

**VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA RECOLECTOR DE AGUAS LLUVIAS INTEGRADO A
LA CUBIERTA Y LA FACHADA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS DE LA UNIVERSIDAD LA GRAN
COLOMBIA**

Juan Sebastián Cañón Cocinero, Uryan Newball Román, Jhonatan Alexander Peñuela Duarte



Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C

2024

Viabilidad de la implementación de un sistema recolector de aguas lluvias integrado a la cubierta y la fachada de la facultad de ingenierías de la universidad la gran Colombia

Juan Sebastián Cañón Cocinero, Uryan Newball Román, Jhonatan Alexander Peñuela Duarte

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director Ing. Camilo Caro Galindo, Asesor Jorge Alberto Diaz Martínez



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C

2024

Tabla de Contenido

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. JUSTIFICACIÓN	14
5. ANTECEDENTES	15
6. MARCO REFERENCIAL.....	18
6.1. MARCO TEÓRICO.....	18
6.1.1. Situación mundial del agua	18
6.1.2. Situación del Agua en Colombia	19
6.1.3. Agua Lluvia en Colombia	20
6.1.4. Sistema de Captación de Agua Lluvia.....	21
6.2. MARCO CONCEPTUAL.....	21
6.2.1. Captación.....	21
6.2.2. Conducción.	21
6.2.3. Tratamiento.....	22
6.2.4. Almacenamiento.....	22
6.2.5. Distribución.....	22
6.2.6. Canaletas.....	22
6.2.7. Bajantes.....	22
6.2.8. Cubiertas.....	23
6.2.9. Fachada.....	23
6.2.10. Agua lluvia.....	23
6.3. MARCO CONTEXTUAL.....	23
6.3.1. Ubicación	23
7. METODOLOGÍA.....	24
8. GENERALIDADES.....	26
8.1. PRECIPITACIÓN DE LA ZONA	26
8.2. ANÁLISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS	28

8.2.1. Demanda de agua	28
8.2.2. Oferta de agua lluvia por cubierta y fachada.....	31
8.3. POTENCIAL AHORRO DE AGUA	33
9. DISEÑO SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA	33
9.1. CAPTACIÓN	33
9.1.1. Cubierta	33
9.1.2. Fachada.....	36
9.2. DIMENSIONAMIENTO.....	42
9.2.1. Cubierta.....	42
9.2.2. Fachada.....	46
9.3. TANQUE DE ALMACENAMIENTO	48
10. ANÁLISIS FINANCIERO	50
10.1. VALOR CONSUMO DE AGUA	50
10.2. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	50
10.3. VIABILIDAD ECONÓMICA	52
11. VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA	52
11.1 OTRAS PROPUESTAS	52
11.1.1 Descripción del proyecto.....	53
11.1.2 Presupuesto.	53
11.2 VIABILIDAD DEL PROYECTO	54
12. CONCLUSIONES	57
13. BIBLIOGRAFÍA	59

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1:	Distribución de Caudal en Áreas hidrográficas	19
Ilustración 2:	Ubicación geográfica de la facultad de ingenierías UGC.....	24
Ilustración 3:	Precipitación promedio mensual en 10 años	27
Ilustración 4:	Área útil de captación en cubierta	32
Ilustración 5:	Trayectoria del agua en la cubierta	34
Ilustración 6:	Dimensionamiento ventanas de la facultad de ingenierías UGC	37
Ilustración 7:	Lamina de GeoClad	38
Ilustración 8:	Remate para la captación de agua por fachada	39
Ilustración 9:	Fachada occidente de la facultad de ingenierías UGC.....	40
Ilustración 10:	Fachada sur de la facultad de ingenierías UGC	40
Ilustración 11:	Fachada occidente de la facultad de ingenierías UGC.....	41

Lista de Tablas

Tabla 1: Precipitación mensual (mm) de los años comprendidos entre 2014 y 2023.....	26
Tabla 2: Precipitación media mensual obtenida en 10 años de registros	27
Tabla 3: Consumo para uso escolar	29
Tabla 4: Demanda de agua mensual requerida por la facultad.....	30
Tabla 5: Oferta de aguas lluvias mensual por medio de cubierta y fachada.....	33
Tabla 6: Caudales obtenidos para cada era tributaria a partir del método racional.....	36
Tabla 7: Estimación de caudales captados por fachada	42
Tabla 8: Fórmulas para determinar las características geométricas (SHO).....	43
Tabla 9: Dimensionamiento de canaletas.....	44
Tabla 10: Máxima capacidad de bajantes.....	45
Tabla 11: Diseño de bajantes para cubierta	46
Tabla 12: Diseño de canaletas para la fachada.....	47
Tabla 13: Dimensionamiento de bajante de la fachada occidente	48
Tabla 14: Déficit o Exceso de agua para cada mes	49
Tabla 15: Presupuesto total del proyecto	51
Tabla 16: Presupuesto recolección mediante cubierta UGC.....	54
Tabla 17: Tabla multicriterio.....	54

Lista de Anexos

Anexo 1: Estudiantes de pregrado por facultad, programa y genero 2023-1. Bogotá

Anexo 2: Consumo de agua universidad la gran Colombia 2023

Anexo 3: Curva IDF, Bogotá

Anexo 4: Dimensiones de fachada de la facultad de ingenierías de la universidad la Gran Colombia desde el segundo piso

Anexo 5: Especificaciones del material geoclad

Anexo 6: Sistema de instalación de geoclad

Anexo 7: Dimensionamiento de remate para fachada

Anexo 8: Instalación de remates al geoclad

Anexo 9: Render de fachada de la facultad de ingenierías de la universidad la Gran Colombia desde el segundo piso

Resumen

El proyecto tiene como objetivo evaluar la viabilidad de implementar un sistema de recolección y almacenamiento de aguas lluvias en la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia, calculando la demanda de agua potable y el volumen de agua lluvia captada. El diseño del sistema abarcará tanto la cubierta como la fachada del edificio, evaluando su viabilidad técnica y económica. La metodología se dividirá en tres etapas: recolección de datos pluviales y de consumo de agua, diseño del sistema de captación y evaluación de su eficiencia. En la primera etapa, se estima la oferta y la demanda de agua mediante la precipitación promedio mensual de la zona de estudio y los recibos de acueducto de la facultad. En la segunda etapa, haciendo uso de las curvas IDF, se calculó el caudal que va a fluir para cada área de captación de la cubierta y fachada. Con esto, se dimensiona el sistema de recolección de agua lluvia por medio del método SHO. En la tercera etapa, se evalúan dos factores principales para determinar la viabilidad del proyecto: en primer lugar, se hace una relación entre la demanda y oferta de agua para comprobar la eficiencia del sistema en suplir las necesidades sanitarias de la facultad; por otro lado, se realiza una comparación entre el ahorro económico en los recibos del acueducto y el presupuesto del proyecto para estimar un periodo de retorno de la inversión inicial. Se estima que el sistema podría ahorrar el 90.6% del agua potable utilizada en la facultad, cubriendo sus necesidades durante 8 meses al año, con la cubierta aportando el 77.6% del agua y la fachada el 13%. Los beneficios incluyen una fuente alternativa y renovable de agua, la reducción del impacto ambiental y de costos, y una mejora en la sostenibilidad e imagen de la institución.

Palabras clave: Aguas lluvias, sistemas de captación, desarrollo sostenible, agua mundial.

Abstract

The project aims to evaluate the feasibility of implementing a rainwater collection and storage system at the Faculty of Engineering at La Gran Colombia University, calculating the potable water demand and the volume of rainwater captured. The system design will cover both the roof and the façade of the building, assessing its technical and economic feasibility. The methodology will be divided into three stages: collection of rainfall and water consumption data, design of the collection system, and evaluation of its efficiency. In the first stage, the water supply and demand will be estimated using the average monthly precipitation of the study area and the faculty's water utility bills. In the second stage, using IDF curves, the flow rate for each catchment area of the roof and façade will be calculated. With this, the rainwater collection system will be sized using the SHO method. In the third stage, two main factors will be evaluated to determine the project's feasibility: first, a comparison between water demand and supply will be made to verify the system's efficiency in meeting the faculty's sanitary needs; second, a comparison will be made between the economic savings on water utility bills and the project's budget to estimate a payback period for the initial investment. It is estimated that the system could save 90.6% of the potable water used in the faculty, covering its needs for 8 months of the year, with the roof contributing 77.6% of the water and the façade 13%. The benefits include an alternative and renewable water source, reduced environmental impact and costs, and improved sustainability and image of the institution.

Keywords: Rainwater, harvesting systems, sustainable development, global water.

1. Introducción

El agua es una necesidad primordial para el desarrollo de la vida humana en nuestro planeta. Sin embargo, actualmente su disponibilidad se ve amenazada por el mal uso y la falta de conciencia, factores que contribuyen continuamente al desperdicio considerable de este recurso. Esta situación ha generado una preocupante falta de acceso al agua potable y saneamiento a nivel mundial. En Colombia, a pesar de su riqueza hídrica, existen desafíos en la administración y distribución del agua, lo que resulta en escasez en algunas regiones. Además, el país aún no aprovecha completamente el recurso de agua lluvia en actividades que no requieren agua altamente tratada (IDEAM, 2022)

La Organización Panamericana de la Salud ha publicado documentos que establecen pautas técnicas para los sistemas de captación de agua lluvia, con el objetivo de brindar información sobre fuentes alternativas de agua para el uso humano (Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004). En Colombia, también se han desarrollado guías y proyectos enfocados en el diseño y la implementación de sistemas de captación de aguas lluvias. En este contexto, el siguiente proyecto tiene como objetivo general determinar la viabilidad de implementar un sistema de recolección y almacenamiento de aguas lluvias integrado a la cubierta y la fachada de la facultad de ingenierías de la Universidad La Gran Colombia.

