

MODELO DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCION Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIA; MASRALL

PAULA ANDREA CUERVO PULIDO



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

ARQUITECTURA

BOGOTA D.C

JUNIO DE 2020

**MODELO DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCION Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIA; MASRALL**

Paula Andrea Cuervo Pulido

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Arquitecta

Manuel Fernando Martínez forero

Arquitecto – Magister en construcción

Director de proyecto



Universidad La Gran Colombia

Facultad arquitectura

Arquitectura

Bogotá D.C

Agradecimientos

Agradezco a Dios sobre todas las cosas por permitirme llegar hasta este momento de mi vida y brindarme esperanza ante cada dificultad; De igual manera agradezco especialmente a mi madre por estar ahí en cada paso del camino brindándome su apoyo y confianza, demostrándome que pese a cualquier dificultad siempre estaría ahí para mí.

A los compañeros y amigos que forje a lo largo de la carrera les agradezco por hacer parte de mi vida fuera de las aulas y por brindarme su confianza.

Un gran agradecimiento a esos profesores que entienden la educación más allá de ser un “motor de ascenso social”, Profesores que luchan día a día contra el sistema para darle dignidad a su trabajo; en especial a mi director de tesis por la paciencia y acompañamiento brindado durante este año, y la confianza que me otorgó para hacer este proyecto.

Contenido

Contenido	4
Lista de Tablas.....	7
Lista de figuras	8
Resumen.....	11
Abstract.....	12
1 Introducción	13
2 Planteamiento del problema y Justificación	15
3 Objetivo	17
3.1 Objetivo General	17
3.2 Objetivos Específicos	17
4 Marco legal	18
5 Marco referencial	20
6 Marco técnico.....	24
6.1 Elementos del sistema de captación de aguas lluvia	24
6.2 Tipos de sistemas de captación	26
6.3 Tipologías de cubiertas.....	31
6.4 Cubiertas inclinadas.....	32
6.5 Canales y bajantes	41
6.5.1 Canaletas	41

6.5.2	Bajantes	43
6.6	Tipos de tratamientos de agua lluvia	44
6.6.1	Filtros	45
6.6.2	Desinfección	46
7	Desarrollo metodológico.....	48
7.1	Selección de sitio.....	49
7.1.1	Selección de estación pluviométrica	50
7.2	Porcentaje de escorrentía	51
7.3	Calculo de demanda de agua de la edificación	53
7.4	Análisis de caudal.....	56
7.5	Volumen del tanque de captación	58
7.6	Estrategias de uso racional del agua.....	59
8	Caso de estudio	63
8.1	Pluviometría de la zona	73
8.2	Planeación del sistema.....	84
8.2.1	Demanda de agua potable.....	84
8.2.2	Diseño y dimensionamiento del tanque de almacenaje.....	86
8.2.3	Redes presentes en la edificación	88
9	Diseño del sistema.....	93
9.1	Red de distribución de agua lluvia	94

9.2	Sistema de bombeo.....	97
9.3	Mantenimiento	99
10	Análisis Costo.....	100
11	Conclusiones y recomendaciones	102
11.1	Conclusiones	102
11.2	Recomendaciones.....	104
12	Lista de Referencia	105
13	Anexos.....	112

Lista de Tablas

Tabla 1 Leyes y normas sobre el manejo del agua	18
Tabla 2 Pendiente de cubiertas inclinadas	33
Tabla 3 Dosificación para cloración de agua.....	47
Tabla 4 Estaciones pluviométricas.....	50
Tabla 5 Coeficientes de esorrentía	52
Tabla 6 Evaluación del consumo	54
Tabla 7 Caudales instantáneos y diámetros para cada aparato sanitario.....	57
Tabla 8 Precipitación estación San Diego mensual y anual	78
Tabla 9 Relaciones estudiantes / Bloque i.....	85
Tabla 10 Pre dimensionamiento de tanque de almacenamiento	86
Tabla 11 Ventajas y desventajas de las redes	92
Tabla 12 Red general de aguas recicladas	96
Tabla 13 Caudal estimado de la edificación.....	97
Tabla 14 Equipo de bombeo bloque I	98
Tabla 15 Análisis de costos	101

Lista de figuras

<i>Figura 1</i> sistema de captación de agua lluvia.....	24
<i>Figura 2</i> Cisterna veneciana.....	27
<i>Figura 3</i> Aljibe alemán	28
<i>Figura 4</i> Aljibe americano	29
<i>Figura 5</i> Aljibe filtro superior	30
<i>Figura 6</i> Cubierta inclinada.....	32
<i>Figura 7</i> Cubierta a un agua.....	34
<i>Figura 8</i> Cubiertas a varias aguasl.....	35
<i>Figura 9</i> Caballete de cubierta8.....	35
<i>Figura 10</i> Limatesa y limahoya.....	36
<i>Figura 11</i> Cubierta plana.....	37
<i>Figura 12</i> Cubierta catalana o fría	38
<i>Figura 13</i> Cubierta Invertida	39
<i>Figura 14</i> Cubierta verde	39
<i>Figura 15</i> Cubierta metálica.....	40
<i>Figura 16</i> Placa Maciza	40
<i>Figura 17</i> Canales y bajantes	41
<i>Figura 18</i> Funcionamiento de canaletas	42
<i>Figura 19</i> Canaletas	42
<i>Figura 20</i> Funcionamiento de sistema de bajantes.....	43
<i>Figura 21</i> Filtros de agua lluvia	44
<i>Figura 22</i> Filtro de primeras aguas.....	45

<i>Figura 23</i> Maqueta del manual.....	48
<i>Figura 24</i> Baño seco	60
<i>Figura 25</i> Inodoro ahorrador	61
<i>Figura 26</i> Ficha técnica artefactos ahorradores.....	62
<i>Figura 27</i> Caso de estudio.....	63
<i>Figura 28</i> Universidad la gran Colombia, bloques sede central.....	64
<i>Figura 29</i> Bloque administrativo.....	65
<i>Figura 30</i> Plazoleta cubierta bloque I.....	67
<i>Figura 31</i> Sección baños bloque I	68
<i>Figura 32</i> Fotografía de estado actual de cubiertas bloque I	69
<i>Figura 33</i> Cubierta Bloque I	70
<i>Figura 34</i> Cubierta alabiada	71
<i>Figura 35</i> Fotografía de estado actual de cubiertas tipo membranas Bloque I	71
<i>Figura 36</i> Tipología de cubierta tensionada.....	72
<i>Figura 37</i> Precipitación anual Colombia	74
<i>Figura 38</i> precipitación Cundinamarca T	76
<i>Figura 39</i> Número de días con lluvia Bogotá.....	77
<i>Figura 40</i> Precipitación mensual Bogotá.....	79
<i>Figura 41</i> Comportamiento Anual Multianual de la Lluvia	81
<i>Figura 42</i> Promedio mensual de lluvias (estación San Diego)	82
<i>Figura 43</i> Días con lluvia estación san diego.....	83
<i>Figura 44</i> Consumo anual de agua potable	84
<i>Figura 45</i> Plano planta de área de recolección.....	87

<i>Figura 46</i> Red hidráulica existente	88
<i>Figura 47</i> Bajante presentes en la cubierta	89
<i>Figura 48</i> cajas de inspección	90
<i>Figura 49</i> Recorrido de red aérea	94
<i>Figura 50</i> Corte 3D de la instalación	95
<i>Figura 51</i> Conexión entre red hidrosanitaria y red pluvial	95
<i>Figura 52</i> Corte transversal Bloque I.....	97

Resumen

La demanda del recurso hídrico en la actualidad y los elevados costos de consumo que puede llegar a tener una institución educativa lleva a la idea de generar un aprovechamiento de agua lluvia como alternativa sostenible en el ámbito económico y ambiental.

Este proyecto presenta el diseño de un modelo de implementación de un sistema de recolección y aprovechamiento de agua lluvia en la Universidad La Gran Colombia (bloque I) de la sede centro de la ciudad de Bogotá, en el que debido a sus características físicas y necesidades se generó una red de recolección y aprovechamiento de agua lluvia alterna a la red de agua potable, que propende suplir las necesidades de usos no potables (descarga de inodoros y el mantenimiento de zonas comunes) teniendo en cuenta sus componentes principales: captación, tratamiento, almacenamiento y aprovechamiento; para ello se realizó un análisis de sistemas aplicables de recolección de agua lluvia que determinaron los aspectos a tener en cuenta para cualquier implementación.

A partir de lo anterior se presenta un análisis de factibilidad técnica y económica de dicho aprovechamiento en la institución que determinará cuál sería el costo aproximado de la inversión inicial y el tiempo estimado de retorno de dicha inversión, todo esto enmarcado en un presupuesto básico para la construcción e instalación del sistema junto con algunas recomendaciones para su replicabilidad.

Palabras claves:

Agua Lluvia, Cubierta, Sostenible, Ahorro, reutilización, captación, tratamiento de aguas, tanque de almacenamiento, red hidrosanitaria.

Abstract

The current demand for water resources and the high consumption costs that an educational institution can have leads to the idea of generating rainwater harvesting as a sustainable alternative in the economic and environmental field.

This project presents the design of a manual for the implementation of a rainwater collection and use system at the Universidad La Gran Colombia (block I) in the central headquarters of the city of Bogotá, where, due to its physical characteristics and needs, a rainwater collection and use network was generated as an alternative to the drinking water network, which tends to meet the needs of non-drinking uses (flushing toilets and maintenance of common areas), taking into account its main components: The network is intended to meet the needs of non-drinking water uses (flushing toilets and maintaining common areas), taking into account its main components: collection, treatment, storage and use.

Based on the above, an analysis of the technical and economic feasibility of such use in the institution is presented, which will determine the approximate cost of the initial investment and the estimated time of return on that investment, all of which is framed in a basic budget for the construction and installation of the system, along with some recommendations for its replicability.

Keywords:

Rainwater, Coverage, Sustainable, Saving, reuse, collection, water treatment, storage tank, water supply system.

1 Introducción

El presente proyecto tiene como finalidad realizar un análisis de modelos aplicables de recolección de agua lluvia y de esta manera ofrecer un solo documento metodológico que será una guía con criterios técnicos válidos que permitan determinar la viabilidad de aplicar un modelo de captación de agua lluvia a edificios preexistentes.

En primera instancia se realiza un análisis pluviométrico del lugar a evaluar como posible ubicación de la superficie de captación (caso de estudio), utilizando como herramienta principal la documentación nacional suministrada por El Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales [IDEAM] y el análisis provisto por el Sistema de Información Geográfica [SIG] de La Universidad La Gran Colombia [UGC].

Otra de las variables a considerar fue la demanda y consumo de agua potable que requiere una edificación preexistente, para así fijar los porcentajes de uso en distintas actividades y determinar cuáles de estas no requieren del uso esencial de agua potable (descarga de inodoros, orinales, lavado de pisos, aseo de baños y riego de plantas); de igual forma se generó un análisis del estado actual de la cubierta (pendiente, materialidad, bajantes y tipo de canal), instalaciones hidráulicas, sanitarias de desagües y estructurales de la edificación escogida; cada vertiente de un sistema de aprovechamientos de agua lluvia se caracteriza por regirse de unos mismos principios básicos entendidos como “la captación, tratamiento, almacenamiento y distribución” como lo ha indicado ya Galarza (2011)

Con base en lo anterior se realiza un estudio de probabilidades que contemple el porcentaje de inversión, tiempo estimado de retorno y vida útil de la implementación de un

sistema de recolección y aprovechamiento de aguas lluvia, todo esto en el marco del análisis expuesto de la infraestructura y redes presentes en el caso de estudio de la UGC¹.

Para determinar cuáles son las características físicas y necesidades específicas al momento de planificar la implementación de un sistema de recolección y aprovechamiento de agua lluvia en un edificio preexistente, que logre optimizar el agua captada y generar un flujo correcto de redes hidráulicas, se elabora un manual metodológico que sirva de guía sobre los aspectos técnicos que deben ser considerados al momento de implementar un sistema de recolección de agua lluvia para edificios PREEXISTENTES.

¹ Universidad La Gran Colombia sede centro Bogotá

2 Planteamiento del problema y Justificación

Actualmente es recurrente encontrar problemáticas relacionadas al estancamiento ocurrido por el acumulo de la abundante cantidad de agua lluvia y cómo esta es la causante de las inundaciones y desbordamientos en diferentes partes de la ciudad. Toda esta temática se encuentra fundamentada en que: 1) el sistema de alcantarillado no abarca de manera asertiva todas las zonas de afluencia del recurso hídrico y en muchas ocasiones no cuenta con el adecuado mantenimiento. 2) las edificaciones no cuentan con la infraestructura correcta para contrarrestar la frecuencia y duración de las lluvias.

Debido a este y otros problemas relacionados con el manejo del recurso hídrico se han creado metodologías de cómo construir edificaciones sostenibles que aprovechen el agua lluvia para diferentes actividades y mitiguen el impacto ambiental que posean las construcciones.

La ley 373 de 1997 define que cada edificación se encuentra en la obligación de contar ... con un programa de uso eficiente y ahorro de agua que deberá estar basado en el diagnóstico de la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua, y contener las metas anuales de reducción de pérdidas
(L. 373, art. 2 ,1997)

Lo que no se establece en esta ley (normativa), es si sus características corresponden igualmente a los aspectos requeridos para adecuar un programa de aprovechamiento de agua lluvia a un edificio preexistente, y por tanto no es claro cuáles son los aspectos generales y específicos para proceder al diseño de dicha implementación.

Según lo expuesto anteriormente, la pregunta problema que fundamenta el presente documento es: *¿Cómo adecuar un sistema de recolección de agua lluvia a la infraestructura de un edificio preexistente de carácter institucional?* Que minimice la demandada de consumo de agua potable en actividades que no lo requieran.

Según La Norma Técnica Colombiana - NTC 1500 (2017) se determinó que el promedio de consumo de agua por persona varía entre los 90 y 150 litros por día siendo utilizados en actividades como alimentación y aseo general.

Para entidades institucionales el consumo por persona es de 50 litros/ jornada diarios, entre lo que se destina al inodoro y al lavamanos utilizando únicamente agua potable, algunas de estas actividades no requieren el uso esencial de esta agua para su correcto funcionamiento, como es el caso de las descargas de los inodoros, limpieza general y el riego de vegetación, es por ello que se propone implementar el uso de aguas recicladas para suplir la demanda de consumo de dichas actividades generando un ahorro de agua potable y creando conciencia sobre tecnologías del aprovechamiento del recurso hídrico. Lo que se busca con este modelo es que pueda ser adaptado a infraestructuras preexistente con las características necesarias para la correcta captación de agua lluvia.

3 Objetivo

3.1 Objetivo General

- Diseñar un manual de gestión hídrica para establecimientos institucionales, que permita mediante la formulación de estrategias recolectar y aprovechar el agua lluvia para uso no potable, tomando como caso de estudio el bloque I de La Universidad La Gran Colombia sede centro, Bogotá.

3.2 Objetivos Específicos

- Comparar los diferentes sistemas de recolección de aguas lluvia y determinar su viabilidad.
- Describir y solucionar a nivel técnico los detalles de infraestructura y de diseño al momento de implementar un sistema de recolección de aguas lluvia en edificaciones ya construidas.
- Generar una simulación que determine la factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de recolección de aguas lluvia.
- Diseñar un manual que consolide los detalles técnicos para la implementación de sistemas de recolección de aguas lluvia.

4 Marco legal

En Colombia se cuenta con diferentes leyes y normas que regulan y establecen el uso del agua como recurso público, tocando temas como el uso racional y eficiente del agua, manejo de aguas pluviales y estándares en cuanto al uso de aguas lluvia en las edificaciones.

Tabla 1

Leyes y normas sobre el manejo del agua

<p><i>Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico</i></p> <p>RAS 2000. Sección II título D</p>	<p>Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales; “establece las condiciones requeridas para la concepción y desarrollo de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales.” (p.19)</p>
<p>Ley 373 de 1997, Art 1</p>	<p>Lo definió como “un conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego, drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico” (Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio, Decreto 673 De 2019 p.1)</p>
<p>Ley 373 de 1997, Art 2</p>	<p><i>Contenido del programa de uso eficiente y ahorro del agua.</i></p> <p>Que establece que toda edificación debería contar con un programa para el uso eficiente y ahorro de agua, que responda a la oferta y demanda del lugar</p>

Ley 373 de 1997, Art 5	<p><i>Reúso obligatorio del agua.</i></p> <p>Indica que la edificación debe contar con un programa que utilice ya sea las aguas de origen superficial, subterráneo o lluvias en actividades primarias o secundarias según el proceso técnico que lo requiera</p>
NTC-1500 Código Colombiano De Instalaciones Hidráulicas Y Sanitarias	<p>En este se establece a nivel técnico, los diferentes lineamientos para la instalación y adecuación de un sistema hidráulico.</p>
Sentencia T-717/10	<p>Toda persona tiene derecho fundamental prima facie a disponer y acceder a cantidades suficientes, y de calidad, de agua apta para el consumo humano/DERECHO AL AGUA POTABLE (...) (p.61)</p>

Nota: Adaptación de la jurisprudencia sobre el tema de manejo de aguas en Colombia

5 Marco referencial

La recolección y el almacenamiento del agua lluvia es una herramienta que se ha venido utilizando hace miles de años debido a sus generalidades básicas y a la importancia de las fuentes hídricas para el desarrollo de cualquier asentamiento, de manera que las primeras civilizaciones se establecieron en torno a una gran fuente de agua que era utilizada como transporte y abastecimiento; cuando las poblaciones comenzaron a crecer demográficamente se vieron obligadas a trasladarse a áreas áridas y semi áridas viéndose en la necesidad de comenzar a implementar nuevas formas de obtención del recurso hídrico, convirtiéndose así la captación de aguas lluvia en la alternativa más eficaz y sencilla para sobrellevar sus labores diarias, como lo fue en su momento el riego de cultivos. Caso específico del desierto de négev (Israel) según lo indica Mongil (2011) donde fueron descubiertos sistemas de recolección de agua lluvia de hace 4.000 años; estas instalaciones consistían en grandes laderas sin vegetación con un suelo mayormente liso que contribuía al escurrimiento superficial; a lo largo de la planicie fueron excavadas zanjas que seguían el patrón de las curvas de nivel y direccionaban el agua captada a los puntos de acople para el riego de los diferentes predios agrícolas, esto permitió cultivar diferentes tipos de cereales en una zona que presentaba una precipitación anual aproximada de 100 mm (milímetros por metro cuadrado).

Otro caso similar se dio en Palestina donde fueron descubiertas instalaciones del año 2500 al 1800 a.C. consistentes con sistemas de cisternas, áreas de captación tratadas para aumentar la producción de esorrentía y en países como Estados Unidos, México, India y en África se han evidenciado otras técnicas de cosechas de agua que datan de hace aproximadamente 500 años según lo explica Mongil (2011).

Los sistemas de recolección de agua lluvia son muy poco usados en Colombia por falta de reglamentación, socialización, comercialización, y debido a que es un país con gran abundancia de este recurso, pero con el transcurso de los años se ha visto un aumento en la demanda de este, por factores como las sequias, contaminación de fuentes superficiales y crecimiento demográfico, lo cual ha generado un incremento a los costos del recurso hídrico potable (Fernández,1994).

Para el correcto y eficiente aprovechamiento de agua lluvia es indispensable tener las medidas técnicas en función de las condiciones preexistentes en el edificio y su entorno, así mismo es necesario que las técnicas se encuentren enmarcadas en torno a la viabilidad y análisis de costos, y que de la misma manera se adecue a las necesidades de mantenimiento y operación, como lo mencionó Osuna (2010) , el aprovechamiento de agua lluvia es un canal que puede adecuarse de manera eficiente dentro de los diferentes lineamientos correspondientes al desarrollo sostenible, ya que otorga una mirada local y global, al uso racional del agua.

En Bogotá existen diferentes edificios que fueron diseñados de tal manera que su estructura recoge y aprovecha el agua lluvia eficientemente, cubriendo total o parcialmente su demanda de consumo, como es el caso de:

- **Planta Gerfor:** La planta se encuentra ubicada en Autopista Medellín km 2 Entrada parcelas de Cota, Cundinamarca;

La cubierta tiene un área de 50,000 m² y capta en promedio 18.000 m³ de aguas lluvia al año a través de tuberías de Ø de 6”de diámetro. El sistema de tuberías instalado en las terrazas de la cubierta recoge todas las aguas lluvias y las transporta hasta un tanque de almacenamiento subterráneo con una capacidad de 1.300 m³ (Osuna, 2010, p.46).

