Cloruros (mg Cl/L)	Argentométrico	4500 Cl - B	<4,00	Menor de 250
Alcalinidad Total (mg CaC O ₃ /L)	Titulométrico	2320 - B	7.15	Menor de 200
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	Titulométrico. EDTA	2340 C	17.5	Menor de 300
Sulfatos (mg (SO ₂) ³ /L)	Turbidimétrico	4500 SO ₄ ² E	6.11	Menor de 250

(Cano E., Bedoya C. 2016)

La tabla anterior describe los parámetros y los resultados del análisis efectuado a una muestra de agua lluvia recolectada; en la primera columna se encuentra los parámetros físicos y químicos del agua, en la segunda columna se encuentra el método usado por el laboratorio para analizar el parámetro; la tercera columna describe el nombre técnico que usa el laboratorio para el análisis, la cuarta columna indica el resultado obtenido con el método aplicado en cada parámetro para una muestra obtenida en el año

2016 y por último se describe en la columna cinco, los valores permisibles como los límites para que los parámetros sean aceptables.

Con los resultados obtenidos del análisis de laboratorio, se observa que los parámetros como la turbiedad y el color aparente están por encima de los valores permisibles para el uso de aguas doméstica. Por lo anterior, para el diseño del sistema de recolección, almacenamiento y distribución del agua lluvia en el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, se debe hacer un tratamiento de aguas lluvias, enfocado en el proceso de coagulación y floculación como se explicó en los tratamientos químicos. Por otro lado, para tratar el parámetro del color aparente, se debe hacer uso de un filtro de carbón activado (AC) o un tratamiento como se explicó en los procesos mecánicos.

Este proyecto tiene como propósito captar las aguas de las terrazas de las torres, las cuales serán conducidas por tuberías hasta un tanque de almacenamiento y saneamiento para luego ser bombeado a las redes de jardinería y aseo. El uso de esta agua será únicamente para actividades que no comprometen consumo humano, tal como son el riego de jardines, aseo de las 48 zonas comunes y/o el lavado de shut de basuras.

En el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, las torres cuentan con un área de 1.458m² en la cubierta aproximadamente, estas a su vez cuenta con 8 tragantes o desagües del agua lluvia en tubería de 4 pulgadas de diámetro hidráulico. Asimismo, desde las terrazas las tuberías conducen el agua lluvia hasta el sótano por medio de tuberías de 4 pulgadas de diámetro y a medida que aumenta su recorrido aumenta el diámetro de las tuberías para ganar más área y caudal hasta finalizar con tubería PVC Sanitaria de 6 pulgadas que conduce a la red de alcantarillado del municipio de Sabaneta.

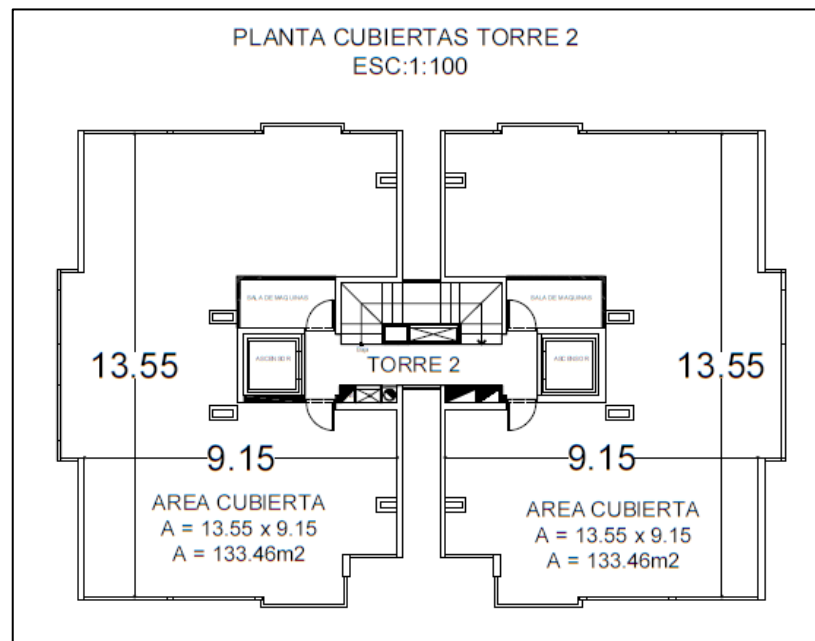
Ilustración 6 *Terraza de la torre 1 Conjunto Mixto Las Vegas Plaza*



(Fotografía tomada por Oskar Ramírez Sánchez)

Nota: Muestra una de las torres del conjunto Mixto Las Vegas Plaza donde se iniciaría el proceso de recolección del agua lluvia.

