

**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.**

ELABORADO POR:

**WILMAN ANDRES ORTIZ FORERO 504100
WILLIAM DAVID VELANDIA BERNAL 503796**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
BOGOTA
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.**

ELABORADO POR:

**WILMAN ANDRES ORTIZ FORERO
WILLIAM DAVID VELANDIA BERNAL**

PROYECTO DE GRADO

DIRECTOR:

ING. HENRY ALBERTO CÓRDOBA ROMERO– M.Sc.

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
BOGOTA
2017**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C, noviembre de 2017

Contenido

LISTADO DE FIGURAS	7
LISTADO DE TABLAS	7
RESUMEN	9
INTRODUCCION	10
1. GENERALIDADES	12
1.1 ANTECEDENTES	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.4 JUSTIFICACION	20
1.5 ALCANCE Y DELIMITACION	20
1.6 MARCO DE REFERENCIAS	21
1.6.1 MARCO TEÓRICO	21
1.6.2 MARCO CONCEPTUAL.....	30
1.6.3 MARCO LEGAL O JURÍDICO.....	31
1.7 METODOLOGIA	33
1.7.1 LOCALIZACIÓN DEL SITIO PARA ESTABLECER EL SISTEMA	33
2. PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA	35
2.1 MONTAJE EXPERIMENTAL.....	35
2.2 ÁREA DE CAPTACIÓN	37
2.3 RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN.....	37
2.4 FILTRO	37
2.5 FALSO FONDO	39
2.6 TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	39
3. DATOS OBTENIDOS SOBRE LA CAPTACIÓN	40
3.1 ÁREA DE RECOLECCIÓN DEL AGUA LLUVIA (MODELO).....	40

3.1.1 VOLUMEN CAPTADO DURANTE EL MES EN <i>m3</i>	41
4. COMPARATIVO PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.....	42
4.1 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN REQUERIDO PARA EL ABASTECIMIENTO.	43
4.2 ÁREA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA PROYECTADA (EDIFICIO) .	44
4.3 VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO (VI)	46
4.4 POTENCIAL DE AHORRO DE AGUA POTABLE	46
5. RUTA CRÍTICA	48
6. CONCLUSIONES.....	57
7. RECOMENDACIONES.....	59
BIBLIOGRAFIA	60
ANEXOS.....	66
ANEXO 1. TABLA DE CALCULO RUTA CRÍTICA METODO DARCY	66
ANEXO 2. TABLA DE CÁLCULO RUTA CRÍTICA METODO FLAMANT	67

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de trinchera de retención.	15
Figura 2. Sistema de captación de agua pluvial en techos	18
Figura 3. Imagen canastilla sistema AquaCell.	24
Figura 4. Construcción de estanque de almacenamiento subterráneo con canastillas Aquacell.....	24
Figura 5. Porcentaje del agua total del mundo.	25
Figura 6. Distribución del agua en el planeta.	26
Figura 7. Sede el claustro Universidad Católica de Colombia.	34
Figura 8. Estructura definitiva del modelo de captación y filtración para el presente trabajo, en esta grafica se observan las capas de materiales filtrantes separados por el Geotextil NT 1600, el soporte de madera y el tanque de recolección.	36
Figura 9 Plano planta área de tolva de recolección.	40
Figura 10. Bosquejo de área cubierta edificio bloque R sede el claustro de la universidad católica de Colombia.	45
Figura 11. Recorrido ruta crítica.....	49

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Rugosidad absoluta de materiales.	28
Tabla 2. Coeficiente de Hazen-Williams para algunos materiales.	29
Tabla 3. Algunas leyes y decretos relacionados con el manejo del agua.	31
Tabla 4. Relación de las características físicas, químicas y microbiológicas con su valor máximo de aceptación.	32
Tabla 5. Datos de captación por el modelo en litros y duración en minutos.	40

Tabla 6. Comparación características físicas y químicas antes y después del filtro.	42
Tabla 7. Población bloque R.....	43
Tabla 8. Comprende la ruta crítica entre el tramo 1 – 2. El cual va del primer sanitario de fluxómetro (aparato critico), has justo un instante antes de llegar al segundo sanitario	50
Tabla 9. Comprende la ruta crítica entre el tramo 2 – 3. Este tramo ya contiene los dos sanitarios de fluxómetros y da la estimación del abastecimiento de baterías de baños piso tipo, y llega justo un instante antes de cambiar de dirección.....	50
Tabla 10. Comprende la ruta crítica entre el tramo 3 – 4. Este tramo conlleva a la estimación del caudal total a suministrar y el diámetro más grande a usar, genera la red principal, llega al punto más alto de la distribución justo un instante antes de cambiar de dirección.....	51
Tabla 11. Comprende la ruta crítica entre el tramo 3 – 5. Este tramo comprende el descenso de los caudales a suministrar piso a piso, llega justo un instante antes de suministrar el piso inferior	53
Tabla 12. Comprende la ruta crítica entre el tramo 5 – 6. Al igual que el anterior este tramo comprende el descenso de los caudales a suministrar piso a piso, llega justo un instante antes de suministrar el piso inferior.....	53
Tabla 13. Comprende la ruta crítica entre el tramo 6 – 7. Al igual que el anterior este tramo comprende el descenso de los caudales a suministrar piso a piso, llega justo un instante antes de suministrar el piso inferior.....	54
Tabla 14. Comprende la ruta crítica entre el tramo 7 – 8. Este tramo lleva al último aparato a suministrar el cual es una llave manguera para servicios generales, debe cumplir con la presión de servicio.....	55

RESUMEN

El presente trabajo se propone 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, con el cual se realiza la captación y el almacenamiento de la misma al estar directamente a la intemperie, proporcionando datos reales día a día. Teniendo en cuenta que el agua lluvia se puede emplear como una alternativa para abastecer la demanda de agua, en alguna de las actividades cotidianas en el bloque R de la Universidad. Se determina esta actividad basados en las características de la misma, para descarga de sanitarios y lavado de zonas comunes.

Inicialmente se pone en marcha el modelo físico de captación y recolección agua lluvia, luego se almacena en un tanque y de este se tomaron los datos de volúmenes recolectados en litros, durante un periodo de tiempo de 30 días calendario comprendidos desde el 18 de agosto de 2017 hasta el 17 de septiembre de 2017, durante este periodo de tiempo se tomaron distintas muestras, antes y después de su paso por el filtro, para determinar algunas de sus características físicas y químicas para definir el uso de esta en las actividades del edificio.

Por último, se realizará un análisis hidráulico de conducción y distribución con el fin de obtener los resultados para la aplicación del cálculo de la ruta crítica, la cual pretende dar a conocer caudales, diámetros, velocidad, presiones mínimas y máximas de servicio.

INTRODUCCION

Se propone realizar el análisis y distribución del agua lluvia, teniendo en cuenta que se puede emplear como una alternativa para abastecer la demanda en alguna de las actividades realizadas en el bloque R sede el Claustro de la Universidad Católica de Colombia. Mediante la generación de un modelo físico de captación y filtrado de agua lluvia se recopilará los datos necesarios para determinar el uso adecuado en las instalaciones.

Con relación a lo mencionado anteriormente se da a conocer algunas problemáticas que se han presentado durante el transcurso del tiempo. Una de estas se da debido al crecimiento de la población urbana, y por ende al aumento de la demanda de consumo de agua, muchos países con problemas de escasez de agua están replanteando el papel del agua lluvia pasando de considerarla un desecho a considerarla como un recurso, capaz de abastecer varias de las actividades diarias. (ORTIZ, y otros, 1985).

Mientras tanto una problemática evidente en Bogotá según un estudio realizado por Investigadores del Departamento de Ingeniería Ambiental de la universidad Central y con colaboración de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, aseguran que en un futuro, Bogotá podría quedarse sin agua suficiente para suplir las necesidades de los ciudadanos, dicen que el agua utilizada en la ciudad depende de sistemas naturales vulnerables al cambio climático, lo cual conllevara a que este recurso hídrico pueda agotarse rápidamente, dicho esto se pretende con este trabajo generar una idea de implementación de un sistema de captación de agua lluvia para amortiguar la demanda requerida, realizando un aprovechamiento del agua. (LEÓN RESTREPO, 2014)

Adicionalmente se ha demostrado que una de estas problemáticas, se ha dado a través de la evolución del ser humano con la implementación de la industria, lo cual a generado como consecuencia el cambio climático en muchas ciudades del mundo, generado niveles críticos de inconformidad para la calidad de vida del ser humano, obligando al racionamiento de agua dulce debido a la poca oferta de precipitación hídrica natural, generado un impacto y generando la atención en los sistemas de aprovechamiento y uso del agua lluvia, incrementando la conciencia de su debido uso, conducción y almacenamiento del agua. (MURILLO, 2011).

En respecto al agua no es fácil decir que es un recurso limitado, y con el crecimiento de la población se está viendo un continuo desperdicio en una tasa considerable, lo cual ha generado que se afecten las reservas en todo el mundo, lo anterior se genera más notablemente en algunos países sin grandes recursos económicos donde el agua es escasa, y esto lleva a consecuencias más impactantes en la

agricultura, las cosechas se han visto afectadas en una gran magnitud y generando hambrunas, si consideremos esto puede ser confrontado con el aprovechamiento del agua lluvia. (ECOSIGLOS, 2010).

Basado en lo anterior y como fundamento principal para realizar este trabajo de investigación y para desarrollo del mismo se elaboraron diferentes ensayos para determinar algunas características físicas y químicas del agua recolectada, con estos resultados poder así determinar un buen uso de implementación de esta en alguna actividad cotidiana del edificio, como lavados de zonas comunes. Realizando también un análisis hidráulico para su distribución, para así llevar consigo lo necesario para la utilización y optimización de agua captada, siguiendo una serie de fases dentro de una metodología, se construye un modelo físico el cual capta y filtra el agua mejorando sus condiciones para el uso por definir.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El hombre desde su creación ha sido ingenioso para resolver sus problemas y sus necesidades lo han vuelto recursivo para poder solucionarlas, como primera fuente de aprovechamiento y abastecimiento ha utilizado el agua superficial, por ende, las primeras civilizaciones se establecieron en las orillas de los ríos para su aprovechamiento como transporte y consumo diario. (GARCÍA, 2012).

En cuanto al acelerado crecimiento demográfico de la civilización se comenzaron a presentar algunos problemas, como la gran demanda de agua para el consumo diario, evidenciándose una gran disminución del líquido vital generando el desplazamiento de algunas civilizaciones a otras zonas para suplir esta necesidad.

De acuerdo con lo dicho se comenzaron a presentar sistemas de captación de agua lluvia en la antigüedad y no se tiene un dato preciso de su origen, aunque autores concuerdan teorías que estos sistemas se generaron de las primeras civilizaciones del medio oriente. (RODRÍGUEZ NEGRETE, y otros, 2005).

En cuanto a Bogotá, el crecimiento demográfico generado tanto por su economía como por el desplazamiento forzado, ha representado un consumo significativo del agua potable, según EAB-ESP se está utilizando una gran porción de las aguas superficiales y las principales fuentes de abastecimiento están contaminadas lo que puede ser representado en unos racionamientos de este líquido en los próximos años. (ILDÁRRAGA PÁEZ, 2014)

De acuerdo a esto el IDEAM mediante estudios estadísticos nos da a conocer algunas cifras las cuales nos dicen que cerca de un porcentaje del 50% de la población Colombiana vive en zonas urbanas propensas a sufrir problemas de suministro de agua, esto se da por distintos factores, uno de ellos es la contaminación de fuentes hídricas como lo son ríos, quebradas, humedales y demás, ellos han realizado un análisis de las experiencias que han obtenido otros países en sistemas de recolección y aprovechamiento de agua lluvia, con el fin de poder analizar las posibilidades de la incorporación en Colombia de dichos sistemas. (BALLEN SUÁREZ, y otros, 2006).

Por otra parte, en la actualidad existen distintas técnicas de recolección de aguas lluvias tanto para el uso domiciliario como el uso agrícola, la recolección de agua se está utilizando en la parte urbana como rural tanto en algunos países desarrollados

y en vías de desarrollo. En gran parte estos sistemas de recolección están implementados en zonas rurales en modelos de viviendas pequeñas y en regiones donde no se cuenta con gran cantidad de agua por falta de precipitaciones y ausencia de acueductos que garanticen un flujo continuo de este líquido vital para la sobrevivencia. (RODRÍGUEZ NEGRETE, y otros, 2005).

Asimismo, se presentan los siguientes casos puntuales de recolección y distribución de agua en el mundo y en Colombia como referencia para la ejecución del proyecto.

AFRICA

En el continente africano tienen muchas limitaciones y en gran parte del hay una gran concentración de pobreza que dificulta tener recursos para hacer sistemas de acueductos.

En los últimos años en varias zonas de África se están implementando sistemas de recolección de agua lluvia, la implementación de estos métodos se ha realizado muy lentamente debido al alto costo de construcción de estos, además cuentan con pocas estructuras (cubiertas) adecuadas para la implementación y se suman las bajas precipitaciones. No obstante, la captación de agua lluvia se están difundiendo en grandes proyectos en Botswana, Togo, Mali, Malawi Sudáfrica, Namibia, Zimbawe, Mozambique, Sierra Leona, Tanzania. (GARCÍA, 2012).

ASIA

India se caracteriza por ser uno de los países más poblados del mundo lo que quiere decir que es muy grande la demanda de agua potable, una solución que ellos han buscado es la recolección de agua lluvia en un diluvio que se presenta en una temporada del año durante aproximadamente 100 horas, al cual se le nombra como Monzón, mediante el desarrollo de este se aprovecha para recolectar la mayor cantidad de agua lluvia posible, para utilizarla durante el año. (GARCÍA, 2012).