- **Hipermercado Alkosto Venecia en Bogotá:** El área de captación (cubierta) es de alrededor de 6.000 m², captando a sí 4.820 m³ de agua lluvia al año, con lo cual se satisface alrededor del 75% de la demanda de agua potable; se trata en una planta compacta de 40 m³ por día, siendo después distribuida hidráulicamente a lo largo del edificio (Semana SOSTENIBLE, 2013).
- **Complejo acuático Simón Bolívar en Bogotá:** La cubierta capta y distribuye el agua lluvia transportándola a través de tuberías a un tanque de tratamiento y purificación, posteriormente es inyectado en un sistema especializado que verifica su saneamiento y finalmente es distribuida por un sistema hidráulico para ser utilizada en labores de limpieza y descargas de baños (Osuna, 2010).
- **Edificio de posgrados de ciencias humanas Universidad Nacional, Bogotá:** La cubierta se encuentra recubierta por una capa de grava que capta y filtra el agua lluvia que es conducida a través de diferentes canales pertenecientes al diseño y recorrido de la cubierta hasta llegar a un tanque de almacenamiento subterráneo desde donde se bombea agua reciclada para la descarga de los inodoros y alimentación de fuentes y espejos de agua (Osuna, 2010).
- **Pontificia Universidad Javeriana:** Donde se llevó a cabo una investigación titulada *Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana*, sede Bogotá.

Se logró establecer que la Pontificia Universidad Javeriana consume en su 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

colombianos (33586 USD) y un total ponderado de \$382.829.281 pesos

colombianos anualmente (201489 USD) (Estupiñán y Zapata, 2010, p.160).

La utilización de agua lluvia para el ahorro de agua potable en viviendas ha sido una herramienta de gran eficiencia para solventar las diferentes problemáticas de abastecimiento que se presentan en algunas regiones del país debido a la falta de alcantarillado o mal uso de la misma; es así que las familias se han visto en la tarea de recoger el agua lluvia en canecas para suplir este servicio, que aunque no alcanza la misma tecnificación de un sistema compuesto de cisterna e inyección hidráulica satisface mínimamente las necesidades de diferentes habitantes como lo indica Osuna (2010).

6 Marco técnico

6.1 Elementos del sistema de captación de aguas lluvia

Los sistemas de captación de agua de lluvia que tienen como principio la captación por medio de superficies horizontales (cubiertas o techos), se componen de cuatro elementos principales: captación, recolección y conducción, interceptor, y almacenamiento según lo indica la Unidad De Apoyo Técnico Para El Saneamiento Básico Del Área Rural - UNATSABAR (2001).

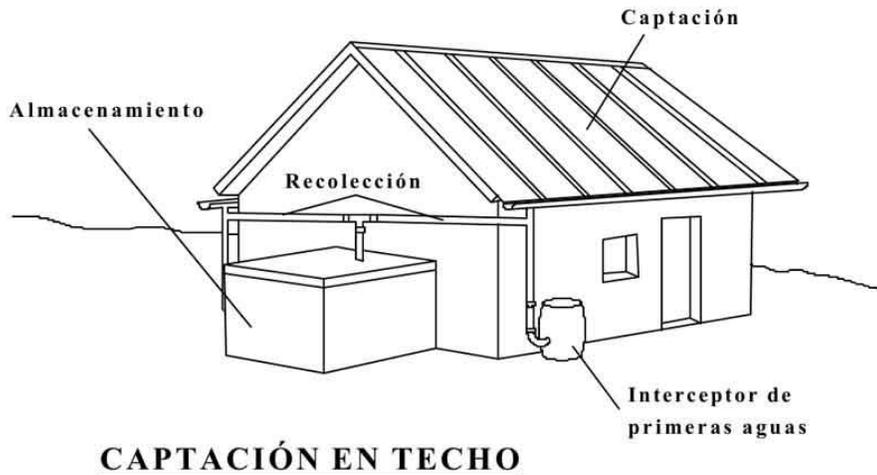


Figura 1 sistema de captación de agua lluvia. Tomado de Esto es agricultura (31, enero,2020) como hacer captación de agua de lluvia en techos .Recuperado de <https://estoesagricultura.com/captacion-de-agua-de-lluvia-en-techo/>

Captación: Se refiere a una superficie normalmente inclinada que cuenta con las características necesarias para “captar” el agua lluvia, como lo es la materialidad. Normalmente expresada en metros cuadrados, esta superficie debe tener una pendiente mínima no inferior al 2% según lo indica La Comisión Nacional De Agua (CONAGUA,2016), para facilitar el escurrimiento del agua de lluvia hacia el tanque de almacenamiento.

Conducción: Este elemento recolecta el agua lluvia que escurre del techo y lo direcciona hasta el tanque de almacenamiento. Normalmente este elemento se encuentra conformado por canaletas perimetrales ubicadas en los bordes más bajos de la cubierta y bajantes exteriores o interiores.

Interceptor o filtro de primeras aguas: Este dispositivo o recubrimiento filtrante es el encargado de descargar el primer flujo de agua, que es la que limpia la superficie de captación de las impurezas más grandes, este filtro es el encargado de decantar los materiales que se encuentren en la superficie de captación al momento del inicio de la lluvia separando los residuos sólidos más grandes que pueda contener el agua (polvo, hojas eses de animal etc.) de acuerdo a lo indicado por la *Guía de diseño para captación del agua de lluvia* (2004)

Tanque de almacenamiento: Es el encargado de recoger el volumen de agua destinada a almacenar. Este debe ser dimensionado según la pluviosidad y demanda de la zona a intervenir, por lo tanto, debe cumplir con ciertas condiciones según lo establece la *Guía de construcción para estructuras de ferrocemento* (2001).

Este elemento no debe de sobrepasar los 2 metros de altura ya que de esta manera se minimizan las pérdidas de presión, debe contar con una tapa o escotilla que impida el ingreso de materiales externos como tierra, polvo, insectos y luz directa; esta tapa sanitaria debe ser lo suficientemente grande para permitir el ingreso a una persona que será la encargada de realizar la limpieza y mantenimiento periódico del tanque de almacenamiento, la entrada y la canal de rebose deben contar con mallas que ayuden a evitar el ingreso de material externo.

6.2 Tipos de sistemas de captación

A lo largo de la historia han existido diferentes variantes de la cisterna de aguas lluvia que parten de las mismas características en donde se capta, se transporta y almacena el agua.

Las variables que se encuentran entre los sistemas de recolección de agua lluvia están descritas a partir de la disposición en la que se conectan entre sí y con los diferentes sistemas hidráulicos. Según lo que argumenta el *Manual De Construcción De Sistemas De Captación De Aguas Lluvia En Zonas Rurales* de Chile (Abarza, et al., 2015) existen 2 técnicas principales para la recolección de agua lluvia, la primera consiste en despejar un terreno de manera que pueda ser cubierto con un material impermeabilizante o impermeable comúnmente conocido como sistema de captación de ladera. Del mismo modo, el segundo tipo de sistema recolecta el agua que cae sobre una superficie de captación (techo o cubierta), donde es conducido a un tanque de almacenamiento mejor conocido como sistema de captación por cubiertas. Estos sistemas manejan una canal de rebose que es la encargada de verter el agua que no es posible utilizar, ya sea porque el recurso sobrepasa la demanda de consumo de la construcción o porque el tanque de almacenamiento no tiene el volumen para almacenar la precipitación total como lo indican Reyes y Rubio (2016); en la mayoría de los casos el agua lluvia es conducida a través de canales y bajantes que desembocan en el punto de almacenaje para luego ser redistribuida según los usos que lo requieran .

La Cisterna veneciana:

Como lo indica Pérez de la Cruz (s.f.), este tipo de cisterna es nombrado de esta manera debido a su origen.

...están formados por un hueco revestido y relleno por material filtrante, con un pozo central de toma y canales laterales de entrada donde se produce una decantación elemental. El agua pasa de los canales al interior de la masa filtrante, recorriéndola de arriba hacia abajo y entrando en el pozo por su parte inferior. Tiene la ventaja de que su bóveda se apoya directamente sobre el material filtro y el inconveniente de que su capacidad útil es de 30 al 40 % de su volumen total (p.19).

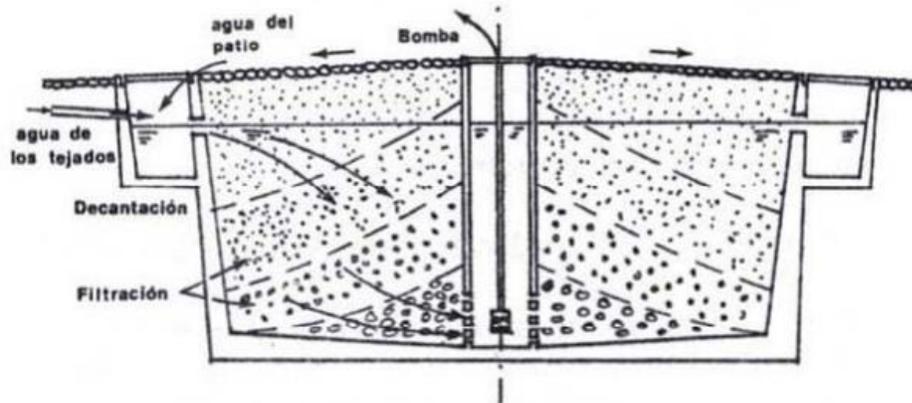


Figura 2 Cisterna veneciana. Tomada de Pérez de la cruz. (s.f.). *Captaciones de agua superficiales*. Recuperado de <https://bit.ly/3bksw97>

Aljibe alemán

Este sistema se compone de 3 elementos principales según lo expresa Pérez de la Cruz (s.f.), el primero de ellos es un depósito de almacenamiento que cumple la única función de recoger el agua captada, seguido por un filtro y un cuarto de toma de agua filtrada

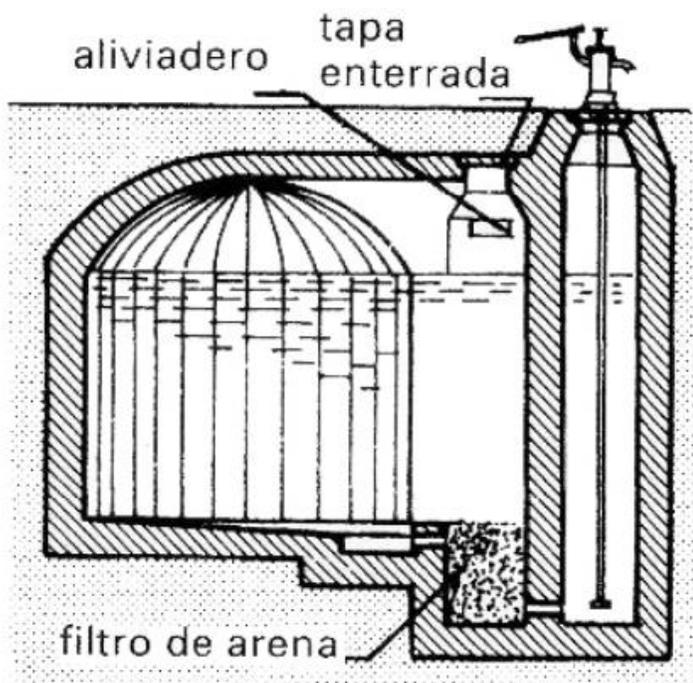


Figura 3 Aljibe alemán. Tomada de Pérez de la Cruz, (s.f.). *Captaciones de agua superficiales*. Recuperado de <https://bit.ly/3bksw97>

Aljibe americano:

Se entiende por aljibe americano como el que capta y almacena directamente desde el punto de cosecha el agua, concentrando el agua recogida en un filtro de arena con granulométrica ascendente, compuesto por tubos con orificios para facilitar su ingreso

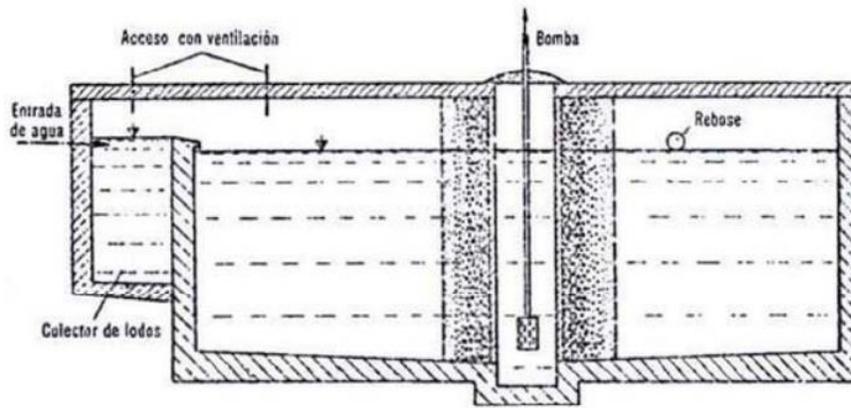


Figura 4 Aljibe americano. Tomada de Pérez de la cruz. (s.f.). *Captaciones de agua superficiales*. Recuperado de <https://bit.ly/3bksw97>

El Aljibe de filtro superior:

Pérez de la Cruz (s.f.) define el aljibe de filtro superior como aquel que capta y filtra el agua que se encuentra sobre la superficie más alta de la cisterna, de esta manera es conducida directamente al aljibe, es así que no permanece más del tiempo necesario en el proceso de filtración, su capacidad aproximada es del 100% del volumen de recogida.

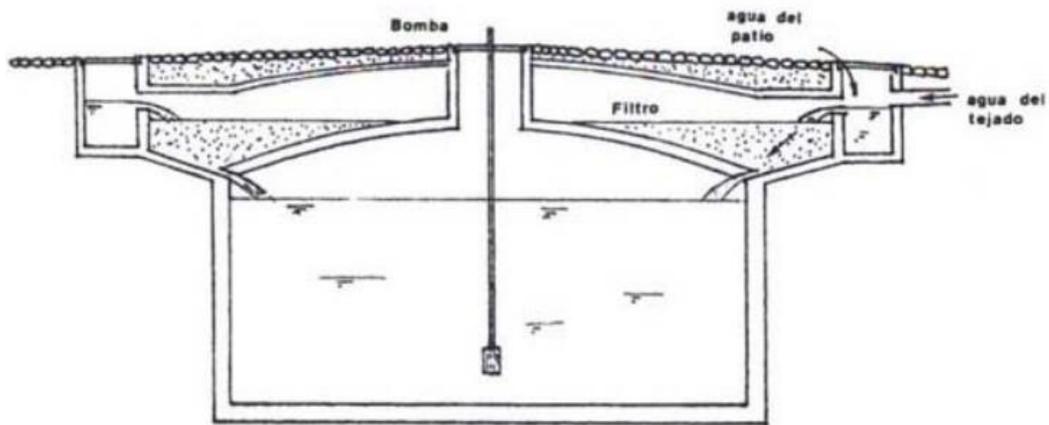


Figura 5 Aljibe filtro superior. Tomada de Pérez de la cruz. (s.f.). *Captaciones de agua superficiales*. Recuperado de <https://bit.ly/3bksw97>

6.3 Tipologías de cubiertas

La cubierta es el elemento que recubre la estructura de tal manera que no pueda ser afectada por agentes presentes en el exterior. Uno de los principios que se deben tener en cuenta para el diseño de dicha cobertura es que sus características respondan a una pendiente con el suficiente porcentaje de inclinación para no producir estanqueidad, y así el agua pueda ser conducida por los diferentes elementos anexos de la cubierta hacia el exterior, también se debe considerar el material que está siendo empleado en la estructura como lo indica El Colegio Oficial De Castilla-La Mancha (COACM, 2005).

Para dar solución a los diferentes tipos de cubiertas se necesita resolver requerimientos funcionales mediante una serie de elementos en común que expone COACM (2005):

- Protección de agentes externos como el sol, frío y lluvia.
- Generar confort al interior
- Estanqueidad del ingreso de agua o viento.

Los elementos que componen una cubierta pueden ser agrupados de la siguiente manera:

- **Estructura soporte:** Es el elemento que da la estabilidad ante las cargas exteriores estáticas o dinámicas.

- **Faldones:** Es la que determina la geometría de la cubierta, y su inclinación es la que incide en el sistema de drenaje. Esta puede ser apoyada sobre la estructura.

- **Impermeabilización:** Determina la estanqueidad del agua. En cubiertas planas se utilizan laminas impermeables. Las cubiertas inclinadas son un acumulado de placas que funcionan sobreponiendo unas sobre otras con determinada inclinación, y por este escurre la pluviosidad

- **Sistema de drenaje:** Esta compuesta por bajantes, sumideros y canales que dirigen y conducen el agua hacia el exterior de la edificación.

Gracias a la amplia variedad de cubiertas existentes, es importante dar a conocer algunas tipologías y sus características.

6.4 Cubiertas inclinadas.

Son aquellas que se caracterizan por su pronunciada inclinación la cual puede ser dirigida en una o varias direcciones para expulsar el agua hacia los bordes según lo determine el diseño como lo han indicado Pérez y Robayo (2016)

- Su inclinación permite que el agua fluya más rápidamente hacia el drenaje.
- Gracias al espacio que se genera entre la terminación del muro y el inicio de la cubierta se produce un efecto de regulación térmica.



Figura 6 Cubierta inclinada Tomada de Jornada técnica *Nueva arquitectura con cubiertas ventiladas de teja.* (13/09/2017). Recuperado de <https://bit.ly/3cR9pEm>

Estos tipos de superficie varían en cuanto a su forma y materialidad. Las mejores superficies teniendo en cuenta el porcentaje de escorrentía son aquellas que se encuentran impermeabilizadas, con materiales lisos o con poca porosidad; es de esta manera que se presenta la siguiente tabla que contiene algunos de los materiales más usados en cubiertas inclinadas y según esto cual es el porcentaje mínimo con el que deberían contar.

Tabla 2

Pendiente de cubiertas inclinadas

Pendiente De Cubiertas Inclinadas		Pendiente Mínima En %
Teja	teja curva	32
	teja mixta y plana mono canal	30
	teja plana marsellesa o alicantina	40
	teja plana con encaje	50
	Pizarra	placas sintéticas de onda grande
Zinc	placas asimétricas de nervadura grande	10
Fibrocemento	placas asimétricas de nervadura mediana	25
	perfiles de ondulado grande	15
Placas Y Perfiles Sintéticos	perfiles de ondulado pequeño	15
	perfiles de grecado grande	5
	perfiles de grecado mediano	8
	perfiles nervados	10
	Galvanizados	perfiles ondulados pequeños
Galvanizados	perfiles de grecado grande	5
	perfiles de grecado mediano	8
	perfiles de nervado pequeño	10
	paneles	5

Tomada de "Código Técnico De La Edificación". Robayo y Pérez. (2016) Recuperada de <https://bit.ly/3dZ30aj>

Cubierta a un agua

Son aquellas que se encuentran compuestas por un único plano (faldón), dirigido en un solo sentido, lo que hace que el agua desemboque en una única dirección. (ver figura 2)

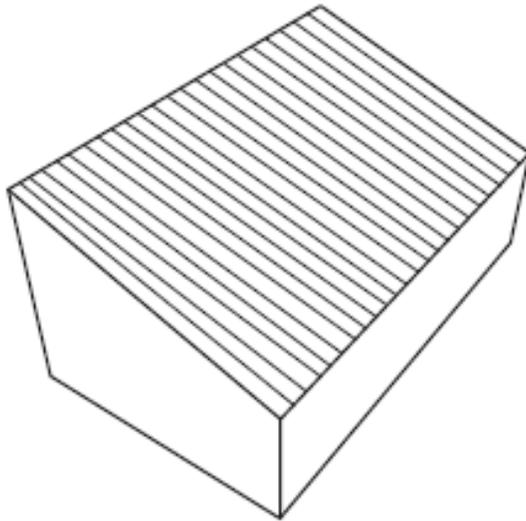


Figura 7 Cubierta a un agua. Tomada de Capítulo 1 “cubiertas inclinadas” (s.f.) Recuperada de <https://bit.ly/2ZlwJ9m>

Estas cubiertas pueden presentar diferentes materialidades como lo son el plástico, el concreto, las tejas de barro, entre otros, son complementadas por unas canales que conducen el agua hasta una bajante que descende por el muro hasta ser vertida en el suelo.