Ilustración 7 *Área de una de las torres del Conjunto Mixto las Vegas Plaza*

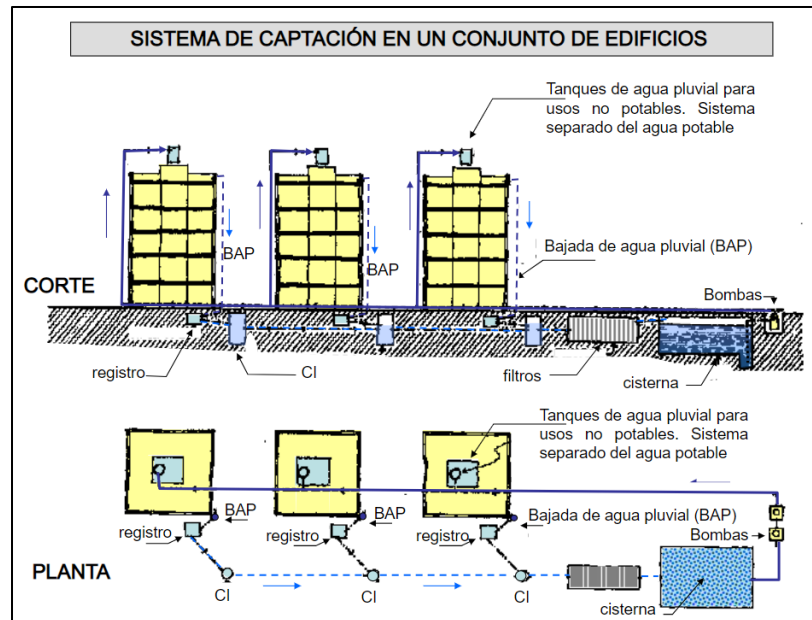


(Urbanik, 2016).

Nota: según la ilustración 8, se muestra el área de una de las torres donde se realiza el proceso de recolección desde un plano real, en la cual se observa la longitud y el ancho de la cubierta y se calcula el área de la misma.

Ilustración 8 Esquema de Recolección, almacenamiento y distribución de agua

lluvia.



(SLIDE SERVE, 2014).

Las fases del sistema de aprovechamiento de agua lluvia comprende las siguientes tres etapas para su eficaz funcionamiento: recolección, almacenamiento y distribución, cada una de ellas se va a explicar a continuación:

7.2 Recolección del agua lluvia

La recolección es el proceso mediante el cual se obtiene el agua lluvia, se realiza específicamente en este prototipo usando el área de la cubierta del edificio como superficie de contacto con el agua, logrando captar la mayor cantidad de agua en una precipitación, y su volumen se puede cuantificar mediante la siguiente expresión matemática:

Ecuación 12 *Volumen con base en el área y la altura*

$$Vol = A * h \quad (12)$$

Donde:

Vol es volumen (m³)

A es área de la cubierta (m²), tomado de los planos arquitectónicos de una de las torres del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, descontando el área de los buitrones. (planos Arquitectónicos Conjunto Mixto las vegas Plaza Urbanik, 2020).

h es la altura de la precipitación por una unidad de área (m), tomado del valor promedio mensual de la tabla 3, convertido de milímetros a metros (se divide el valor de la precipitación por mil, que es el valor de conversión de unidades de milímetros a metros).

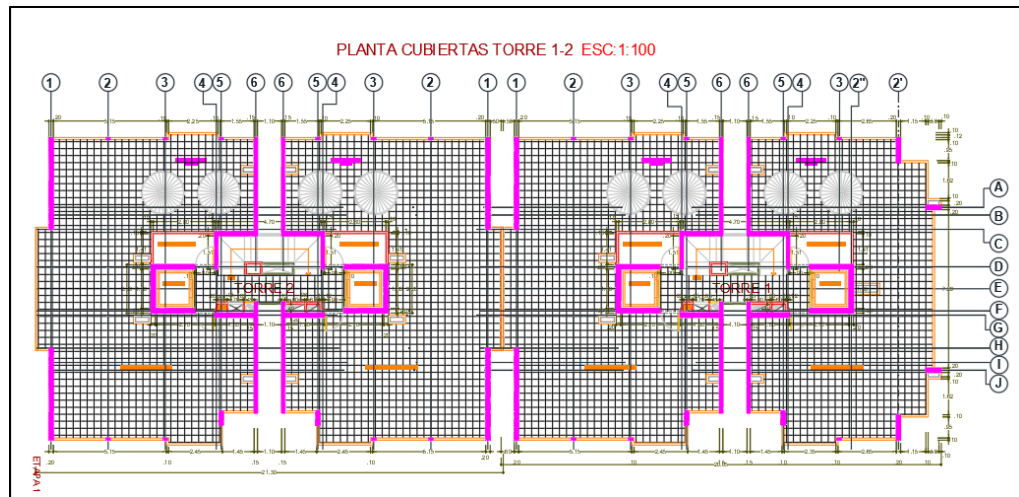
$$Vol = 243.24 * \frac{246.5}{1000} \quad (12)$$

$$Vol = 59.95m^3 \quad (12)$$

Tomando el área de una torre, y el valor promedio de las precipitaciones mensuales, se puede recolectar un volumen cercano a los 60m³.

Ilustración 9 Plano arquitectónico de la cubierta de la torre 1 y 2 del Conjunto

Mixto Las Vegas Plaza



(Urbanik, 2016).

Nota: Vista superior de las torres 1 y 2 del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza donde se realizará el proceso de recolección de agua lluvia.

Como lo indica la teoría, se debe realizar una corrección debido al coeficiente de escorrentía que se encuentra en los materiales o las superficies, por tal motivo se aplicará dicho coeficiente para calcular el volumen de agua real que se recolectará en la cubierta de los edificios. Para el caso específico del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, se cuenta con una cubierta impermeabilizada con manto asfáltico y se toma un periodo de retorno de 100 años; lo cual implica que el valor del coeficiente de escorrentía es de 0.95 de acuerdo a los valores indicados en la ilustración 4.