EUROPA

En el año 1998 en la ciudad de Berlín – Alemania, fue introducido el sistema de captación de agua lluvia a gran escala debido al desarrollo urbano que se presentó en esos días, el sistema consiste en recolectar el agua lluvia de las cubiertas de algunos edificios y luego depositarla en un tanque subterráneo y después bombearla para descargar de inodoros y riego de zonas verdes (GARCÍA, 2012).

NORTE Y CENTROAMERICA

En algunas ciudades y en barrios pequeños de honduras están utilizando sistemas de recolección de agua lluvia, pero son muy deficientes, aun con estos sistemas empíricos de baja captación han logrado mejorar la calidad de vida de estos usuarios.

En la ciudad de Vancouver, Canadá, el gobierno tiene un plan piloto el cual se basa en un subsidio a los habitantes que quieran implementar este sistema de captación para la compra de tanques de almacenamiento. (GARCÍA, 2012).

COLOMBIA

Se puede decir que el país cuenta con gran riqueza hídrica, por lo cual no se ve en la necesidad de utilizar estos sistemas y la gran mayoría de poblaciones para su abastecimiento utilizan las fuentes superficiales de agua las cuales pueden ser ríos, quebradas, lagos y embalses entre otros. No obstante, en la actualidad se han visto afectadas muchas de estas fuentes hídricas debido a la contaminación, generada en una gran parte por el desarrollo del conflicto armado que se presenta en el país, la disputa de tierras y las explotaciones ilegales de minería, esto genera la contaminación y sequía de muchas de estas fuentes. (BALLEN SUÁREZ, y otros, 2006)

Podemos nombrar unos pocos casos los cuales han aplicado estos sistemas y han logrado suplir la demanda total o parcial de agua para su funcionamiento.

En Colombia se han realizado estudios del comportamiento y funcionamiento de las “trincheras” o modelos de retención, para poder determinar las capacidades filtrantes y de retención de contaminantes transportados en el agua lluvia, mediante un modelo físico. Santa y Quintero fabricaron una trinchera de retención a escala real (véase la Figura 1).

Figura 1. Modelo de trinchera de retención.



Fuente: (SANTA MENDEZ, 2010).

El Almacén Alkosto de Villavicencio, cuenta con una cubierta de 1061 m² recolecta agua lluvia en un tanque con capacidad de almacenamiento de 150 m³, el agua es tratada por medio de procesos de floculación, filtrado y cloración. El resultado es el agua potable para todas las actividades del establecimiento durante el año. (OSUNA VARGAS, 2010).

Sede Bancolombia Medellín, en gran mayoría los lugares donde se lleva a cabo esta recolección de aguas lluvias gran parte de esta es usada para el consumo humano, y el otro porcentaje se utiliza para usos no potables. Dependiendo el lugar donde se instale y el modelo a utilizar, resulta la cantidad de agua recolectada que pueden variar según la eficiencia del sistema. En general un sistema de recolección de agua lluvia debe tener sus distintas fases 1) captación, 2) transporte, 3) almacenamiento. (CASTAÑO, 2010).

Estos sistemas de recolección de agua lluvia son muy poco usados en Colombia por falta de reglamentación, socialización, comercialización y por ser un país con gran abundancia de este recurso, pero con el transcurso de los días se ha visto un aumento en la demanda de este, por factores como la sequías y la contaminación de fuentes superficiales, lo cual está generando altos costos para poder tener este recurso hídrico vital para la supervivencia del ser humano. (OLAIZ FERNANDEZ, 1994).

En la actualidad la captación de agua lluvia se realiza para obtener beneficios económicos y ambientales, los análisis de potabilidad del agua están regidos por organizaciones reconocidas como es la Organización Mundial de la Salud que dan sus condiciones para el consumo de esta en parámetros físicos, químicos, microbiológicos y biológicos-orgánicos. (ESTUPIÑAN PERDOMO, y otros, 2010).

BOGOTA D.C.

En Bogotá se han generado varios estudios a partir de algunas universidades como la Pontificia Universidad Javeriana, Universidad Católica de Colombia y Universidad de la Salle, las cuales han generado estudios a partir de esta gran necesidad de optimizar este recurso vital como lo es el agua. Se ha evaluado precipitación y cantidad de escorrentía dirigida en la ciudad, generando así modelos físicos para su captación y almacenamiento del agua lluvia.

Hipermercado Alkosto Venecia (Bogotá), tiene una cubierta de 6000 m² recolecta aproximadamente 6000 m³ de agua lluvia durante el año con lo cual satisface el 100 % de la demanda de agua potable del edificio. El agua captada es tratada en una planta compacta y luego es inyectada al sistema hidráulico. (OSUNA VARGAS, 2010).

Universidad Nacional de Colombia, el edificio de Postgrados de Ciencias Humanas de la sede Bogotá, el agua recolectada en esta sede va a un tanque subterráneo donde mediante bombas la trasladan para uso en inodoros y fuentes.

Complejo Acuático Simón Bolívar, el agua lluvia recolectada en la cubierta es dirigida por medio de tuberías a un tanque de purificación. Luego de ser procesado, el líquido pasa a un tanque de aguas tratadas y se verifica su potabilidad para así poder ser distribuida. Para ser utilizada en las labores de limpieza y adecuación de baños, jardines y cocinas.

Pontificia Universidad Javeriana, Se llevó a cabo una investigación sobre Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Lograron establecer que el consumo del campus principal aproximadamente 16.651m³ de agua por cada mes, así como 199.807m³ al año, lo cual es equivalente a cancelar a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá un valor promedio bimensual de \$ 63.804.880 pesos y un total ponderado de \$ 382.829.281 pesos, se logró determinar que el uso de agua potable tan solo correspondía a un 20 % del consumo total, mientras que en las otras actividades se está consumiendo el 80 % del consumo total facturado. Esto permite establecer diferentes estrategias de uso eficiente en cada infraestructura, con lo cual la Universidad podrá convertir este

documento en la carta de navegación para la toma de decisiones referente al uso eficiente del recurso hídrico en el campus. (ESTUPIÑAN PERDOMO, y otros, 2010).

Universidad Católica de Colombia

Un proyecto fue realizar una descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias. También se llevó a cabo un trabajo sobre recolección y reutilización de aguas lluvias en viviendas de interés social y bajos recursos en el barrio Yomasa en la ciudad de Bogotá D.C., y se llega la conclusión que es viable implementar un sistema de captación de agua lluvia decido al ahorro que beneficiara a sus habitantes. (RODRÍGUEZ HERRERA, y otros, 2014)

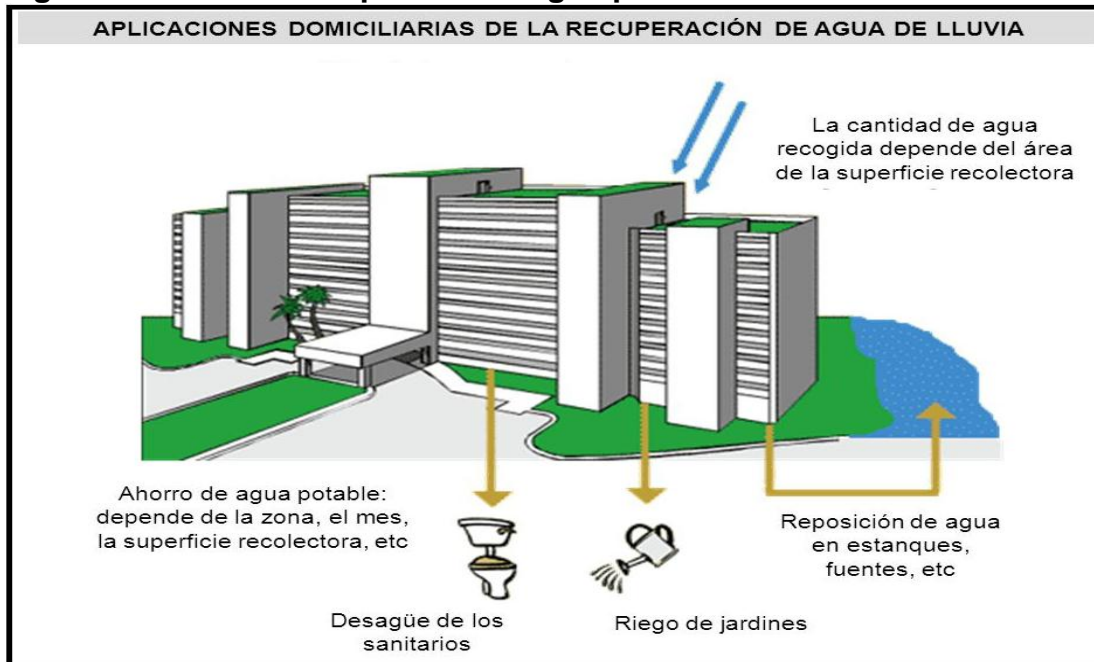
Otro trabajo realizado en la Universidad fue el análisis de la captación y aprovechamiento del agua lluvia para la utilización en el campus, de acuerdo a las características de sus sedes, en cual realizaron un estudio de los criterios de selección para los campus de la Universidad, dando como la sede más óptima al claustro según datos obtenidos por una matriz de criterios, la cual favoreció a esta sede con una recolección de $16.9154 \frac{\text{ml}}{\text{cm}^2}$, contra la sede calle 13 la cual recolecta $15.5455 \frac{\text{ml}}{\text{cm}^2}$. También estipulan que a mayor área de captación para su posterior almacenamiento, la utilización más factible para la demanda de agua que genera el riego de fachadas y jardines. (ROBAYO PARGA, y otros, 2016).

Realizaron también un diseño e implementación de un prototipo de sistema de recolección y tratamiento aguas lluvias en casa multifamiliar para uso doméstico en el barrio consuelo localidad de Rafael Uribe Uribe, este proceso se realizó por medio de una propuesta para un sistema de distribución de aguas lluvias. También se proyectó por medio de un prototipo, el filtro de tratamiento para lograr los estándares de calidad requeridos para el uso deseado, concluyeron que el área de estudio del proyecto realizado es un sector de estratos dos y tres, se considera conveniente la implementación del sistema de filtro de aguas lluvias con el fin de que se genere una reducción en el consumo del recurso hídrico que puede variar entre los porcentajes de 10% y el 40 %, considerando que el agua recolectada puede ser utilizada en la limpieza general de la vivienda, aparatos sanitarios como lavamanos, lavaplatos, sanitarios etc. (CASTELLANOS RINCÓN, y otros, 2015)

Universidad de la Salle, en esta Institución se realizó un estudio cuyo objeto fue el desarrollo de un diseño de recirculación de aguas lluvias para vivienda. Lo realizaron en la ciudad de Bogota D.C. En la localidad de suba, mediante ensayos realizados determinaron con preocupacion el elevado nivel de plomo en esta agua recolectada debido al combustible de los vehiculos, por otra parte según los resultados financieros concluyen que el periodo de la inversion del sistema de captación de agua es de 5 años. Valores que Indican que con una inversión de

\$21.352.579, el proyecto presenta rentabilidad económica y ahorro significativo en el periodo siguiente a los 5 años de recuperación de la inversión. (URIBE CELIS, y otros, 2007)

Figura 2. Sistema de captación de agua pluvial en techos



Fuente: (COLLET, 2015).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿A través del modelo físico diseñado se logra garantizar el uso y recolección de agua lluvia suficiente, para suplir las necesidades demandadas en las actividades cotidianas del edificio, bloque R, sede el Claustro de la Universidad Católica de Colombia?

Otra de las problemáticas frente al recurso es su inadecuado uso, en la actualidad aún se tiene la creencia de que el agua es un recurso renovable, pero esta no es más que una mala interpretación del ciclo hidrológico, de igual manera, aunque el agua se encuentre en la tierra cambiando de estados en la misma cantidad, se excluye de este planteamiento la calidad del recurso hídrico. Este concepto se considera errado si se tiene presente que el tiempo de contaminación de las fuentes es mucho mayor al tiempo de renovación de los cuerpos de agua, por lo cual se crea en las poblaciones falsas ilusiones que generan despilfarros e inadecuados usos del recurso hídrico. Resaltando de esta problemática uno de los factores que más se destaca es su posible uso, en los cuales se emplea una mayor cantidad

comparada con la verdadera consumida por la población. (CASTAÑEDA PALACIO, 2010).

Se plantea en este trabajo la realización de un modelo físico, generando un ahorro y optimizando del consumo de agua potable en la Universidad Católica de Colombia, para lograr crear un amortiguador a los impactos que últimamente se están viendo reflejados en la disminución del agua, esto ayudando específicamente el entorno de la Universidad para lograr ser una facultad sostenible generando nuevas adecuaciones a los sistemas de distribución para un adecuado manejo y sostenimiento ambiental con el agua.

Según el RAS (título B) el consumo de agua medio por persona en sus actividades cotidianas, es de 150 litros diarios entre lo que se destina al inodoro, el lavado, la limpieza general o el riego, lo que significa que se podría utilizar para todos estos usos el agua de lluvia.