Para lograr esto, se plantea calcular la demanda de agua potable necesaria para cubrir las necesidades sanitarias de la facultad, estimar el volumen de agua lluvia que puede ser captada por el sistema de recolección propuesto, diseñar un sistema de captación de agua lluvia integrado a la cubierta y la fachada del edificio y evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema, considerando el potencial de ahorro de agua potable, la reducción del costo de la factura del agua y la inversión total para la ejecución del proyecto. El agua recolectada podrá ser utilizada en sanitarios, actividades de

limpieza y riego de plantas, lo cual conllevará a una reducción importante en el consumo de agua potable.

El documento aborda la situación crítica de agua potable que se vive a nivel mundial y nacional, destacando la creciente escasez y la necesidad urgente de soluciones sostenibles. En este contexto, se resalta la importancia de un sistema de captación de agua lluvia en la actualidad, como una medida efectiva para mitigar la demanda sobre los recursos hídricos tradicionales.

Se revisan los estudios, proyectos y trabajos existentes relacionados con este tema, resaltando iniciativas exitosas que pueden ser aplicables a la situación particular de la zona de estudio. Se discuten los componentes clave de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, adaptados y contextualizados respecto a las características específicas de la zona.

El proyecto se llevará a cabo en varias etapas: desde el análisis inicial y la evaluación de la viabilidad hasta el diseño y dimensionamiento del sistema. Se detalla el diseño del sistema de captación de agua lluvia, abarcando la cubierta, la fachada y el tanque de almacenamiento, optimizando su eficiencia.

Por último, se realiza una comparación entre el valor económico ahorrado por el sistema y el presupuesto total del proyecto, evaluando la rentabilidad y el retorno de inversión a largo plazo. Finalmente, se determina la viabilidad del proyecto en función de criterios técnicos, económicos y ambientales, destacando sus beneficios y contribuciones potenciales a la facultad.

2. Planteamiento del Problema

Según la ONU, aproximadamente la mitad de la población mundial sufre al menos una escasez de agua al año (ONU, 2022) y alrededor de dos mil millones de personas no tiene acceso a agua potable (IPCC, 2022). Además, se cree que estas cifras van en aumento debido al cambio climático y al crecimiento de la población (OMM). En Colombia “12 millones de personas tienen acceso inadecuado al servicio de agua potable, esto representa el 25 % de la población del país. Asimismo, 3,2 millones de personas no tienen acceso a agua potable” (Trujillo, 2023). El uso inadecuado y la falta de conciencia de las personas sobre el cuidado del recurso hídrico son causas significativas de su desperdicio y han contribuido en gran medida a las problemáticas actuales. Por esta razón, es imprescindible buscar alternativas de aprovechamiento de otras fuentes de agua, con el fin de disminuir el uso del agua potable en actividades que no la requieren, por ejemplo, labores de limpieza, tales como, carga y descarga del inodoro y aseo general.

La facultad de ingenierías de la Universidad La Gran Colombia, al ser una estructura antigua, no cuenta con un sistema de captación de aguas lluvias, esto implica que las aguas pluviales son transportadas directamente a la red de alcantarillado, lo que impide una recolección y aprovechamiento de estas aguas. Aunque este sistema ha funcionado durante años, también ha generado un desperdicio considerable de agua potable al tener como única fuente abastecedora la acometida del acueducto. Por lo tanto, se propone un diseño (considerando cubierta y fachada) de un sistema de captación, recolección y transporte de aguas lluvias para ser usadas en actividades sanitarias que no requieren agua potable y que al mismo tiempo ofrezca una renovación en la imagen de la facultad. En este contexto, surge el planteamiento de la siguiente pregunta: ¿Cuál es la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema de recolección de aguas lluvias en el edificio de la facultad de ingenierías de la Universidad La Gran Colombia?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Determinar la viabilidad de implementar un sistema de recolección y almacenamiento de aguas lluvias integrado a la cubierta y la fachada de la facultad de ingenierías de la Universidad La Gran Colombia.

3.2. Objetivos Específicos

Calcular la demanda de agua potable que se requiere para cubrir las necesidades sanitarias de la facultad de Ingeniería.

Estimar el volumen de agua lluvia que puede ser captada por el sistema de recolección propuesto para el edificio de la facultad de ingenierías.

Diseñar un sistema de captación de agua lluvia integrado a la cubierta y la fachada del edificio de la facultad de Ingeniería.

Evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema de captación a partir del potencial de ahorro de agua potable, la reducción del costo de la factura del agua y la inversión total para la ejecución del proyecto.

4. Justificación

Debido a la crisis ambiental que se vive a nivel mundial, los países trabajan juntos enfocados hacia una misma meta; un desarrollo sostenible, que permita, entre otras cosas, el cuidado del recurso hídrico. Una manera de avanzar hacia esta meta es modernizando las estructuras antiguas para alinearlas con los Objetivos del Desarrollo Sostenible. En este sentido, este trabajo se enmarca en los objetivos del desarrollo sostenible 6 (agua limpia y saneamiento) y 9 (la innovación y creación de infraestructura), con el fin de contribuir a la mitigación del uso inadecuado del agua potable, por medio de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, que amplíe el uso de las fuentes hídricas disponibles y disminuya el riesgo de agotamiento de las fuentes convencionales de abastecimiento de agua. Por otro lado, la implementación de la fachada para recolectar aguas lluvias, es una oportunidad para renovar la imagen de la facultad de ingenierías con un diseño visualmente estético y llamativo que capte la atención de nuevos estudiantes.

5. Antecedentes

Los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias han estado presentes a lo largo de la historia humana y al igual que el ser humano ha ido evolucionando respecto a los métodos de captación de agua pluvial. Sin embargo, fuentes de agua diferentes a las tradicionales como ríos, humedales y páramos, no han sido un tema de relevancia, debido al antiguo pensamiento del agua como un recurso infinito; fue hasta hace pocos años atrás donde se evidencia una crisis hídrica a nivel mundial por la sobrecarga de los cuerpos de agua usados como fuentes abastecedoras. A raíz de esto, surgen estudios y desarrollos de nuevas estructuras y modelos enfocados en mejorar la eficiencia de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para considerarlos una fuente alternativa y renovable.

El avance e implementación de este sistema ha contribuido a resolver problemáticas relacionadas con el agua alrededor del mundo. Un primer acercamiento sobre estos sistemas en el mundo lo brinda Anaya (2009) citado en Ronnie (2019) y menciona países como Japón:

“Los sistemas “Ronjinson” consisten en captar agua lluvia en los techos de las casas y conducirla a un pozo subterráneo donde será extraída mediante una bomba manual, con el fin de controlar inundaciones y contrarrestar la escasez de agua mediante reservas de emergencia. China, El gobierno ha implementado el proyecto “1.2.1” mediante el cual ayuda e incentiva la construcción de sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias por parte de las familias, con el propósito de contribuir al consumo, agricultura y riego, beneficiando a millones de personas. Islas vírgenes, el marco normativo del país obliga la captación de aguas lluvias mediante cisternas, por lo que aproximadamente el 80% de la población se ha visto beneficiada con estos sistemas.”

Por otro lado, la Organización Panamericana de la Salud ha publicado dos documentos con Especificaciones Técnicas (2003), que pretenden establecer las pautas para los sistemas de captación de agua lluvia para consumo humano, haciendo énfasis en cada elemento del sistema. Por último, publicó

una Guía de Diseño Para Captación de Agua Lluvia en el año 2004 con el objetivo de brindar una metodología que permita la implementación de estos sistemas en cualquier lugar y la verificación de su viabilidad.

Para una vista general de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, como menciona Ronnie (2019) “En sentido general, Estados Unidos, Suecia, China, Japón, Australia, Indonesia, Alemania, España, Francia, Nigeria y Sudáfrica son países que lideran estas prácticas, mediante concepciones técnicas, científicas, normativas y socioeconómicas, asociadas con procesos de construcción sostenible.”

Respecto a Colombia Acevedo-Tiusaba, M & Trujillo-Parrado, B (2021) se enfocan en realizar una guía teniendo en cuenta la normatividad existente como la NTC 1500, Resolución 0330 de 2017, RAS 2016, NS 038, entre otras. Algunos de los proyectos y/o documentos que han seguido una línea metodológica similar a esta, son los siguientes:

En primera instancia Palacio, N (2010) tiene como objetivo proponer un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa para el ahorro de agua potable y la disminución de gastos, para una institución educativa en el municipio de Caldas, Antioquia, con 1300 estudiantes y un área de captación de 1447 m^2 . Las conclusiones de este proyecto muestran la viabilidad del sistema, abasteciendo un 100% de agua para sanitarios y lava-escobas durante nueve meses y un 90% para los 3 meses restantes. Sin embargo, los costos iniciales para construir el sistema pueden volverse inaccesible si no se cuenta con la financiación necesaria. Respecto al tratamiento de aguas lluvias se desarrolla únicamente mediante un interceptor de primeras aguas.

Por otro lado, Ávila Beltrán, L & Ramírez, L (2015) proponen realizar el diseño hidráulico de un sistema de recolección de aguas lluvias para uso sanitario, con la intención de disminuir costos debido al consumo de agua potable en el Colegio Lausana ubicado en la ciudad de Bogotá D.C., con 432 estudiantes y un área de captación de 542.98 m^2 para la cubierta. Sin embargo, en este documento se tiene en cuenta la recolección de aguas lluvias por efecto del viento (fachada), tomando un valor del

20% respecto al área de la cubierta, valor obtenido de la Guía de Diseño de Captación de Agua Lluvia de la Organización Panamericana de Salud (2003). Con el diseño de este sistema se logra abastecer en tres meses la totalidad de la demanda y en el resto del año hasta un 40%, lo que permite un ahorro económico correspondiente al 90% del valor total que paga la institución al año por el servicio de acueducto. El tratamiento de aguas lluvias se lleva a cabo en dos partes: primero un interceptor de primeras aguas y segundo un proceso de filtración y dosificación de cloro.