Ecuación 13 Volumen real recolectado

$$Vol\ real = Vol * C \quad (13)$$

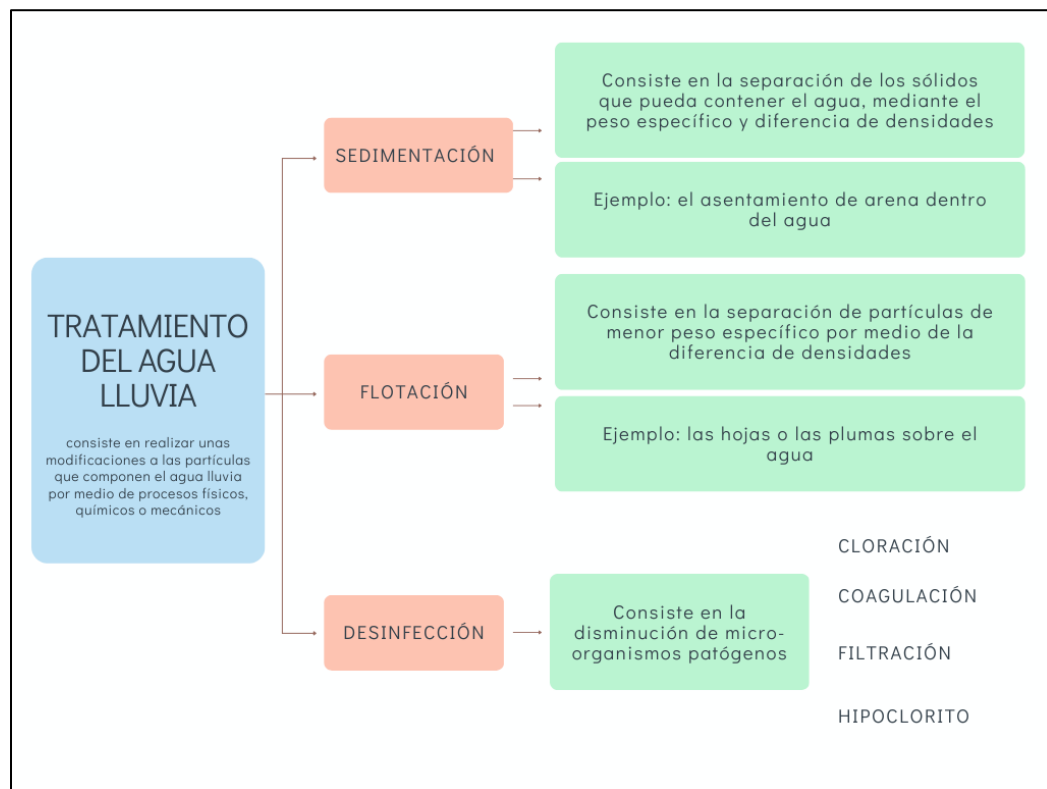
$$Vol\ real = 59.95 * 0.95 \quad (13)$$

$$Vol\ real = 56.95m^3 \quad (13)$$

El valor neto de volumen a recolectar es cercano a los $57m^3$, quiere decir que, debido al coeficiente de escorrentía, se pierden casi $3m^3$, que representan un 5% del volumen captado.

7.3 Tratamiento del agua lluvia a almacenar

Ilustración 10 Mapa sinóptico del proceso del tratamiento de agua lluvia

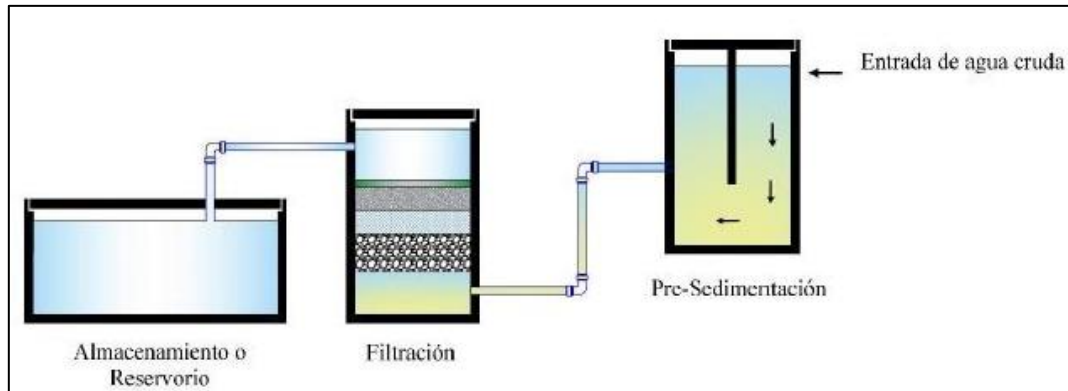


Elaboración propia

Este proceso se lleva a cabo después de almacenada el agua lluvia, y consiste en realizar varios procesos, uno de ellos es la sedimentación de las partículas en suspensión. Para llevarlo a cabo, se implementa un tanque de sedimentación, donde las partículas de mayor densidad que el agua se asientan en el fondo del tanque. Se continúa

con el proceso de filtración de materiales de diferentes tamaños, para evitar por ejemplo que plumas de animales o las hojas de los árboles se queden dentro del tanque.