Pensando también en la gran cantidad de agua potable que se necesita para abastecer y suplir las actividades diarias necesarias para el buen funcionamiento de la Universidad. Con referencia en la norma NTC 1500 para el diseño de red de distribución para edificaciones de Universidades el consumo de agua es de 50 L/est. /día, lo cual, si manejamos en promedio una población de 750 estudiantes en el bloque R, se obtiene un caudal de consumo diario de 37.500 litros/día, por lo cual se estima que realizando el reusó de aguas lluvias se podría suplir un porcentaje de este consumo. Por ejemplo, un chubasco o precipitación de lluvia de 30 litros/m² y sobre una superficie de recolección de 150 m² puede llegar a captar 4.500 litros de agua que además al no contener cal, sería perfecta para tuberías y desagües de lavados, riego y abasto de sanitarios. Lo cual brindaría a la Universidad una herramienta sostenible, estableciéndola en una excelente posición a los cambios ambientales.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar a partir de la construcción de un modelo físico el agua lluvia captada en el edificio R sede el Claustro de la Universidad Católica de Colombia para recolección y distribución de agua lluvia.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un modelo físico para la captación de agua lluvia.
- Analizar la calidad del agua recolectada en las instalaciones de la universidad católica de Colombia.
- Verificar el sistema hidráulico para abastecimiento dentro de las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia.

1.4 JUSTIFICACION

El principal objetivo es la construcción de un modelo físico de captación de agua lluvia, el cual cuenta con un filtro que se constituye de tres distintas capas de materiales granulares, este filtro servirá para retener algunos de los agentes contaminantes que trae consigo la lluvia, el agua recolectada se pretende utilizar en actividades que se llevan a cabo en el bloque R sede el Claustro de la Universidad.

Una vez construido el modelo, se procede a obtener varias muestras del agua captada para realizar algunos análisis de las características físicas y químicas como lo son el color aparente, olor y sabor, turbiedad, pH, sólidos en suspensión, oxígeno y conductividad, mediante los resultados aportados por estos ensayos se determinara una comparación para dar el uso apropiado a esta, con ello se quiere disminuir la demanda de este líquido y ayudar a reducir el impacto que tienen los afluentes de donde la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá recolecta el agua para su distribución.

Mediante el análisis hidráulico de conducción y distribución se obtienen los resultados para la aplicación del cálculo de la ruta crítica, mediante esta se pretende conocer las presiones mínimas y máximas de servicio en su distribución y uso dentro de los sistemas existentes.

Con lo propuesto anteriormente, se busca generar un ahorro en la Universidad de este recurso hídrico vital para las actividades cotidianas, esperando que, con estos resultados, se emplee en un futuro cercano a gran escala en una buena parte de las terrazas de campus, con esto se lograra que a mayor área de captación se obtendrá mayor volumen recolectado esto se verá reflejando en un ahorro considerable para la institución.

1.5 ALCANCE Y DELIMITACION

El espacio asignado para la elaboración del modelo de captación de agua lluvia está ubicado en Bloque R sede el Claustro de la Universidad Católica de Colombia, en

una zona peatonal debidamente señalizada para que no se presenten accidentes con los peatones, quedo delimitado a una superficie de 2 m de ancho por 3 m de largo con un área de 6 m², donde se realizó el montaje y puesta en marcha del modelo físico.

La duración de la toma de datos se realizó en 30 días calendario, en este tiempo transcurrido se obtuvo la información necesaria como cantidad captada en litros, para llegar así a dar un estimado de recolección de agua lluvia según el área de captación.

Se mostrará un documento donde se presenta una propuesta para analizar y distribuir el agua lluvia captada en el bloque R sede el Claustro de la Universidad Católica de Colombia, donde el principal alcance del proyecto es la construcción de un modelo físico de captación de agua lluvia, analizando algunas de sus propiedades físicas y químicas, para luego realizar un análisis hidráulico, el cual daría a conocer caudales, diámetros, presiones mínimas y máximas de servicio.

El proyecto se limitará a realizar solo el análisis de algunas propiedades físicas y químicas sin llegar a dar unos resultados de características específicas que contiene este líquido.

La recolección de datos se limita al periodo el cual se tomaron, y fue en el transcurso del mes de agosto y septiembre, comprendido por un periodo de tiempo de 30 días de aforo.

1.6 MARCO DE REFERENCIAS

1.6.1 MARCO TEÓRICO

Al realizar captación de agua lluvia se ha implementado diferentes métodos y sistemas, como el método de trincheras, este método permite retener y filtrar el agua lluvia sin importar su superficie de escorrentía. A las trincheras de retención se le han realizado diversos estudios que han generado optimización en su uso y un excelente proceso según el sitio a utilizar este método, y por lo cual han generado preguntas a resolver sobre estos modelos, llegando por lo general todos estos dispositivos a la misma pregunta “cuál sería el período de vida útil de las trincheras tanto de retención como de infiltración”, esta es el gran objetivo en los diferentes ensayos realizados, basados en esté modelo para establecer el procedimiento de rehabilitación del agua lluvia. (Proton y Chocat, 2007).

Como lo mencionado anteriormente, se han realizado diferentes estudios los cuales evalúan comportamiento hidráulico de las trincheras de retención e infiltración, uno de estos fue realizado por (Proton y Chocat, 2007) a partir de un montaje

experimental el cual consiste en generar una sola conducción del agua lluvia, dividiendo la filtración en Varias escotillas o módulos filtrantes y entregando a una sola conducción, la cual es la salida del modelo.

Paralelo a esto (Proton y Chocat, 2007) estudian y ensayan en modelaciones con el fin generar resultados en proyección de cantidades de años de precipitación de lluvia. Para la realización de este trabajo de investigación se tomó un suministro de agua de escorrentía real, captada en una autopista o vía urbana almacenada en un tanque para optimizar su uso en estos ensayos. La agua obtenía se recirculó en el modelo hasta producir volúmenes representativos de periodos proyectados a años de precipitación de lluvia.

En esta investigación se buscó monitorear el comportamiento hidráulico del modelo “trincheras” para determinar el periodo de colmatación, al mismo modo la resistencia hidráulica. Este experimento y resultados son muy importantes para tener evidencia de periodos de vida útil de las trincheras, y así mismo dando pauta para generar y mejorar nuevos modelos y sistemas que nos permitan evaluar y captar agua lluvia para un óptimo uso de este recurso.

Aunque estos trabajos de investigación han generado numerosos modelos en diferentes condiciones y ubicaciones geográficas, en un trabajo de experimentación en la ciudad de Belo Horizonte Brasil, implementaron dos dispositivos para recolección de agua lluvia, por escorrentía a una trinchera de retención y una de infiltración. El experimento se realizó con de igual manera con agua de escorrentía proveniente de una vía en servicio. En esta investigación se realizaron mediciones: hidráulicas y de calidad del agua, las cuales comprenden las características básicas físicas de este recurso como: pH, color, temperatura, olor, turbidez, metales, potabilidad, composición molecular, densidad entre otras. (SILVA, 2009)

La base de este análisis o trabajo se basa en la construcción de un modelo de captación y retención con características basadas en investigaciones anteriores.

En el trabajo experimental de (SILVA, 2009) se obtuvo como principal hallazgo una eficiencia de remoción de sólidos que varía entre 57 % y 81 %. No solo se obtuvo eficiencias de remoción de sólidos si no también eficiencias de retención y remoción de metales los cuales contenía el agua de escorrentía la cual se usó en este trabajo. En este trabajo (SILVA, 2009), Concluyen que la carga de agentes no convencionales ni pertenecientes a este líquido o mejor llamados contaminantes, es debido principalmente a: contaminantes asociados con material en suspensión “limos y otros sólidos”, metales pesados o peligrosos “presentes en el aire”. En este trabajo de investigación se ve la necesidad de realizar estudios para obtener y registrar información que genere base de datos, donde se pueda obtener

tendencias en los comportamientos de los dispositivos y sistemas alternativos del drenaje urbano (SILVA, 2009).

Con lo mencionado anteriormente en esta investigación se evaluó además la eficiencia del modelo en la remoción de contaminantes del agua lluvia de escorrentía, aunque no se obtuvo esta eficiencia ya que los materiales utilizados para la fabricación del modelo, generan contaminantes producidos por los mismos. La principal recomendación generada por esta investigación es: “Estos comportamientos se pueden prevenir si se construye la trinchera con materiales que al contacto con el agua no suministren contaminantes”. La recomendación anterior es una de las principales a tener en cuenta para el presente trabajo. (SANTA MENDEZ, 2010)

Con el trabajo experimental realizado por Santa Méndez y Quintero Ortiz (2010), se logró la calibración del coeficiente de rugosidad n de Manning, el parámetro K (lag time) y el coeficiente C de escorrentía. El cual es usado para el cálculo de captación y precipitación de agua lluvia en las diferentes superficies, como techos. Los cuales son fundamentales para los diseños de trincheras de retención, se realizan analizando parámetros hidrológicos para determinar el caudal de agua que debe retener dicha estructura o modelo. (SANTA MENDEZ, 2010).

1.6.1.1 Sistemas de almacenaje y retención

En la actualidad existe diversos sistemas para el almacenaje de agua lluvia o potable, desde los más convencionales como tanque de retención en mampostería, a lo más novedoso como:

El Sistema AquaCell (celda de retención de agua), Este sistema almacena agua en el área donde se precipita para luego ser absorbida dentro de la estructura formada por las celdas AquaCell como se muestra en la figura 3. Se infiltra en el suelo o puede ser retenida por un tiempo antes de ser descargada al alcantarillado o en otros casos se utiliza como reserva para luego ser reusada en actividades de riego, limpieza, red contra incendios entre otras, o con algún tratamiento como agua potable. (PAVCO, 2014)

Figura 3. Imagen canastilla sistema AquaCell.



Fuente: (PAVCO, 2014).

Las canastillas tipo Aquacell, están siendo utilizadas en la actualidad para la construcción de tanques subterráneos de retención (véase la Figura 4). Por el material de fabricación de la canastilla (resinas de polipropileno), ésta no puede ni tiene la capacidad de retener sedimentos ni contaminantes, ya que no presenta superficies rugosas que permitan que los contaminantes queden alojados entre las estructuras que poseen estas canastillas tipo Aquacell. Por su estructura de conformación canastillas tipo Aquacell son capaces de almacenar el 95 % del volumen del volumen total de su misma estructura. (ESTUPIÑAN PERDOMO, y otros, 2010).

Figura 4. Construcción de estanque de almacenamiento subterráneo con canastillas Aquacell.



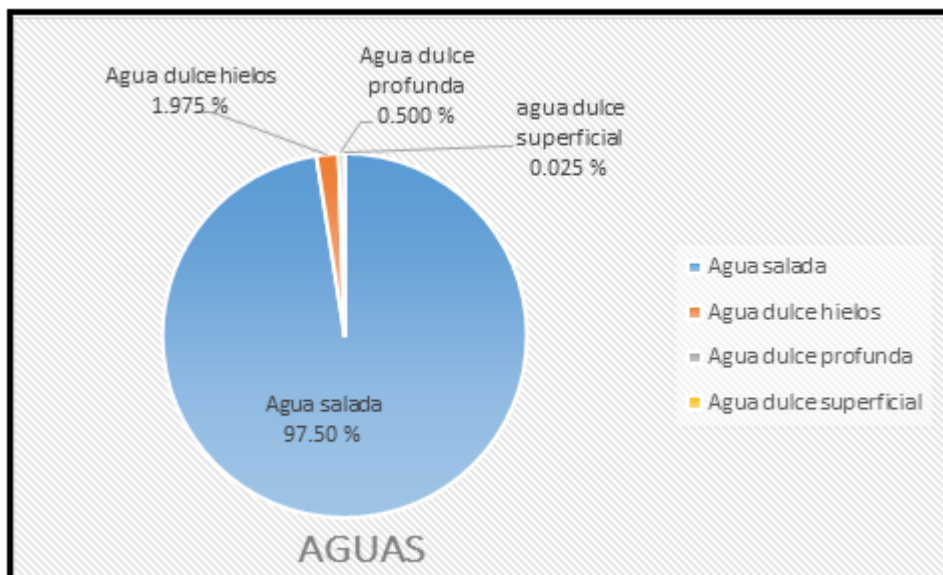
Fuente: (PAVCO, 2014)

Estos nuevos sistemas nos llevan a una forma revolucionaria del almacenaje y disposición de agua con ventajas y ahorros económicos considerables en los procesos constructivos, ya que el retorno de la inversión se ve reflejada en poco tiempo, al no ser un tanque de mampostería, el tiempo de su construcción se reduce al 25% del tiempo que tomaría construir un tanque en concreto, lo cual implica un ahorro en mano de obra y optimización de tiempo, no requiere constante mantenimiento y por su composición no genera contaminantes para el agua, es la evolución del almacenamiento de agua convencional. (ESTUPIÑAN PERDOMO, y otros, 2010)

1.1.6.2 Distribución de agua existente en el mundo

Por otra parte, podemos observar la distribución de agua existente en el mundo en porcentajes según su cantidad (véase Figura5).

Figura 5. Porcentaje del agua total del mundo.