Cubiertas a varias aguas

Según lo propuesto Robayo y Pérez (2016) las cubiertas de varias aguas se caracterizan por tener diferentes orientaciones, el flujo de agua que sobre ellas cae es orientado en distintas direcciones.

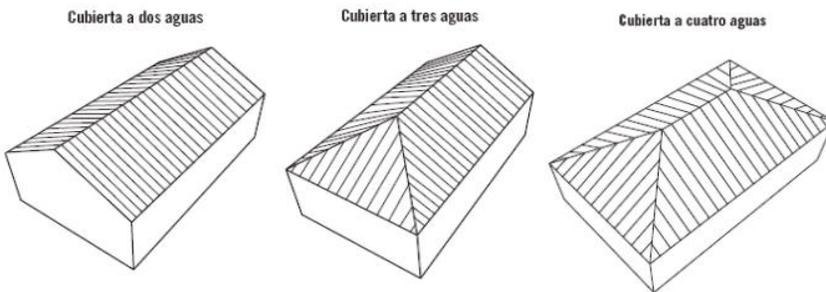


Figura 8 Cubiertas a varias aguas, Adaptada de Capítulo 1 “Cubiertas inclinadas” (s.f.) Recuperada de http://reader.digitalbooks.pro/content/preview/books/22720/book/OEBPS/Text/9788483648742_Ch1.html

Las cubiertas de dos o más aguas comienzan a presentar características especiales como la necesidad de limatesas y limahoya (unión entre dos planos); para la cubierta de dos aguas es necesarios utilizar una cumbrera o caballete que una las intersecciones de ambos faldones.

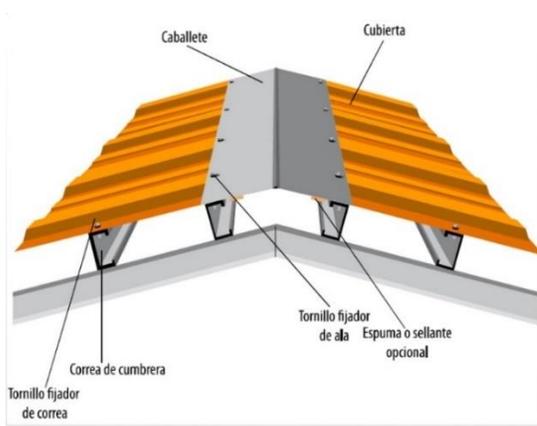


Figura 9 Caballete de cubierta, Tomada de Colorcol Expertos en Ingeniería de Aislamientos (s.f.) Recuperada de https://calorcol.com/calorcol/calorcolsite/?page_id=4308

El número de aguas es definido como las divisiones con las que cuenta la superficie de captación, las uniones entre las diferentes divisiones o faldones son realizadas a través de canales que según su disposición son nombrados como limatesa o limahoya.

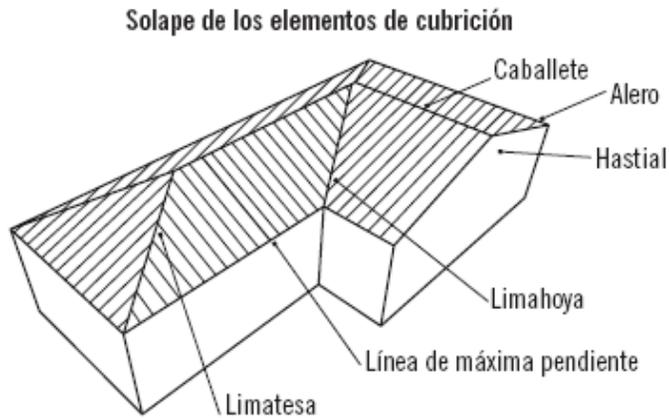


Figura 10 Limatesa y limahoya, Tomada de Capítulo 1 “Cubiertas inclinadas” (s.f.) Recuperada de http://reader.digitalbooks.pro/content/preview/books/22720/book/OEBPS/Text/9788483648742_Ch1.html

6.4.1 Cubiertas planas

Este tipo de superficie cuenta con una pendiente que hace que por cada metro lineal baje un porcentaje mínimo de entre 2% a 4% aproximadamente; por lo que su pendiente es mucho más baja en comparación a otro tipo de cubiertas, dando la perspectiva de ser casi plana

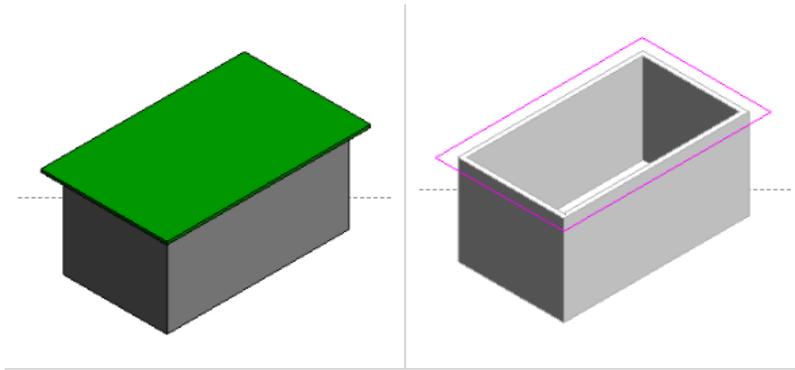


Figura 11 Cubierta plana, Tomada de “Archivo de muestra de cubierta de Revit” (s.f.) Recuperada de <https://autode.sk/2WPp81j>

Aunque este tipo de cubierta cuenta con una pendiente mínima, esta debe ser capaz de garantizar el adecuado escurrimiento del agua, además de esto debe contar con la materialidad adecuada proporcionando un porcentaje de escorrentía preferiblemente por encima del 0.80%

Según lo indican Robayo y Pérez (2016), es más eficiente emplear materiales resistentes pero que a su vez sean livianos. Este tipo de cubiertas gracias a su poca pendiente pueden ser adaptadas para ser cubiertas transitables, esto dependiendo el uso que se le quiera dar.

Cubiertas transitables

Esta tipología de cubierta se caracteriza por estar recubierta por una membrana que permite el tránsito seguro sobre ella, ya sea para la realización de actividades activas o pasivas; de esta clase de cubiertas podemos encontrar varias vertientes como son:

- **Cubierta catalana o Cubierta fría:** Normalmente está cubierta es empleada en climas que se encuentran a grandes temperaturas, debido a que cuenta con unas cámaras de enfriamiento (aire) que mitigan en gran medida el calor.

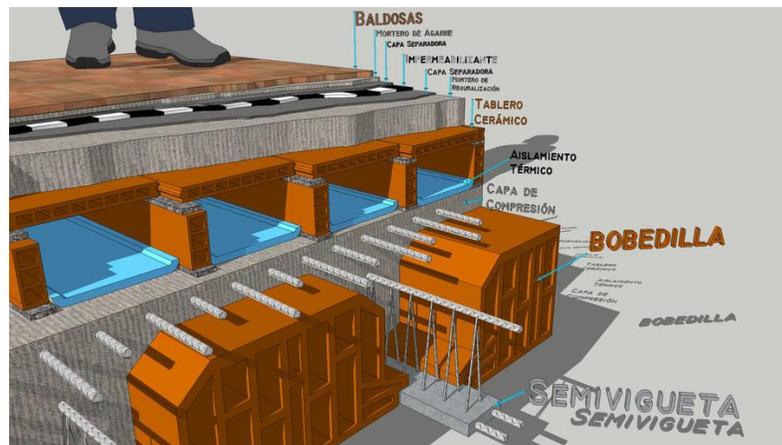


Figura 12 Cubierta catalana o fría, Tomada de José Manuel c, (s.f.) Recuperada de <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/79dc9cf646c9807176a84c2f1c08754b/Cubierta-fr%C3%ADa-o-a-la-Catalana-Estandar>

Cubiertas no transitables. Estas cubiertas limitan la circulación sobre su superficie, esto debido a que su estructura no es apta para realizar actividades, ya sea por el cálculo estructural, el material o el diseño de la misma. Como ejemplos de esta clase de cubierta podemos encontrar:

- **Cubierta invertida:** En estas clases de cubiertas los aislantes térmicos se encuentran sujetos o protegidos por una capa de grava o piedras de río.

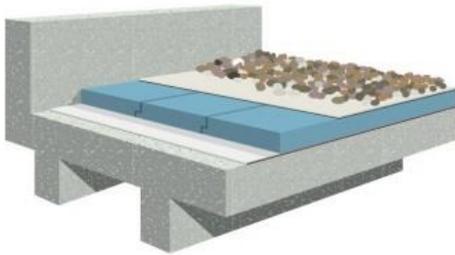


Figura 13 Cubierta Invertida, Tomada de Macon (s.f.) Recuperada de <https://www.materialconstructor.com.mx/cubiertas/sistema-de-impermeabilizaci%C3%B3n-ultraply-tpo/sistema-de-cubierta-invertida-tpo-de-firestone.html>

- **Cubierta verde:** El espesor de esta placa puede oscilar entre los 10 a 30 cm, debido a que es cubierta por una capa de material biótico (tierra).



Figura 14 Cubierta verde, Tomado de Diy Maven (junio 5,2008), Recuperado de <https://bit.ly/2zlBBRh>

Cubierta metálica: Estas placas son utilizadas principalmente para el sector de industria debido a su bajo peso y a que permite colocar objetos externos sobre ella.

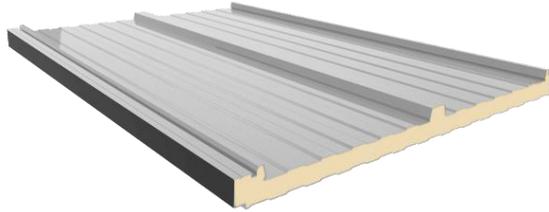


Figura 15 Cubierta metálica, Tomada de “Grupo Panel Sandwich” (s.f.) Recuperado de <https://www.panelsandwich.com/producto/panel-sandwich-tapajuntas/>

- **Placa maciza:** Esta losa se emplea como cubierta gracias a su resistencia y funcionalidad estructural. Sus elementos principales son el concreto estructural, mallas electrosoldadas y varillas de acero que soportan diferentes esfuerzos que puedan generarse sobre esta.

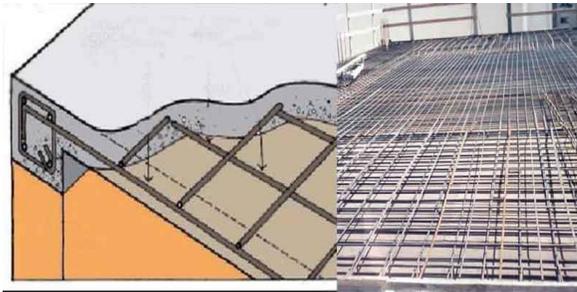


Figura 16 Placa Maciza, Tomada de “Tipos de losas” (s.f.) Recuperado de <https://construyendo.co/losas/tipos.php>

Este tipo de superficie debe contar con un proceso de impermeabilización debido a que debe resistir diferentes cambios que se presenten a la intemperie, esto se puede realizar utilizando fibras o membranas, pinturas o materiales bituminosos (Sika²); debido a que estas superficies cuentan con una pendiente muy baja, el agua normalmente es guiada a sifones de drenaje localizados en diferentes puntos de la losa.

² Producto impermeabilizante para superficies

6.5 Canales y bajantes

Los canales y las bajantes funcionan a modo de circuito entre sí, de manera que se interconectan para facilitar que la escorrentía que viene desde la superficie de captación (cubierta), esta será conducida a modo de drenaje hasta llegar al suelo.

6.5.1 Canaletas



Figura 17 Canales y bajantes, Tomada de “Central De Materiales Pasto” (s.f.) Recuperado de <http://centraldematerialespasto.com/product/canales/>

La canal o canaleta es un elemento que recibe, conduce y vierte el agua lluvia, normalmente implementado en materiales como el PVC, la madera (guadua, bambú), aluminio y las láminas galvanizadas utilizadas como un perfil en U o V; el material implementado para construir una canal debe ser liviano, impermeable (resistente a grandes cantidades de agua)

Las canaletas metálicas son de las más costosas pero así mismo son las más aptas para esta función debido a su durabilidad y fácil mantenimiento, las canaletas que usan como material principal la madera o el bambú se deterioran mucho más fácil debido a la humedad; dejando de esta manera al PVC que es uno de los materiales menos costosos y su durabilidad esta entre los

rangos más altos; la materialidad escogida debe ser de fácil acople para que de este modo haya la menor pérdida de aguas por fuga.

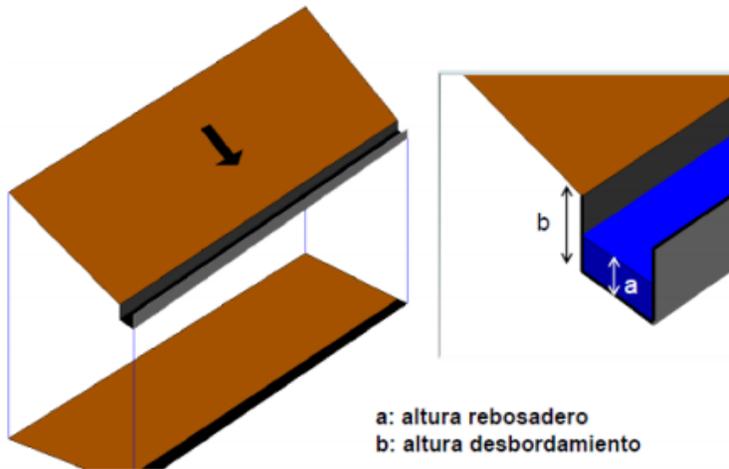


Figura 18 Funcionamiento de canaletas, Tomada de “Evacuación Eficiente Cfgs Eficiencia Energética Y Energía Solar Térmica” (2016, p.146) Recuperado de http://insilla.net/wp-content/uploads/2016/05/Evacuacion-Eficiente_P%C3%81GINAS.pdf

Las canaletas son fijadas a la cubierta con alambre y clavos, los sujetadores normalmente son fabricados en varillas de hierro corrugado de 3/8”.



Figura 19 Canaletas, Tomada de “Cotsco”(s.f.) Recuperado de https://www.costco.com/.product.100007502.html?&EMID=B2C_2016_0716_964_Portofino

6.5.2 Bajantes

Las bajantes están compuestas por tuberías verticales y son las encargadas de conducir el agua lluvia hacia su punto de acople, sea caja de inspección o tanque de almacenamiento.

También recogen el agua lluvia que viaja por los canales para determinar la ubicación de las bajantes, deben estar contemplados los elementos que hacen parte de la estructura como son las vigas y columnas.



Figura 20 Funcionamiento de sistema de bajantes, Tomada de “Evacuación Eficiente Cfgs Eficiencia Energética Y Energía Solar Térmica” (2016, p.16) Recuperado de http://insilla.net/wp-content/uploads/2016/05/Evacuacion-Eficiente_P%C3%81GINAS.pdf

6.6 Tipos de tratamientos de agua lluvia

Los tratamientos de agua o filtros sirven para realizar un proceso de decantación donde se separa el líquido de las distintas entidades sólidas, estos se encuentran definidos teniendo en cuenta los diferentes tamaños de las partículas que permite que pasen dada su materialidad porosa; esto se encuentra directamente relacionado con el material y el tipo de filtración que sea escogido y los materiales que pueden ser utilizados como filtro suelen ser mallas metálicas, textiles, polipropileno, cerámica, minerales (carbón activado), arena de río y gravas.

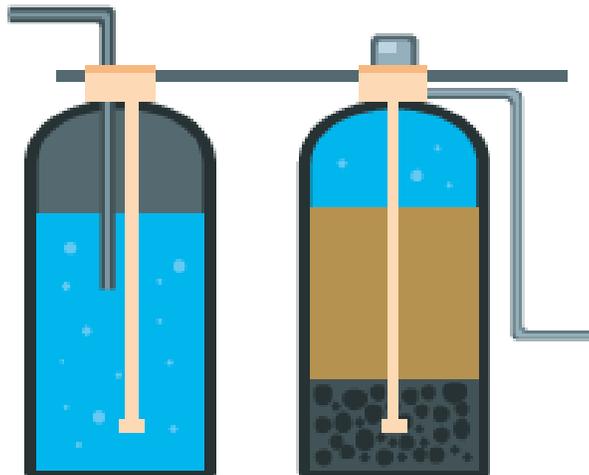


Figura 21 Filtros de agua lluvia, Adaptada de “Freepick” (s.f.) recuperado de <https://bit.ly/3e4Ed4u>

6.6.1 Filtros

Interceptores de primeras aguas: El filtro de primeras aguas actúa como barrera que separa los residuos sólidos del agua captada y su principal función es decantar, los primeros metros de agua que ingresen por medio de la tubería debido a que es esta agua la encargada de limpiar la superficie.



Figura 22 Filtro de primeras aguas, Tomada de “Sistema De Captación De Agua De Lluvia Para Usar Como Agua Potable”, 2020 Recuperada de <https://bit.ly/36j9Ch1>

Filtro con tela: Este método ayuda a mejorar el aspecto del agua lluvia debido a que retiene gran cantidad de partículas sólidas que puedan ser encontradas en esta como lo son hojas, polvo, tierra y eses de insectos que puedan ser incubados en el agua; una de las telas más utilizadas es el algodón debido a sus fibras y por tanto requiere de un mantenimiento periódico para conservar su funcionalidad. Este método no potabiliza el agua, pero sirve como un primer filtro para conseguirlo

Filtro de arena: Estos filtros pueden llegar a remover gran número de agentes externos presentes en el agua y para su utilización son necesarias capas de diferentes materiales de construcción que pueden llegar a ser muy fáciles de encontrar como lo son la grava y la arena de peña. En la primera capa se debe utilizar la grava y la siguiente de arena de peña (puede ser

combinada la arena de peña con arena fina o de diferentes grosores siempre teniendo presente que se deben colocar en orden ascendente de mayor tamaño a menor tamaño de grano), la arena debe estar en una proporción de un volumen de grava por seis a ocho volúmenes de arena dependiendo del tamaño y ancho del tanque de captación.

Como una opción para mejorar la remoción de impurezas del agua se puede utilizar carbón activado que absorbe las partículas de metales pesados y algunos solidos que ni la arena o la grava logran capturar.

6.6.2 Desinfección

Los métodos de desinfección son utilizados para eliminar parcial o totalmente los diferentes microorganismos presentes en el agua captada, con mayor urgencia requeridos cuando lo que se quiere es potabilizar el agua, entre algunos de los métodos se encuentran:

- **Cloración:** La cloración se utiliza como método de eliminación de bacterias presentes en el agua, su comercialización se da como hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio y cloro gaseoso, siendo el más usado el hipoclorito de calcio debido su bajo costo.

Tabla 3

Dosificación para cloración de agua

VOLUMEN DE AGUA A DESINFECTAR	CANTIDAD DE CLORO LÍQUIDO A AGREGAR TIEMPO NORMAL	CANTIDAD DE CLORO LÍQUIDO A AGREGAR EN EMERGENCIA
1 L	$\frac{1}{2}$ gota	1 gota
2 L	1 gota	$1\frac{1}{2}$ Gotas
1 galón	$1\frac{1}{2}$ gotas	4 gotas
5 L	2 gotas	4 gotas
10 L	4 gotas	8 gotas
20 L (5 Galones)	8 gotas	16 gotas
100 L (25galones)	40 gotas (2 mm)	4 mm ($\frac{1}{2}$ tapita)
200L (50 Galones)	4 mm ($\frac{1}{2}$ tapita)	9 mm (1 tapita)
1000 L (250 Galones)	20 mm ($2\frac{1}{2}$ Tapita)	40 mm (5 Tapita)

Nota: Para dosificar se debe utilizar tapitas plásticas de doble litro. Tomado de “Tratamiento Y Desinfección De Agua Para Consumo Humano Por Medio De Cloro Guía Técnica” por Organización Panamericana de la Salud Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), 2006, p. 6. Recuperado de <https://bit.ly/2Tm1ze1>

7 Desarrollo metodológico

A continuación, se exponen algunos conceptos esenciales que deben ser considerados al momento de implementar un sistema de recolección de aguas lluvia en el marco del diseño sostenible vinculado al cuidado ambiental y el uso de nuevas tecnologías para disminuir el consumo de agua potable.