Ilustración 11 Tratamiento del agua lluvia almacenada



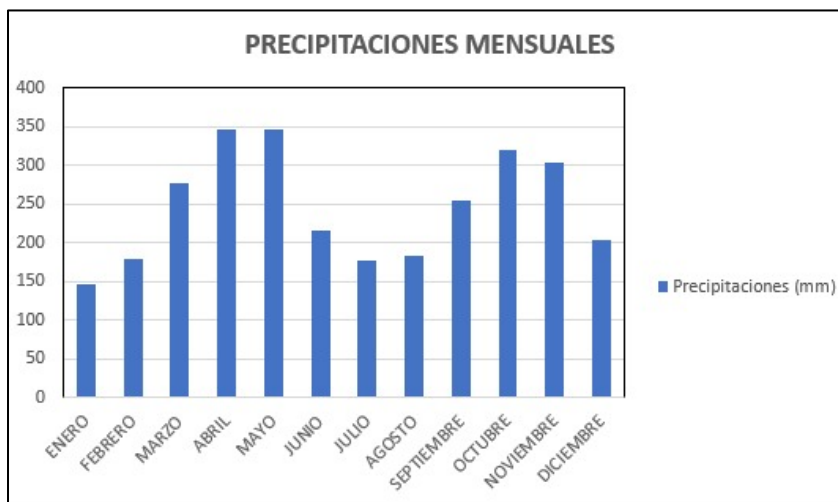
(Laboratorio Piloto de Hidráulica - Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas - Universidad de Guayaquil, 2018.)

Según los resultados de los análisis del agua lluvia registrados en la tabla 7, se evidencia que se pueden tratar con procesos químicos, aquellos parámetros que estén por fuera de los rangos admisibles, de la siguiente manera, por ejemplo, la turbiedad se trata mediante un proceso de coagulación y floculación, y el color aparente del agua se trata mediante la cloración del agua.

7.4 Almacenamiento del agua lluvia

El almacenamiento es el segundo proceso del sistema de aprovechamiento de agua lluvia y consiste en concentrar el volumen de agua requerida para alimentar o abastecer el sistema que se está diseñando.

Para el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, se cuenta con un área útil de 243.24m² por torre, y según la precipitación mensual se puede calcular el volumen a almacenar; aplicando la ecuación 12 y la ecuación 13 se obtienen los resultados descritos en la tabla 8.

Ilustración 12 Gráfica de las precipitaciones mensuales

Elaboración propia.

La ilustración 12 muestra gráficamente el registro de las precipitaciones en milímetros mensuales. (CLIMADATA, 2022)

Tabla 8 Volumen mensual almacenado de acuerdo a las precipitaciones mensuales y el Coeficiente de escorrentía.

PRECIPITACIONES		Área Terraza (m ²)	Coeficiente escorrentía	Volumen Mes (m ³)	Volumen día (m ³)
MES	MM				
ENERO	147	243.24	0.95	33.97	1.13
FEBRERO	180	243.24	0.95	41.59	1.39
MARZO	277	243.24	0.95	64.01	2.13
ABRIL	347	243.24	0.95	80.18	2.67
MAYO	346	243.24	0.95	79.95	2.67
JUNIO	216	243.24	0.95	49.91	1.66
JULIO	178	243.24	0.95	41.13	1.37
AGOSTO	184	243.24	0.95	42.52	1.42
SEPTIEMBRE	255	243.24	0.95	58.92	1.96
OCTUBRE	321	243.24	0.95	74.18	2.47
NOVIEMBRE	304	243.24	0.95	70.25	2.34
DICIEMBRE	203	243.24	0.95	46.91	1.56
PROMEDIO	246.5			56.96	1.90

Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 8, para el caso concreto del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, el volumen diario máximo oscila por el orden de los 2.670 Litros, para tener un espacio libre de aire dentro del tanque, se sugiere un tanque de almacenamiento de 3.000 Litros por cada torre, ya que de esta manera se tendría un factor de seguridad para algún evento de mayor precipitación. El tanque se puede construir con materiales como plástico reforzado, concreto o fibra de vidrio.

Es importante implementar al tanque una tubería de reboce, ya que cuando se presente una fuerte precipitación o una intensa duración, el tanque no tendrá la capacidad de almacenamiento y por medio del reboce se conducirá el agua sobrante hacia el sistema de alcantarillado del municipio. Por ejemplo, si en alguno de los días se cuenta con lluvias por encima de las precipitaciones registradas en la tabla 8, se aumentaría el volumen a almacenar; de tal manera, que el volumen que excede la capacidad del tanque se desvía por la tubería de reboce.

7.5 Distribución del agua lluvia

Es el proceso final donde se entrega el agua lluvia recolectada y almacenada en el sistema a cada uno de los puntos hidráulicos, como lo son las canillas de riego para zonas verdes, jardines, lavado de shut y cuartos de basuras. Se realiza por medio de una bomba hidráulica que impulsa el agua almacenada en los tanques, haciendo uso de tuberías de PVC presión hasta cada uno de los puntos de demanda.