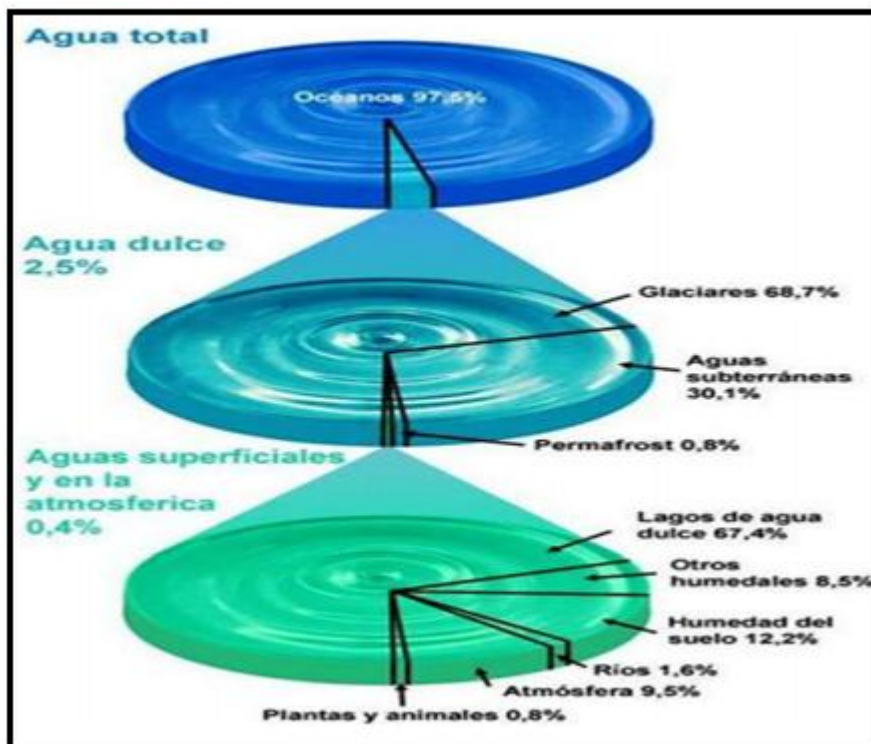
Fuente: (GREENPEACE, 2015).

El agua dulce es un recurso natural finito, vital para el ser humano y esencial para el desarrollo social y económico, a pesar de su importancia, evidente para la vida del hombre solo en las últimas décadas se empezó a tomar conciencia de su escasez y el riesgo de una disminución de sus fuentes. Aunque de este valor no todo está disponible, pues únicamente el 0.4 % de agua dulce está en condiciones aptas y disponible para ser usada por los seres vivos (Figura 6). Este pequeño

valor se ve fácilmente afectado por diversos factores que ponen en riesgo la sostenibilidad del recurso natural para el abastecimiento de las poblaciones, en donde los factores climáticos y las alteraciones del ser humano originan cambios y presiones sobre el mismo (Unidas, 2006). Alguno de los factores que afectan este recurso son:

- El crecimiento de población.
- Cambios demográficos por el desplazamiento de las poblaciones.
- Mayores demandas alimentarios y de bienestar socioeconómico.
- Mayor competencia ente usuarios y usos.
- Contaminación de origen industrial y agrícola.

Figura 6. Distribución del agua en el planeta.



Fuente: (SHIKLOMANOV, 2003).

A pesar de que Colombia es un país rico en recursos naturales (fauna, suelo, agua y flora), ocupando el puesto número 24 entre 203 países considerados los más ricos del mundo en recursos naturales, y aun no está considerado con problemas ambientales por las organizaciones internacionales, pero si se ven presionados los recursos naturales, debido a los desplazamientos de las poblaciones que ponen en peligro a los ecosistemas, y por dichas actividades que se presentan por el deseo

de crecimiento que generan los países en desarrollo, llevando consigo un mal uso del recurso hídrico. (IDEAM, 2000).

No obstante en el país como en cualquier lugar del mundo, el agua dulce se emplea en muchas actividades cotidianas para un buen funcionamiento de las sociedades y sus estructuras, pero otra gran adversidad que el hombre ha tenido que afrontar es el transporte de la misma, su distribución en las metrópolis, llevando consigo el desarrollo de diferentes metodologías para realizar la proyección de esta distribución, metodologías tales como:

Metodología de Darcy-Weisbach

La ecuación 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 la fórmula original es:

Ecuación 1. Perdida de carga

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

En función del caudal la ecuación queda de la siguiente manera:

$$h = 0.0826 * f * \left(\frac{Q^2}{D^5}\right) * L$$

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)

Q: caudal (m³/s)

El coeficiente de fricción f está en función del número de Reynolds (Re) y del coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa de las paredes de la tubería (ϵ_r):

Ecuación 2. Coeficiente de fricción.

$$f = f * (Re, \epsilon_r)$$

$$Re = D * v * \frac{\rho}{\mu}$$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D}$$

ρ = densidad del agua (kg/m³)

μ = viscosidad del agua

ϵ = rugosidad absoluta de la tubería (m)

En el siguiente cuadro se puede observar algunos valores de la rugosidad dependiendo el material:

Tabla 1. Rugosidad absoluta de materiales.

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES				
Material	ϵ (mm)		Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015		Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01		Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024		Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015		Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024		Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024		Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003		Hormigón	0,3-3,0

Fuente: (MILIARIUM, 2008).

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 muy sencilla 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 3. Perdida de carga

$$h = 10.674 * \left[\left(\frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.871}} \right) \right] * L$$

h: perdida de carga o energía (m)

Q: caudal (m³/s)

C: coeficiente de rugosidad (adimensional)

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

En la siguiente tabla se muestra los valores del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para diferentes materiales:

Tabla 2. Coeficiente de Hazen-Williams para algunos materiales.

COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS PARA ALGUNOS MATERIALES			
Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Fuente: (MILIARIUM, 2008).

1.1.7 MARCO CONCEPTUAL

Para la distribución y captación de agua lluvia hay que tener conceptos básicos que son fundamentales al emplear sistemas de captación para el aprovechamiento de la misma. La Captación de agua lluvia: (RWH siglas en inglés) es el mecanismo por el cual se recolecta y se almacena agua pluvial en tanques o en embalses (MONTES PACHECO, 2008).

La captación es la superficie dispuesta para la recolección del agua. Por lo general en la mayoría de los diseños el área de captación se encuentra ubicada en los techos con unas pendientes no menores al 5 % para permitir que el agua se escurra hacia los sistemas de captación. (CASTAÑEDA PALACIO, 2010).

Sin embargo para la captación de agua lluvia se han generado diversas investigaciones con métodos y modelos como una Trinchera de captación, las trincheras de retención son básicamente un canal capaz de retener y filtrar el agua recolectada. (JARAMILLO, 2012).

Recolección y conducción se realiza mediante canaletas ubicadas en las partes inferiores de los techos con ellas se logra dirigir el agua recolectada a los tanques de almacenamiento, las canaletas deben ser de materiales livianos, resistentes a las condiciones de la intemperie y de fácil unión entre ellas.

Teniendo claro lo anterior, la principal finalidad del aprovechamiento del agua lluvia, es el Consumo, que no es más que la acción de consumir o gastar algún producto que para este caso es el agua para el consumo humano (ARANGO ESCOBAR, y otros, 2012). Y su recolección se realiza mediante una conducción, lo cual es un sistema constructivo por conjunto de ductos y accesorios usados para el transporte de agua desde la cubierta hasta el tanque de almacenamiento (ORELLANA, 2005).

Esta conducción se realiza mediante tuberías que son básicamente un ducto de sección circular para el transporte de agua (BENAVIDES G, y otros, 2006). También se incluye en este sistema los accesorios, son elementos fundamentales en el sistema de tuberías, como uniones y codos (PAVCO, 2014). Por este sistema de tuberías se recolecta un caudal, que es un volumen de agua medio por unidad de tiempo en m^3 (BENAVIDES G, y otros, 2006). Este volumen captado debe cumplir con la demanda de la población a suministrar. Esta población tiene un consumo de agua el cual determina la demanda en cantidad y calidad que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo (BALEASR). Para que esto se pueda consumir tiene que tener un grado de potabilidad que es la calidad que requiere tener el agua para poder ser utilizada en el consumo humano sin que presente ningún efecto adverso en la salud, para

que cumpla con esto debe seguir ciertos parámetros, como son: que sea incolora, inodora y que no presente gérmenes patógenos. (IRENA, 2007).

El interceptor es el dispositivo encargado de captar las primeras aguas lluvias, estas son empleadas para el lavado del área de captación con el fin de que el agua recolectada no presente grandes cantidades de impurezas u otros materiales no pertenecientes a la misma.

1.1.8 MARCO LEGAL O JURÍDICO

En Colombia existen tanto en materia de legislación y normatividad diversas leyes, decretos y normas que regula los usos del agua como servicio público, también se cuenta con algunas más en materia ambiental que regulan su buen uso, racional y eficiente del agua, no obstante, en materia de uso de aguas lluvias, es muy poco lo que se tiene. Algunos documentos de referencia son:

Tabla 3. Algunas leyes y decretos relacionados con el manejo del agua.

Constitución política de Colombia	En los artículos 78, 79, y 80 se establece que el Estado tiene el deber de controlar la calidad de bienes y servicios ofrecidos a la comunidad y es un deber del Estado proteger la diversidad y la integridad del ambiente, también planificara el aprovechamiento de los recursos naturales (Consejo, 1991)
Ley 373 de 1997	La cual nos dicta el uso eficiente y ahorro del agua. "ARTICULO 2o. CONTENIDO DEL PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA. (El Congreso, 1997).
Ley 23 de 1973	Art. 1. Es objeto de la presente ley prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del Territorio Nacional. (Congreso, 1994)
Decreto - ley 2811 de 1974	Decreta "Artículo 1º.- El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en

	su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. (AMBIENTE, 1974)
Decreto 1541 de 1978	Decreta. “Artículo 1°.- Para cumplir los objetivos establecidos por el artículo 2 del Decreto-Ley 2811 de 1974, este Decreto tiene por finalidad reglamentar las normas relacionadas con el recurso de aguas en todos sus estados (MICHELSEN, 1978)
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Fuentes:(Autores)

Tomando de la resolución 2115 de 2007 se realiza una tabla con las características físicas, químicas y microbiológicas más importantes sobre la calidad del agua con un valor máximo de aceptación. (Véase la Tabla 4).

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

Características Físicas	Valor Máximo Aceptable
Color aparente	15
Olor y Sabor	Aceptable
Turbiedad	2
Características Químicas	Valor Máximo Aceptable
Cloro residual	0.3 a 2.0
pH	6.5 a 9.0
Carbonato orgánico total	5.0
Nitritos	0.1
Nitratos	10
Alcalinidad Total	200
Cloruros	250
Aluminio	0.2
Dureza Total	300
Hierro Total	0.3
Manganeso	0.1

Sulfatos	250
Cloriformes totales	o UFC/100 cm ³
Cloriformes fecales	o UFC/100 cm ³
Mercurio	0.001
Ciaruro libre y disociable	0.05
Características Microbiológicas	Valor Máximo Aceptable
Cloriformes totales	0
Escherichia coli	0
Mesófilos	≤ 100

Fuentes: (Autores).

1.2 METODOLOGIA

Para el desarrollo de la captación y uso del agua lluvia mediante el modelo físico, se realizó la construcción de la estructura del mismo bajo una serie de pasos y con la implementación de materiales no contaminantes al agua, luego de esto se estableció una localización donde quedo ubicado el sistema, y se realiza el respectivo proceso de aprobación sobre el área de uso ante los directivos de la Universidad, para luego hacer el montaje experimental del modelo siguiendo una serie de pasos en este procedimiento, se determina el área de recolección la cual es una tolva, seguido de la ubicación de la estructura la cual contiene las capas del material granular conformando el filtro por donde pasara el agua recolectada a un tanque de almacenamiento de donde se recopilara la información necesaria para determinar el volumen recolectado durante los 30 días calendario, con la cual se realizara la proyección para toda el área de la cubierta del bloque R, sede el Claustro de la Universidad Católica de Colombia.

Seguido de esto se tomará las muestras necesarias para poder hacer algunos análisis de las características del agua recolectada, para determinar el uso más apropiado para el líquido a emplear.

Para finalizar la metodología que se llevara a cabo, la recopilación de datos y el análisis hidráulico pertinente.

1.2.6 LOCALIZACIÓN DEL SITIO PARA ESTABLECER EL SISTEMA

La captación de agua lluvia se realizó en la Diagonal. 46a #15-10, Bogotá, en el bloque R, sede el claustro de la Universidad Católica de Colombia, se escogió esta

sede por que cuenta con una gran área para poder ubicar el modelo físico generado. (Véase la Figura 7).

Figura 7. Sede el claustro Universidad Católica de Colombia.



Fuente: (GOOGLE MAPS, 2017).

2. PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA

Al contar con un diseño y planeación estructural del modelo a implementar, se procedió a realizar el respectivo proceso ante los directivos administrativos de la universidad para obtener la aprobación del área o superficie de uso, donde se implementaría el modelo físico. Para la construcción del modelo se realizó una serie de pasos constructivos. Los cuales se nombrarán a continuación explicando las etapas que se llevaron a cabo para este proceso constructivo del sistema de recolección de aguas lluvias, incluyendo materiales utilizados.

2.1 MONTAJE EXPERIMENTAL

El diseño estructural del modelo de captación de agua lluvia esta con base en una tesis realizada en la Pontificia Universidad Javeriana, la cual es un estudio de las “trincheras” o modelos de retención, para poder determinar las capacidades filtrantes y de retención de contaminantes transportados en el agua lluvia, mediante un modelo físico. Santa y Quintero fabricaron una trinchera de retención a escala la cual da el punto de partida para la fabricación de la estructura del modelo.

Con respecto a la ubicación del modelo, este debe tener condiciones climatológicas no controladas por esto se realizó a cielo abierto, por lo que no fue necesario contar con una altura limitada para la tolva de recolección, según la distribución y condiciones dadas por el modelo quedo ubicado a una altura de 0.60 m por encima del nivel del suelo, es necesario esta para la ubicación del tanque de almacenamiento el cual recibe el agua ya filtrada y donde se realiza su acumulación, de donde se toma la información necesaria para el desarrollo y elaboración de cálculos. Esta información está dada en litros, de aquí también se separan las muestras para su respectivo análisis de características físicas.