Estos conceptos son importantes para el desarrollo de este proyecto, debido a que contextualizan las condiciones previas con las que debe contar una infraestructura para poder llevar a cabo un desarrollo eficiente al implementar un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvia.

Con base en esto se realiza la creación de un manual metodológico que define tanto los conceptos generales, como los pasos a desarrollar al momento de considerar la idea de implementar un sistema de recolección de agua lluvia en un edificio preexistente. (Ver anexo 5)



Figura 23 Maqueta del manual, Elaboración propia. (ver anexo 5)

7.1 Selección de sitio

Para realizar la selección de los posibles lugares en los que se puede implementar este tipo de sistemas y de acuerdo a lo que indica el *Manual De Construcción De Sistemas De Captación De Aguas Lluvia En Zonas Rurales* de Chile (Abarza, et al., 2015) se debe tomar en consideración diversos aspectos como lo son:

- la accesibilidad al lugar
- el espacio disponible para realizar la implantación, pues este determinará el volumen de captación

7.1.1 Selección de estación pluviométrica.

En el momento que se ubica la zona de estudio se debe iniciar a caracterizar su pluviometría, en términos de oferta del recurso hídrico semanal, mensual y anualmente.

Para esto se debe contar con los registros pluviométricos de la zona de al menos hace 10 años que generaran el reporte de comportamiento estimado de lluvias a lo largo de los años; en el caso de Bogotá se pueden consultar los datos en entidades como el IDEAM, en el que se encuentran los listados de las diferentes estaciones pluviométricas y su ubicación.

Algunas de las estaciones pluviométricas pueden ser:

Tabla 4

Estaciones pluviométricas

ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

APTO EL DORADO
APTO GAYMARAL
BOCA GRRANDE SAL
BOSA BARRENO
CERRO DE SUBA
CNTADOR
EL BOSQUE
EL GRANIZO
EL HATO
SAN DIEGO
SAN LIUS
SANTA LUCIA
TORCA
UNV. NACIONAL
USAQUEN S. ANA
VENADO DE ORO
VITELMA

Nota: Tomado de IDEAM (2007). *Caracterización climática de Bogotá*, Recuperado de <https://bit.ly/2WB0Pnt>

La estación debe ubicarse lo más cercana posible a la zona escogida. Los datos suministrados por la entidad se encuentran dados en unidades de mm (milímetros por metros cuadrados), con la variación que se darán con intervalos de tiempo (día, mes año).

7.2 Porcentaje de escorrentía

Para calcular el porcentaje de escorrentía (el agua que circula sobre una superficie), se debe tener en cuenta que:

El coeficiente de escorrentía depende de factores tales como el tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), la cantidad, intensidad y distribución de la misma en el tiempo, la humedad inicial del suelo del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente y rugosidad) y el tipo de vegetación existente, entre otras. (Martínez,2006, párr.2)

Tabla 5

Coefficientes de escorrentía

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA
Pavimentos de hormigón y bituminosos	0.70 a 0.95
Para superficies lisas, impermeables como	0.90
- teja asfáltica	
- teja de concreto	
- techos en metal	
Pavimentos de macadam	0.25 a 0.60
Adoquinados	0.50 a 0.70
Superficies de grava	0.15 a 0.30
Zonas arboladas y bosque	0.10 a 0.20
Zonas con vegetación densa:	
- Terrenos granulares	0.05 a 0.35
- Terrenos arcillosos	0.15 a 0.30
Tierra sin vegetación	0.20 a 0.80
Zonas cultivadas	0.20 a 0.40

Nota: Adaptado de Martínez. (2006) *Particularización al método de los coeficientes de escorrentía*. Recuperado de <http://www.oasification.com/archivos/Coefficientes%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

El coeficiente de escorrentía equivale a las propiedades de infiltración (agua encontrada en la superficie de captación) y permeabilidades (dependiendo del material utilizado, agua lluvia pasara con mayor facilidad a través de los poros) presentes en una superficie de captación.

Así pues, adaptando los datos mencionados por Martínez (2006), el coeficiente de escorrentía (C_e) se iguala a la intensidad de la lluvia (I_{II}) dividida entre el porcentaje de infiltración (I_m) dado por el material de la cubierta

$$C_e = \frac{I_{II}(mm)}{\%I_m}$$

7.3 Cálculo de demanda de agua de la edificación

La demanda de recurso hídrico de una edificación está dada por la cantidad de volumen de agua usada para realizar las actividades diarias. El consumo de agua no sigue los mismos patrones para todos los edificios dejando claro que la demanda de agua no es igual al evaluar dos edificaciones de usos diferentes, por ejemplo, el consumo en un edificio de vivienda multifamiliar (estrato3) es mucho más bajo que el obtenido en un hotel de la misma zona, esto se representa de manera más clara en la siguiente tabla, que contrasta los datos de consumo en litros por cantidad de tiempo con el uso de cada edificación.

Tabla 6

Evaluación del consumo

EVALUACIÓN DE CONSUMO	
Industria	80 L/Trabajador
Comercio, Mercancía Secas, Casas De Abastos, Peluquerías Y Pescaderías	20l/ M2 Mínimo 400l/Dia
Mercados	15 L/M2
Viviendas	200 L/Habitantes/ Dia - 250 L/Habitantes/Dia
Universidades	50 L/Personas /Dia
Internados	250 L/Personas /Dia
Hoteles (A)	500 L/Habitación /Dia
Hoteles (B)	250 L/Cama/Dia
Oficinas	90 L/Personas /Dia
Cuarteles	350 L/Personas /Dia
Restaurantes	4 L/Dia/ Comida
Hospitales	600 L/Personas /Dia
Prisiones	600 L/Personas /Dia
Lavanderías	48 L/Kg De Ropa
Lavado De Carros	400/Carro/Dia
W.C Público	50 L/Hora
W.C Intermitentes	150L/Hora
Circos, Hipódromos, Parques De Atracciones, Estudios, Velódromos, Autódromos, Plazas De Toros Y Similares	1L/ Espectador
Salas De Baile Y Casinos	30 L/M2
Cines, Teatros Y Auditorios	3 L/Silla
Estaciones De Servicio, Bombas De Gasolina, Garajes Y Estacionamientos Se Colocarán De Acuerdo Con Los Siguietes Consumos	
Lavado Automático	12,000 L/Dia/Unidad
Lavado No Automático	7,500 L/Dia/Unidad
Bombas De Gasolina	300 L/Dia/ Surtidor
Garajes Y Estacionamientos Cubiertos	2 L /Dia/M2 De Área
Oficinas Y Ventas De Repuestos	6 L /Dia/M2 De Área Útil

Adaptado de “Norma Técnica Colombiana NTC 1500” (2017) citado por J. Muñoz, 2016. Recuperado de <https://bit.ly/36f9xLf>

Para calcular la demanda presentada por la edificación se debe contar con una serie de datos:

- Número de usuarios
- Número de aparatos sanitarios
- Tiempo de uso de los aparatos (demanda al día y semana)

De esta manera se procedería a hacer la estimación de la demanda mensual de toda la edificación (contemplando inodoro, lavamanos, lavaplatos, puntos de lavadoras, entre otros) (D_m) dada en m^3 , de tal forma que se calcule al multiplicar el número de usuarios (N_u) por el número de días de consumo (D_c) del recurso y a su vez este multiplicado por el consumo (C_a) de litros/persona/día dado en la tabla anterior, teniendo en cuenta el tipo de edificación.

$$Dm = \frac{Nu * Dc * Ca}{1000}$$

Cuando se busca determinar la demanda únicamente de puntos sanitarios (inodoros, orinales, lavamanos y lava traperos) se debe agregar a la ecuación anterior con un 25% adicional según lo establece Departamento Nacional de Planeación (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).

$$Dm = \frac{Nu * Dc * Ca * 25\%}{1000}$$

Nota: Ecuaciones adaptadas de 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 (Castañeda, 2010).

7.4 Análisis de caudal

El caudal de una edificación es utilizado para dimensionar la red hidrosanitaria teniendo en cuenta sus diferentes tramos, para esto se suman los valores dados por los aparatos sanitarios. El caudal es necesario al momento de analizar el diseño hidráulico debido a que es este el que determina cuanta presión será necesaria para distribuir el recurso hídrico en la edificación

De manera que para calcular el caudal total de una edificación se deben sumar entre si la cantidad de aparatos y el resultado obtenido será en unidades de volumen de agua por la unidad de tiempo; ejemplificando el caso, si se tiene una edificación que cuenta con 8 inodoros de fluxómetro, 6 lavamanos y dos orinales sencillos, nos daría un caudal aproximado de 21,05 L/s.

Se puede tomar como referencia de caudal según los diferentes aparatos la siguiente tabla.

Tabla 7

Caudales instantáneos y diámetros para cada aparato sanitario

APARATO	CAUDAL L/s)	DIÁMETRO (PULGADAS)
Bañera	0,30	$\frac{3}{4}$
Calentador	0,30	$\frac{3}{4}$
Ducha	0,25	$\frac{1}{2}$
Inodoro Tanque	0,15	$\frac{1}{2}$
Inodoro Fluxómetro	2,50	$1\frac{1}{2}$
Lavadero	0,20	$\frac{1}{2}$
Lava-Escobas	0,30	$\frac{1}{2}$
Lavamanos	0,10	$\frac{1}{2}$
Lavaplatos	0,20	$\frac{1}{2}$
Lavadora	0,25	$\frac{1}{2}$
Orinal Sencillo	0,15	$\frac{1}{2}$
Orinal Fluxómetro	1,50	$\frac{3}{4}$

Nota: Adaptación hecha por (Castañeda,2010), basada en Melguizo,1980. Recuperada de <https://bit.ly/36gof4C>

7.5 Volumen del tanque de captación

Para realizar el cálculo de cualquier sistema de recolección de aguas lluvia se debe calcular primero la capacidad aproximada que debería poseer el tanque de almacenamiento, esto basado en la pluviometría de la zona (mm) y el área total de captación (m^2).

En primer lugar, se debe obtener el volumen necesario a interceptar mensualmente para suplir la demanda de agua; este es el resultado de restar el área de captación (m^2) con la demanda mensual (Dm) presentada por la edificación.

$$Ac(m^2) - Dm(m^3) = Vr(m)$$

- Si el resultado de esta da en números negativos significara que el área de captación no es suficiente para suplir la demanda total de la edificación.

Una vez establecido si es aconsejable implementar o no el sistema de captación se debe dar a conocer de cuanto es la oferta de precipitación según la estación pluviométrica más cercana a la zona a evaluar. De manera que el volumen total del tanque de almacenamiento será dado a partir de la operación de los siguientes datos:

- Área total de la cubierta (esta se encuentra directamente relacionada con el volumen de agua que podrá ser captado).
- Oferta de precipitación al mes
- El porcentaje de escorrentía
- Porcentaje de perdida por filtrado

De manera que el volumen del tanque será dado al multiplicar el área de captación (cubierta) por la oferta de agua lluvia al mes dividido entre los días de abastecimiento y así mismo del valor obtenido serán restados porcentajes de escorrentía y filtrado.

$$Vt = \frac{(Ac * P)}{D}$$

7.6 Estrategias de uso racional del agua

Se debe tener en consideración que la reutilización agua lluvia es solo una de las muchas herramientas que existen en cuanto al ahorro de agua, se pueden utilizar otras tecnologías de aprovechamiento de manera paralela aumentando de esta forma el potencial de ahorro del recurso hídrico.

La implementación de tecnologías ahorrrativas o de cualquier práctica de ahorro nunca será suficiente si no se educa primero a los usuarios que consumen este recurso, es necesario realizar una metodología capaz de educar a los usuarios de las diferentes edificaciones y que a su vez estos conozcan y se contextualicen sobre las diferentes características del ahorro y de consumo de este recurso, algunos datos a exponer pueden ser:

- Cerrar bien las llaves (grifos) ahorra un 10% el consumo del agua según lo indica Soluciones Medio Ambientales Y Aguas (2015)
- Un grifo abierto consume alrededor de 12 litros por minuto
- Si se utilizan dispositivos de ahorro en los grifos, se reduce el consumo casi en un 50%.
- “El consumo habitual en grifería tradicional es de 15 litros/min, si se utilizan mecanismos reductores o aireadores se puede reducir el consumo a unos 4-8 litros/min.” (20Minutos, 2013, párr. 2)
- Concientización de gasto del recurso hídrico en litros de agua por día
- Presentación de balance económico con respecto al uso del recuso

La implementación de tecnologías de ahorro no solo haría más viable el sistema de recolección de agua lluvia, si no que proporcionarían a cualquier edificio la oportunidad de mitigar en cierto porcentaje el impacto ambiental, al mismo tiempo que se disminuiría el consumo. Se debe considerar establecer estrategias de ahorro del agua potable como lo son:

Baños secos

Los baños ecológicos o baños secos, también llamados sanitarios secos, no requieren de agua para la evacuación de residuos, ahorran en consumo y no contaminan. Su correcto funcionamiento se basa en la fermentación aeróbica, compostación y la desecación para degradar la materia fecal.

(Mampó, 2015, párr.1)

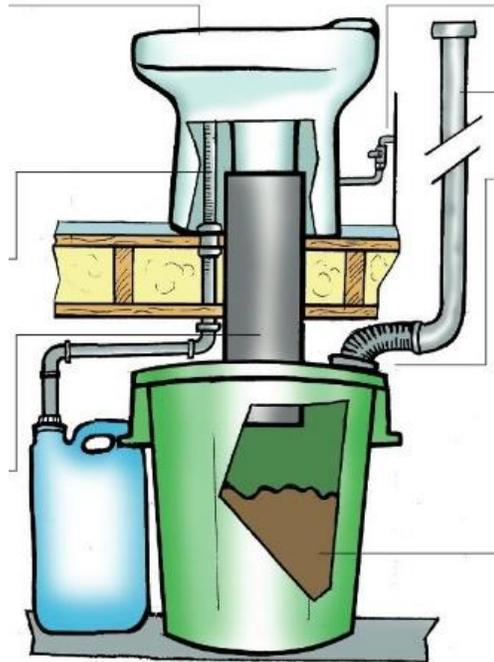


Figura 24 Baño seco, Tomado de Eco inventos. (2019) . *EcoDry, el váter más ecológico para quienes apuesten por el compostaje y el ahorro de agua.* Recuperado de <https://ecoinventos.com/ecodry-vater-compostaje/>

Inodoros ahorradores

Los inodoros ahorradores más destacados en el mercado ofrecen un gasto mínimo que va desde los 4,8L/ Descarga, hasta los 3,7L/ Descarga (Sanitario Aquapro Corona³), siendo este último el más destacado debido a su poco consumo, hidráulicamente se realiza un succionamiento máximo con un mínimo de agua tanto en la descarga de sólidos (4,8L) como de líquidos (3,2L)

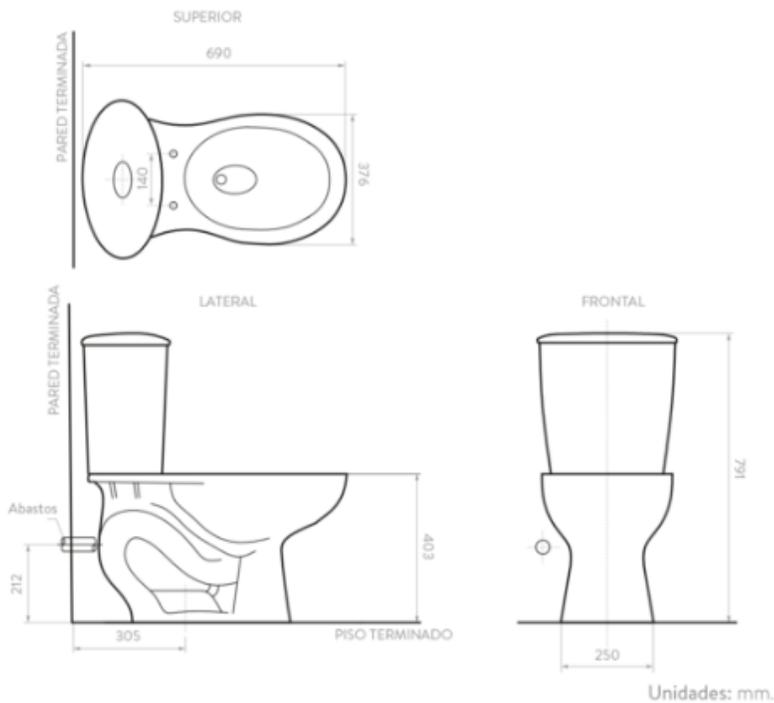


Figura 25 Inodoro ahorrador, Tomado de “Corona”, Recuperado de <https://corona.co/ecoflush>

³ Referencia de sanitario ahorrados evaluado

Grifería ahorradora

Las griferías que utilizan monomandos normalmente funcionan con un limitador de caudal, que ayuda a reducir el consumo, de manera que este no exceda los 5,8L/Mn



Figura 26 Ficha técnica artefactos ahorradores Tomado de *Materiales, sistemas y recursos en el ámbito de la sustentabilidad* (2018) Recuperado de Giraldo_uso_sustentable_del_agua.pdf

8 Caso de estudio

Se tomó como caso de estudio la Universidad La Gran Colombia sede centro, Bogotá debido a que como edificio institucional tiene una mayor demanda del recurso de agua potable y a que se encuentra ubicado en la franja de los cerros orientales, donde según un estudio realizado por el acueducto, “se han reportado máximos de entre 1.100 y 1.200 milímetros anuales” (El Tiempo, 2015, párr.8). Debido a que el aire se mueva hacia el oriente y se encuentra de frente con el cerro, la lluvia presentada se genera debido a que la nube que viene cargada con agua se encuentra con un obstáculo ubicado a grandes alturas y genera un efecto rebote que ocasiona mayores lluvias.



Figura 27 Caso de estudio, Adaptado de MapasBogotá. (2019 Secretaria Distrital Movilidad De Bogotá IDECA. Recuperado de <https://bit.ly/2zPV8Jg>

Las instalaciones con las que cuenta la UGC se encuentran ubicadas en la zona centro de la ciudad de Bogotá, que es conocida como la zona histórica de la Candelaria (Cra. 6 #12B – 40), donde funcionan las facultades de Derecho, Arquitectura, Contaduría, Ciencias Económicas y Postgrados

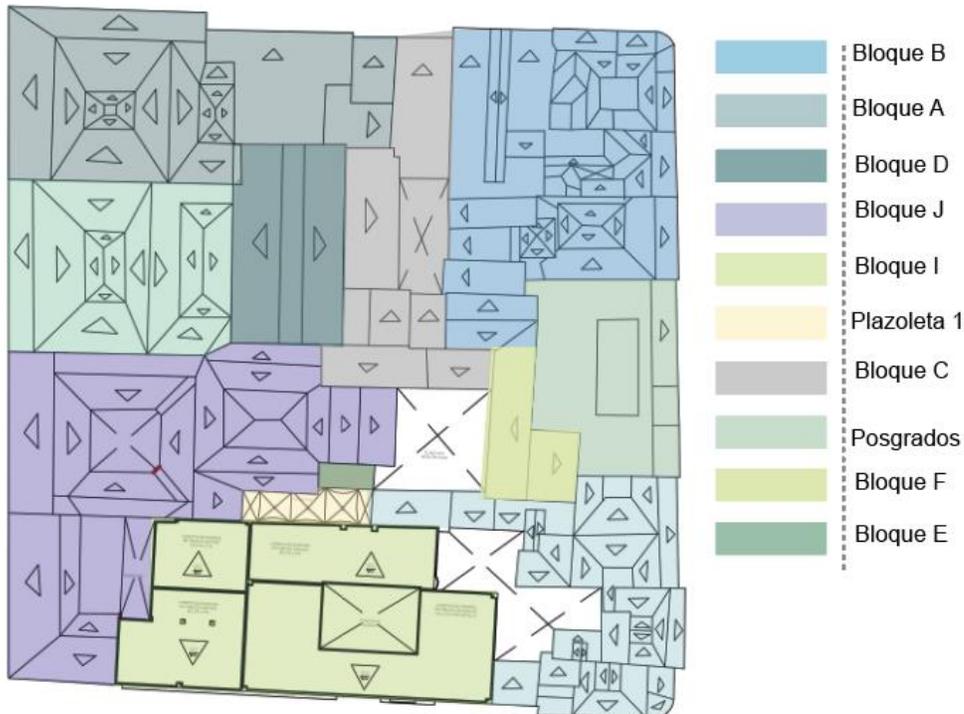


Figura 28 Universidad la gran Colombia, bloques sede central, Elaboración propia basada en planimetría prestada por la universidad

Esta se compone con alrededor de diez (10) bloques diferentes cada uno de los cuales cuenta con una tipología y materialidad diferente debido a que sus instalaciones fueron agregadas paulatinamente a medida que esta crecía y por tanto su capacidad.