Para llevar a cabo este procedimiento se presenta a continuación un proceso paso a paso, donde se explica brevemente la metodología a usar:

Ilustración 13 Procedimiento para la distribución del agua almacenada



Elaboración propia.

Para encontrar la eficiencia de la bomba hidráulica más adecuada, se usará la metodología de Hazen-Williams, debido a que es un método de medición de aplicación simple y en la cual conocemos todas las variables que esta metodología usa.

Primero se hallan las pérdidas de carga continuas, aplicando la ecuación número 9, para ello, es necesario conocer las variables como el caudal, el coeficiente de rugosidad, el diámetro de las tuberías y la longitud de las tuberías.

Por ser una unidad residencial, según los caudales estipulados por EPM para un ramal principal el caudal Q varía entre $32\text{m}^3/\text{h}$ y $37\text{m}^3/\text{h}$, para este caso se tomará el valor de $35\text{m}^3/\text{h}$. Se deben convertir las unidades de horas a segundos.

Por otro lado, se usará tubería de PVC, por lo tanto, el coeficiente de rugosidad del material es de 150 según la tabla 6.

Usando las tuberías existentes del acueducto del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, se tiene una tubería PVC de 2 pulgadas, cuyo diámetro es de 60mm. Se debe convertir el diámetro de la tubería de milímetros a metros para trabajar la ecuación en el mismo sistema de unidades.

Según los planos arquitectónicos del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, la longitud máxima de la tubería es de 65m, la cual se calcula por medio del software AutoCAD.

Una vez se conocen las variables, podemos aplicar la ecuación 11.

$$hc = 10.647 * \frac{1}{C^{1.852}} * \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} * L \quad (11)$$

$$hc = 10.647 * \frac{1}{150^{1.852}} * \frac{0.009^{1.852}}{0.060^{4.871}} * 65 \quad (11)$$

$$hc = 9.39m \quad (11)$$

(EditorIngCivil, 2012)

Donde:

h es pérdida de carga (m) por calcular

Q es caudal (m³/s)= 0.009

C coeficiente de rugosidad (adimensional) = 150

D es el diámetro de la tubería (m) = 60mm /1000 = 0,06 metros

L es longitud de la tubería (m) = 65m

El valor hc hallado, representan las pérdidas de carga continuas, en otras palabras, la pérdida de potencia lo cual se convierte en longitud de tubería adicional.

Ahora se procede a calcular las pérdidas locales o singulares, las cuales se presentan por la cantidad de accesorios en las tuberías; estos se muestran en la tabla 9:

Tabla 9 Cantidad de accesorios por torre en el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza

VÁLVULAS	CODOS	TOTAL
5	6	11

Elaboración propia

Aplicando la ecuación 6 y la figura 5, junto con los valores de la tabla 9, se calculan las pérdidas singulares por accesorios para una torre, los cuales se presentan en la tabla 10.

Tabla 10 Cálculo de las pérdidas singulares por torre en el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza

Descripción	Cantidad	K	Hs	Total
Codos 90° de radio normal	6	0.75	0.38	2.32
Válvulas de compuerta (abierta ½)	5	5.6	2.89	14.47
Total de pérdidas singulares				16.79

Elaboración propia.

Una vez encontradas las pérdidas continuas y singulares, se procede a calcular el sistema de bombeo a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 14 Potencia de la bomba hidráulica

$$Pot = Ht * \rho * g * Q \quad (14)$$

(Shames, 1995)

Donde:

Pot es la potencia de la bomba (HP)

P es la densidad del agua (kg/m³)g es la gravedad (m/s²)Q es el caudal máximo (m³/s)

Ht es la columna de agua (m)

Para calcular la columna de agua se sigue la expresión matemática:

Ecuación 15 *Columna de agua total*

$$H_t = h_c + h_s + L \quad (15)$$

(Shames, 1995)

Donde:

H_t es la columna de agua total (m)h_c es la pérdida de carga continua (m)h_s son las pérdidas de carga singulares (m)

L es la longitud de la tubería (m)

Aplicando la ecuación 13, se puede calcular la altura de la columna de agua que va a impulsar la bomba.

$$H = h_c + h_s + L \quad (15)$$

$$H = 9.39 + 16.79 + 65 \quad (15)$$

$$H = 91.18m \quad (15)$$

Una vez calculada a la columna de agua del sistema, se puede hallar la potencia de la bomba más eficiente para el sistema, usando la ecuación 13.