Seguido esto, el modelo final (Véase las Figura 8), se encuentra constituido por una estructura metálica con ángulos de hierro de $1/8 \times 1/2$ " - 36, esta estructura es la base para las caras posteriores del modelo construidas con vidrio de 10 mm, unidos entre sí creando un sello de silicona que no permita filtraciones, el vidrio genera una total visualización del recorrido del agua captada por el modelo. El modelo fue ensamblado por partes: en su primera fase se ubica la canastilla tipo Aquacell, seguido de una capa de Geotextil NT1600, luego una primera capa de 15 cm de espesor en grava con un diámetro no mayor a $1/2$ ", seguida de otra capa de Geotextil NT1600, sucesivo a esta se instala una capa de 10 cm de espesor en arena de

Ottawa, luego otra capa de Geotextil NT1600 y final meten una capa de 10 cm de espesor en antracita.

Figura 8. Estructura definitiva del modelo de captación y filtración para el presente trabajo, en esta grafica se observan las capas de materiales filtrantes separados por el Geotextil NT 1600, el soporte de madera y el tanque de recolección.



Fuente: (Autores).

De esta manera el sistema que se está implementado en la Universidad Católica de Colombia sede el claustro consta de:

- Área de captación
- Recolección y conducción
- Filtro (antracita, arena de Ottawa, gravilla 1/2")
- Geotextil NT1600
- Falso fondo (Aquacell de PAVCO)
- Tanque de almacenamiento

2.2 ÁREA DE CAPTACIÓN

Es la superficie que se va a destinar para realizar directamente la recolección del agua lluvia. Por lo general en los proyectos de captación esta se realiza a través de los techos aprovechando su gran área de recolección, en este caso se diseñó una pequeña clase de tolva de plástico para invernaderos (polietileno) la cual tiene una pendiente adecuada no inferior al 5% para facilitar la escorrentía que va dirigida al modelo de recolección.

Al respecto el material de esta tolva se selecciona debido a sus condiciones de fácil manejo, costo y buena manipulación a la hora de realizar la construcción de esta cubierta, otra gran característica que aporta este polietileno es que mantiene las características del agua sin alterar sus condiciones iniciales, nos ofrece una gran impermeabilidad la cual brinda una recolección sin pérdidas en el momento de la precipitación. (QUIMINET, 2012).

2.3 RECOLECCIÓN DE AGUA PARA DATOS

Se ubica un recipiente a una altura de 2.50 m, el cual va a estar anclado a un andamio construido mediante ángulos de hierro, proporcionando excelente rigidez al mismo, el recipiente es de forma rectangular en acero inoxidable el cual va a recolectar el caudal captado por la cubierta de plástico.

Entonces mediante tubería de plástico (PVC-L) ubicada en un ángulo de 90°, se asegura que esta dirija el agua lluvia desde el recipiente hasta el filtro, este tipo de tubería proporciona gran resistencia contra los factores climáticos que se generan al estar a la intemperie. (Todoferreteria, 2017)

2.4 FILTRO

La filtración se realiza por medio de granulares en forma descendente, con la ubicación de estos materiales en esta posición, se ha logrado determinar unas ventajas en sus condiciones de eficiencia y economía a la hora de separar sólidos suspendidos que no son separados por la sedimentación. (BALLEN SUÁREZ, y otros, 2006)

Debido que la filtración es muy importante en un sistema de recolección y tratamiento aguas lluvias, por lo general el proceso de filtración se debe llevar a cabo después de la sedimentación la cual va a separar en su gran mayoría los sólidos suspendidos, mirando las características del agua a trabajar se puede ir directamente a la etapa de filtración sin presentar una sedimentación previa.

Por lo tanto, el recipiente del filtro está construido en vidrio de 8 mm con refuerzos de acero en sus aristas, comprende tres capas de material granular filtrante y un falso fondo el cual funciona como tanque para almacenar sólidos en suspensión que contenga el agua lluvia.

Las capas correspondientes son

- 1 Antracita
- 2 Arena de Ottawa
- 3 Gravilla
- 4 AquaCell (Pavco)
- 5 Geotextil NT1600

- Antracita:

Este material utilizado como primera capa es un excelente medio de filtración principalmente para la eliminación de cloro y compuestos orgánicos presentes en el agua recolectada. (LOPEZ GUERRERO, y otros, 2015) (LOPEZ SANCHEZ, 2015).

La forma que tiene sus granos es esencial para retener gran cantidad de sólidos transportados, esto favoreciendo la calidad del agua recolectada.

Se ubica en la parte superior debido a su densidad única de 50 lbs/pie³, por esto es adecuada hidráulicamente y siempre quedara por encima de los otros materiales filtrantes más pesados como son la arena y la gravilla. (CARBOTECNIA, 2016).

- Arena de Ottawa:

Este material está situado en la segunda capa del filtro, con una densidad menor al de la grava. Gracias a su simetría de granos de forma redonda asegura la porosidad, dejando fluir el agua con facilidad pero reteniendo algunas partículas en suspensión. (PALOMERA, 2012)

Puesto que esta arena no ha sido muy utilizada en filtros y se quiere comprobar y mostrar sus excelentes características como medio filtrante ya que presenta muy bajas concentraciones de arcillas las cuales puedan afectar el paso del agua.

- Grava:

Esta se utiliza en la parte de abajo en los filtros por su densidad el más pesado de estos materiales ya instalados con anterioridad, posee una grandes características las cuales los hacen un muy buen material para la

filtración, el cual no imparte ninguna característica al agua recolectada, al paso del agua por la grava se van a retener algunos contaminantes y sedimentos. (Oocities, 2009).

- Geotextil NT1600

Es un material el cual por su estructura de conformación fina, su principal cualidad se encuentra en sus caras, una de estas es impermeable y la otra es permeable, por lo tanto es excelente retenedor de contaminantes que pueda traer el agua y partículas finas, mencionando sus propiedades anteriormente como material filtrante se opta por utilizar entre capas siendo este una capa más de material filtrante en el modelo de captación de agua lluvia. (COVAL, 2017).

2.5 FALSO FONDO

El fondo del modelo está conformado por una canastilla tipo Aquacell de PAVCO la cual brinda estabilidad al modelo, distribuyendo las cargas que generan las capas de material filtrante, esta estructura soporta 56000 kg/m^2 (Manual técnico Aquacell) la cual soporta una capacidad superior a la que le puede generar el modelo. (PAVCO, 2014)

Va a servir también como una especie de tanque de almacenamiento donde se pueden sedimentar algunos sólidos suspendidos que se puedan presentar, pues el orificio de salida del agua recolectada está ubicado a una altura de 0.10 m del fondo.

2.6 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Se utilizó como tanque de almacenamiento una caneca plástica azul, de una capacidad de 55 litros, se adoptó este recipiente pequeño el cual no va almacenar gran cantidad de agua debido a que solo se tomaron los datos del agua recolectada cada 24 horas y se toma una muestra, desechando el agua restante.

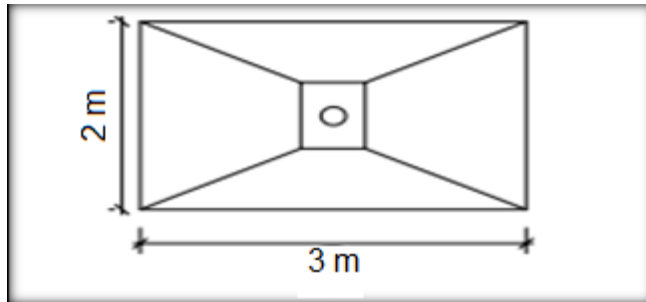
En el trabajo presentado, se determinaron las cantidades de materiales y características de los mismos, al igual realizar esto en condiciones más favorables para poder llevar a cabo la modelación, para así lograr esta tarea a satisfacción, fue primordial escoger el lugar de su ubicación donde tomar las muestras y sus cantidades, para su análisis correspondiente.

3. DATOS OBTENIDOS SOBRE LA CAPTACIÓN

3.1 ÁREA DE RECOLECCIÓN DEL AGUA LLUVIA (MODELO)

El área de captación del agua lluvia la podemos obtener con la siguiente ecuación.

Figura 9. Plano planta área de tolva de recolección.



Fuente:(Autores).

Ecuación 4. Área de captación (Modelo).

$$A = a * b$$

$$A = 2 \text{ m} * 3 \text{ m} = 6 \text{ m}^2$$

Donde,

A= Área de captación, en m^2 a = Ancho de la edificación, en m

b = Largo de la edificación, en m.

Tabla 5. Datos de captación por el modelo en litros y duración en minutos.

DIA	DURACIÓN MINUTOS (m)	CAPTACIÓN EN LITROS (lt)
1		
2	180	82
3	90	48
4		
5		

6		
7		
8	95	49
9	42	24,5
10		
11		
12	50	32
13	45	26,4
14		
15		
16	4	1,5
17	20	12
18		
19		
20		
21	3	0,8
22		
23	65	40
24	21	16
25		
26		
27		
28	14	9
29		
30		
	Total Litros	341,2

Fuente: (Autores)

3.1.1 VOLUMEN CAPTADO DURANTE EL MES EN m³

Ecuación 5 volumen captado mes

$$V = 341.2 \text{ lt} * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \right) = 0.34 \text{ m}^3$$

4. COMPARATIVO PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Bajo la consideración de conocer el tipo de agua a recolectar se genera una comparación entre el agua lluvia, se realizan las mediciones de estas características físicas y químicas a través de un análisis de muestras tomadas, antes de entrar al modelo y a la salida del modelo, las características medidas son las siguientes: Determinación del pH, Turbiedad, Color aparente, Sólidos en suspensión, Olor y Sabor, Oxígeno y Conductividad.

De acuerdo con la resolución 2115 de 2007 se realiza una comparación de sus propiedades físicas con una muestra captada antes y después del filtro, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 6. Comparación características físicas y químicas antes y después del filtro.

Características Físicas	Agua potable	Agua pluvial captada antes del filtro	Agua pluvial captada después del filtro
	Valor Máximo Aceptable		
Color aparente	15	12	10
Olor y Sabor	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	2	7,47	7,81
pH	6.5 a 9.0	5,33	5,57
Sólidos en suspensión	100	116	111
Oxígeno	3 ml/lt.	2,7	2,7
Conductividad	250	217	208

Fuente: (Autores).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la comparación (véase la Tabla.13), se aprecia que, realizada una filtración se da una mejora a las características físicas del agua recolectada, sabiendo también que en la zona donde se encuentra el modelo se presentan precipitaciones las cuales traen con sígo contaminantes del aire.

De acuerdo a estos resultados obtenidos podemos dar el uso de esta agua, para la descarga de inodoros y servicios generales como el aseo de las instalaciones sin presentar ningún inconveniente.

4.1 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN REQUERIDO PARA EL ABASTECIMIENTO.

Edificio de 5 pisos, bloque R sede el claustro de la universidad católica de Colombia, cuenta con dos (2) laboratorios en promedio por piso.

Tabla 7. Población bloque R.

PISOS	NUMERO DE LABORATORIOS	ALUMNOS (alms. /lab.)	OCUPACIÓN POR PISO %	POBLACIÓN
Piso 1	2	30	50%	30
Piso 2	2	30	50%	30
Piso 3	2	30	50%	30
Piso 4	3	20	50%	30
Piso 5	3	20	50%	30
TOTAL	12	100		150

Fuente: (Autores).

La población total para las dos jornadas (diurna-nocturna) presentes en la Universidad son:

Ecuación 6 población total diaria dos jornadas

$$Pt = (2 \text{ jornada} * 150 \text{ Alumn}) = 300 \text{ Alumn/jornd}$$

Consumo de agua: 25 L/alumno/jornada (RAS título B numeral 2.5.3.5).

Ecuación 7. Volumen demandado

$$V = 25 \frac{l}{\frac{\text{Alum}}{\text{jornada}}} * 300 \frac{\text{Alum}}{\text{jornada}} = 7.500 \text{ litros}$$

Volumen de diseño en m³ diario

$$Vd = 7.500 \text{ lt} * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \right) = 7.5 \text{ m}^3$$

El agua lluvia captada según sus características se utilizará para la descarga de sanitarios y servicios generales como aseo en las instalaciones, se asume que, del volumen total de diseño, solo un porcentaje del 40 % de este se empleará para los usos mencionados.

Demanda diaria usada para descargas de inodoros y servicios generales.

$$D = 7.5 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 0.4 = 3 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

Demanda mensual usada para descargas de inodoros y servicios generales.