Considerando lo antes mencionado, se evidencia la viabilidad de un sistema de captación de aguas lluvias para resolver distintas problemáticas relacionadas con el recurso hídrico de forma eficiente, entre las que se encuentra, reemplazar el uso de agua potable por aguas lluvias en actividades donde no sea necesario. Es importante resaltar que, aunque se cuenta con documentos donde se ha contemplado la captación de agua vertical, no hay referentes de una fachada con un sistema de captación y distribución hasta el tanque de almacenamiento como el que se pretende diseñar en este proyecto. Sin embargo, la implementación de estos sistemas conlleva una inversión inicial considerable, cuyo costo-beneficio depende del ahorro económico en los servicios públicos del acueducto.

6. Marco Referencial

6.1. Marco Teórico

El agua es sustancial para la vida humana en su continuidad, y constituye un componente integral del cuerpo humano, de la misma manera que es un recurso imprescindible para conservar la vida en la tierra. De esta manera es de gran importancia la planificación sostenible de este recurso e identificar la cantidad de agua disponible actualmente de manera global, los diferentes niveles de consumos y las medidas necesarias para conservar fuentes proveedoras de agua.

De esta manera, se presenta a continuación el panorama general sobre la situación del agua en Colombia y el mundo.

6.1.1. Situación mundial del agua

El planeta tierra cuenta con 1.386 millones de kilómetros cúbicos de agua, dando así una noción errada con respecto a la cantidad de agua real que está disponible para el consumo humano. A nivel mundial es posible determinar que “el 97,5% es agua salada y 2,5% es agua dulce (...) el 69,7% del agua dulce está congelada en los polos y glaciares, el 30% está almacenada en acuíferos y el 0,3% en los ríos y los lagos” (Méndez Calderón, 2023) evidenciando así que la cantidad de agua dulce que se encuentra disponible es escasa y limitada.

En la actualidad es posible evidenciar la problemática latente con respecto al agua donde “En todo el mundo, 2.000 millones de personas (el 26% de la población) no disponen de agua potable y 3.600 millones (el 46%) carecen de acceso a un saneamiento gestionado de forma segura” (UNESCO, 2023) siendo esta una alerta para empezar con acciones inmediatas que mitiguen el desmedido uso del agua a nivel mundial, al igual para frenar las acciones de explotación de recursos que afecten los cuerpos de agua.

6.1.2. Situación del Agua en Colombia

Colombia posee una gran riqueza natural la cual se puede ver reflejada en su gran cantidad de ríos, lagos y cuencas hidrográficas. Estando ubicada en el extremo noroccidental de América del sur, Colombia es uno de los países con la mayor cantidad de agua dulce per cápita a nivel mundial, según IDEAM (2014) “Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo, se estima un rendimiento hídrico a nivel nacional de 56 l/s-km² que supera el rendimiento promedio mundial (10 l/s-km²) y el rendimiento de Latinoamérica (21 l/s-km²)”.

El país se encuentra segmentado en cinco áreas hidrográficas; Caribe, Pacífico, Magdalena, Orinoco y Amazonas. Aproximadamente el 62% de la precipitación anual en Colombia se convierte en escorrentía superficial, generando así un caudal medio de 63.789 m³/s, asumiendo la escorrentía superficial como la lámina de agua que transita sobre la cuenca de drenaje en un intervalo de tiempo (IDEAM, 2014). La distribución de este caudal medio en las áreas hidrográficas se distribuye de la siguiente manera:

Ilustración 1:
Distribución de Caudal en Áreas hidrográficas



Fuente: Construcción propia adaptada de (IDEAM,2022)

Se aprecia que en departamentos como Magdalena, Cesar, La Guajira, Risaralda, Bolívar, Sucre, Córdoba, Guaviare, Tolima, Atlántico, Norte de Santander, Santander, Valle del Cauca, Quindío, Boyacá y el departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina han tenido afectaciones en al menos más del 50% de sus municipios (IDEAM, 2022).

Es posible apreciar que Colombia es un país rico en recursos hídricos, pero no cuenta con una adecuada administración y distribución de estos dentro del territorio, por lo que hay zonas en el país donde escasea el agua debido al mal manejo que se tiene del recurso, el crecimiento exponencial de la población y la poca protección de las fuentes hídricas que suministran de agua la región.

6.1.3. Agua Lluvia en Colombia

En Colombia, el régimen hidrológico se caracteriza por períodos secos y húmedos, con influencia de vientos alisios que favorecen la formación de nubosidad. A pesar de ser un país con alta oferta hídrica, no se aprovecha suficientemente el recurso de agua lluvia en actividades que no requieren agua altamente tratada. Existen ciudades altamente lluviosas con problemas de agua potable debido a la falta de aprovechamiento de aguas pluviales. Aunque se han implementado usos de agua lluvia en algunos sectores y en diversas funciones como riego de jardines, Colombia aún está rezagada en la conciencia de cuidado del agua potable y en el aprovechamiento de aguas lluvias en comparación con otros países (Camelo, 2017).

Bogotá presenta una problemática latente referente a la escasez de agua, debido a un crecimiento poblacional significativo no previsto, sequias prolongadas a causa del cambio climático, contaminación de fuente hídricas cercanas y una infraestructura de distribución hídrica poco eficiente (Osorio, 2008). Se han tomado medidas para abordar esta situación de manera efectiva, como lo son el racionamiento y restricciones en el consumo de agua, inversión en infraestructura de acueducto y campañas de concientización. Aunque los esfuerzos han sido notorios, Bogotá sigue siendo un reto que

requiere una acción integral que involucre a el gobierno y la ciudadanía para garantizar un suministro de agua seguro.

6.1.4. Sistema de Captación de Agua Lluvia

Debido a la escasez de agua presentada a nivel mundial a causa del consumo indiscriminado de este recurso, cómo se ha presentado anteriormente, es necesario buscar alternativas que nos ayuden a mitigar el consumo de agua. Es por lo que los sistemas de captación de aguas lluvias llegan como el resultado ante las necesidades de disminuir el consumo de agua potable en lugares de alto consumo, como lo son las instituciones educativas. “Los SCALL (Sistemas de Captación de Aguas Lluvias) son una tecnología mediante la cual se habilitan cubiertas y áreas impermeables de las construcciones con el fin de captar el agua de lluvia, para posteriormente conducirla a lugares en donde pueda almacenarse” (Duran, n.d.). Los sistemas de captación de agua lluvia no presentan gran diferencia entre sí, sus componentes básicos son; la captación, conducción y almacenamiento. Si bien, también resulta importante para este caso resaltar algunos otros aspectos cómo el tratamiento y distribución.

6.2. Marco Conceptual

6.2.1. Captación.

Representa el proceso mediante el cual se recoge el agua lluvia procedente de la atmósfera. Este se considera cómo el primer paso del sistema y el que más contaminación genera, esto debido a que el área de captación está expuesta al residuo fecal proveniente de las aves y roedores que puedan acceder a la zona de captación de agua.

6.2.2. Conducción.

En esta parte del sistema es posible encapsular elementos cómo canaletas y tuberías que permiten un transporte efectivo del agua lluvia hasta su punto de almacenamiento.

6.2.3. Tratamiento.

Diferentes agentes actúan en la contaminación del agua lluvia, desde que está cayendo por los aires, hasta llegar a su punto de almacenamiento, es por ello que es necesario un tratamiento previo antes de su llegada al almacenamiento. Dependiendo la finalidad de esta agua lluvia, la complejidad de su proceso de tratamiento variará.

6.2.4. Almacenamiento.

Este es el lugar donde se deposita el agua lluvia después de sus procesos anteriores, generalmente se usan tanques (elevados o subterráneos) de diversos materiales para su almacenamiento.

6.2.5. Distribución.

Es el conjunto de elementos que son necesarios para suministrar agua potable a los beneficiarios, dentro de estos elementos pueden ser consideradas tuberías, accesorios, grifos de agua entre otros. (Hernandez, 2014)

6.2.6. Canaletas.

Son canales largos y estrechos instalados a lo largo del borde del techo de una casa para recoger y desviar el agua de lluvia lejos de la vivienda, protegiendo así la estructura del hogar de la erosión del suelo, inundaciones, formación de moho y daños en la pintura y paredes

6.2.7. Bajantes.

Tuberías verticales destinadas a recoger y evacuar las aguas residuales, pluviales o de basura de un edificio

6.2.8. Cubiertas.

Estructuras que cierran un edificio por la parte superior, protegiéndolo de las inclemencias del tiempo y proporcionando aislamiento térmico y acústico. Pueden estar compuestas por diferentes materiales como tejas, láminas metálicas, hormigón, entre otros, y su función principal es evitar filtraciones de agua y mantener la integridad de la edificación

6.2.9. Fachada.

Las fachadas son los paramentos exteriores de un edificio, generalmente la parte principal, que cumplen funciones estéticas, de aislamiento y protección contra factores climáticos.

6.2.10. Agua lluvia.

Agua que se precipita desde las nubes en forma de gotas, producto de la condensación del vapor de agua en la atmósfera

6.3. Marco Contextual**6.3.1. Ubicación**

El proyecto se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá D.C., específicamente en la localidad de Chapinero, en la dirección Calle 42 A # 9-22. Esta edificación pertenece a la Universidad La Gran Colombia, siendo la facultad de ingenierías. La estructura cuenta con 5 pisos de altura, equivalentes a 12,4 metros, y una superficie total en planta de 1179,74 metros cuadrados. Las coordenadas geográficas del proyecto son 4°37'48" de latitud norte y 74°03'56" de longitud oeste, y se encuentra a una altura de 2582 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

Ilustración 2:

Ubicación geográfica de la facultad de ingenierías UGC



Fuente: Tomado de Google Earth

7. Metodología

El presente proyecto está enfocado en la elaboración de una fachada y cubierta que tengan la capacidad de recolectar aguas lluvias, esto con el objetivo de disminuir el impacto ambiental generado por el consumo de agua potable en actividades sanitarias y de aseo general en la institución educativa Universidad La Gran Colombia, en su facultad de Ingenierías. Para lograr el objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto, este se dividió en 3 etapas, las cuales abarcan el desarrollo en su totalidad.