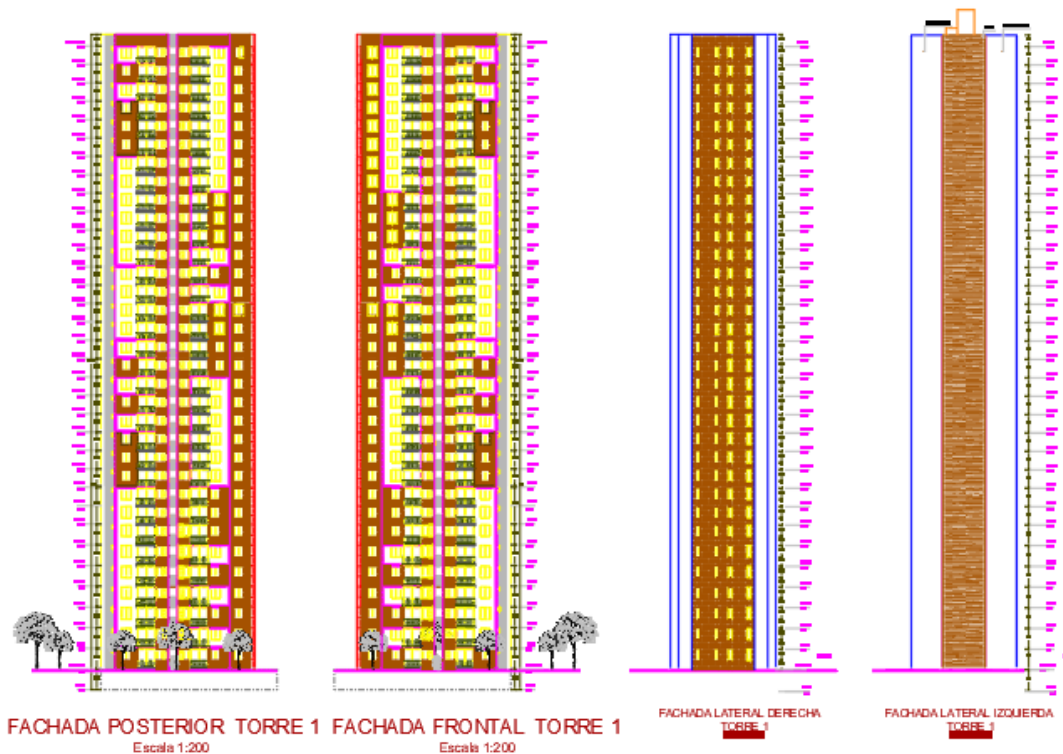
$$Pot = H * \rho * g * Q \quad (14)$$

$$Pot = 91.18 * 1.00 * 9.8 * 0.009 \quad (14)$$

$$Pot = 8.024HP \quad (14)$$

Según el resultado de la ecuación 13, se requiere una bomba de 8HP, para impulsar el fluido de 91m.c.a. (metros columna de agua).

Ilustración 14 Sección y fachada del Conjunto Mixto Las Vegas Plaza.



(Urbanik, 2020).

7.6 Análisis económico

Con respecto al desarrollo desde el punto vista cuantitativo, para el diseño del sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia en el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, es necesario evaluar la viabilidad financiera, para considerar la relación de los costos de inversión por su implementación contra el beneficio que este genere, teniendo en cuenta, el horizonte proyectado y cuando se recuperará la inversión y se iniciarán a tener utilidades; en otras palabras, estimar si el proyecto es rentable.

Para llevar a cabo la anterior hipótesis, se deben conocer los valores del precio del agua por concepto de acueducto y alcantarillado que suministra el prestador de servicios

públicos para el municipio, en este caso específico es EPM, y los establece mediante la siguiente tabla.

Ilustración 15 Tarifas para servicios de acueducto y aguas residuales para el Municipio de Sabaneta.

Municipio de Sabaneta						
SECTOR	ACUEDUCTO			ALCANTARILLADO		
	Cargo Fijo (\$/ Instalación)	Cargo por consumo (\$ / m³)		Cargo Fijo (\$/ Instalación)	Cargo por consumo (\$ / m³)	
		0 -13 m³	> 13 m³		0 -13 m³	> 13 m³
Sector Residencial						
Estrato 1	2,114.22	1,020.06	3,400.20	1,215.95	803.91	2,679.71
Estrato 2	4,228.43	2,040.12	3,400.20	2,431.90	1,607.83	2,679.71
Estrato 3	6,835.97	3,298.19	3,400.20	3,809.98	2,518.93	2,679.71
Estrato 4	7,047.39	3,400.20	3,400.20	4,053.17	2,679.71	2,679.71
Estrato 5	10,571.09	5,100.30	5,100.30	6,079.76	4,019.57	4,019.57
Estrato 6	11,275.82	5,440.32	5,440.32	6,485.07	4,287.54	4,287.54
Comercial	10,923.45	5,270.31		6,282.41	4,153.55	
Industrial	10,127.10	4,886.09		5,893.31	3,896.30	
Oficial y Exenta	7,047.39	3,400.20		4,053.17	2,679.71	

(EPM, 2022)

Partiendo de la información recolectada, para cuantificar el impacto económico, se debe determinar el costo de implementación, para lo cual, se hace necesario realizar un presupuesto, esto con el fin de evaluar la relación costo-beneficio para el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza.

Primero partimos de un presupuesto de los estudios técnicos del proyecto, los cuales representan \$19.433.220, que se explican en la siguiente tabla:

Tabla 11 Presupuesto de estudios técnicos.