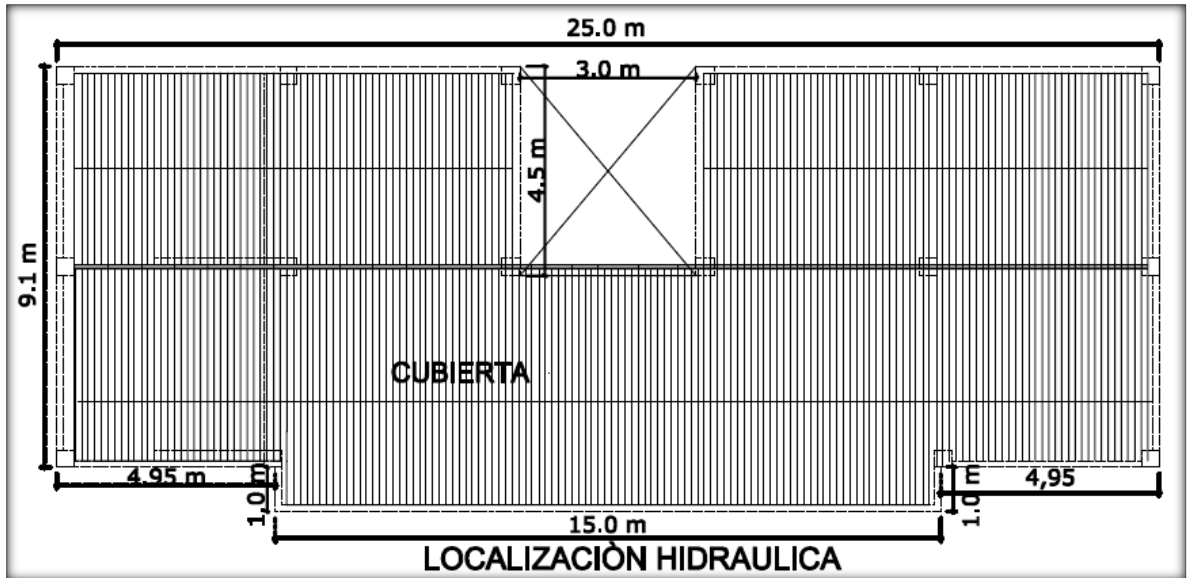
$$D = 3 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 26 \text{ dia} = 78 \text{ m}^3$$

Se determina el mes de 30 días restando los 4 días que no se utiliza las instalaciones de la Universidad, por consiguiente, los días de demanda de agua serán 26, según esto se calcula que la demanda mensual de agua para este tipo de uso es de 78 m³.

4.2 ÁREA DE RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA PROYECTADA (EDIFICIO)

Considerando que este resultado se obtiene a través del área de captación del modelo, que se estima pequeña con relación al área de la cubierta del edificio, proyectando esta recolección para el área real del edificio podemos obtener una captación mayor para el uso determinado.

Figura 10. Bosquejo de área cubierta edificio bloque R sede el claustro de la universidad católica de Colombia.



Fuente:(Autores).

Área cubierta edificio.

$$A1 = 24,7 \text{ m} * 8,8 \text{ m} = 217,4 \text{ m}^2$$

$$A2 = 14,8 \text{ m} * 1,0 \text{ m} = 14,8 \text{ m}^2$$

$$A3 = 3,0 \text{ m} * 4,5 \text{ m} = 13,5 \text{ m}^2$$

$$ATotal = (A1 + A2) - A3$$

$$ATotal = (217,4 \text{ m} + 14,8 \text{ m}) - 13,5 \text{ m} = 218,7 \text{ m}^2$$

$$At = 218,7 \text{ m}^2$$

Proyección del Volumen a captar por el área de la cubierta del boque R.

Relación, para la tolva con un área de 6 m^2 recolecta mensualmente un volumen de 0.34 m^3 , bajo estos resultados se puede estimar el volumen que capta el área de la cubierta de $218,7 \text{ m}^2$ del bloque R:

$$\frac{6 \text{ m}^2}{218,7 \text{ m}^2} = \frac{0.34 \text{ m}^3}{V_p}$$

$$V_p = 12.3 \text{ m}^3$$

4.3 VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO (VI)

Para conocer el volumen total necesario de almacenamiento se debe encontrar la diferencia entre la oferta acumulada y la demanda acumulada para cada mes, de ésta manera el mayor valor obtenido de esta diferencia será el volumen del tanque a usar.

Si se presentara el caso en que las diferencias dan valores negativos, quiere decir que las áreas de captación no son lo suficientes para satisfacer la demanda de agua.

Ecuación 8 volumen de almacenamiento al mes

$$V_i = A_{ai} - D_{ai}$$

$$V_i = 12.3 \text{ m}^3 - 78 \text{ m}^3 = -65.6 \text{ m}^3$$

Dónde:

V_i : volumen de almacenamiento del mes (m3)

A_{ai} : oferta acumulada al mes (m3)

D_{ai} : demanda acumulada al mes (m3)

Como se puede apreciar el área de captación del bloque R es muy pequeña para suplir la demanda total por la descarga de inodoros.

4.4 POTENCIAL DE AHORRO DE AGUA POTABLE

El potencial de ahorro de agua potable es un coeficiente con el cual se obtiene qué cantidad de agua potable no se implementara en otros usos diferentes a consumo y como su nombre lo indica que ahorro se genera en el uso de la misma.

Se determina mediante la relación entre el volumen de agua lluvia posible que puede ser recolectada y la demanda de agua existente, en un mes, como se expresa en la siguiente ecuación: (GHISI, y otros, 2007)

Ecuación 9. Potencial de Ahorro de Agua Potable

$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD}$$

$$PPWS = 100 * \frac{12.3 \text{ m}^3}{78 \text{ m}^3} = 15.8 \%$$

Dónde:

PPWS: Potencial de Ahorro de Agua Potable (por sus siglas en inglés) (%)

VR ó Ai: Volumen mensual de agua lluvia que puede ser recolectado (m³ /mes)

PWD ó Di: Demanda mensual de agua potable (m³ /mes).

Para ser coherentes con la metodología propuesta por él (UNATSABAR, 2003), la cual contempla la acumulación del agua en el tanque de almacenamiento, de acuerdo a su consumo, el potencial se debe determinar con los volúmenes acumulados.

Calculo de la necesidad de almacenamiento

Dimensiones de tanque

Longitud L = 2 m, Ancho = 1.5 m, Altura = 1,2 m

Ecuación 10. Volumen del tanque de almacenamiento.

Volumen = L * A * h

$$V = 2 \text{ m} * 1.5 \text{ m} * 1,2 \text{ m} = 3,6 \text{ m}^3$$

5. RUTA CRÍTICA

Con el fin de determinar la demanda real de agua a proporcionar para la descarga de aparatos sanitarios, se calcula la ruta crítica basada en el sistema existente obteniendo presiones, caudales y diámetros a suministrar para un buen funcionamiento. Para la elaboración de este cálculo se optó por emplear dos métodos (véase en los Anexos), con recorrido secuencial en el orden 1-2-3-4-5-6-7-8.

Uno (1), es el inicio de la ruta crítica e indica el aparato crítico para cada batería de baños, este se toma como el último sanitario del sistema el cual se pretende suministrar.

Dos (2), es un instante antes de suministrar el segundo sanitario, por el cual podemos calcular el primer tramo de la ruta crítica.

Tres (3), es un instante antes de cambiar de sentido de distribución de horizontal a vertical y con lleva consigo las presiones y caudales a suministrar por batería de baños.

Cuatro (4), este es el punto nos da el inicio de las presiones a suministrar, el suministra la altura en la cual debe estar la lámina de agua en el almacenamiento para que cumpla con un sistema por gravedad y debe conducirse la totalidad de agua para suministrar todos los baños del edificio.

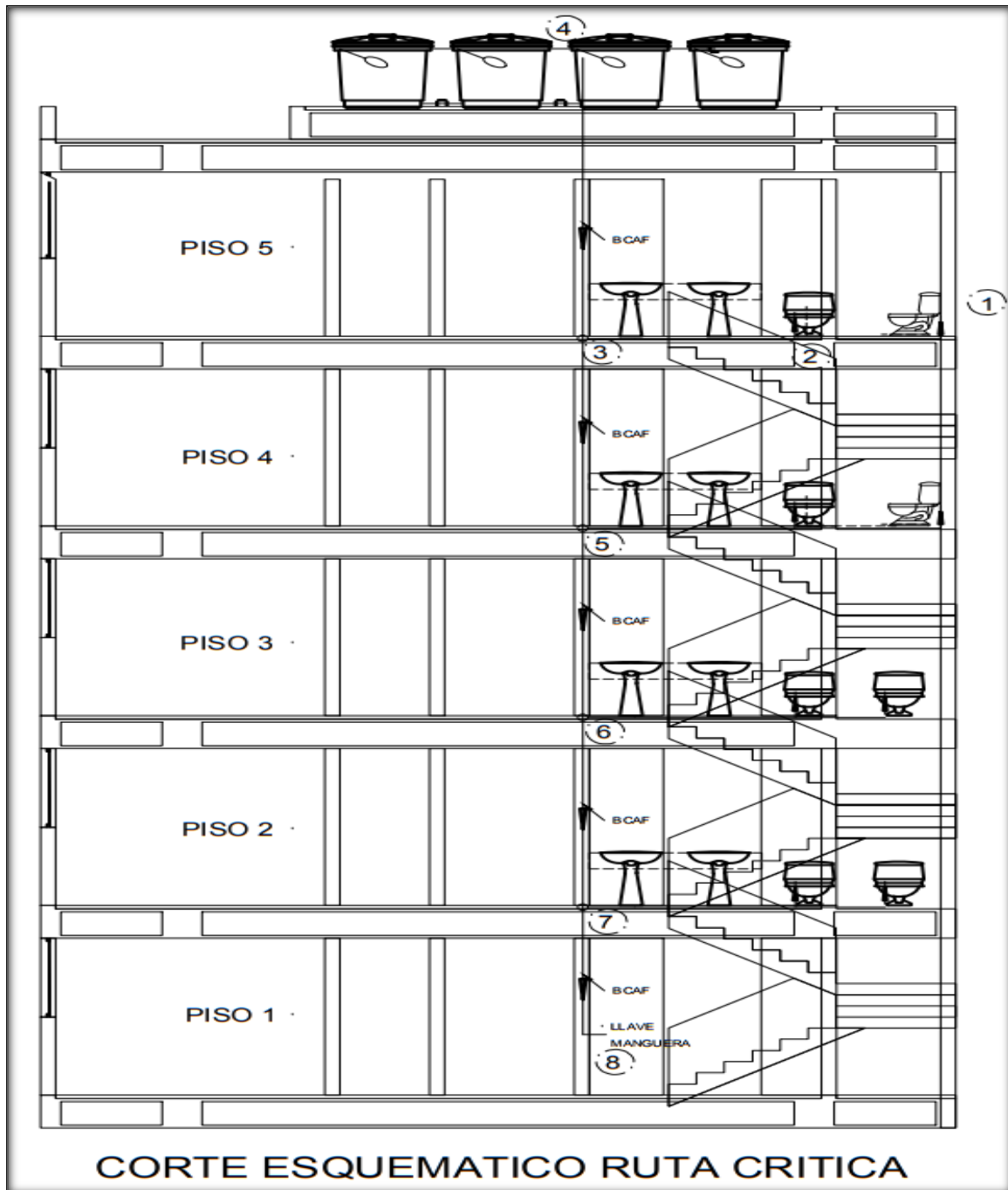
Cinco (5), es el inicio del suministro de baterías piso a piso, este tramo nos suministra el diámetro más grande a utilizar en el sistema para la distribución.

Seis (6), suministra presiones y caudales de servicio en piso.

Siete (7), al igual que en seis (6) suministra presiones y caudales de servicio en piso.

Ocho (8), es el punto más alejado de la ruta crítica, para un sistema por gravedad, y nos proporciona la presión real de servicio de nuestra distribución, este es el aparato crítico de todo el sistema. Para una mejor comprensión de la secuencia (véase la Figura 11).

Figura 11. Recorrido ruta crítica



Fuente: (Autores).

Tabla 8. Comprende la ruta crítica entre el tramo 1 – 2.

El cual va del primer sanitario de fluxómetro (aparato crítico por batería de baños), hasta justo un instante antes de llegar al segundo sanitario

1	Tramo 1 – 2.	
2	Unidades Acumuladas	3
3	Unidades totales	3
4	Caudal	0,19 l/s
5	Velocidad	0,67 m/s
6	Perdida hv	0,02 m
7	Coeficiente C	0,0001
8	Perdida j	0,028 m/m
9	Diámetro θ	$\frac{3}{4}$ "
10	Longitud horizontal	2,35 m
11	Longitud vertical	2,4 m
12	Accesorios Acc	1,17 m
	3 codo 90° r.m. Pvc $\frac{3}{4}$ "	$3 \times 0,39 = (1,17 \text{ m} / 1,17 \text{ m})$
13	Longitud total L	$2,35 + 2,4 + 1,17 = 5,92 \text{ m}$
14	Perdida J	$L \times j = 5,92 \times 0,028 = 0,17 \text{ m}$
15	Presión final punto 2	$2,4 + 0,02 + 0,17 = 2,59 \text{ m.c.a.}$

Fuente: (Autores).

Todos estos valores se llevan a tabla de cálculo (véase en los Anexos).

Tabla 9. Comprende la ruta crítica entre el tramo 2 – 3.

Este tramo ya contiene los dos sanitarios de fluxómetros y da la estimación del abastecimiento de baterías de baños piso tipo, y llega justo un instante antes de cambiar de dirección.

16	Tramo 2 – 3.	
17	Unidades Acumuladas	3
18	Unidades totales	6

19	Caudal	0,32 l/s
20	Velocidad	1,12 m/s
21	Perdida hv	0,06 m
22	Coeficiente C	0,0001
23	Perdida j	0,069 m/m
24	Diámetro □	¾"
25	Longitud horizontal	3,45 m
26	Longitud vertical	0,6 m
27	Accesorios Acc	2,36 m
	5 codo 90° r.m. Pvc ¾"	5 x 0,39 = 1,95m
	1 tee PD. Pvc ¾"	1 x 0,29 = 0,29m
	1 válvula comp. Abierta cu ¾	1 x 0,12 = (0,12m/2,36m)
28	Longitud total L	1. 3,45 + 0,6 + 2,36 = 6,41m
29	Perdida J	L X j = 6,41 x 0,069 = 0,44m
30	Presión final punto 3	2,59 + 0,06 + 0,44 – 0,3 = 2,79m.c.a

Fuente:(Autores)

Por el tramo 3 – 4 debe conducirse la totalidad de agua para suministrar los baños del edificio.