Etapas 1. Recolección de información y toma de datos. Esta etapa inicial de proyecto se centra en la recopilación exhaustiva de datos relevantes que servirán como base para el desarrollo del sistema de captación de agua. En primera instancia es necesario conocer la información pluvial de la zona, la cual se obtiene a partir de datos de la estación pluviométrica más cercana, de esta forma es posible hacer una aproximación de cuánta agua podría recolectar el sistema. De igual forma, es necesario conocer el consumo aproximado de agua que realiza la facultad de ingeniería de la universidad La Gran Colombia, para ello, se solicita a la parte administrativa de la institución los recibos de consumo de agua de los años posteriores y el número de estudiantes activos del semestre en curso, de esta manera obtener el

consumo mensual de agua junto con su valor y hallar de forma teórica el consumo de la institución teniendo en cuenta los estudiantes activos. Los documentos relacionas con la investigación sirven para la obtención de formulas y diseños propuestos, siendo estos una guía útil para el desarrollo técnico del proyecto.

Etapa 2. *Diseño de sistema de captación de aguas lluvias mediante cubierta y fachada.* Contando con la aproximación de la cantidad de agua requerida y la cantidad de agua que pueda captar el sistema, se procede a realizar el diseño de la cubierta y la fachada. Se tomarán las medidas de la cubierta y de las 4 fachadas de la facultad, esto con el fin de obtener el área total de captación. En la fachada se implementará un revestimiento tipo QuadroClad, la cual brindará asesoría técnica para proporcionar información acerca de la correcta instalación de su producto. Se diseñará el sistema de conducción desde la fachada y la cubierta mediante canales y bajantes, siendo este un medio adecuado para el transporte de las aguas captadas. El agua recolectada se almacenará en un tanque de almacenamiento, el cual sus medidas serán calculadas según la oferta de agua lluvia de la zona.

Etapa 3. *Evaluación de viabilidad técnica y económica.* Es indispensable para este proyecto tener en cuenta la viabilidad tanto económica como técnica, siendo este uno de los factores principales a la hora de decidir si ejecutar el proyecto o no. Para ello, se hará un análisis técnico de cada uno de los componentes del sistema, los cuales deberán con la normativa nacional vigente, por efectos de calidad. Para la viabilidad económica es necesario la creación de un presupuesto general de la obra total, desde la instalación de la fachada y la adaptación de la cubierta, hasta la fabricación del tanque. Con los datos obtenidos del ahorro potencial del agua y los costos mensuales del pago de servicios de agua, se realizará una comparativa para determinar si es económicamente viable desarrollar el proyecto y de ser así, en cuanto tiempo se hará un retorno de la inversión hecha.

8. Generalidades

8.1. Precipitación de la Zona

Los datos obtenidos referentes a la precipitación de la zona fueron adquiridos a través de la estación pluviométrica “El paraíso”, ubicada a 832m de la zona de estudio. La estación está localizada en las coordenadas latitud 4.6279779865 y longitud: -74.0587000069 en la localidad de Chapinero. La entidad SAB (Sistema de Alerta de Bogotá) es la encargada de llevar el registro de esta estación pluviométrica y está regida por entidades de control como: Procuraduría General de la Nación, Veeduría Distrital, Contraloría de Bogotá y Personería de Bogotá. La toma de registros pluviométricos data desde el año 2007 y actualmente se encuentra activa.

Para obtener la precipitación media mensual se tomaron los datos de los últimos 10 años registrados por la estación pluviométrica, comprendidos entre el año 2014 y el año 2023 siendo este el tiempo mínimo utilizado comúnmente en prácticas de ingeniería. De esta forma se tiene una mayor confiabilidad de los datos obtenidos.

Tabla 1:
Precipitación mensual (mm) de los años comprendidos entre 2014 y 2023

Mes/Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2014	78,2	60,1	83,6	41,7	64,1	55,6	48,2	25,6	27,7	135,8	140,2	176,2
2015	27,2	64,1	114,5	41,9	21,9	73,2	41,3	26,9	40,3	67,3	78,1	2,6
2016	3,2	44	123	130,5	74	30,2	35,3	53,1	74,3	57,7	218,8	64,5
2017	107,6	91	126,5	84,5	180,4	88	30,8	73,6	22,7	81	91,8	133,9
2018	47,7	65	110,7	182,2	97,6	43	57,9	44	38,1	76,5	127,2	16,3
2019	27,3	50,6	184,9	91,6	68,1	72,8	44,8	53,4	156	106,5	284,5	60,1
2020	79,1	182,4	145,1	56,8	92,2	69	110,6	36,9	119,1	33,9	391,2	121,5
2021	35	40,8	137	222,2	209,2	184,6	60,5	144,1	42,2	193,8	95,9	21,1
2022	49,1	139,2	68,2	264,2	115,6	167,8	91,9	64,9	172,1	333	237,1	175,1
2023	212,1	64,1	235	135,7	138,5	37,3	66,2	69,3	48	99,2	145,2	118
Promedio	66,65	80,13	132,85	125,13	106,16	82,15	58,75	59,18	74,05	118,47	181	88,93

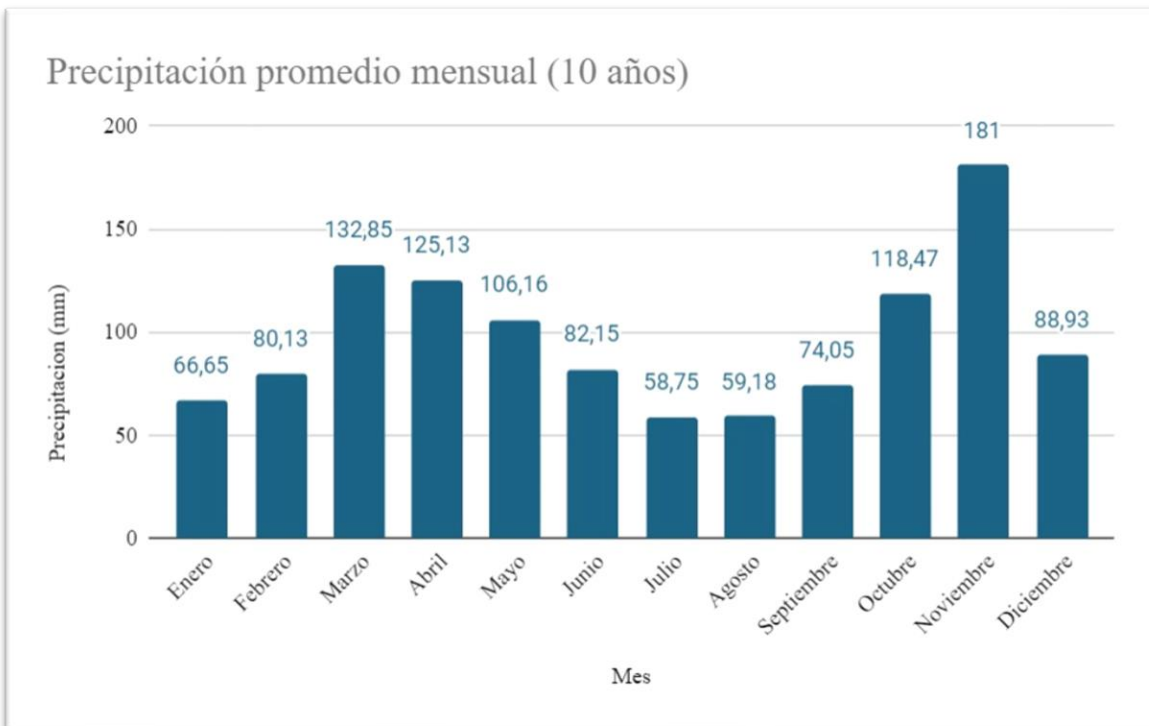
Fuente: Elaboración propia adaptada de los datos pluviométricos de la estación “El paraíso” de Bogotá D.C (2014-2023)

Tabla 2:
Precipitación media mensual obtenida en 10 años de registros

Mes	Precipitación (mm)
Enero	66,65
Febrero	80,13
Marzo	132,85
Abril	125,13
Mayo	106,16
Junio	82,15
Julio	58,75
Agosto	59,18
Septiembre	74,05
Octubre	118,47
Noviembre	181
Diciembre	88,93

Fuente: Elaboración propia. Se muestran los resultados de la precipitación media obtenida para cada uno de los meses comprendidos entre los años 2014 y 2023

Ilustración 3:
Precipitación promedio mensual en 10 años



Fuente: Elaboración propia

Los datos proporcionados representan la precipitación media mensual en milímetros (mm) de la zona de estudio, obtenidos a partir de la información recopilada durante los años 2014 a 2023. Se logra apreciar que los meses más secos son Julio (58,75 mm), Agosto (59,18 mm) y Enero (66,65 mm). Estos meses presentan los niveles más bajos de precipitación a lo largo del año, lo que indica una temporada más seca en la zona. Esto puede deberse a factores climáticos y meteorológicos propios de la zona, la cual se encuentra en un régimen bimodal donde presenta dos estaciones lluviosas: la primera entre marzo y mayo, y la segunda entre octubre y diciembre.