PRESUPUESTO DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN, ALMACENAMIENTO T DISTRIBUCIÓN DE AGUA LLUVIA EN EL CONJUNTO MIXTO LAS VEGAS PLAZA					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Realizar un levantamiento altiplanimétrico del estado actual del edificio vs los planos para corroborar medidas y características geométricas del edificio	und	1	2,500,000	2,500,000
2	Realizar la toma de muestras del agua lluvia en diferentes épocas de 1 año (varios meses), realizar los estudios de laboratorio y analizar los resultados	und	1	1,260,000	1,260,000
3	Diseñar del sistema de recolección, almacenamiento, sistema de bombeo y distribución	und	1	4,500,000	4,500,000
4	Elaborar el presupuesto de ejecución e implementación del sistema a partir de cálculo de cantidades de materiales, cotizaciones y análisis de precios unitarios	und	1	3,500,000	3,500,000
5	Realizar un estudio de gastos de consumo de agua a partir de los estados financieros de la administración del conjunto Mixto las vegas Plaza	und	1	2,500,000	2,500,000
6	Entrega de documento técnico-económico de la propuesta, con su respectivo análisis, recomendaciones y conclusiones	und	1	2,500,000	2,500,000
				SUBTOTAL	16,760,000
				A 10%	1,676,000
				U 5%	838,000
				IVA 19%	159,220
				TOTAL	19,433,220

Elaboración propia.

Seguidamente, se realiza el presupuesto del sistema, el cual incluye los costos de mano de obra, suministro de materiales, alquiler de equipo y/o herramienta que requiere la implementación del sistema, los cuales están representados en la siguiente tabla:

Tabla 12 *Presupuesto de construcción del prototipo.*

PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA LLUVIA EN EL CONJUNTO MIXTO LAS VEGAS PLAZA POR TORRE				
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VALOR	VALOR TOTAL
Suministro e instalación de rejilla de aluminio de 5"x4" en la cubierta. Incluye tubería PVC, accesorios, soldadura, limpiador, mano de obra y todos los demás elementos necesarios para su correcto funcionamiento	un	8	42,660	341,280
Suministro e instalación de salida de sanitaria de 4" para la entrada al tanque. Incluye tubería PVC, accesorios, soldadura, limpiador, mano de obra y todos los demás elementos necesarios para su correcto funcionamiento	un	9	145,567	1,310,103
Suministro e instalación de Válvula de 2" para control de segmentos de tuberías. Incluye válvula de 2", accesorios, teflón, mano de obra y los demás elementos necesarios para su correcta instalación	un	5	219,033	1,095,165
Suministro e instalación de Medidor de 2" presión, calibrado y aceptado por EPM. Incluye todos los materiales y mano de obra para su correcto funcionamiento	un	1	1,106,700	1,106,700
Suministro e instalación de tubería de 2" PVC presión para tallo o ramal principal para la distribución del agua lluvia almacenada	ml	65	33,248	2,161,120

Suministro e instalación de salida Presión de 2" para los puntos de lavaescobas, shut de basuras o jardines. Incluye tubería PVC, accesorios, soldadura, limpiador, mano de obra y todos los demás elementos necesarios para su correcto funcionamiento	un	34	127,160	4,323,440
Suministro e instalación de Tanque desarenador en Fibra de vidrio Vol: 3m ³	un	1	2,747,510	2,747,510
Suministro e instalación de Bomba de 8 hp. Incluye todos los elementos necesarios para su correcto funcionamiento	un	1	4,900,000	4,900,000
Suministro e instalación de Tanque en Fibra de Vidrio Vol: 3m ³	un	1	2,747,510	2,747,510
Suministro e instalación de Hidro Flow	un	1	1,913,411	1,913,411
Excavación manual para instalación de los tanques de sedimentación y almacenamiento. Incluye mano de obra, transporte y botada de tierra sobrante	m ³	10.8	82,000	885,600
TOTAL				23,531,839

Elaboración propia.

Una vez calculados los costos de materia prima, mano de obra, recursos técnicos y administrativos por torre se tiene un valor de \$23.531.839; que, al multiplicar este valor por las 6 torres del edificio, el valor final es de \$ 141.191.034 a este valor se le debe sumar el costo de los estudios técnicos preliminares que son \$ 19.433.220, lo que quiere decir que el costo total del proyecto es de \$160.624.254.

8. Conclusiones

- Después de analizar los resultados obtenidos, desde el punto de vista técnico se puede concluir que, se puede llevar a cabo la implementación del sistema, dado que al llevar los cálculos de la teoría al estudio, el diseño y la futura implementación del sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia en el Conjunto Mixto Las Vegas Plaza, éste cumple con todos los parámetros y requisitos técnicos y es funcional para este tipo de edificaciones; sin embargo, una vez analizada la parte económica asociada a la implementación del sistema podemos concluir que: dicha implementación no es factible económicamente debido a los altos costos generados por las modificaciones y estudios técnicos, dado que el edificio ya se encuentra construido, los costos que implica el diseño del sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia y su implementación, demandarían un periodo de recuperación de la inversión de un horizonte largo, por lo cual, se recomienda que dichos sistemas se planteen en la etapa de diseño de los edificios o máximo durante su etapa de construcción.
- Es importante resaltar que el muestreo de las aguas lluvias se debe hacer mínimo cada tres meses con el fin de conocer la variación en la calidad del agua, ya que ésta puede contener una alta concentración de dióxido de carbono, fenómeno comúnmente presente en contingencias ambientales en el valle de Aburrá.
- Se recomienda disminuir los costos asociados a los estudios técnicos ya que aumentan significativamente el costo del proyecto y lo hacen económicamente inviable.
- Valdría la pena que el Congreso de la República de Colombia, retomara el proyecto de Ley 373 del Programa para el uso eficiente y ahorro del agua, y además generar incentivos para la implementación en edificaciones existentes, lo que lleve a disminuir los costos de construcción y generar una cultura ambiental sostenible.