Solo en el piso 5 los sanitarios son de tanque en el resto de pisos son sanitarios y orinal de fluxómetro, lo cual será: $6 + (3 \times 12) = 42$ unid.

Tabla 10. Comprende la ruta crítica entre el tramo 3 – 4.

Este tramo conlleva a la estimación del caudal total a suministrar y el diámetro más grande a usar, genera la red principal, llega al punto más alto de la distribución justo un instante antes de cambiar de dirección vertical.

31	Tramo 3 – 4	
32	Unidades Acumuladas	6
33	Unidades totales	42
34	Caudal	1,77 l/s

35	Velocidad	1,55 m/s
36	Perdida hv	0,12 m
37	Coeficiente C	0,0001
38	Perdida j	0,051 m/m
39	Diámetro θ	1 1/2"
40	Longitud horizontal	6,0 m
41	Longitud vertical $V = P3 + hv + \frac{j (Acc)}{1 - j}$ $V = 2,79 + 0,12 + \frac{0,051(6 + 2,56)}{1 - 0,051} = 3,52 \text{ m}$	3,52 m
42	Accesorios Acc	2,56 m
	1 reducción Pvc 1 1/2" x 3/4"	1 x 0,16 = 0,16m
	1 tee PDL. Pvc 1 1/2"	1 x 1,79 = 1,79m
	1 entrada normal Pvc 1 1/2"	1 x 0,40 = 0,40m
	1 válvula comp. Abierta cu1 1/2"	1 x 0,21 = (0,21m/2,56m)
43	Longitud total L	1. 6,0 + 3,52 + 2,56 = 12,08m
44	Perdida J	L X j = 12,08 x 0,051 = 0,62m
45	Presión final punto 4	2,79 + 0,12 + 0,62 - 3,52 = 0,0m.c.a

Fuente: (Autores).

Lo anterior quiere decir que cuando el espejo de agua del tanque elevado se encuentra en el mismo nivel de salida, en ese punto la presión es 0,0 m.c.a. Ya que por ser el punto más alto en el sistema de gravedad y por compensación manométrica se generara este resultado.

Por el tramo 3 - 5 se puede trabajar con 38 unidades para conservar el diámetro en el tramo superior y así disminuir las perdidas.

Tabla 11. Comprende la ruta crítica entre el tramo 3 – 5.

Este tramo comprende el descenso de los caudales a suministrar piso a piso, llega justo un instante antes de suministrar el piso inferior.

46	Tramo 3 – 5.	
47	Unidades Acumuladas	38
48	Unidades totales	38
49	Caudal	1,51 l/s
50	Velocidad	1,33 m/s
51	Perdida hv	0,09 m
52	Coeficiente C	0,0001
53	Perdida j	0,039 m/m
54	Diámetro θ	1 ½”
55	Longitud horizontal	0,0 m
56	Longitud vertical	1,79 m
57	Accesorios Acc	2,34 m
	1 tee PDL. Pvc 1 ½”	1 x 1,79 = 1,79m
	1 tee PD. Pvc 1 ½”	1 x 0,55 = (0,55m/2,34)
58	Longitud total L	2,8 + 2,34 = 5,14m
59	Perdida J	L X j = 5,14 x 0,039 = 0,20m
60	Presión final punto 5	2,79 - 0,09 – 0,20 + 2,8 = 5,30 m.c.a

Fuente: (Autores).

Tabla 12. Comprende la ruta crítica entre el tramo 5 – 6.

Al igual que el anterior este tramo comprende el descenso de los caudales a suministrar piso a piso, llega justo un instante antes de suministrar el piso inferior.

61	Tramo 5 – 6	
62	Unidades Acumuladas	27
63	Unidades totales	27
64	Caudal	1,14 l/s

65	Velocidad	1,43 m/s
66	Perdida hv	0,10 m
67	Coeficiente C	0,0001
68	Perdida j	0,056 m/m
69	Diámetro θ	1 ¼"
70	Longitud horizontal	0,0 m
71	Longitud vertical	2,8 m
72	Accesorios Acc	1,70 m
	1 tee PDL. Pvc 1 ¼"	1 x 1,54 = 1,54m
	1 reducción Pvc 1 ½" x 1 ¼"	1 x 0,16 = (0,16m/1,70m)
73	Longitud total L	2,8 + 1,70 = 4,5m
74	Perdida J	L X j = 4,5 x 0,056 = 0,25m
75	Presión final punto 6	5,30 - 0,10 - 0,25 + 2,8 = 7,75 m.c.a

Fuente:(Autores).

Tabla 13. Comprende la ruta crítica entre el tramo 6 – 7.

Al igual que el anterior este tramo comprende el descenso de los caudales a suministrar piso a piso, llega justo un instante antes de suministrar el piso inferior.

61	Tramo 6 – 7	
62	Unidades Acumuladas	16
63	Unidades totales	16
64	Caudal	0,76 l/s
65	Velocidad	0,96 m/s
66	Perdida hv	0,05 m
67	Coeficiente C	0,0001
68	Perdida j	0,028 m/m
69	Diámetro θ	1 ¼"
70	Longitud horizontal	0,0 m

71	Longitud vertical	2,8 m
72	Accesorios Acc	2,15 m
73	Longitud total L	$2,8 + 2,15 = 4,95\text{m}$
74	Perdida J	$L \times j = 4,95 \times 0,028 = 0,14\text{m}$
75	Presión final punto 6	$7,75 - 0,05 - 0,14 + 2,8 = 10,36 \text{ m.c.a}$

Fuente:(Autores)

Tabla 14. Comprende la ruta crítica entre el tramo 7 – 8.

Este tramo lleva al último aparato a suministrar el cual es una llave manguera para servicios generales, debe cumplir con la presión de servicio.

61	Tramo 7 – 8	
62	Unidades Acumuladas	3
63	Unidades totales	3
64	Caudal	0,19 l/s
65	Velocidad	1,5 m/s
66	Perdida hv	0,11 m
67	Coeficiente C	0,0001
68	Perdida j	0,191 m/m
69	Diámetro θ	1/2"
70	Longitud horizontal	3,10 m
71	Longitud vertical	2,5 m
72	Accesorios Acc	0,5 m
73	Longitud total L	$3,1+2,5 + 0,5 = 6,1\text{m}$
74	Perdida J	$L \times j = 6,1 \times 0,191 = 1,17\text{m}$
75	Presión final punto 6	$10,36 - 0,11 - 1,17 + 2,5 = 11,58 \text{ m.c.a}$

Fuente:(Autores).

Los datos obtenidos para la distribución del sistema por gravedad, generan una presión de servicio para cada uno de los puntos y aparatos a suministrar de 11.58 m.c.a. Lo que se puede aproximar a un valor de 12 m.c.a. Arrojando diámetros en la red principal de 1 1/2" el diámetro mayor, para dicha distribución, las velocidades

del sistema no superan la velocidad reglamentaria de 2,5 m/s, lo cual genera un excelente funcionamiento al emplear este sistema para la descarga de aparatos sanitarios y lavado de zonas comunes.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a la situación presentada, se puede demostrar que el uso y aprovechamiento de aguas lluvias se está convirtiendo en una gran alternativa no común, que permite reducir el impacto causado en las fuentes de abastecimiento convencionales.

A partir de esto se concluye que el modelo creado de recolección y filtrado de agua lluvia, brinda una solución sostenible para la construcción, además está proporcionando agua de una calidad aceptable según la resolución 2115 de 2007 para ser utilizadas en algunas actividades como lo son la descargas de los inodoros y servicios generales como lo son el aseo de las instalaciones, excepto el uso como consumo humano.

El filtro genera una mejora en algunas de las características del agua con las que llegan al modelo, comprobando que se está logrando hacer una retención de contaminantes atmosféricos los cuales son agentes externos a la composición de la misma, según los resultados obtenidos se aprecia que el filtro diseñado si está cumpliendo con el propósito de mejorar algunas propiedades físicas y químicas como lo son el color aparente, olor y sabor, turbiedad, pH, sólidos en suspensión, oxígeno y conductividad.

En cuanto a la recolección no se está obteniendo el volumen total demandado para el uso determinado, esto se debe a que el área de recolección (cubierta bloque R) es pequeña en consideración para suplir la necesidad requerida, no obstante, se obtiene un potencial de ahorro de un porcentaje del 15.8 % de los 78 m³ consumidos en un mes en estas actividades.

Con respecto al comportamiento hidráulico del sistema de distribución por gravedad, se aprecia que este sistema es viable, se puede emplear ya que no solo cumple, si no que sobrepasa las presiones mínimas de servicio para los aparatos sanitarios a suministrar, en este caso sanitarios. A su vez se aprecia que al realizar una comparación contra otros sistemas de distribución, es el sistema más económico en funcionamiento ya que trabaja bajo la fuerza de gravedad y no bajo fuerzas de impulsión, generadas por equipos mecánicos los cuales conllevan a más costos para entrar en funcionamiento.

Mediante el cálculo de la ruta crítica, La presión de servicio obtenida es de 12 m.c.a., la cual es suficiente y superior al valor necesario para abastecer este tipo de sanitarios de fluxómetro y aún más sanitarios de tanque, no obstante se puede presentar una ineficiencia en este tipo de sistema si se presenta una simultaneidad

de servicio, lo que quiere decir que en el instante en que todos los sanitarios lleguen hacer descargados al mismo tiempo puede generar una ineficiencia en las presiones de servicio de cada uno de los sanitarios, que para este caso son cuatro (4) sanitarios de fluxómetro y cuatro (4) sanitarios de tanque.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios o análisis detallados a la calidad del agua pluvial con el fin de afianzar la implementación de este proyecto y evaluar otros métodos en los cuales pueda ser aprovechada, además de los tratamientos necesarios establecidos en la normativa colombiana.

Es recomendable analizar el sistema con tanque elevado. Esto requiere un análisis estructural del edificio o zona donde se instalaría, además de un nuevo sistema de trazado.

Se recomienda verificar los tiempos de operación del tanque para un suministro constante en función de la lluvia que encontrada en el sector de chapinero.

Para proyectos futuros basados en este mismo filtro se recomienda hacer ensayos y procedimientos de potabilización para tener usos más complejos del agua lluvia recolectada, esto permitiendo dar una segunda oportunidad a las fuentes hídricas sobre explotadas.

BIBLIOGRAFIA

ABUDALLA, F.A. and Al-Shareef, A. 2006. Assessment of rainwater roof harvesting systems for. [book auth.] F.A. and Al-Shareef, A Abdulla. Assessment of rainwater roof harvesting systems for. 2006.

AMBIENTE, EL CODIGO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES Y RENOVABLES Y DE PROTECCION DEL MEDIO. 1974. ALCALDIA BOGOTA . <http://www.alcaldiabogota.gov.co>. [Online] 12 18, 1974. [Cited: 04 05, 2017.] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>.

ARANGO ESCOBAR, Nathalie and FLÓRES CARDONA, Juliana. 2012. Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zonas rurales de difícil acceso con ausencia o deficiencia del recurso. CALI : s.n., 2012.

BALEASR, GOVERN ILLES. caib.es. caib.es. [Online] [Cited: 03 13, 2017.] <http://www.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?mkey=M0808011112185729323&lang=ES&cont=6442>.

BALLEN SUÁREZ, José Alejandro and GALARZA G., Miguel Ángel y ORTIZ MOSQUERA,Rafael Orlando. 2006. HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA. João Pessoa-BRASIL : s.n., 2006.

BENAVIDES G, David Leonardo and CASTRO MOLANO, Mildred Yohana y VIZCAÍNO CAGÜEÑO,Hernan Mauricio. 2006. OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO POR GRAVEDAD DEL MUNICIPIO DE TIMANÁ (HUILA). TIMANÁ : s.n., 2006.

CARBOTECNIA. 2016. www.carbotecnia.info. www.carbotecnia.info. [Online] 2016. [Cited: 08 25, 2017.] <https://www.carbotecnia.info/producto/antracita/>.

CASTAÑEDA PALACIO, Natalia. 2010. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA AUXILIADORA DE CALDAS, ANTIOQUIA. MEDELLIN : s.n., 2010.

CASTAÑO, SÁNCHEZ Ana Mará. 2010. SISTEMA DE FILTRACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS. PEREIRA : s.n., 2010.

CASTELLANOS RINCÓN, Leidy Johana and GARCÍA PARRA, Camilo Andrés. 2015. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO AGUAS LLUVIAS EN CASA MULTIFAMILIAR

PARA USO DOMÉSTICO EN EL BARRIO CONSUELO LOCALIDAD DE RAFAEL URIBE URIBE . Bogota : s.n., 2015.

COLLET, Arg Laura. 2015. www.player.slideplayer.es. www.player.slideplayer.es. [Online] 2015. [Cited: 10 02, 2017.] <http://slideplayer.es/slide/2980682/>.

Congreso, de la Republica. 1994. alcaldiabogota. alcaldiabogota. [Online] 07 11, 1994. [Cited: 09 03, 2017.] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>.

Consejo, Superior de la Judicatura Sala Administrativa. 1991. www.corteconstitucional.gov.co. CORTE CONSTITUCIONAL. [Online] 1991. [Cited: 04 11, 2017.] <http://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20politica%20de%20Colombia%20-%202015.pdf>.