Debido a su ubicación en la zona histórica, sus fachadas y cubiertas responden a un movimiento arquitectónico que hace que actualmente la universidad cuente con instalaciones de carácter patrimonial, en el que los materiales principales o de mayor envergadura son la piedra y la madera, las cubiertas en su mayoría hechas en tejas de barro cocido se encuentran puestas

sobre listones de madera a diferentes aguas (limatesa y limahoya), como son los bloques D,F, H y J, al igual que un porcentaje del bloque A y B ; algunas de las cubiertas presentes en los bloques de la institución fueron cambiadas por tejas de asbesto cemento a principios de los noventas respondiendo a algunas necesidades de mantenimiento como es el caso de los bloques A y B que funcionan como instalaciones para parte de las actividades de las facultades de contaduría y derecho respectivamente.



Figura 29 Bloque administrativo, Tomado de La Universidad La Gran Colombia (2019). Pregrado. Recuperada de <http://aunclckcolombia.co/universidadgrancolombia/demo/index.php/facultad-derecho>

Bloque I

Para la elección del bloque de caso de estudio se tuvieron en cuenta diferentes variables como lo son el tipo de cubierta, materialidad y cercanía con los aparatos sanitarios.

Otro aspecto que se tuvo en consideración fueron los puntos hidráulicos y el posible espacio de ubicación del área captación debido a que se tuvo que considerar el porcentaje de uso en el que se encontraban los distintos bloques, en su mayoría los espacios se encontraban destinados a realizar alguna función específica, y teniendo en cuenta que para implantar el punto de acople de la captación (tanque de almacenaje) se debería contar con porcentaje considerable de área libre que no afectara de ninguna manera las actividades diarias de los estudiantes, se comenzó por analizar las distintas plazoletas (tanto cubiertas como descubiertas) al igual que espacios que visualmente se encontraran en desuso o fueran menos concurridas por docentes, estudiantes o personal de apoyo de la universidad.

Con todo ello se determinó que el sitio más apto para la implantación del tanque podría llegar a ser la plazoleta cubierta que se encuentra justo en la parte posterior del bloque de baños del bloque I, esto debido a su cercanía con los aparatos sanitarios y la poca afluencia de gente que allí se congrega, por lo que si fuese necesario su cierre parcial o permanente no tendría mayor repercusión en las actividades académicas o de esparcimiento de los estudiantes.

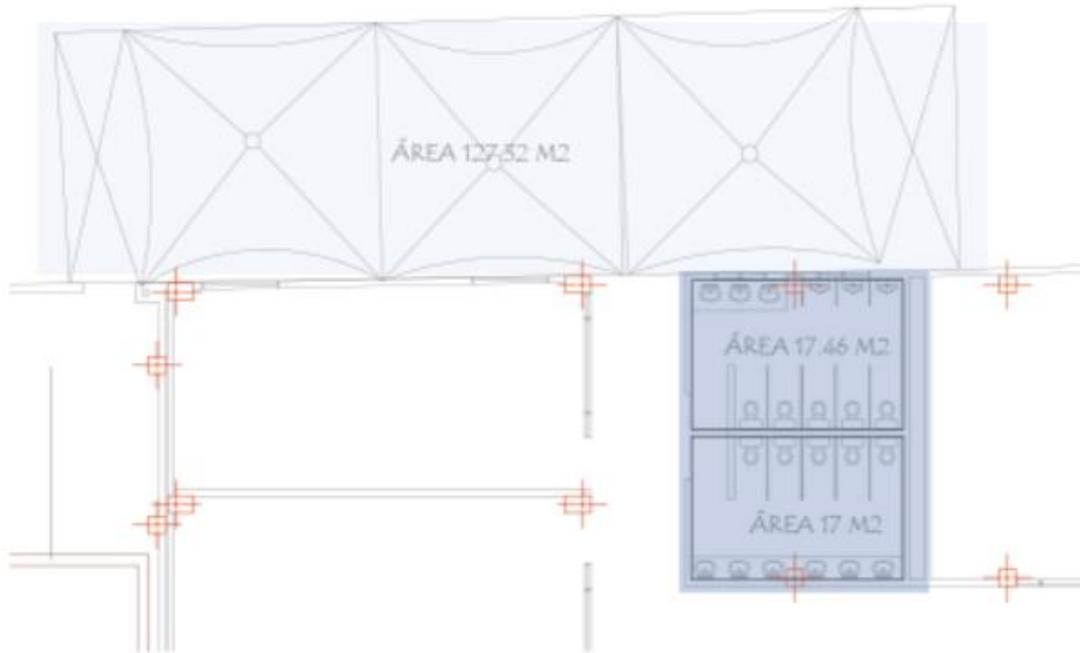


Figura 30 Plazoleta cubierta bloque I, Planimetría suministrada por parte de la planta física de la universidad la Gran Colombia

Esta plazoleta tiene un área total de 127.32 m² que actualmente es utilizada como comedor o cafetería para usuarios admirativos, pero que frecuentemente se encuentra en desusos por parte de los mismos.

Es así como según el análisis de las determinantes necesarias se concluye que el edificio más apto para la implantación de un sistema de captación de agua lluvia es el bloque I debido a la materialidad de sus cubiertas, la pendiente mínima que evita el apostamiento del agua y a que es uno de los pocos bloques de la edificación que cuenta con la disposición de una sección de baños por nivel, siendo de esta manera uno de los bloques con más consumo y demanda de agua potable de la sede centro de la Universidad La Gran Colombia.

El bloque de suministros sanitarios cuenta con una disposición de 10 inodoros de fluxómetro por piso, para hombres y mujeres respectivamente, adicionalmente cuenta con 3

orinales, y una sección de 3 y 6 lavamanos, esto se repite en cada uno de los pisos, por lo que el bloque I cuenta con un total de 66 puntos sanitarios.

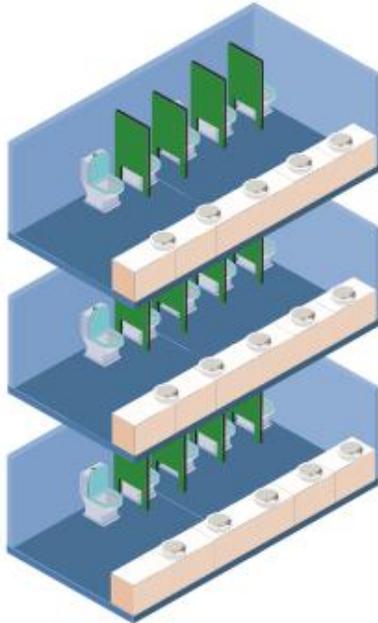


Figura 31 Sección baños bloque I Elaboración propia

Teniendo en cuenta la demanda indicada NTC 1500 (2017) para el diseño de red de distribución para edificaciones como las institucionales, el consumo de agua es de 50 L/est. /día; lo que promediando el flujo de población estudiantil que concurren el bloque I de la UGC son un estimado de entre 500 a 750 estudiantes, obteniendo un caudal de consumo diario de 37.500 litros/día; teniendo en cuenta que la demanda litros/día contiene actividades que no necesitan para su correcta ejecución del agua potable, el uso de sistemas de agua lluvia podría mitigar un porcentaje del consumo (L/día).

Cubiertas bloque I

El sistema de cubiertas del bloque I consta de cuatro cubiertas planas , de áreas de 157.5 m², 269,49 m², 275.61 m² y 501,24 m² respectivamente, que cuentan con una inclinación mínima de entre el 4 y 5% de pendiente lo que las ubica justo en el límite apto para un sistema de captación, según lo indican los lineamientos técnicos: *Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda* (CONAGUA, 2016) “Se deberá garantizar una pendiente mínima del 2% en el área de captación para generar un escurrimiento hacia las canaletas” (p.18).

Cada una de las cubiertas antes mencionadas está hecha en una losa de concreto impermeabilizado que según la información antes expuesta (ver tabla 4) genera un coeficiente de escorrentía de entre el 0.90 a 0.95%, lo que proporciona un aprovechamiento de alrededor del 100% del agua que cae sobre la cubierta para ser transportada por las diferentes bajantes y canales facilitando su captación y conducción



Figura 32 Fotografía de estado actual de cubiertas bloque I Elaboración propia

En un primer momento se identificó las diferentes bajantes con las que cuenta cada cubierta, así como su ubicación y cercanía a puntos hidrosanitarios y si estas tenían un punto de acople en común, es de esta manera que se determinó que en su mayoría las bajantes cuentan con un diámetro de 4” y 6 “(pulgadas) según lo indicado en la planimetría existente (ver anexo2)

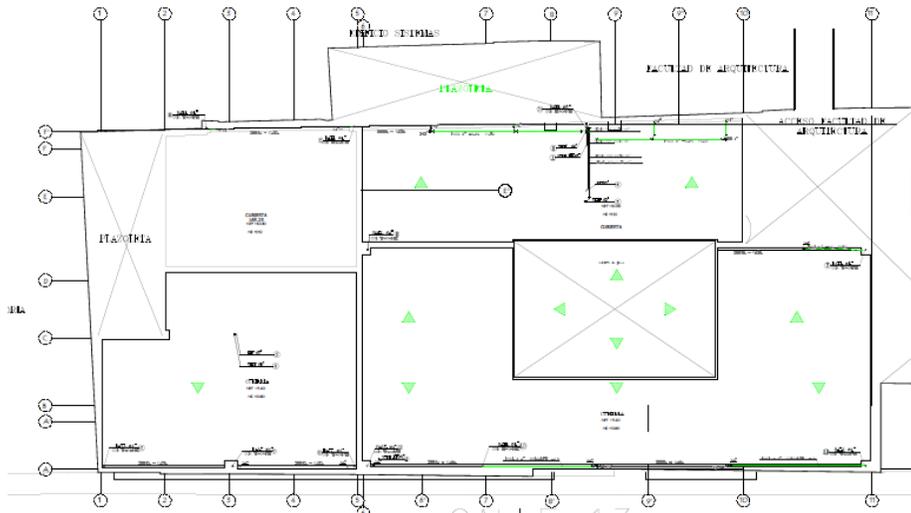


Figura 33 Cubierta Bloque I / Bajantes de agua lluvia Planimetría suministrada por la planta física de la UGC

Las canaletas con las que cuentan estas cubiertas tienen una dimensión que oscila entre los 12 a 15 cm, sus dimensiones están dadas en función de la duración de la precipitación, todo esto teniendo en cuenta la concentración del agua, la longitud que debe recorrer hasta el punto de acople y la pendiente; las canaletas cumplen la función de coleccionar y conducir el agua lluvia a un sistema de captación, llamase caja de inspección o tanque de almacenamiento.

En este bloque se encuentra ubicada una plazoleta cubierta la cual cuenta con una serie de superficies “tensadas” hechas en una membrana textil impermeable, la estructura que tensiona la superficie es atornillada a los muros perimetrales mediante ganchos de acero inoxidable ubicados en la parte superior.

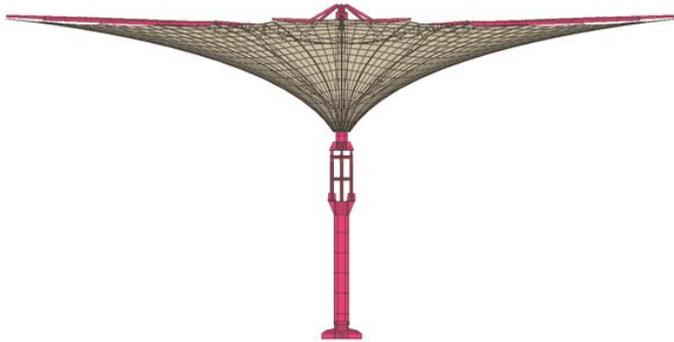


Figura 34 Cubierta alabiada, Piazza roofing of the prophet's mosque, medina, sa, 2010 Recuperado de <https://bit.ly/2Zs7Mci>

Del eje central de la superficie se desprende un tubo que actúa como estabilizador y en simultáneo como un ducto, para este caso el ducto o tubo central sería el encargado de coleccionar y conducir (reemplazando bajantes y canales) el agua lluvia minimizando pérdidas de agua en un 100%, esto debido a que el agua ingresa directamente siendo llevada hacia el punto de almacenamiento. A simple vista ésta cubierta da la perspectiva de ser una sombrilla invertida.

Los aspectos anteriormente mencionados hacen de esta superficie la cubierta perfecta de captación debido a su fácil mantenimiento, su materialidad y su forma, que básicamente dirige el agua hacia su interior. (Ver figura 35)



Figura 35 Fotografía de estado actual de cubiertas tipo membranas Bloque I Realización propia

Esta tipología de recolección de agua lluvia (sombrialla invertida) ya había sido mencionada por Barón, Liévano y Rodríguez (2017), cuando utilizaron una vertiente de este mecanismo que supliría las necesidades de agua para los campamentos realizados en obra, su diseño consistía en unos soportes verticales que tensionaban una tela impermeable que en su centro estaba unida por una tubería que llevaba directamente el agua al tanque como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 36 Tipología de cubierta tensionada, Adaptado de “Sistema de reutilización de aguas en obra” Barón, Liévano y Rodríguez (2017), Recuperado de <https://bit.ly/2Tt6eLj>

8.1 Pluviometría de la zona

Aquí se da a conocer la producción de agua lluvia presente en la zona de estudio, de manera que se diferencien las épocas de sequía de las de grandes temporadas de lluvia. Estos datos son suministrados por la estación pluviométrica más cercana al punto de captación (caso de estudio, estación San diego Bogotá).

“Según los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Colombia es el país del mundo donde más llueve, con precipitaciones promedio de 3.240 milímetros de lluvia cada año”. (Carvajal,2017, párr.3)

El director de pronósticos del IDEAM Christian Euscátegui, manifestó cuales eran las principales razones por las que Colombia ocupa uno de los primeros lugares de la lista de países con índices de mayor precipitación al año, esto es debido a un sistema de baja presión que se encuentra presente a lo largo del año que consiste en una gran nubosidad que se orienta de sur a norte los primeros seis meses del año y de norte a sur en los segundo seis (Carvajal , 2017).

El IDEAM representa a través de un plano de la república de Colombia la precipitación media total anual, donde se grafica la media de precipitación representada en colores que van desde precipitaciones de 500 mm (La Guajira) a 11000 mm al año (Cauca y Valle del Cauca).

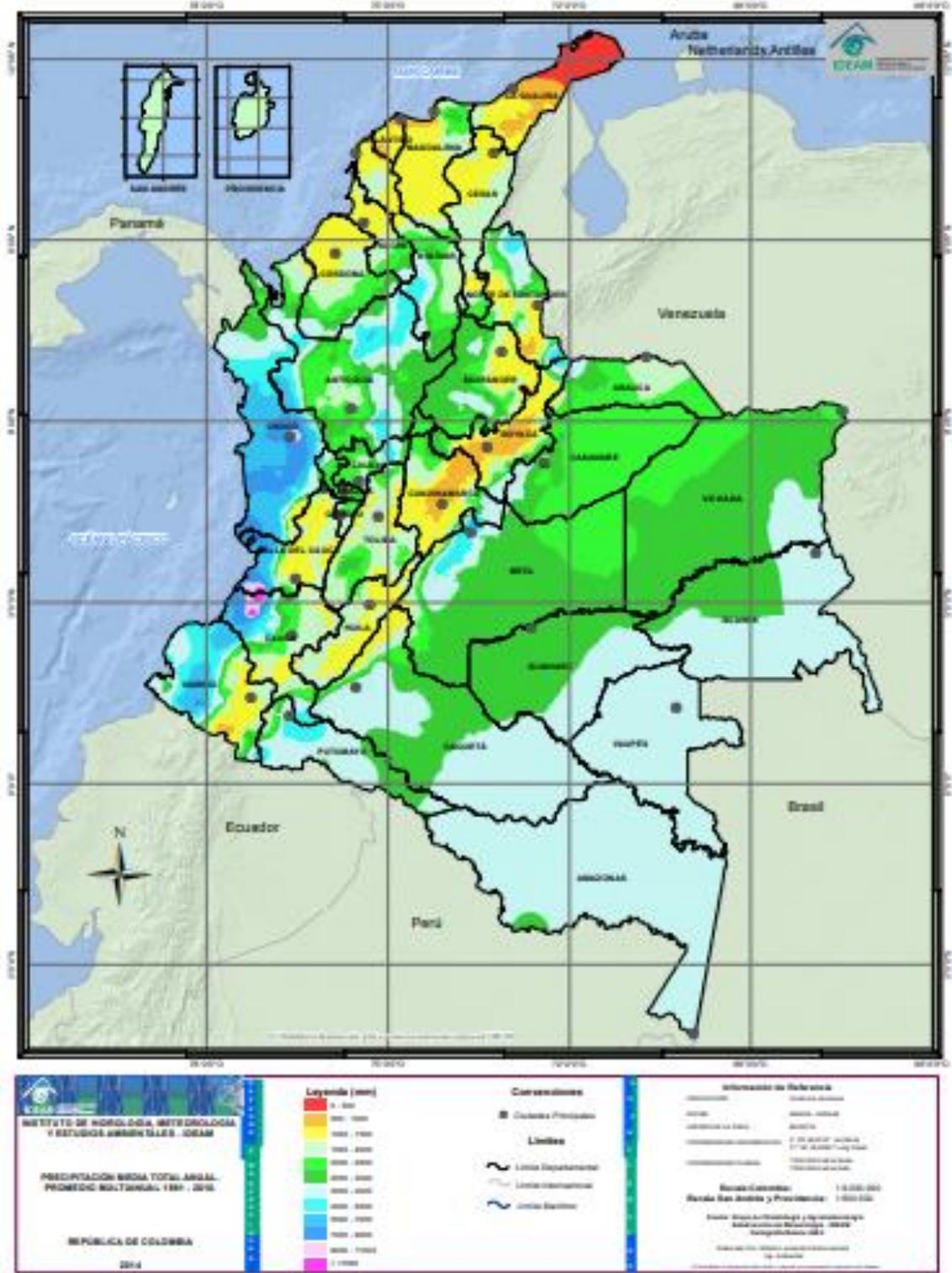


Figura 37 Precipitación anual Colombia Tomado de “Atlas del IDEAM” por IDEAM, 2014 Recuperado de http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Precipitacion_Anual.pdf

Pluviosidad Cundinamarca

De acuerdo a los comunicados presentados por el IDEAM los volúmenes de lluvia en el departamento de Cundinamarca no tienen un patrón totalmente establecido debido a los diferentes pisos térmicos que presenta; el índice de pluviosidad con valores más bajos se encuentra ubicada en la franja central que corresponde a lo que actualmente se conoce como La Sabana, presentando pluviosidades menores a 1000 mm.

Las lluvias tienden a incrementar al acercarse a la cordillera oriental debido a la gran cantidad de vientos ya que alcanzan valores cercanos a 4000 mm en municipios como Medina y Ubalá.

Precipitación total anual (mm) Cundinamarca

La precipitación total anual (mm) en el occidente del país se da una precipitación bimodal, lo que hace que se presenten dos temporadas secas que se presentan en los meses correspondientes a diciembre - marzo y en la otra mitad del año los de junio - agosto. El número de días con lluvia en la sabana de Bogotá esta dado entre los 500 a 1500, presentando diferentes fluctuaciones según fenómenos meteorológicos como lo son El Niño y La Niña.