Según los datos los meses más lluviosos son Noviembre (181 mm), Marzo (132,85 mm) y Abril (125,13 mm). La variación en los niveles de precipitación a lo largo del año se debe principalmente a los patrones climáticos y meteorológicos propios de una región bimodal. Factores como la ubicación geográfica, la topografía, la circulación atmosférica y la interacción entre los sistemas de alta y baja presión pueden influir en la distribución temporal de las lluvias.

Debido a la precipitación observada en la zona, y a que el sistema está ligado directamente con las precipitaciones mensuales efectuadas, se observa que en los meses secos se podrá tener un déficit en el sistema, debido a la falta de agua que entraría al sistema a causa de las bajas precipitaciones. Por otro lado, en los meses de alta lluvia, se podrá tener un superávit en el sistema, el cual deberá ser analizado en la construcción del tanque, debido a las altas precipitaciones que se presentarán en la zona.

8.2. Análisis de la oferta y demanda de la facultad de ingenierías

8.2.1. Demanda de agua

Con base en la dotación asumida para cada estudiante de la facultad, se calcula la cantidad de agua potable necesaria para satisfacer las necesidades sanitarias en cada uno de los meses. En principio, se establece la Resolución 0330 del 2017, considerando las actualizaciones realizadas en la Resolución

0799 del 2021, como norma principal del proyecto, de la cual se obtiene la información necesaria para su ejecución. Teniendo en cuenta lo anterior, se tiene una dotación de 25 L/alumno/jornada para edificaciones destinadas a actividades académicas (Tabla 3). La facultad de ingenierías cuenta con doble jornada desarrollada de manera diurna y nocturna, por lo que la dotación obtenida es de 50 L/alumno/día. Sin embargo, según lo señalado por Palacio (2010).

Para determinar la demanda requerida únicamente para los sistemas sanitarios y para los lava-escobas se debe afectar la anterior ecuación por el 20% y el 5%, porcentajes estimados por el Departamento Nacional de Planeación [11] (...) los cuales corresponden a los porcentajes de consumo de las unidades sanitarias y de los lava-escobas, respectivamente.

Por lo que la dotación final obtenida de la literatura equivale al 25% del valor anterior, siendo igual a 12,5 L/alumno/día.

Tabla 3:
Consumo para uso escolar

Tipo de instalación	Consumo de agua
Educación elemental	20 L/alumno/jornada
Educación media y superior	25 L/alumno/jornada

Fuente: Resolución 0330 del 2017

Se llevó a cabo otro método para el cálculo de la dotación por medio de los recibos del acueducto de la facultad (Anexo 2), donde se evidencia un consumo de 652 m³ en un periodo de 6 meses para el año 2023. Para obtener el valor del consumo diario de la facultad, es necesario dividir el consumo generado en los 6 meses, entre 180 días. Posteriormente, el valor del consumo diario se distribuye en la cantidad de estudiantes que se encuentran inscritos en la facultad de ingenierías para el primer semestre del año 2023, equivalente a 645 estudiantes (Anexo 1). Por último, se realiza la

conversión de m^3 a litros multiplicando por 1000, obteniendo así una dotación para cada estudiante de 5,6 L/alumno/día.

Una vez calculados ambos valores se realiza un promedio entre estos para obtener un dato confiable de dotación que esté dentro del rango, tanto teórico (12,5 L/alumno/día) como real (5,6 L/alumno/día), el cual corresponde a 9 L/alumno/día que será la dotación que se usará para los siguientes cálculos.

Por medio de la ecuación, tomada de Organización Panamericana de la Salud (2004), se determina la demanda mensual de la facultad.

Demanda de agua

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000} \quad (1)$$

Donde:

- Di = demanda mensual (m^3)
- Nu = número de usuarios que se benefician del sistema (variable, según el mes)
- Nd = número de días del mes analizado
- Dot = dotación (L/persona/día)

Para la elaboración de la tabla 4, se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se tomaron los días del mes sin tener en cuenta días festivos.
- En el mes de marzo y octubre no se tuvo en cuenta las semanas de receso estudiantil.
- Para los meses de junio, julio y diciembre se asumieron 150 estudiantes matriculados para los cursos intersemestrales y vacacionales.
- En el mes de enero, se tuvo en cuenta un total de 300 usuarios del sistema, debido al inicio de actividades académicas (asumido).

Tabla 4:

Demanda de agua mensual requerida por la facultad

Mes	Días	Alumnos	Di
			m^3/mes
Noviembre	26	645	150,93
Diciembre	27	150	36,45
Enero	27	300	72,9

Febrero	24	645	139,32
Marzo	21	645	121,905
Abril	26	645	150,93
Mayo	27	645	156,735
Junio	26	150	35,1
Julio	27	150	36,45
Agosto	27	645	156,735
Septiembre	26	645	150,93
Octubre	21	645	121,905

Fuete: Elaboración propia

Se obtiene un consumo total de 1330,29 m³/año de agua potable por parte de la facultad, con un promedio mensual de 110,86 m³/mes.

8.2.2. Oferta de agua lluvia por cubierta y fachada

Cuando se habla de oferta, se hace referencia al volumen de agua lluvia que el sistema de captación puede aportar a la facultad. De esta manera será posible observar en qué medida el sistema es capaz de suplir las necesidades de consumo de agua en actividades sanitarias y de riego, calculadas en la tabla 5.

Para realizar los cálculos se hizo uso de la siguiente ecuación:

Oferta de agua

$$Ai = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000} \quad (2)$$

Donde:

- Ai = oferta de agua en el mes "i" (m³)
- Ppi = precipitación promedio mensual (L/m²)
- Ce = coeficiente de escorrentía
- Ac = área de captación (m²)

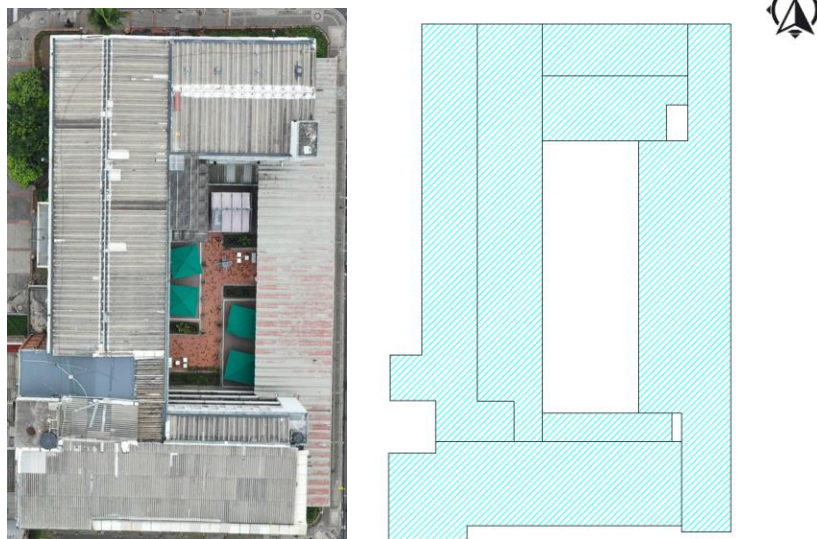
Para el cálculo de la oferta de agua lluvia por cubierta, fue posible obtener la precipitación media mensual a partir de la Tabla 2, donde se observan los valores medios de precipitación en un lapso de 10 años. Se tiene como base un área de captación de 977.66 m² correspondientes a la cubierta de

la facultad, cómo se observa en la Ilustración 4, donde se encuentra sombreado en azul las áreas útiles de captación.

Por otro lado, el sistema de captación propuesto incluye la recolección de agua lluvia mediante las fachadas norte, sur y oeste, excluyendo la fachada del lado este debido a su limitada área de captación, haciendo que el volumen de agua recolectada sea insignificante. Sin embargo, al ser captación vertical por efectos de vientos, únicamente se considera el 20% del área total de captación según lo indicado por OPS (2004) como se cita en Ávila & Ramírez (2015) y comprobado por Osorio & Rueda (2022) en un ejercicio experimental de aguas lluvias aprovechables en fachadas basado en la dirección y velocidad del viento. Las 3 fachadas de la facultad suman un total de $820,62 \text{ m}^2$ (incluyendo ventanas y sin tomar en cuenta el primer piso) que al ser afectado por el factor anterior del 20% se obtiene un área útil para la fachada de $164,12 \text{ m}^2$. Teniendo en cuenta este valor y el valor del área calculada para la cubierta, se obtiene el área total de captación equivalente a $1141,78 \text{ m}^2$.

Por último, la Resolución 0330 del 2017, indica que el coeficiente de escorrentía para cubiertas toma un valor de 0.9.

Ilustración 4:
Área útil de captación en cubierta



Fuente: Ilustración suministrada por la facultad de ingenierías de la universidad la Gran Colombia y elaboración propia

Tabla 5:
Oferta de aguas lluvias mensual por medio de cubierta y fachada

Mes	Precipitación (mm)	Coeficiente de escorrentía	Área de captación (m ²)	Ai
				m ³ /mes
Noviembre	181			186,00
Diciembre	88,93			91,39
Enero	66,65			68,49
Febrero	80,13			82,34
Marzo	132,85			136,52
Abril	125,13			128,58
Mayo	106,16	0,9	1141,78	109,09
Junio	82,15			84,42
Julio	58,75			60,37
Agosto	59,18			60,81
Septiembre	74,05			76,09
Octubre	118,47			121,74

Fuente: Elaboración propia

8.3. Potencial ahorro de agua

Finalmente, se obtiene un ahorro de agua potable del 90,6% al comparar los valores totales de la demanda y oferta (1330,29 m³/año y 1205,84 m³/año respectivamente), lo que justifica el estudio, análisis y desarrollo del sistema de captación de agua lluvia propuesto en el presente informe.