- La construcción de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia no se debe hacer únicamente por remuneración económica, debemos generar una conciencia ambiental que permita a los dueños y copropietarios de edificaciones comprender los impactos positivos para el planeta que genera dicho sistema.
- Los centros educativos deberían dedicar un espacio importante a la generación de conocimiento y cultura sobre las posibles alternativas que ayuden al cuidado del medio ambiente.
- En caso de implementar el sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia en el conjunto Mixto las Vegas Plaza, si la demanda de agua lluvia para el uso en zonas comunes llegara a ser superior a la oferta, debido a la disminución de las lluvias, se podrían realizar algunas adecuaciones adicionales en las fachadas de los edificios con el fin de aumentar el área efectiva de recolección, lo que implica un sistema de abastecimiento complementario a la propuesta anteriormente planteada.
- Este tipo de sistema de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia sería muy eficiente en los grandes centros comerciales del país ya que su área de cubiertas es muy amplia lo que daría una gran cantidad de agua lluvia recolectada y la demanda de agua reciclada para uso no potable se usaría en el aseo de las grandes superficies las cuales son afectadas por la alta afluencia de personas.
- El uso eficiente del agua potable jugará un papel muy importante en la preservación de los ecosistemas y los recursos hídricos del país, además, cabe resaltar que la aplicación de sistemas de recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia generaría un impacto positivo en la dirección de enfoque y alcance que tienen los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

9. Referencias

- Benítez E., Avendaño E. e Infante S. (2020). *Estudio descriptivo de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para la unidad de salud compensar salitre* [Trabajo de grado, Universidad EAN].
<http://hdl.handle.net/10882/9915>
- Casas, E.I., Malagón, M.L. (2019). Manejo del agua lluvia en el campus de la Universidad de América. *Gestión y Ambiente* 22(1).
<https://doi.org/10.15446/ga.v22n1.75334>
- Congreso de la Republica de Colombia. (1997). Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para uso eficiente del agua potable.
http://www.saludcapital.gov.co/Normo/gsp/ley_373_de_1997.pdf.
- Correa G. (2019). Importancia de incluir las aguas lluvias como abastecimiento de redes hidrosanitarias, en las normas y documentos de estudio y diseño del país [Trabajo de grado, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia].
https://www.colmayor.edu.co/wp-content/uploads/2019/10/315_gustavo_correaaguas_lluvia.pdf.
- Feijo Moreno V. y Perea Agredo A. D. (2014). Aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en la universidad del Valle sede Meléndez. [Trabajo de grado, Univerdidad del Valle].
<http://hdl.handle.net/10893/8507>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. McGraw-Hill.
- IDEAM. (2019). Anexo 10. Glosario meteorológico.
<http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorol%C3%B3gico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>
- Igbinosa, I. H, Aighewi, I. T. (2017). Quality assessment and public health status of harvested rainwater in a peri-urban community in Edo State of Nigeria. *Environ Monit Evaluar* 189, 405
<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6122-0>
- León, A. A., Córdoba, J. C., y Carreño, U. F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Revista Tecnura*, 20(50), 141-153.
[http://doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10](http://doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10)
- Ortiz W., Velandia W. (2017) *Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la universidad católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua*. [Trabajo de grado, Universidad Católica De Colombia].
<http://hdl.handle.net/10983/15502>
- NOAA. (11/12/2020). *It's all about weather. What is precipitation?* SciJinks
Recuperado de <https://scijinks.gov/precipitation/>

- Shames, I.H. (1995). *La Mecánica de los Fluidos*. Editorial McGraw- Hill.
- Significados.com. (21/01/2022). *Qué es el ciclo del agua y cuáles son sus etapas*. Informe Anual Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente.
<https://www.significados.com/ciclo-del-agua/>
- Vila, T. S., Andrade, E., Sabucedo, J. M., González, G. S., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2019). Revisión sobre las características metodológicas y la eficacia de intervenciones orientadas a reducir el consumo de agua. *Universitas Psychologica*, 18(5), 1-15.
<http://doi.org/10.11144/Javeriana.upsu18-5.rscm>
- Villareal E. L. y Dixon A. (2004). Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40 (2005) 1174-1184
www.elsevier.com/locate/buildenv
- Villegas, R. E., Sandoval, B. G., Casas, E. I., Cortés, O. A., y Molina, L. F. (2019). Gestión estratégica del recurso pluvial urbano: condición actual en Colombia. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 12(24).
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-24.gerp>
- White, F.M. (1987). *Mecánica de Fluidos*. McGraw-Hill.
- Yang Jingang, Wang Bo. (2013). *School of Municipal and Environmental Engineering*. [Jilin Jianzhu University].
49308395@qq.com, 291076811@qq.com
- Zhang D., Gersberg R. M., Wilhelm C. & Voigt M. (2009) Decentralized water management: rainwater harvesting and greywater reuse in an urban area of Beijing, China. *Urban Water Journal*, 6:5, 375-385.
DOI: 10.1080/15730620902934827