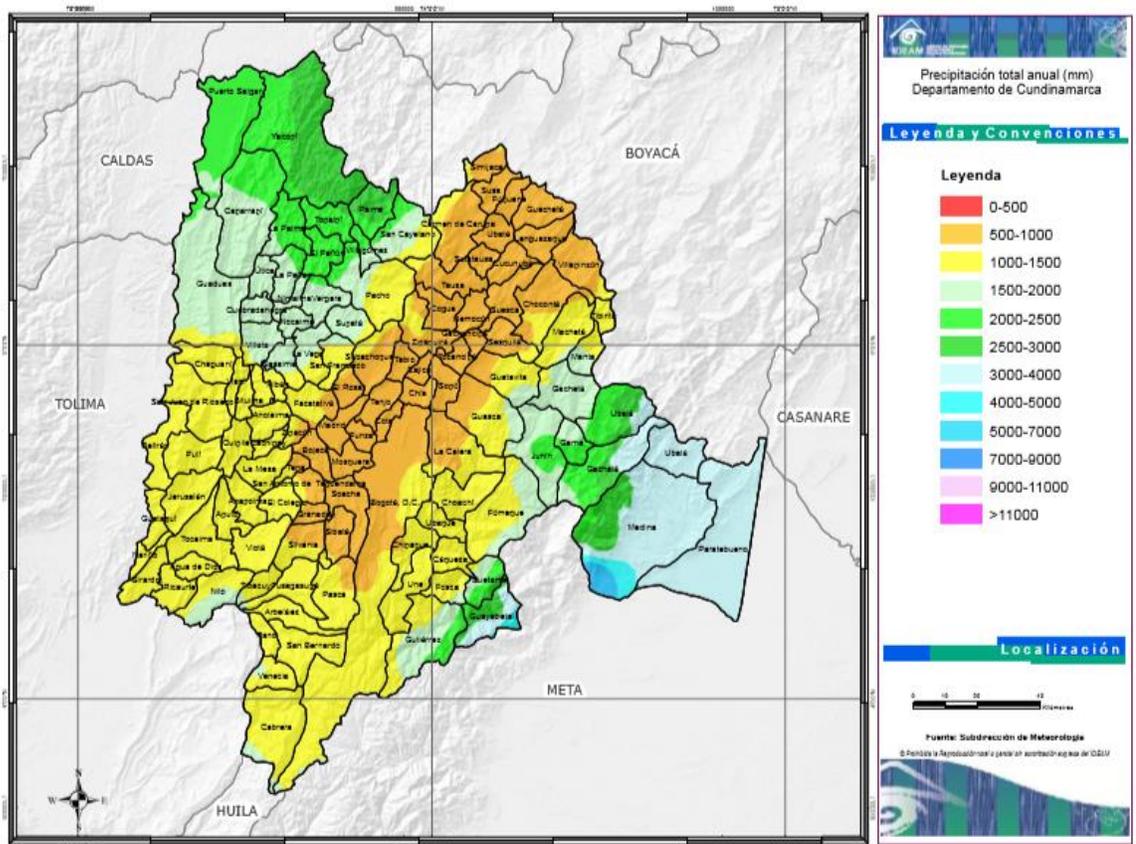


Figura 38 precipitación Cundinamarca Tomado de “Atlas del IDEAM” por IDEAM, s.f. Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/precipitacion-cundinamarca.pdf>

Número de días con lluvia, total anual (mm) Cundinamarca

De acuerdo a la representación gráfica mostrada por el IDEAM en el mapa de Cundinamarca se representan tres modalidades principales de lluvia que van desde los 50 mm a los 350 mm de pluviosidad, en el caso de Bogotá y sus cercanías se presenta un número de días con lluvias anuales de entre 150 a 250 mm al año. (ver figura 39)

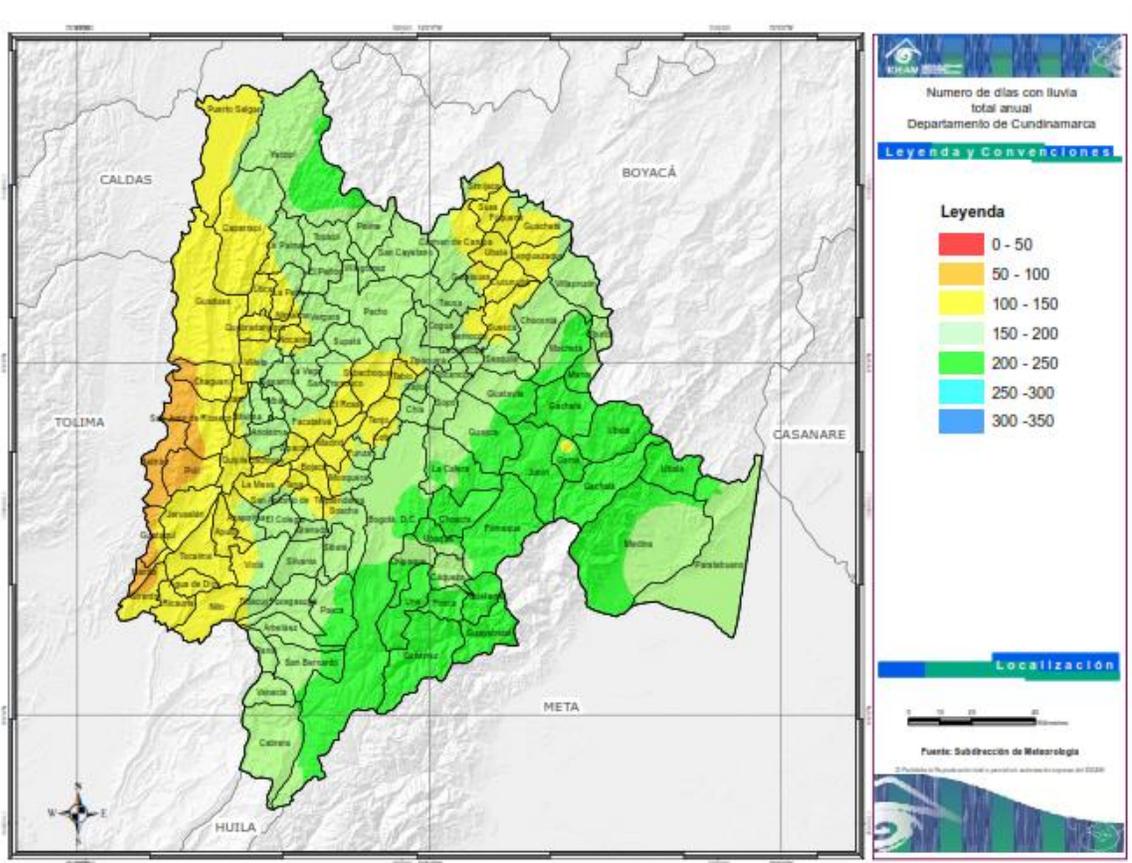


Figura 39 Número de días con lluvia Bogotá , Tomado de “Atlas del IDEAM” por IDEAM, 2014 Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/ndias-cundinamarca.pdf>

Pluviosidad Bogotá

Para la realización de la siguiente tabla se dispuso de la información proveniente de alrededor de 22 estaciones pluviométricas localizadas en la ciudad de Bogotá, analizadas mensualmente durante un año; para el caso de estudio se tuvieron en cuenta los datos de la estación pluviométrica de San diego, debido a que es la estación más cercana a la localización del caso de estudio.

Tabla 8

Precipitación estación San Diego mensual y anual

PROMEDIOS MENSUAL Y ANUAL DE PRECIPITACION (mm)													
ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP.	OCT	NOV	DIC	ANUAL
APTO EL DORADO	32	42	66	113	92	55	41	48	73	116	88	52	819
APTO GAYMARAL	31	52	70	91	87	57	46	46	65	100	85	46	777
BOCA GRRANDE SAL	32	57	86	135	183	178	214	169	121	114	103	53	1441
BOSA BARRENO	20	30	48	69	69	51	33	44	51	78	70	29	591
CERRO DE SUBA	41	66	85	109	100	48	39	47	71	116	106	61	889
CNTADOR	68	82	101	116	98	44	40	38	54	122	114	82	958
EL BOSQUE	37	55	75	117	147	157	173	136	101	111	120	62	1290
EL GRANIZO	71	76	90	114	122	82	78	74	68	119	135	84	1113
EL HATO	19	37	51	82	108	85	80	73	64	79	66	34	778
EL VERJON	51	56	89	98	124	132	155	119	81	98	76	38	1195
GRANJA SAN JORGE	26	38	54	90	96	64	55	55	56	90	89	42	754
JARDIN BOTÁNICO	43	62	90	119	120	57	45	51	79	112	117	64	960
LA REGADERA	21	38	55	96	136	128	123	108	81	98	76	38	999
S. FRANCIS. SALITRE	76	71	93	114	128	91	118	90	74	117	116	82	1169
SAN DIEGO	60	74	90	120	105	61	63	58	59	121	128	78	1016
SAN LIUS	74	74	96	118	107	62	60	55	60	118	130	79	1033
SANTA LUCIA	27	40	58	82	84	48	37	43	52	82	73	41	667
TORCA	64	80	13	142	123	84	78	65	101	125	135	86	1197
UNV. NACIONAL	57	70	93	117	118	53	39	48	74	126	129	76	940
USAQUEN S. ANA	73	71	103	119	96	51	45	44	55	111	121	80	969
VENADO DE ORO	65	69	98	126	113	71	74	68	68	119	140	83	1093
VITELMA	59	71	100	112	105	72	89	75	66	111	123	81	1064

Nota: Tomado de IDEAM, Caracterización climática de Bogotá (2007). Recuperado de <https://bit.ly/2WB0Pnt>

La representación de datos a nivel mensual es mostrada teniendo en cuenta la información suministrada por la estación pluviométrica del aeropuerto el dorado de Bogotá debido a que es la única estación pluviométrica en Bogotá que recolecta los datos completos diarios de las fluctuaciones meteorológicas, durante las 24 horas continuas. En esta estación se consigian los datos que van desde fuertes lluvias, hasta las lloviznas más bajas.

Los meses de enero y febrero presentan fluctuaciones de lluvia mucho más bajas , en horarios que van desde las 9 a las 11 de la mañana, pero iniciado el mediodía hasta las 8 de la noche la frecuencia e intensidad aumenta un 25% , en lo que resta del año, de abril hasta el mes de noviembre se ve un aumento en la ocurrencia promedio, donde se presentan lluvias de más del 15% a lo largo del día, siendo entre la 1 y las 4 pm la intensidad máxima,

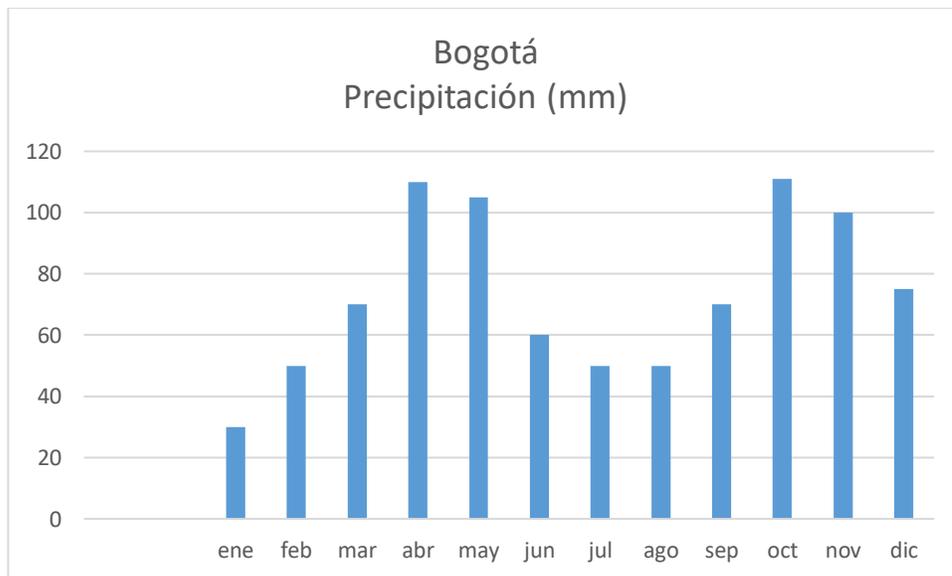


Figura 40 Precipitación mensual Bogotá, Tomado del IDEAM (2007) “Caracterización Climática de Bogotá. Recuperado de <https://bit.ly/2WBOPnt>

Si se analiza el número de días con lluvia, según los resultados mostrados por las diferentes estaciones pluviométricas ubicadas en Bogotá, se entiende que es en los meses que van desde abril hasta el mes de noviembre se presentan lluvias mensuales de alrededor de 18 días

correspondientes a cada semana; correspondiendo a meses entre junio, que representa la primera temporada de lluvia, y mayo donde se registran periodos de 20 días de precipitación al mes, siendo uno de los meses más lluviosos.

En los meses de octubre y noviembre se da la segunda temporada de lluvias siendo el mes de octubre el que presenta mayor afluencia de lluvias con 19 días.

El sector de los cerros orientales registra mayores días de lluvias en los meses de mayo, junio, julio y agosto, donde el promedio mensual de días de lluvia oscila entre los 25 a 28 días, los meses que presentan menor promedio de lluvias son enero y febrero, en donde se dan lluvias aproximadas de 10 días en toda el área de Bogotá.

Precipitación histórica estación San Diego

Para la caracterización de los datos hidrológicos en cuanto a la oferta de agua mensual y anual, se debe contar con los registros históricos de entre 5 a 10 años atrás de la estación pluviométrica más cercanas al sitio de estudio, determinando a si los períodos de sequias y lluvia prolongada por los que se ha visto afectado el sector, de esta manera se pretende crear un sistema que responda a cada una de las fluctuaciones del tiempo.

La estación de san diego corresponde a las áreas demarcadas con B2 lo que indica que cuenta con un clima parcialmente húmedo, que se caracteriza por presentar precipitaciones entre 900 - 1000 mm debido a su cercanía con los cerros orientales.

Si se hace un análisis histórico existen registros de lluvias anuales de los años contemplados desde 1971 al 2001 donde las precipitaciones más sobresalientes en mm se han visto en los años de 1979, 1986 y 1999 respectivamente, con 1567,2 mm en 1979 alcanzando límites que no han sido superados en años posteriores.

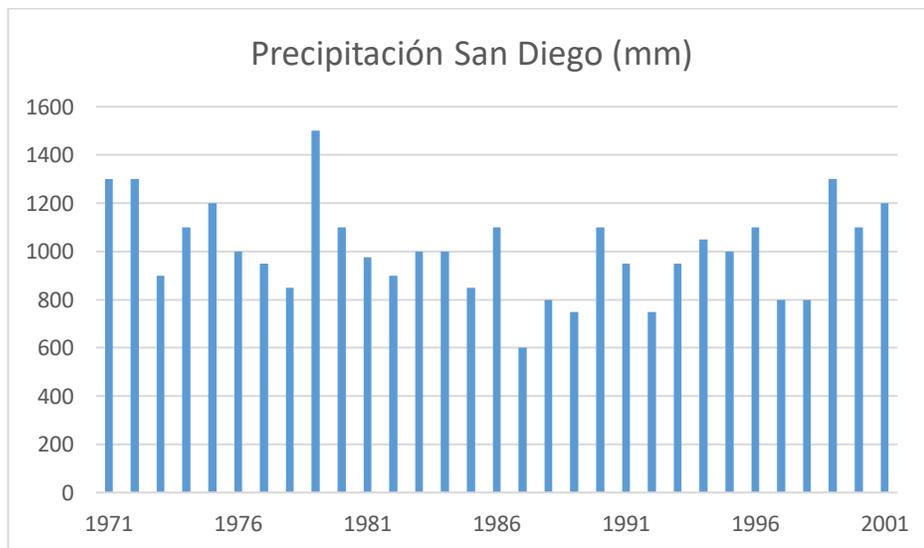


Figura 41 Comportamiento Anual Multianual de la Lluvia, Tomado del IDEAM (2007). *Caracterización Climática De Bogotá*. Recuperado de <https://bit.ly/2WB0Pnt>

Precipitación mensual estación San Diego

La estación pluviométrica de san diego se encuentra ubicada en ... y presenta un promedio mensual de lluvias que van desde los 60 mm a 130 mm ; encontrándose los meses de entre Junio - septiembre se dan lluvias aproximadas 60 mm , mientras que en los meses de marzo - mayo se han registrado cantidades de lluvia que van entro 80 mm a los 120 mm, siendo estas las características climáticas, denominadas de carácter bimodal con dos temporadas de lluvias bastante marcadas y dos relativamente bajas o secas.(ver figura 42)

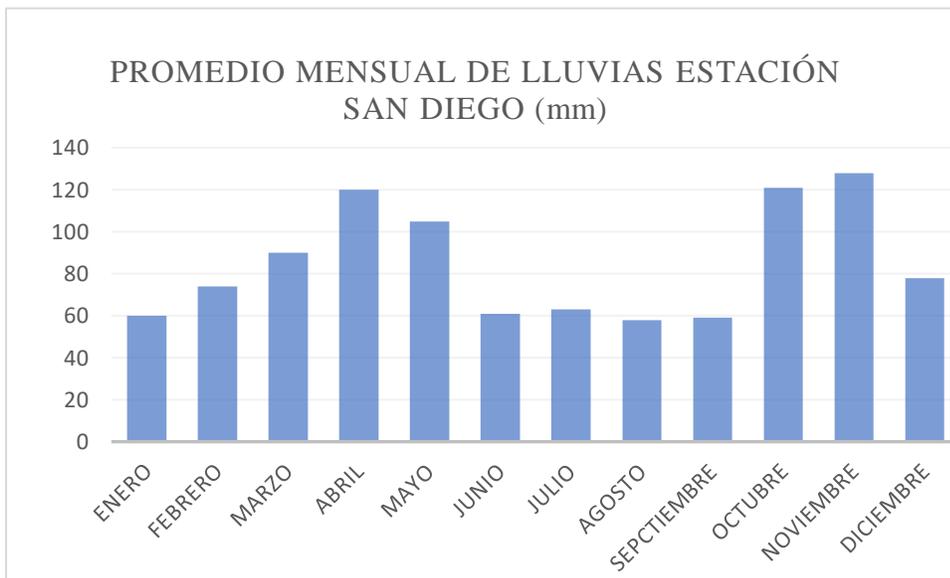


Figura 42 Promedio mensual de lluvias (estación San Diego) elaboración propia a partir de datos tomados del IDEAM (2007) caracterización climática de Bogotá. Recuperado de <https://bit.ly/2WB0Pnt>

Precipitación Diaria estación San Diego



Figura 43 Días con lluvia estación san diego, Adaptado IDEAM caracterización climática de Bogotá p.39. Recuperado de <https://bit.ly/2WB0Pnt>

8.2 Planeación del sistema

Para realizar la gestión para el diseño hidráulico del sistema de captación de aguas lluvia del bloque I, se tuvieron en cuenta diferentes componentes como lo fueron; la demanda de agua de la institución, la precipitación de la zona escogida, los diferentes tratamientos (filtros) de agua requeridos para esta propuesta en específico, y las redes hidráulicas, bajantes y canales preexistente en la institución.

8.2.1 Demanda de agua potable

De acuerdo con la información suministrada por parte de la planta física de la UGC bloque I, del año 2019, del consumo de agua bimestral, y teniendo en cuenta las fechas de facturación de recibos de alcantarillado (ver anexo 1), en los meses de julio, septiembre y diciembre hubo un consumo de 42 m², 52m² y 31 m² respectivamente, todo esto consumido en actividades como descargas de inodoros, lavamanos y orinales, limpieza de pisos, baños, el riego de macetas. Como se puede observar en la siguiente gráfica.