9. Diseño sistema de captación de agua lluvia

9.1. Captación

9.1.1. Cubierta

La estimación de agua captada por el sistema se hará mediante el método racional (ecuación 3), siguiendo las indicaciones de la resolución 0330 del 2017 donde especifica que este método puede ser usado únicamente en áreas inferiores a 80 ha, el cual “calcula el caudal pico de aguas lluvias utilizando la intensidad media del evento de precipitación, con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de impermeabilidad”. Para este cálculo es indispensable contar con las

dimensiones del edificio y sus componentes tanto en fachada como cubierta, sin embargo, la facultad no cuenta con esta información, por lo cual fue necesario obtener estos datos mediante un mapa de puntos otorgado por la misma facultad y verificarlos mediante una medición manual para una mayor confiabilidad de los cálculos.

Caudal método racional

$$Q = 2,78 * C * i * A \quad (3)$$

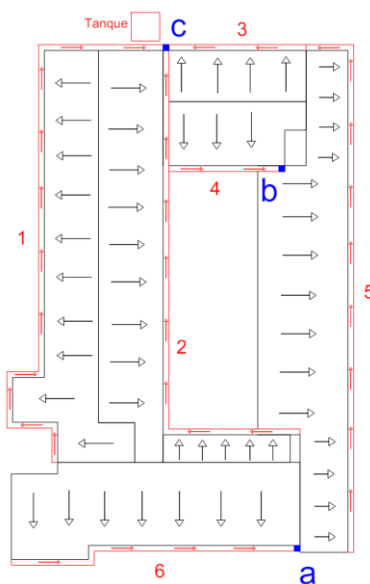
Donde:

- Q = Caudal pico de agua lluvia (L/s)
- C = Coeficiente de impermeabilidad (adimensional)
- I = Intensidad de precipitación (mm/h)
- A = Área tributaria de drenaje (ha)

La cubierta de la facultad está dividida en 4 secciones con una pendiente promedio del 2%, de las cuales 3 están a dos aguas y 1 corresponde a la cubierta del segundo piso (canaleta 5), a un agua, como se muestra en la ilustración 5. En esta también se muestra el sistema de recolección y conducción propuesto hasta el tanque, el cual se compone de 6 canaletas (color rojo) y 3 bajantes (color azul).

Ilustración 5:

Trayectoria del agua en la cubierta



Fuente: Elaboración propia

9.1.1.1. Tiempo de concentración

Por medio de la ecuación (4), tomada de la Resolución 0330 del 2017, se calcula el tiempo de entrada para cada área de la cubierta. Sin embargo, no se realiza un cálculo específico del tiempo de entrada, debido a la poca longitud de la cubierta este valor se vuelve despreciable. Por lo tanto, se asume que el tiempo de entrada es igual al tiempo de concentración. La longitud máxima de flujo fue tomada de forma diagonal desde el punto más alejado hasta el punto de entrada de la red.

Tiempo de Concentración

$$T_e = \frac{0,707 * (1,1 - C) * L^{\frac{1}{2}}}{S^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

Donde:

- T_e = Tiempo de concentración (min)
- C = Coeficiente de impermeabilidad (adimensional)
- L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m)
- S = Pendiente promedio (m/m)

Finalmente, se obtiene un periodo de retorno de 5 años, dado que la facultad se encuentra en una zona comercial con un área tributaria menor a 2 ha, y es el tiempo recomendado según la información proporcionada por la Resolución 0330 del 2017. De este mismo documento, también se obtiene el coeficiente de permeabilidad para la cubierta, el cual corresponde a 0,9.

Con la información mostrada anteriormente se presentan los resultados en la tabla 6, donde se observa que el tiempo de concentración no se ajusta a las curvas IDF. Por lo tanto, la norma establece que “el tiempo de concentración mínimo debe ser de 10 minutos, el cual a su vez debe contar con un tiempo de entrada mínimo de 5 minutos” (Resolución 0330 del 2017) para un tiempo mínimo total de 15 minutos, el cual se usara para determinar la intensidad de la precipitación en la zona (ver anexo 3). Una vez definido esto, se determina una intensidad de lluvia para la zona igual a 81,5 mm/h.

Tabla 6:*Caudales obtenidos para cada era tributaria a partir del método racional*

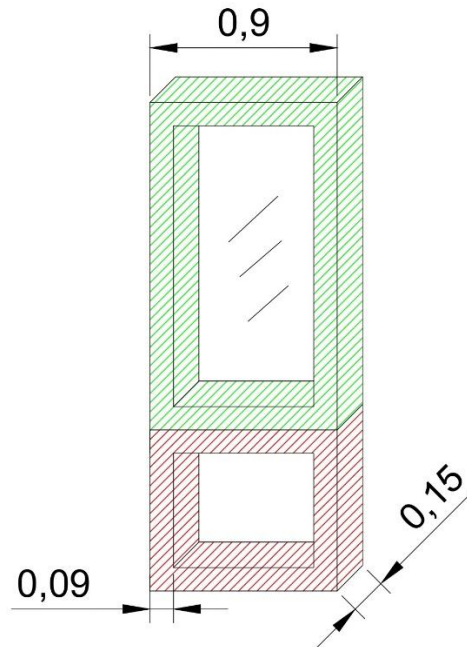
Canaleta	Área m ²	L m	S %	Te min	T (mínimo) min	Intensidad mm/h	Caudal L/s
1	188,15	36,27		6,0			3,8
2	218,42	36,05		6,0			4,5
3	55,75	13,27		3,6			1,1
4	64,17	11,8	2%	3,4	15	81,5	1,3
5	264,29	44		6,6			5,4
6	186,88	25,97		5,1			3,8

Fuente: Elaboración propia

Por último, se entra a la ecuación (3) con estos valores para calcular el caudal que va a fluir por cada canaleta y llegar a cada una de las 3 bajantes, dando como resultado un caudal total de 19,9 L/s para un área útil de 977,66 m².

9.1.2. Fachada

La captación por fachada se realiza mediante una fachada flotante teniendo en cuenta los marcos de las ventanas, los cuales cuentan con un dimensionamiento de 15 cm de profundidad, 9 cm de ancho, una longitud total, incluyendo el ancho de ventana, de 90 cm y una altura variable para la facultad de ingenierías, llevando la fachada a estar totalmente alineada con los marcos de las ventanas. Realizando el diseño de la fachada, se opta por omitir el recuadro vacío que se encuentra en la parte inferior de la ventana, que cuenta con el mismo grosor del marco de las ventanas y con la misma profundidad como se muestra en la ilustración 6.

Ilustración 6:*Dimensionamiento ventanas de la facultad de ingenierías UGC*

El área verde representa el área útil tomada en cuenta para el diseño de la fachada. Se encuentra en unidades de metros (m).

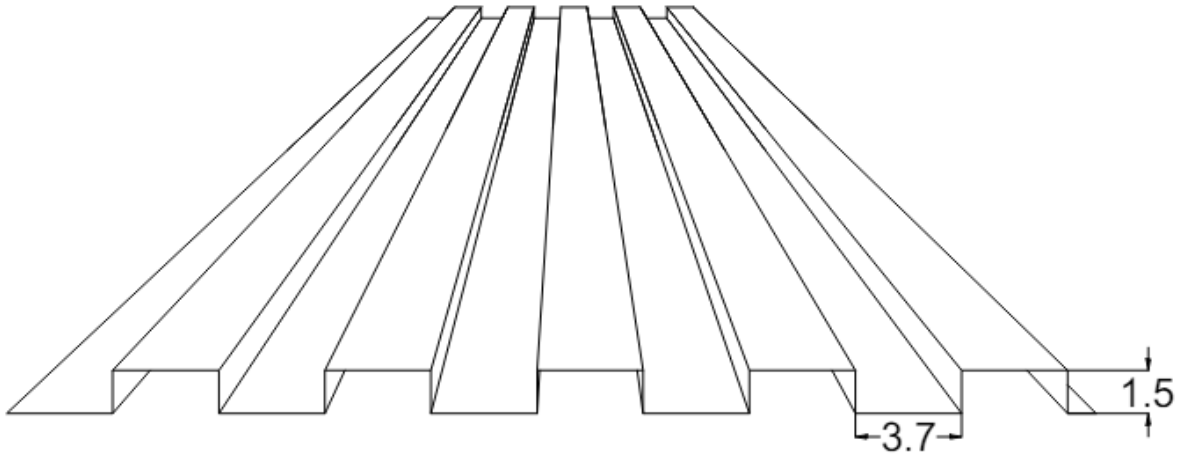
Fuente: Elaboración propia

9.1.2.1. Especificaciones del material

En primer lugar, se dispone de un producto llamado GeoCLAD (anexo 5), es un sistema de revestimiento arquitectónico diseñado para ofrecer soluciones estéticas y funcionales en la construcción de fachadas, el cual se puede moldear dependiendo de la necesidad. Está diseñado para proporcionar una apariencia moderna y duradera, y se utiliza en una variedad de proyectos, desde edificios comerciales hasta residenciales.

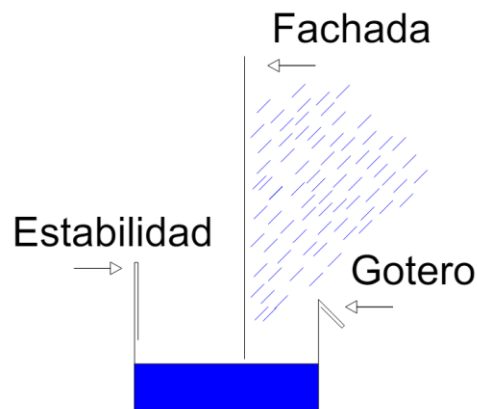
Se puede fabricar en aluminio o en aluzinc. En el caso de la fachada propuesta, por razones de economía y conocimiento, se optó por el material Aluzinc y que presenta un corrugado rectangular con dimensiones de 15 mm de alto y 37 mm de ancho, referencia 37/15 (ilustración 7).