COVAL. 2017. www.coval.com.co. www.coval.com.co. [Online] 01 2017. [Cited: 09 2017, 20.] https://www.coval.com.co/pdfs/listasprecios/ult_gerfor_geosistemas.pdf.

ecologistasenacción. 2006. <http://www.ecologistasenaccion.org>. <http://www.ecologistasenaccion.org>. [Online] 08 2006. [Cited: 10 20, 2017.] <http://www.ecologistasenaccion.org/spip.php?article5681>.

ECOSIGLOS. 2010. <http://www.ecosiglos.com/>. <http://www.ecosiglos.com/>. [Online] COPYRIGHT, 10 05, 2010. [Cited: 09 09, 2017.] <http://www.ecosiglos.com/2010/10/una-introduccion-la-captacion-de-agua.html>.

EditorIngCivil. 2012. ingenieriacivil.tutorialesaldia. ingenieriacivil.tutorialesaldia. [Online] 2012. [Cited: 09 10, 2017.] <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/principios-de-la-hidraulica-que-necesitas-conocer-las-perdidas-de-energia-%E2%80%93-parte-i-perdidas-por-friccion/>.

El Congreso, de Colombia. 1997. <http://www.alcaldiabogota.gov.co>. LEY 373 DE 1997. [Online] 06 06, 1997. [Cited: 04 05, 2017.] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=342>.

ESTUPIÑAN PERDOMO, Jorge Luis and ZAPATA, Héctor Ovidio. 2010. Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Trabajo de Grado. BOGOTA : s.n., 2010.

GARCÍA, VELÁZQUEZ Hiram Jesús. 2012. TESIS. SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO PLUVIAL PARA UN ECOBARRIO DE LA CD. DE MÉXICO. DF MEXICO : s.n., 2012.

GHISI, E and BERSSAN, D y Martini, M. 2007. Rainwater tank capacity and potential for. [book auth.] E., Bressan, D., and Martini, M. Ghisi. Rainwater tank capacity and potential for. BRAZIL : s.n., 2007.

GOOGLE MAPS, GOOGLE. 2017. GOOGLE MAPS. GOOGLE MAPS. [Online] GOOGLE, 2017. [Cited: 03 10, 2017.]

GREENPEACE. 2015. www.greenpeace.org. GREENPEACE. [Online] MARZO 23, 2015. [Cited: AGOSTO 18, 2017.]
<http://www.greenpeace.org/colombia/es/campanas/contaminacion/agua/>.

IDEAM. 2000. Estudio Nacional del agua. Colombia : Instituto de hidrología meteorológica y estudios ambientales, 2000.

ILDÁRRAGA PÁEZ, Ernesto Alonso. 2014. unimilitar. unimilitar. [Online] 2014. [Cited: 10 03, 2017.]
<http://repository.unimilitar.edu.co:8080/bitstream/10654/11037/1/Ernesto%20Id%C3%A1rraga.pdf>.

IRENA. 2007. EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO MALA. <https://www.yumpu.com>. [Online] 04 2007. [Cited: 03 12, 2017.]
<https://www.yumpu.com/es/document/view/16321043/evaluacion-de-los-recursos-hidricos-en-la-cuenca-del-rio-mala>.

JARAMILLO, Joaquín Albert Y ÁLVAREZ D., Erwin Antonio. 2012. Evaluación de las capacidades hidráulicas y de retención de contaminantes de un modelo de trinchera de retención construida con una canastilla en resinas de Polipropileno (Aquacell) acoplada con capa filtrante en geotextil y grava utilizada como componente. bogota : s.n., 2012.

LAURA RODRÍGUEZ NEGRETE, GUSTAVO RODRÍGUEZ JAQUES , ANDRÉS BRAVO SEPÚLVEDA. 2005. HIDROLOGÍA URBANA: UNA APROXIMACIÓN TRANSDICIPLINARIA. HACIA LA RE-ESTRUCTURACIÓN DE LAS CIUDADES HÍDRICAS. Valdivia : Sínt. tecnol., 2005. v.2 n.1.

LEÓN RESTREPO, María Antonia. 2014. ucentral. ucentral. [Online] 08 14, 2014. [Cited: 10 05, 2017.] <http://www.ucentral.edu.co/noticentral-uc/bogota-tiene-un-metabolismo-hidrico-insostenible>.

LOPEZ SANCHEZ. Postratamiento en escala piloto del lixiviado del relleno sanitario Antanas (Pasto-Nariño) por filtración-adsorción con arena, antracita y carbón activado. 2015. 10-15, Pasto : Revista de Ingeniería, 2015.

MICHELSEN, ALFONSO LOPEZ. 1978. ALCALDIA DE BOGOTA. www.alcaldiabogota.gov.co. [Online] 07 28, 1978. [Cited: 04 05, 2017.] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1250>.

MILIARIUM. 2008. miliarium.com ingeniería Civil y Medio Ambiente. miliarium.com ingeniería Civil y Medio Ambiente. [Online] 2008. [Cited: 04 14, 2017.] <http://www.miliarium.com/Software/>.

MONTES PACHECO, Margarita. 2008. sostenibilidad, Tecnología y humanismo. MEXICO : s.n., 2008. 3.

MURILLO, TORRES Oscar Mauricio. 2011. IDENTIFICACION DE LOS POSIBLES USOS DE AGUA LLUVIA Y ESCORRENTIA EN EL CAMPUS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA (BOGOTA). BOGOTA : s.n., 2011.

OLAIZ FERNANDEZ, GUSTAVO-Director General de Salud. 1994. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM127SSA11994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANOLIMITES Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION". MEXICO : s.n., 1994. NOM127SSA11994.

oocities. 2009. <http://www.oocities.org>. <http://www.oocities.org>. [Online] 10 2009. [Cited: 09 2017, 11.] <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>.

ORELLANA, Ing Jorge A. 2005. CONDUCCION DE LAS AGUAS. 2005. 7.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. **Wambeke, Jan Van. 2013.** BRASIL : FAO, 2013. 978-92-5-307580-5.

ORTIZ, Alicea Y QUIÑONES, Jose. 1985. AGUA SUBTERRANEA. Puerto : s.n., 1985. U.S. GEOLOGICAL SURVEY, WATER RESOURCES DIVISION, GPO BOX 4424, SAN.

OSUNA VARGAS, Marco Andrés. 2010. Construdata. Construdata. [Online] 06 24, 2010. [Cited: 10 05, 2017.] http://www.construdata.com/bancoconocimiento/R/reciclaje_hidrico_construccion/reciclaje_hidrico_construccion.asp.

PALOMERA, SEBASTIAN IGNACIO MAUREIRA. 2012. RESPUESTA CICLICA DE ARENA DE RELAVES EN UN AMPLIO RANGO DE PRESIONES . [TESIS] SANTIAGO DE CHILE : s.n., 2012.

PAVCO, AQUASISTEMAS. 2014. <https://pavco.com.co>. <https://pavco.com.co>. [Online] PAVCO, 09 2014. [Cited: 03 12, 2017.] <https://pavco.com.co/2/manejo-de-aguas-lluvia/4-21-216/i/216>.

PAVCO, FICHA TECNICA AQUACELL. 2014. www.PAVCO.com/Mexiichemt. www.PAVCO.com/Mexiichemt. [Online] 2014. [Cited: marzo 04, 2017.] 007856.

Proton y Chocat, Proton A, C. B. (2007). 2007. Long term behaviour of an infiltration trench. NOVATECH , 8. 2007.

QUIMINET. 2012. www.quiminet.com. www.quiminet.com. [Online] QuimiNet, 01 11, 2012. [Cited: Septiembre 12, 2017.] <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-aplicaciones-del-polietileno-de-baja-densidad-ldpe-2663472.htm>.

ROBAYO PARGA, Jose Luis and PÉREZ MARTÍNEZ, Rafael Eduardo. 2016. repository.ucatolica. repository.ucatolica. [Online] 2016. [Cited: 03 10, 2017 .] <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13903/4/AN%C3%81LISIS%20DE%20LA%20CAPTACI%C3%93N%20Y%20APROVECHAMIENTO%20DEL%20AGUA%20LLUVIA%20PARA%20UTILIZACI%C3%93N%20EN%20EL%20CAMPUS%20DE%20LA%20UNIVERSIDAD%20CAT%C3%93LICA%20DE%20CO~1.pdf>.

RODRÍGUEZ HERRERA, John Jairo and SUAREZ ORTEGA, lady Patricia. 2014. repository.ucatolica. repository.ucatolica. [Online] 2014. [Cited: 09 10, 2017.] [file:///C:/Users/ica/Downloads/Recolecci%C3%B3n_reutilizaci%C3%B3n_aguas_lluvias_VIS_Yomasa%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ica/Downloads/Recolecci%C3%B3n_reutilizaci%C3%B3n_aguas_lluvias_VIS_Yomasa%20(1).pdf).

RODRÍGUEZ NEGRETE, Laura and RODRÍGUEZ J. Gustavo y BRAVO, Andrés. 2005. HIDROLOGÍA URBANA: UNA APROXIMACIÓN TRANSDICIPLINARIA. HACIA LA RE-ESTRUCTURACIÓN DE LAS CIUDADES HÍDRICAS. Valdivia : Sínt. tecnol., 2005. v.2 n.1.

SANTA MENDEZ, A. L., & Quintero Ortíz, J. A. 2010. Trabajo de grado para obtener el de Ingenieros. Bogota D.C. : s.n., 2010. Pag. 383 a 394.

SHIKLOMANOV, Y RODDA. 2003. UNESCO. The United Nations World Water Development Report. [Online] 2003.

significados.com.<https://www.significados.com/poblacion/>.
<https://www.significados.com/poblacion/>. [Online] [Cited: 03 12, 2017.]

SILVA, A., Nilo, N., Martin, S., & Luciano, V. 2009. Infiltration and detention systems for. 2009. Pag. 10.

sostenibilidad, Tecnología y humanismo . **Montes, Margarita Pacheco. 2008.** 3, MEXICO : s.n., 2008.

Todoferreteria. 2017. <http://todoferreteria.com.mx/>. <http://todoferreteria.com.mx/>. [Online] BEST CONCEPT GROUP, 02 27, 2017. [Cited: 09 27, 2017.] <http://todoferreteria.com.mx/ventajas-de-las-tuberias-pvc-y-cpvc/>.

UNATSABAR, Especificaciones Tecnicas Captacion de Agua Lluvia para Consumo Humano. 2003. <http://www.bvsde.paho.org>. <http://www.bvsde.paho.org>. [Online] 2003. [Cited: 08 10, 2017.] http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/046_captacion_lluvia/Captacion_lluvia.pdf.

Unidas, Naciones. 2006. El agua, una responsabilidad compartida. s.l. : Confluencia, 2006.

URIBE CELIS, Monica Andres and AMAYA SIERRA, Juan Carlos. 2007. DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUAS LLUVIAS PARA. BOGOTA : s.n., 2007.

ANEXOS

ANEXO 1. TABLA DE CALCULO RUTA CRÍTICA METODO DARCY

TRAMO	UNIDADES	CAUDAL l/s	CAUDAL m ³ /s	DIAMETRO NÓMINAL	DIAMETRO INTERNO	VELOCIDAD m/s	Re	f	Lon(m)	Lon(equiv)	Longitud Total (m)	hf	Presión m.c.a.
1	2	3	0,19	0,00019	3/4"	0,02181	0,509	9730	0,0659	4,75	1,17	5,92	0,2359306
2	3	8	0,44	0,00044	3/4"	0,02181	1,178	22532	0,1496	4,05	2,36	6,41	3,1089153
3	4	12	0,57	0,00057	2"	0,05458	0,244	11664	0,1341	9,52	2,56	12,08	0,0898477
3	5	20	2,21	0,00221	2"	0,05458	0,945	45223	0,4973	2,8	2,34	5,14	2,1298863
5	6	24	2,37	0,00237	2"	0,05458	1,011	48424	0,5319	2,8	1,7	4,5	2,2866557
6	7	32	2,66	0,00266	2"	0,05458	1,136	54388	0,5963	2,8	2,15	4,95	3,5572224
7	8	38	2,87	0,00287	2"	0,05458	1,227	58729	0,6432	5,6	0,5	6,1	5,5131769

ANEXO 2. TABLA DE CÁLCULO RUTA CRÍTICA METODO FLAMANT

PUNTO TRAMO	UNIDADES		Q	V	h _v	C	j	φ	Longitud tubería en m				J	Presión
	Acum.	Total.	l/s	m/s	m	Fricción	m/m	Pulg.	Horiz.	Vert.	Acc.	Total	m	m.c.a.
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,,0
1. - 2.	3	3	0,19	0,67	0,02	0,0001	0,028	3/4"	2,35	2,4	1,17	5,92	0,17	2,59
2. - 3.	3	6	0,32	1,12	0,06	0,0001	0,069	3/4"	3,45	0,6	2,36	6,41	0,44	2,79
3. - 4.	6	42	1,77	1,55	0,12	0,0001	0,051	1 1/2"	6	3,5 2	2,56	12,08	0,62	0,00
3. - 5.	38	38	1,51	1,33	0,09	0,0001	0,039	1 1/2"	0	2,8	2,34	5,14	0,20	5,30
5. - 6.	27	27	1,14	1,43	0,1	0,0001	0,056	1 1/4"	0	2,8	1,7	4,5	0,25	7,75
6. - 7.	16	16	0,76	0,96	0,05	0,0001	0,028	1 1/4"	0	2,8	2,15	4,95	0,14	10,36
7. -8.	3	3	0,19	1,5	0,11	0,0001	0,191	1/2"	3,1	2,5	0,5	6,1	1,17	11,58