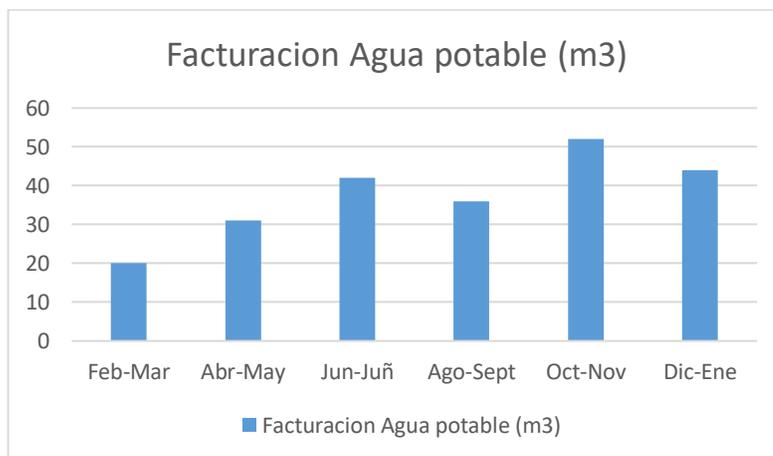


Figura 44 Consumo anual de agua potable Adaptado de los recibos del acueducto y alcantarillado del bloque I, suministrados por la UGC

El bloque I presta sus instalaciones para actividades diarias durante 6 días de la semana en horarios académicos divididos en 3 jornadas principales; la primera que va desde las 6 am (apertura de puertas) hasta las 12 am; la segunda comienza en horarios que van desde 2 pm a 5 pm, siendo la última de 6 pm a 10 pm (se cierran las puertas)

Dado que el bloque I se compone de 3 plantas principales compuestas por salones, puntos fijos y bloques de aseo , se determinó que alrededor del 70% del uso es en aulas, basado en esto se estima que la infraestructura puede llegar a abarcar alrededor de 700 personas, esto teniendo en cuenta que el dimensionamiento de las diferentes aulas de clase es de aproximadamente 40m² dando lugar a que pueda ser ocupa por entre 20 a 30 estudiantes a la vez como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 9

Relaciones estudiantes / Bloque i

	CANTIDAD SALONES	EST/SALON	CAN/EST
PRIMER PISO	6	20	120
SEGUNDO PISO	10	20	200
TERCER PISO	11	20	220
TOTAL	27		540

Nota: Elaboración propia

De acuerdo a lo antes mencionado para determinar la demanda mensual de una edificación y a los datos específicos propuestos anteriormente del bloque I de la UGC, se determina que la demanda mensual de agua equivale a **33,75 m³**

$$Dm = \frac{540 * 5 * 50 * 25\%}{1000}$$

8.2.2 Diseño y dimensionamiento del tanque de almacenaje

Para realizar el dimensionamiento del tanque de almacenaje se tuvieron en cuenta los datos del bloque I, expuestos anteriormente (ver capítulo 8 y 8.1). Donde se expresaron los datos correspondientes a el área total de la cubierta del bloque I, siendo esta de un total de 1,020m2 y presentando lluvias aproximadas de 70 mm mensuales.

De la fórmula propuesta anteriormente para determinar el volumen del tanque (ver capítulo 7.5) se realiza la siguiente tabla.

Tabla 10

Pre dimensionamiento de tanque de almacenamiento

Recurso Disponible De Almacenar

Promedio Mensual De 70 Mm ----- 17.5 Mm Semanales			
Promedio Semanal De Lluvia (Mm)	X	Superficie De Recolección (M2)	Volumen De Tanque (M3)
0.0175 M		1.020 M2	17,85 M

Factor De Escorrentía Y Filtrado

Coefficiente De Filtrado	10%	Volumen De Cubierta
Escorrentía En Techo Placa De Concreto		0,95

Cantidad Final De Agua Lluvia A Almacenar

Recurso Disponible	Factor De Escorrentía	Factor De Filtrado	Tanque (M3)
17.780 M3	0,9	1,020	15,106 M

Nota: Elaboración propia

Tanque de almacenamiento de agua lluvia (MODELO)

De acuerdo los datos obtenidos en el dimensionamiento del tanque (15,106 m³), El área total de captación propuesta es de 20 m³, esto debido a que el tanque de almacenamiento debe contar con un 3% adicional para su correcto funcionamiento. Para calcular la altura como se indicó anteriormente no es recomendable que sea igual o superior a 2 m, esto debido a que dificulta el proceso de mantenimiento y revisión mecánica.

Con base en las dimensiones de la plazoleta (21.12m * 5.96m) en la que se propuso implantar el tanque de almacenamiento, se determina que este tanque debe tener unas medidas de 4m de ancho por 5m de largo, siendo su altura de 1m

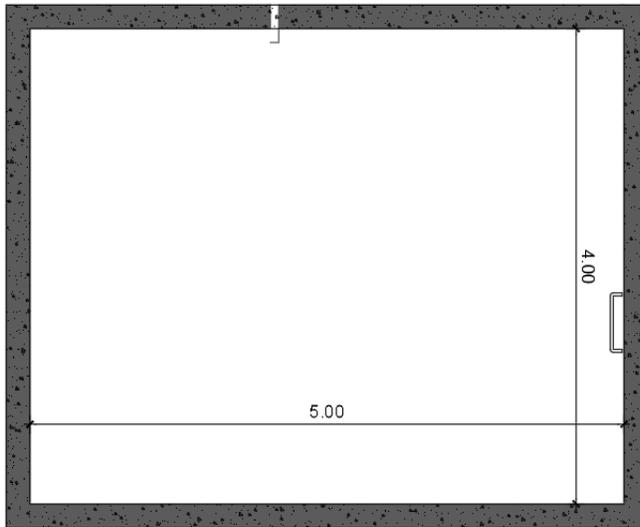


Figura 45 Plano planta de área de recolección, Elaboración propia.

$$\text{Área} = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Altura}$$

$$A = 5 \text{ m} * 4 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$= 20 \text{ m}^3$$

8.2.3 Redes presentes en la edificación

Red de suministro

La red de suministro de agua potable existente en el bloque I, se compone de dos redes principales que funcionan de manera simultánea.

La primera, es la encargada de conducir el agua potable a los lavamanos. Esta red se encuentra embebida en los muros, teniendo un diámetro de 1/2" cuando sale, para cambiar a una tubería de 3/4" para conectarse al registro; a su vez la otra red maneja las conexiones de inodoros siendo estas de 1 1/4 y desembocan en una tubería de 1 1/2" que se conecta a un registro diferente, a este también se une la red de 3/4 correspondiente a los orinales; La tubería que sube y conecta los diferentes pisos tiene un diámetro de 2 1/2" que viaja a través de un doble muro que se encuentra entre el bloque de baños y un aula

Como ve se en la siguiente figura en donde el color rojo representa la red de los inodoros y orinales, y en azul la red que corresponde a los lavamanos (ver anexo2)

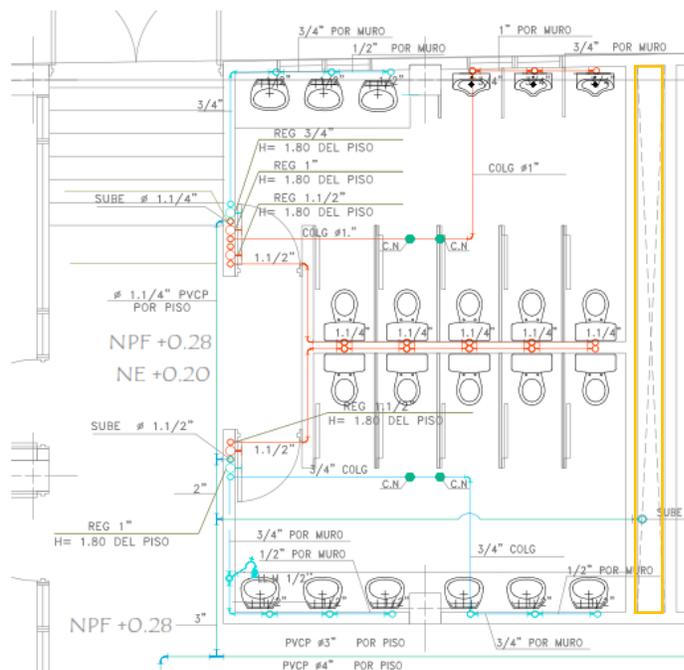


Figura 46 Red hidráulica existente, planimetría suministrada por la universidad

Bajantes

En cuanto a la red de bajantes existentes en la edificación, se toma como referencia un plano de cubiertas donde se indican las posiciones y diámetros de estas. (ver anexo 2)

La mayoría de las bajantes con las que cuentan las diferentes cubiertas tienen un diámetro de 4", a excepción de la bajante (numero 3), que es la conexión directa entre los sifones y el ducto de ventilación

A continuación, se muestra un diagrama de la ubicación de las diferentes bajantes representadas por un circulo, en color verde para mejorar su visibilidad, al igual que un icono color rojo que indica en donde se encuentra ubicada la bajante principal

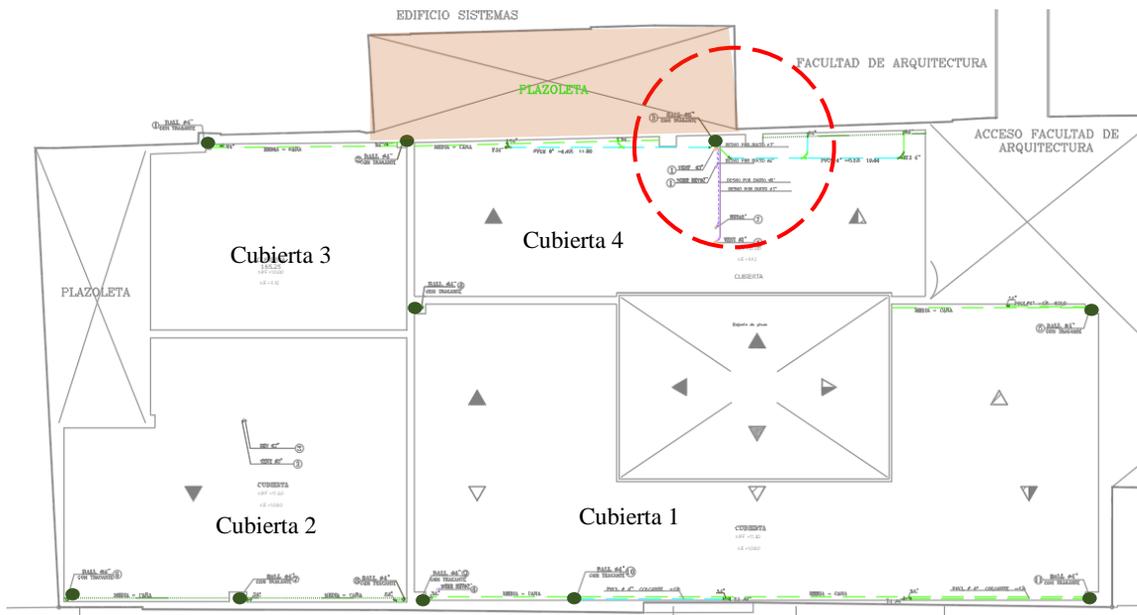


Figura 47 Bajante presentes en la cubierta, Adaptado de la planimetría del bloque I

Cajas de inspección

La red de desagües presentes en el bloque, está dividida entre las que conducen las aguas residuales y aguas lluvias como se puede observar en la siguiente imagen.

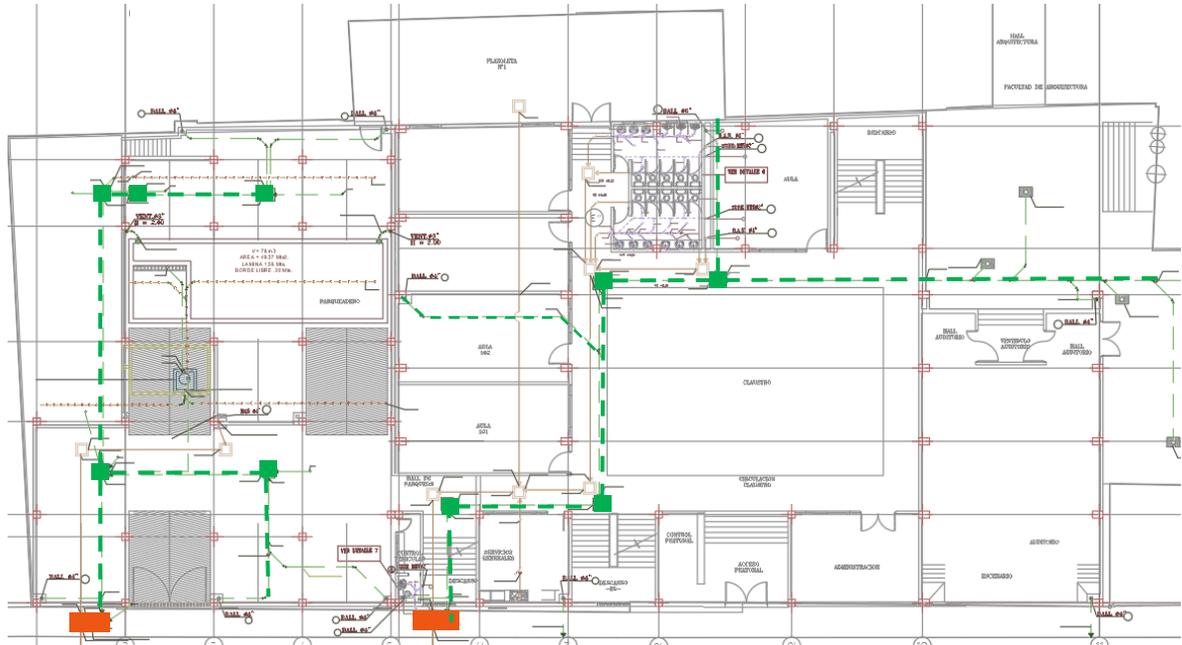


Figura 48 cajas de inspección, Adaptado de planimetría del bloque I

De esta manera se concluye que el bloque I, posee características de una instalación mixta, ya que permite mantener la independencia entre las cajas de inspección de aguas pluviales y las de aguas residuales, siendo transportadas gracias a la pendiente presente en el terreno de la edificación, por gravedad hasta que se conectan con el alcantarillado.

Pre – diseño

El prediseño de la red hidráulica de agua pluvial, consiste en implantar un sistema que pueda conducir el agua lluvia hasta el punto de almacenamiento de la forma más eficaz, teniendo en cuenta la posible inversión, el tiempo estimado de la obra y la infraestructura existente, debido a que al ser una institución educativa no puede cesar sus labores académicas por periodos prolongados.

A partir de los datos mencionados anteriormente se determinaron dos posibles soluciones para la conducción de la red de aguas lluvias.

La primera de ellas plantea conectar las distintas cajas de inspección, correspondientes a la red pluvial y utilizar una bomba de presión para que el agua suba y desemboque en el tanque de almacenamiento y no en la red de alcantarillado. La segunda consiste en crear una red completamente nueva que conecte las bajantes existentes y las transporte sobre el cielo raso dejando a si una única bajante principal, y que esta sea la que conduzca el agua por gravedad hasta el tanque de almacenamiento.

A continuación, se observa una tabla que indica las ventajas y desventajas que se encuentran entre las dos posibles opciones de adaptar el sistema hidráulico de aguas lluvia.

Tabla 11

Ventajas y desventajas de las redes

REDES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Red de cajas de inspección		La pendiente de la edificación hace que no sea posible llevar por gravedad el agua a punto de almacenamiento
	La red ya se encuentra existente	Es necesario implementar una bomba para llevar el agua hacia el tanque
		Para crear continuidad en la red es necesario romper la placa de sobrepiso
		Antes de realizar la instalación tiene que hacerse un mantenimiento de cajas
Red cielo raso	El agua es transportada por gravedad	
	El desmonte del cielo raso es menos costoso	Se debe que crear una nueva red para la conducción del agua lluvia
	más facilidad para hacer mantenimiento debido al techo removible	antes de realizar la instalación tiene que hacerse un mantenimiento de las bajantes

Nota: Elaboración propia

Se determinó que la red más viable tomando en cuenta, el tiempo y dinero de inversión sería la red aérea, puesto que su intervención sería desarrollada únicamente en 3 piso y en la plazoleta cubierta, de manera que para llevar a cabo un mantenimiento se tendría la opción de hacer un cierre parcial, haciendo el proceso lo menos traumático posible.

9 Diseño del sistema

De acuerdo a la planimetría prestada por el área de planta física de la UGC. Se procede a realizar el diseño de un sistema de recolección y aprovechamiento de aguas lluvia para el Bloque I, Esto teniendo en cuenta la información antes expuesta sobre la demanda del recurso hídrico , frecuencia e intensidad de lluvias en la zona, áreas de superficies de captación y ubicación del tanque de almacenamiento, del mismo modo se definió que el agua lluvia seria dirigida únicamente a los puntos sanitarios que no requieran agua potable para su correcto funcionamiento, como lo son los inodoros y orinales , los diseños de redes y levantamiento del bloque I , fueron realizados en los programas de diseño AutoCAD⁴ y Revit respectivamente , estos programas facilitaron la obtención de datos como áreas, longitudes y cantidades; junto con la modelación 3D de la propuesta implantada en el lugar.

⁴ El un programa de dibujo y diseño 2D y 3D

9.1 Red de distribución de agua lluvia

Para el diseño de la red de distribución de agua lluvia correspondiente a la conducción del recurso pluvial, se planeó la utilización de una red aérea fijada con abrazaderas cada 2m según lo indica PAVCO, que conducirá el recurso hídrico sobre los cielorrasos preexistentes de la edificación (cielorraso en PVC de 20cm *600 cm), la tubería corresponde a un diámetro de 4" con una pendiente estimada del 2% para facilitar su transporte por gravedad hasta encontrarse con la bajante principal correspondiente a 6". Esta bajante contara con la instalación de un filtro de primeras aguas que se encontrara a 2,50m sobre el nivel del suelo para facilitar su revisión y mantenimiento, así pues, la bajante se conectara con el tanque de almacenamiento para comenzar el proceso de llenado.

La disposición de la red aérea se diseñó de tal manera, que las longitudes más largas de esta, estén sobre los pasillos del claustro minimizando su paso por las aulas estudiantiles, como se puede observar en la siguiente imagen donde la línea azul punteada representa la distribución de la red aérea, siendo el azul más oscuro el que se conectara con la bajante principal de 6"

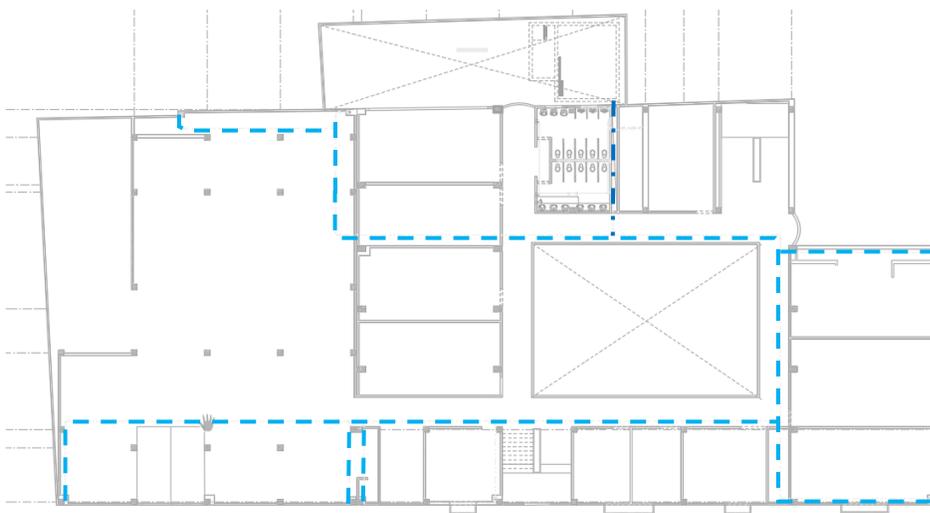


Figura 49 Recorrido de red aérea elaboración propia (ver anexo 2)

Se realiza un modelado 3D para representar las diferentes conexiones entre los sistemas, donde el recorrido de las bajantes y la red pluvial esta graficado con color negro.