Ilustración 7:
Lamina de GeoClad



Fuente: Elaboración propia a partir de las especificaciones del material.

Para el remate que se utilizará para la conducción del agua captada por las láminas, se propone usar una lámina de Aluzinc que se puede moldear según las dimensiones necesarias (ilustración 8). Por un lado, se realizará un doblé en la parte exterior para generar un gotero que aportará estética y mejorará la recolección de agua lluvia. Para la parte interior del remate, se realizará otro doblé que proporcionará mayor resistencia al momento de soportar la carga del agua. Esta contará con una separación entre la parte exterior y la fachada para permitir que el agua recolectada por la lámina entre en el remate sin ninguna obstrucción y sea conducida hasta su almacenamiento.

Ilustración 8:*Remate para la captación de agua por fachada*

Fuente: Elaboración propia.

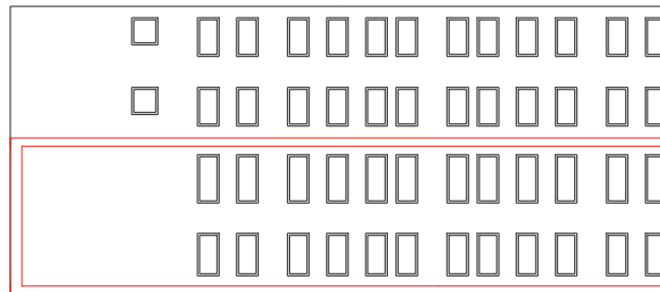
9.1.2.2. Recolección de aguas

Se instalará 1 bajante en cada fachada y 2 canaletas (remates), que conducirán el agua lluvia hasta el tanque de almacenamiento, en las fachadas norte y occidente, y la fachada sur contará únicamente con una canaleta. Esto con el fin de evitar que el dimensionamiento de los remates exceda el espacio de 15 cm entre la pared y la fachada, que equivale a la profundidad del marco de la ventana (Ilustración) 6. Los planos de fachada que se muestran a continuación están escalados y representan las fachadas de la facultad de ingenierías desde la parte inferior del segundo piso, sin tener en consideración el primer piso de la facultad.

Fachada Occidente

Como se mencionó anteriormente cuenta con 2 canaletas y una bajante que permitirá recolectar el agua captada por la canaleta superior como se aprecia en la ilustración 9.

Ilustración 9:
Fachada occidente de la facultad de ingenierías UGC



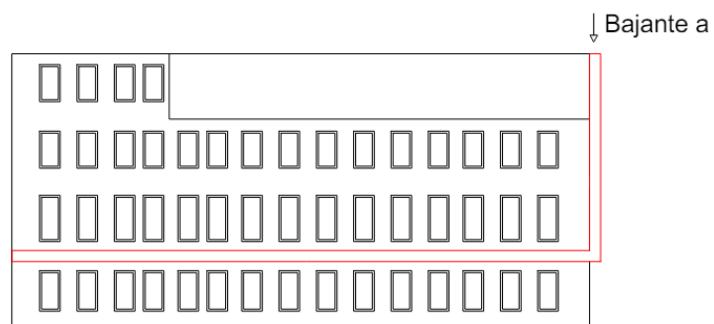
Occidente

Fuete: Elaboración propia

Fachada Sur

Cuenta con una única canaleta en la parte inferior del tercer piso, debido a que esta se encuentra a nivel de la cubierta del piso 2, lo que optimizaría su conducción, por medio de la canaleta “5” de la cubierta (ilustración 5), hasta el tanque de almacenamiento. La bajante que se observa en la ilustración 10 hace referencia a la bajante “a” de la cubierta.

Ilustración 10:
Fachada sur de la facultad de ingenierías UGC



Sur

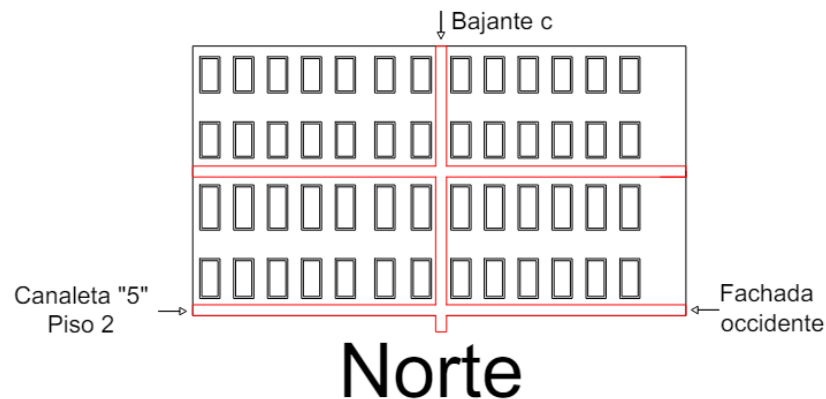
Fuente: Elaboración propia.

Fachada Norte

Para esta fachada se tienen varias consideraciones debido a que, tanto las bajantes como las canaletas de esta transportarán todo el caudal que llegará al tanque de almacenamiento. Por tanto, se tiene una canaleta superior que recolectará el caudal captado por la mitad superior de la fachada, una canaleta inferior que recolectará el caudal de la mitad inferior de la fachada, el caudal total de la fachada occidente y el caudal total de la canaleta del segundo piso. Por último, también contará con una bajante (misma bajante "c" de la cubierta) que captará el caudal proveniente de la cubierta y la mitad superior de la fachada (ilustración 11). Sin embargo, como esta será la que llegará al tanque, y para evitar temas de uniones de tuberías con distintos diámetros, se considera el caudal total tanto de cubierta como de fachada para el dimensionamiento de esta.

Ilustración 11:

Fachada occidente de la facultad de ingenierías UGC



Fuente: Elaboración propia

9.1.2.3. Caudales

Debido a que no hay un estudio riguroso acerca de la captación de agua de lluvia por medio de fachadas y cómo esta debería estimarse, únicamente se encuentra en la literatura la mención del factor del 20% del caudal total recolectado en la cubierta, mencionado en el ítem de **oferta de agua**. Sin embargo, esta consideración es aplicable solo si tanto la cubierta como la fachada tienen la misma área

de captación, como se evidencia en el trabajo de grado de Osorio & Rueda (2022). Pero para este proyecto, la cubierta cuenta con 977,66 m² y la suma de las tres fachadas que se están considerando es de 820,62 m².

No obstante, queda en evidencia que la captación por fachada está relacionada con la captación por cubierta. Para estimar el caudal que recolectará cada fachada, se tienen en cuenta los mismos datos de intensidad y coeficiente de impermeabilidad de la tabla 6, calculados para la cubierta, variando únicamente el valor del área correspondiente a cada fachada, afectado por el 20%.

Tabla 7:
Estimación de caudales captados por fachada

Sección	Área fachada	20% Área	Intensidad	Caudal
	m ²	m ²	mm/h	L/s
Occidente	350,672	70,1	81,5	1,4
Norte	281,852	56,4	81,5	1,1
Sur	188,099	37,6	81,5	0,8

Fuente: Elaboración propia

9.2. Dimensionamiento

9.2.1. Cubierta

9.2.1.1. Canaletas

Para el dimensionamiento de las canaletas en la cubierta, se consideraron las áreas de captación que aportan caudal a estas a lo largo de su conducción. Con estos caudales se calcula el Yn (altura de la lámina de agua) y la base de cada canaleta como se muestra en la tabla 7.

Ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Donde:

- Q = Caudal (m/s)
- n = Rugosidad de Manning (adimensional)

- A = Área de la sección transversal (m²)
- Rh = Radio hidráulico de la sección (m)
- S = Pendiente de canaleta (m/m)

El cálculo se realizó mediante la ecuación de Manning, donde a través del método de Sección Hidráulicamente Óptima (SHO) se obtuvieron las fórmulas de radio hidráulico (Rh) y área (A) de una sección rectangular (tabla 8). Estas fórmulas se reemplazaron en la ecuación de Manning, expresando todas las variables en términos de Y_n, y finalmente esta se despejó dejando la ecuación en función del caudal total, el coeficiente de rugosidad de Manning de 0,009 para tubos hechos en material de PVC obtenido de la Resolución 0330 del 2017, y las pendientes de las canaletas, las cuales se propusieron de 1%.

Altura lámina de agua - Manning

$$Y_n = \left(\frac{n * \sqrt[3]{4}}{2} * Q * S^{-\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (6)$$

Donde:

- Y_n = Altura lámina de agua (m)
- n = n = Rugosidad de Manning (adimensional)
- Q = Caudal (m/s)
- S = Pendiente de canaleta (m/m)

Tabla 8:

Fórmulas para determinar las características geométricas (SHO)

Característica geométrica	Rectangular
Área (A)	$2Y_n^2$
Perímetro mojado (Pm)	$4Y_n$
Radio hidráulico (Rh)	$0,5Y_n$
Base (b)	$2Y_n$
Tirante hidráulico (T)	$2Y_n$

Fuente: Elaboración propia adaptada del libro de Duarte Agudelo, C. A. (2016)

Para el diseño de las canaletas se tuvo en cuenta el caudal que va a fluir en cada una de estas, calculado en la tabla 8. Sin embargo, en la canaleta 5 se tiene en consideración el caudal tanto de la fachada sur como de las canaletas 4 y 6, que llegan por medio de la bajante “b” y “a” respectivamente. Dando así un caudal total para la canaleta 5 de 11,3 L/s.