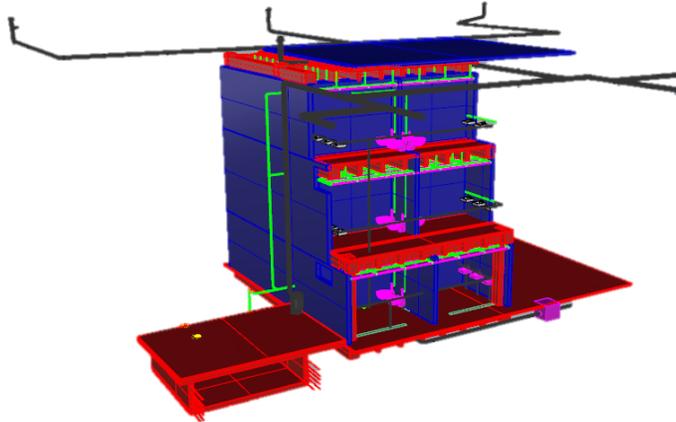


Figura 50 Corte 3D de la instalación, elaboración propia (ver anexo 2)

La red alterna se adaptará mediante un pase, al antiguo sistema de red hidráulica correspondiente a inodoros y orinales, El acople de redes se da mediante una ramificación que conectara la red que viene desde el tanque con un diámetro de 1 1/2" a la vertiente de la red hidrosanitaria correspondiente a 1"; esta red contara con una válvula de registro debido a que ambas redes (agua potable y agua lluvia) deberán trabajar conjuntamente, basados en la probabilidad de presentar periodos de sequía en donde el tanque de agua lluvia no podrá suplir la demanda de descarga del bloque I. (ver anexo 2)

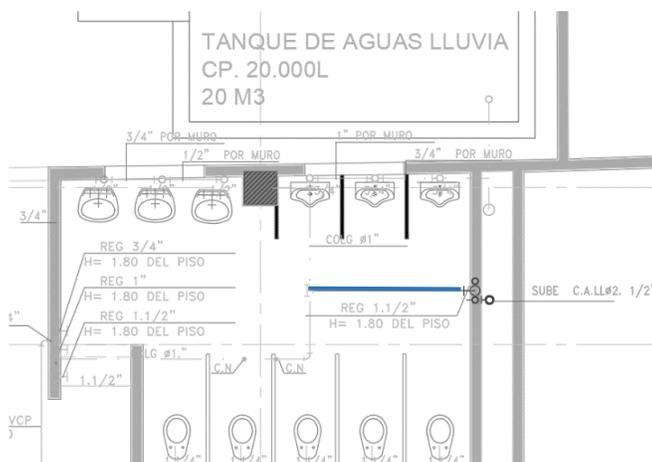


Figura 51 Conexión entre red hidrosanitaria y red pluvial, Elaboración propia

El tubo principal que subirá a través de un doble muro (ducto) correspondiente a un diámetro de 2 ½”, se conectará a los diferentes puntos hidrosanitarios ubicados en cada piso, la conexión

Las longitudes presentadas para la distribución de la red aérea fueron obtenidas utilizando los programas de diseño AutoCAD y Revit respectivamente, en Revit se obtuvieron las longitudes de tuberías verticales, mientras que en AutoCAD fue más sencillo obtener los correspondientes a los tubos horizontales que viajaran sobre el cielo raso

Tabla 12

Red general de aguas recicladas

RED GENERAL AGUAS RECICLADA

Tubería PVCS 4". Incluye suministro, instalación y uniones para el correcto tendido de la tubería	ml	166,00
Accesorios PVCS 4" (se excluyen las uniones)	un	22,00
Tubería PVCP RDE 2 - 1/2". Incluye suministro, instalación y uniones para el correcto tendido de la tubería	ml	8,00
Tubería PVCP RDE 11 - 3/4". Incluye suministro, instalación y uniones para el correcto tendido de la tubería	m	35,00
Accesorios PVCP 1/2" (se excluyen las uniones)	un	48,00
Accesorios PVCP 3/4" (se excluyen las uniones)	un	28,00
Accesorios PVCP 1" (se excluyen las uniones)	un	40,00

Nota: Elaboración n propia basado en las longitudes de redes

9.2 Sistema de bombeo

Para determinar el equipo eyector más óptimo para el caso de estudio se tuvieron en cuenta datos como:

- Caudal estimado de la edificación

Tabla 13

Caudal estimado de la edificación

Aparato	Cantida d	Cau dal(L/S)	Diámetro (Pulgadas)
Inodoro Fluxómetro	30	2.50	1 1/2
Orinal Fluxómetro	9	1.50	3/4
Lavamanos	27	0.10	1/2

Nota: Adaptación de “Propuesta Sistema Aprovechamiento Agua Lluvia” (2010), Recuperada de <https://bit.ly/36gof4C>

Altura máxima total, donde se tendrá en cuenta hasta que altura deberá subir el sistema de red pluvial, el diámetro de la tubería ⁵y el volumen de perdida unitaria;

Correspondiendo así a una altura de **8,40 m** (ver anexo 2)

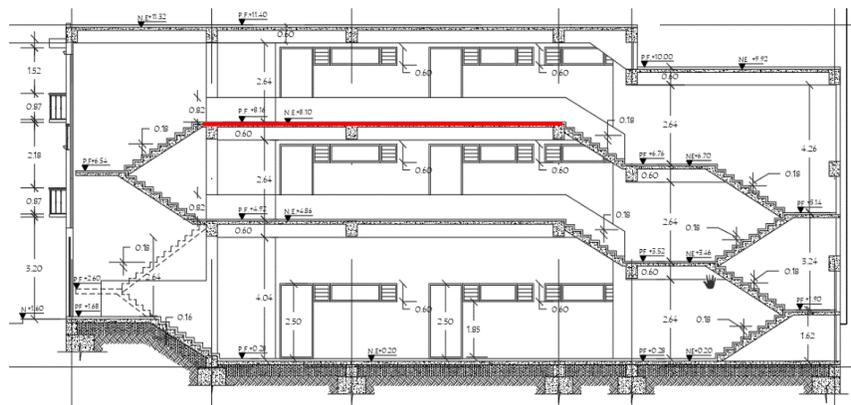


Figura 52 Corte transversal Bloque I, Adaptación de planimetría suministrada por la UGC

⁵ Para estos cálculos se debe contar con la asesoría de un ingeniero hidráulico

En este caso el sistema de eyector consiste de

Tabla 14

Equipo de bombeo bloque I

EQUIPOS DE BOMBEO

Equipo eyector para aguas lluvias freáticas, automático con interruptores de flotador y ampolleta de mercurio; caudal 9 L/s, Dos (2) motobombas sumergibles marca IHM, modelo WQK15-15-1,5, construcción standard en hierro, especialmente diseñada para aguas residuales, drenajes y desagües, accionadas directamente por motores eléctricos trifásicos de 2.0 HP, 3500 RPM, 220 voltios, 3 fases, 60 hz, incluye 6.0 mts de cable sumergible aproximadamente, anillo para ubicación izada o transporte.	un	2,00	\$	2.345.678
--	----	------	----	-----------

Nota: Adaptado de cotización de equipos realizada por Ignacio Gómez IHM SAS (Ver anexo 4)

9.3 Mantenimiento

Según lo informado en el artículo 10, del decreto 1575 del 2006, se establece que a los tanques de almacenamiento debe hacerse una revisión y mantenimiento como mínimo cada 6 meses, y en esta se debe lavar y desinfectar la superficie, ya que con el tiempo puede desarrollarse una capa sedimentaria en el fondo, debido al ingreso de algunas partículas arrastradas por la tubería, lo que podría generar contaminantes en el agua y con el tiempo dañar los fluxómetros de los inodoros.

Para la realización de la limpieza del tanque se debe vaciar totalmente así que es recomendable que el suministro sea cerrado con anterioridad (8-10 días).

Adicional a esto se debe hacer un mantenimiento trimestralmente al filtro de primeras aguas, retirando de esta forma los residuos que allí se almacenen, permitiendo que el agua fluya más correctamente, también se deben revisar las diferentes uniones entre bajantes y canales para cerciorarse de que no existan ninguna clase de fugas

10 Análisis Costo

Al realizar el análisis de costo/ beneficio se pretende estimar en valores cuantitativos y cualitativos, para determinar cuáles serán los resultados de implementar el sistema de recolección y aprovechamiento de aguas lluvia.

De acuerdo a los análisis realizados, a las facturas presentadas por el acueducto se estimó que el valor por m³ de agua consumido, es de \$ 2,678; a su vez se determinó que el bloque I, presenta tres períodos de consumo, el primero denominado como un período activo, correspondiente a jornadas completas de estudio, donde se consumen 42 m³ que representan un costo de 11'276.000.

El siguiente corresponde al periodo fijo donde se da un consumo de 20 m³ equivalentes a 5'356.000, que representa el consumo dado en los meses de receso escolar, donde se hacen mantenimientos globales al bloque y las descargas realizadas son por parte de administrativos, celaduría y personal de aseo; el tercer momento presenta un pico del consumo en donde se alcanzan 57m³ correspondientes a \$15'246.00pesos, en respuesta al incremento usuarios o visitantes presentes en bloque, esto se da por la realización de eventos como conferencias , foros y exposiciones en el auditorio .(ver capítulo 8.2.1)

La factibilidad del proyecto puede ser determinada de acuerdo a 3 momentos principales, el primero de ellos correspondiente a la inversión inicial, equivalente a los valores totales del presupuesto de obra, para este caso tendría un costo aproximado de \$40'000.000 millones de pesos (cuarenta millones de pesos) teniendo en cuenta el costo de administración imprevistos y la utilidad

Tabla 15

Análisis de costos

VALOR COSTO DIRECTO			\$	30.028.554
VALOR COSTO INDIRECTO		20,00	\$	6.005.710,72
ADMINISTRACION	%	10,00	\$	3.002.855,36
IMPREVISTOS	%	5,00	\$	1.501.427,68
UTILIDAD	%	5,00	\$	1.501.427,68
VALOR COSTO DIRECTO			\$	36.034.264,33

Nota: el porcentaje de imprevistos es más alto que en otros presupuestos en vista de que al ser una edificación preexistente pueden surgir algunas diferencias en la disposición de redes. (ver anexo 4)

El segundo momento está dado teniendo en cuenta el factor de ahorro, en donde según lo anteriormente expuesto podría llegar a ser entre el 46% y el 35% en periodos activos y aumentos en el consumo respectivamente, si se tiene en cuenta el volumen del tanque (20m³) y su representación correspondiente en pesos (\$ 5'246.000).

El tercer momento sería entonces el retorno de la inversión inicial (\$40'000.000), que parte de un ahorro de consumo correspondiente a \$ 5'246.000 bimestralmente, de esta forma a partir del sexto periodo de facturación (1año) se comenzaría ahorrar un estimado de entre 5'000.000 a 6'000.000 millones de pesos colombianos.

11 Conclusiones y recomendaciones

A partir de la experiencia de este trabajo se plantean las siguientes conclusiones y recomendaciones en base a su objetivo principal de replicabilidad de metodología a la hora de implementar un sistema de recolección y aprovechamiento en un edificio preexistente.

11.1 Conclusiones

1. La viabilidad a nivel económico está directamente relacionada con la infraestructura de la edificación escogida; en el caso del Bloque I se contaba con los espacios y redes independientes lo que redujo significativamente el capítulo de demolición.
2. Con la implementación del sistema de recolección y aprovechamiento de agua lluvia escogido para el bloque I, se puede llegar a tener un retorno de la inversión con resultados positivos, determinando que un proyecto viable a nivel técnico, funcional y económico.
3. El retorno de inversión variara según caso de estudio, en razón a las siguientes variables del sistema (ver anexo 5):
 - tipo de cubierta
 - nivel de pluviosidad
 - consumo mensual del edificio.
 - Disposición de redes hidráulicas en la edificación
4. Para la replicabilidad de red aérea propuesta se deben tener en cuenta que:
 - El tipo de bajante existente (interna o externa)

- Se debe ubicar los mecanismos que requieran mantenimiento y revisión periódica en lugares accesibles o de fácil manipulación
 - La distancia entre el cielorraso y la placa no debe ser inferior a 60cm
 - Debe haber una holgura mínima de 25 cm entre la tubería y el panel (cielorraso)
5. Las cubiertas tipo textil (tenso estructuras) son las superficies más eficientes de captación de agua lluvia, es así que de ser requerido se podría proponer una sobrecubierta para maximizar la recolección, esto debido sus características físicas como forma, materialidad y la facilidad de mantenimiento.

11.2 Recomendaciones

- Existen alternativas que deben ser consideradas de manera alterna o simultánea, al sistema de reutilización de aguas lluvias, que aportarían a la disminución de consumo como lo es la implementación de equipos ahorradores y guías de educación ambiental.
- Se recomienda para proyectos nuevos diseñar redes hidrosanitarias independientes, de esta forma en caso de requerir un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia, se reduciría el costo de la demolición y tiempo de obra
- La verificación mediante el levantamiento de redes hidráulicas ayudara a precisar y contrastar el estado de las redes con los datos expresados en los planos
- Se debe consultar a un ingeniero hidráulico para hacer los cálculos correspondientes (perdidas de presión, perdidas por impulsión y succión, entre otros.
- Se recomienda que las superficies de captación sean diseñadas basadas en su materialidad donde lo más factible sea la utilización de materiales lisos y uniformes.

12 Lista de Referencia

20Minutos. (09 de septiembre 2013). Cuestión de ahorrar agua: grifos y complementos que nos ayudan. Recuperado de: <https://www.20minutos.es/noticia/1914015/0/ahorro-agua/grifos/complementos/>

Abarza, R, Calderón, R, Córdova, M, García, P, Morales, C, Tapia, J y Pizarro, R. Programa hidrólogo internacional de la UNESCO para América latina y el caribe. (2015). *Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas de Chile*. Recuperado de: <http://www.isilac-unesco.uchile.cl/images/publicaciones/Manual-Scalls-Unesco-2015.pdf>

Alcaldía de Bogotá y Acueducto de Bogotá. (2008). Calidad del sistema hídrico de Bogotá.

Recuperado de:

<http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987336/Calidad+del+sistema+hidrico+de+Bogot%C3%A1.pdf>

Arango, E. Flórez, J. (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. (Trabajo de grado). Universidad Icesi, Cali. Recuperado de https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/68576/1/uma%C3%B1a_sistema_recoleccion_almacenamiento_2012.pdf

Ballen, J, Galarza, M, Ortiz, R. (2006). Historia de los Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia. recuperado de:

<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoH.pdf>

Barón, R, Liévano, H y Rodríguez, S. (2017). Sistema De Reutilización De Aguas En Obra. (Trabajo de grado). Universidad La Gran Colombia, Bogotá. Recuperado de

<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4036/Monografia%20Final%205.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bernal, G., Rosero, M., Cadena, M., Montealegre, J., & Sanabria, F. (2007). Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM—Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE. Recuperado de

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATIC+A+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa>

Castañeda, N. (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. (Monografía especialización, Universidad de Antioquia) recuperado de

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluvia.pdf>

Carvajal, E. (17 de octubre 2017). *La razón por la que Colombia es el país más lluvioso del mundo*. Recuperado de <https://www.elcolombiano.com/medio-ambiente/pais-del-mundo-donde-mas-llueve-XD7511550>

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud Ambiental OPS, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. (2001), *Guía de construcción para estructuras de ferrocemento*, Recuperado de:
[https://www.academia.edu/9510805/OPS CEPIS 03.93 UNATSABAR UNIDAD DE APOYO T%C3%89CNICO PARA EL SANEAMIENTO B%C3%81SICO DEL %C3%81REA RURAL](https://www.academia.edu/9510805/OPS_CEPIS_03.93_UNATSABAR_UNIDAD_DE_APOYO_T%C3%89CNICO_PARA_EL_SANEAMIENTO_B%C3%81SICO_DEL_%C3%81REA_RURAL)

Colegio Oficial De Castilla-La Mancha, Centró de asesoramiento tecnológico. (2005). *Cubiertas*.
<http://www.cat-coacm.es/corps/cat-coacm/data/resources/file/TRABAJOS/Publicacion%20cubiertas.pdf>

CONAGUA. (2016). Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda (Technical Guidelines for Rainwater Harvesting as Potable Water Source at Household Scale). Recuperado de
<http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/CONAGUA-2016.-Lineamientos-t--cnicos-Sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia-con-fines-de-abasto-de-agua-pitable-a-nivel-vivienda.-.pdf>

Dec.1575/2007, mayo,09,2006. Ministerio de la Protección Social. (Colombia) , Recuperado de
<https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>

El Tiempo. (2015). Radiografía de como llueve en Bogotá. Recuperado de:
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15471236>

- Estupiñán, J, Zapata, H. (2010). Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana. (Tesis de maestría). Universidad Pontificia Javeriana. Bogotá. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1265/ing05.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Galarza, S. (2011) Desarrollo de una herramienta de análisis multicriterio para el soporte de toma de decisiones en el aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá (trabajo de grado, la Pontificia Universidad Javeriana) recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1453/GalarzaMolinaSandraLorenna2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (s.f). Cundinamarca. Recuperado de: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/cundinamarca_texto.pdf
- Ley 373 / 1997, junio 6, 2003. Ministerio de ambiente. [D.O]: 45.231. (Colombia). Septiembre ,20,2019. Recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf
- Martínez, A. (2006). Método de los coeficientes de escorrentía. Mauco generalizado. Recuperado de: <http://www.oasification.com/archivos/Coefficientes%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>
- Ministerio de Vivienda, MINVIVIENDA. (2016). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS TITULO D sistemas de recolección y evaluación de*

aguas residuales domésticas y aguas lluvias. Recuperado de:

http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf

Mompó, M. (29 de octubre 2015). Baño seco ecológico, ahorra y no contamina. Recuperado de:

<https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/bano-seco-ecologico-ahorra-y-no-contamina>

Mongil, J. (2011). Técnicas tradicionales de recolección de agua: concepto y propuesta de clasificación. *Cuadernos forestales de la sociedad española de ciencias forestales*, (32).

Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/276278625_Tecnicas_tradicionales_de_recoleccion_de_agua_concepto_y_propuesta_de_clasificacion

Motta Vargas, R. (2015). EL DERECHO AL AGUA POTABLE EN LA JURISPRUDENCIA COLOMBIANA. *Revista Republicana*, (11). Recuperado a partir de

<http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/revistarepublicana/article/view/64>

Norma Técnica Colombiana [NTC:1500], Código colombiano de fontanería, Icontec, (2004), Colombia. Octubre ,11,2019. Recuperado de:

https://www.academia.edu/28670459/NORMA_T%C3%89CNICA_NTC_COLOMBIANA_1500_C%C3%93DIGO_COLOMBIANO_DE_FONTANER%C3%8DA

Fernández, G. (1994). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM127SSA11994,"*Salud ambiental, agua para uso y consumo humano límites y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*". MEXICO: s.n., 1994. NOM127SSA11994. Recuperado de

<http://www.cultivopapaya.org/wp-content/uploads/NOM-127-SSA1-1994.pdf>

Organización Panamericana De La Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental,

Organización Panamericana de la Salud Ambiental OPS, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. (2004), *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*, Recuperado de:

<https://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%204%20Lluvia/Guia%20de%20dise%C3%B1o%20para%20captaci%C3%B3n%20del%20agua%20de%20lluvia.pdf>

Osuna, M. (2010). Reutilización del agua lluvia. *Revista del agua*. (1). P, 42-46. Recuperado de: https://issuu.com/legissa2010/docs/revista_del_agua_gerfor/47

Palacio, N. (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. (Trabajo de grado). Universidad de Antioquia, Medellín. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/27534/1/25392-89359-1-PB.pdf>

Pérez de la cruz, F (s.f). Universidad politécnica de Cartagena. *Abastecimiento de aguas*.

Recuperado de:

https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6010/mod_resource/content/1/Tema_02_CAPT_AGUAS_SUP.pdf

Pérez, R. Robayo, J. (2016). Análisis de la captación y aprovechamiento del agua lluvia para utilización en el campus de la universidad católica de Colombia (Bogotá), de acuerdo a las características de sus sedes. (Trabajo de grado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13903/4/AN%C3%81LISIS%20DE%20LA%20CAPTACION%20Y%20APROVECHAMIENTO%20DEL%20AGUA>

[%20LLUVIA%20PARA%20UTILIZACION%20EN%20EL%20CAMPUS%20DE%20LA%20UNIVERSIDAD%20CATOLICA%20DE%20COLOMBIA~1.pdf](#)

Reyes, M, Rubio, J. (2014) Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias. (Monografía, Universidad Católica de Colombia) recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>

Semana SOSTENIBLE. (2013). “*Las inversiones en medioambiente no son costosas*”, Villegas. Recuperado de: <https://sostenibilidad.semana.com/hablando-verde/casos/articulo/las-inversiones-medioambiente-no-costosas-villegas/29085>

Soluciones Medio Ambientales Y Aguas, SMA. (2015). Infografía: consejos para ahorrar agua en el hogar. Recuperado de: <http://www.smasa.net/infografia-consejos-ahorro-agua/>

13 Anexos

Anexo 1.....	Planimetría
- Planimetría cubierta	
- Planimetría red hidrosanitaria	
- Planimetría red de desagües	
- Planimetría cajas de inspección	
- Planta primero, segundo y tercer piso	
- Planimetría sistema propuesto	
- Localización de tanque	
- Detalles constructivos	
• Detalle red de aguas lluvia	
• Detalle acople de redes	
• Detalle funcionamiento de cuarto de bombas	
• Detalle de tanque de almacenamiento	
Anexo 2.....	Manual metodológico
Anexo 3.....	cotizaciones realizadas
Anexo 4.....	Presupuesto general de obra
Anexo 5.....	Demanda de servicio de agua potable (facturas de red de acueducto)