Tabla 9:
Dimensionamiento de canaletas

Canaleta	Caudal	Yn (altura)	Base
	L/s	cm	cm
1	3,8	5	10
2	4,5	5	10
3	1,1	3	6
4	1,3	4	8
5	11,3	7	14
6	3,8	5	10

Fuente: Elaboración propia

Adaptando el dimensionamiento obtenido a canaletas comerciales, se tiene una dimensión de 12,5 cm x 8,6 cm para todas las canaletas, exceptuando la canaleta 5 que, al ser la que conduce gran parte del total de agua captada, se adapta una canaleta de 16,9 cm x 10,6 cm.

9.2.1.2. Bajantes

El diseño de las bajantes para la cubierta se realizó mediante la tabla 10, la cual se obtuvo del libro de Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas del Ing. Pérez, R. (2010), donde indica la capacidad máxima en bajantes según el caudal en litros por segundo. En esta también considera un r (relación de áreas del anillo de agua a la sección de la tubería), el cual define como “para caudales pequeños, el agua baja pegada a la pared interior de la tubería (...) y se forma un anillo alrededor de la tubería con un cilindro de aire en el centro” (Pérez, 2010) y recomienda, según los investigadores Both Dawson y Roy B. Hunter citados en el libro, un valor de r igual a 1/4 dado que con esta relación “no se producen fluctuaciones de presión peligrosas para sifonamiento”.

Tabla 10:
Máxima capacidad de bajantes

\varnothing ''	Caudal en litros por segundo		
	$r = 1/4$	$r = 7/24$	$r = 1/2$
2	1,10	1,40	1,80
3	3,20	4,20	5,20
4	7,00	9,10	11,30
6	20,70	26,70	33,40
8	44,50	57,60	71,90
10	80,80	104,00	130,40
12	131,00	169,80	212,00

Fuente: Libro instalaciones hidrosanitarias y de gas del Ing. Pérez Carmona

Para estimar el caudal que llegará a cada bajante se consideró lo siguiente, la bajante "a" recolectará el caudal de la canaleta 6 de la cubierta y además estará conectada a la canaleta de la fachada sur (3,8 L/s y 0,8 L/s respectivamente), por lo que el caudal total equivale a 4,6 L/s. Por otro lado, el caudal de la bajante b es igual a 1,3 L/s, siendo este mismo el caudal de la canaleta 4. La justificación de esta bajante se debe a que actualmente se encuentra construida en la facultad de ingenierías y tanto esta como la canaleta funcionan de la manera en la que se está proponiendo en este proyecto, por lo que sería contraproducente removerla y cambiar el sistema. Por último, se encuentra la bajante c que hace referencia a la tubería que llegará al tanque, de modo que esta será la que reúna el caudal total de la fachada y el caudal total de la cubierta, como se mencionó anteriormente.

Tabla 11:
Diseño de bajantes para cubierta

Bajante	Contribución	Caudal	Diámetro	
		L/s	"	mm
a	Canaleta 6	4,6	4	100
	Fachada sur			
b	Canaleta 4	1,3	3	80
c (final)	Total, cubierta	23,3	8	200
	Total, fachada			

Fuente: Elaboración propia

Se comparan los valores de caudal obtenidos en la tabla 11 con la máxima capacidad de bajantes de la tabla 10 para finalmente obtener el diámetro tanto en pulgadas como en milímetros que se utilizará en cada una de estas.

9.2.2. Fachada

9.2.2.1. Canaletas

Siguiendo la metodología explicada anteriormente para el dimensionamiento del sistema en la cubierta, se diseñan las canaletas para la fachada, que en este caso son remates moldeados a partir de una lámina de Aluzinc que permitirá la captación del agua lluvia (ilustración 8), lo que cambia el coeficiente de rugosidad de Manning, que para este caso se usa el del acero galvanizado igual a 0,016 (material más parecido al Aluzinc) obtenido del libro (Whitman y Walski, (2021).

Debido a que la fachada occidente cuenta con dos canaletas, como se explicó anteriormente, el caudal recolectado por cada una de estas equivale a la mitad del caudal total calculado en la tabla 7 para esta fachada, el cual es igual 1,4 L/s. De igual manera, se calcula el caudal para la canaleta superior de la fachada norte, siendo este la mitad del caudal total captado. Sin embargo, como se explicó en la recolección de agua por medio de fachada, a la canaleta inferior le llegan 2 caudales además del propio de la mitad inferior de la fachada (0,55 L/s), que equivalen al caudal de la canaleta 5 mostrado en tabla 9 (11,3 L/s) y el caudal total de la fachada occidente mostrado en tabla 7 (1,4 L/s), lo que sumaría un

caudal total de 13,3 L/s. Finalmente, para la fachada sur se obtiene el caudal total captado por esta, calculado en la tabla 7 (0,8 L/s), debido a que únicamente se maneja una canaleta en esta fachada.

Tabla 12:
Diseño de canaletas para la fachada

Fachada	Canaleta	Caudal	Yn (altura)	Base
		L/s	cm	cm
Occidente	Superior	0,7	4	8
	Inferior	0,7		
Norte	Superior	0,55	3	6
	Inferior	13,3	10	20
Sur	Única	0,8	4	8

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, esta se fabricará a partir de una lámina de Aluzinc, para la cual se utilizará un desarrollo de 232 mm (longitud de la lámina) en las canaletas de la fachada occidente, sur y la canaleta superior del costado norte. Por otro lado, la canaleta inferior de la fachada norte, debido a sus dimensiones, se utilizará una lámina con un desarrollo de 450 mm, las cuales se aprecian mejor en el anexo 7.

9.2.2.2. Bajantes

El último componente del sistema que faltaría por diseñar corresponde a la bajante de la fachada occidente, puesto que las bajantes de las fachada sur y norte coinciden con las bajantes de la cubierta "a" y "c" respectivamente, las cuales fueron calculadas en la tabla 11.

Tabla 13:*Dimensionamiento de bajante de la fachada occidente*

Fachada	Caudal		Diámetro	
	L/s	"	mm	
Occidente	0,7	2	50	

Fuente: Elaboración propia

El caudal que captará esta bajante corresponde al caudal de la canaleta superior de la fachada occidente calculado en la tabla 13 (0,7 L/s), el cual se evidencia mejor en la ilustración 9 y se dimensiona siguiendo la metodología utilizada en la cubierta; por medio de la tabla 10.

9.3. Tanque de almacenamiento

Para determinar el volumen requerido para el tanque de almacenamiento del sistema de captación de agua lluvia, se siguió la metodología presentada por Ávila Beltrán, L & Ramírez, L (2015), donde por medio de la oferta y demanda de agua, calculadas en la tabla 5 y 4 respectivamente, se obtiene un déficit o exceso de agua acumulado para cada mes, aplicando la siguiente formula:

$$V = V_a + A_i - D_i \quad (7)$$

Donde:

- V = Volumen de exceso o déficit (m³)
- V_a = Volumen de exceso o déficit del mes anterior (m³)
- A_i = Oferta de agua lluvia para el mes (m³)
- D_i = Demanda de agua para el mes (m³)

Los resultados para el volumen requerido de almacenamiento se muestran en la tabla 14, incluyendo el porcentaje de ahorro mensual, donde se tiene un ahorro de agua promedio de 108% que justifica la viabilidad técnica de este proyecto.

Tabla 14:
Déficit o Exceso de agua para cada mes

Mes	Di	Ai	Volumen (m ³)		Ahorro de agua
	m ³ /mes	m ³ /mes	Déficit	Exceso	%
Noviembre	150,93	186,00		35,07	123
Diciembre	36,45	91,39		90,00	148
Enero	72,9	68,49		85,59	133
Febrero	139,32	82,34		28,61	107
Marzo	121,905	136,52		43,23	108
Abril	150,93	128,58		20,88	103
Mayo	156,735	109,09	-26,76		97
Junio	35,1	84,42		22,55	103
Julio	36,45	60,37		46,48	105
Agosto	156,735	60,81	-49,45		95
Septiembre	150,93	76,09	-124,28		90
Octubre	121,905	121,74	-124,45		91

Fuente: Elaboración propia

Los volúmenes negativos presentes en los resultados hacen referencia a la cantidad de metros cúbicos que el sistema de captación no alcanza a suplir, por lo que será necesario compensarlo con agua del acueducto por medio de una válvula by-pass, que permitirá el ingreso de agua potable al sistema durante estos 4 meses. Por otro lado, se observa un exceso de agua para 8 meses, esto refleja que el agua captada es superior a la demanda de agua, lo que indica que este valor es el que determina la capacidad y el dimensionamiento del tanque, para lo cual se toma el valor mayor, en este caso 90 m³.

Una vez se determina el volumen de agua a almacenar, se propone un tanque de 4,5 m x 4,5 m x 4,5 m para una capacidad de 91 m³. Se sugiere un tanque subterráneo, dado que la ubicación de este, como se muestra en la ilustración 5, estará en el costado norte de la universidad, donde no hay espacio suficiente para la construcción de un tanque superficial con la capacidad mencionada.

10. Análisis financiero

10.1. Valor consumo de agua

Para calcular el valor del metro cúbico para la facultad a lo largo del año 2023, se sumó el costo del acueducto, que fue de 3.166.966 COP, y el consumo de agua potable total del año, que fue de 981 metros cúbicos. Con los valores obtenidos se realizó la división del costo entre el total de metros cúbicos para obtener el valor del metro cúbico de la facultad en ese año.

El valor del metro cúbico para el año 2023 fue de 3.228,30 COP según los recibos del acueducto suministrados por la Facultad de Ingenierías (Anexo 2).

10.2. Presupuesto del proyecto

Para la realización del proyecto, se estipula un presupuesto de 218.987.959 COP, teniendo en cuenta los siguientes aspectos: fachada, cubierta, tanque de almacenamiento, mano de obra, transporte, equipos y mantenimiento.

Los precios para este proyecto fueron obtenidos directamente del fabricante del material usado en la fachada y su instalación, considerando la adaptación del producto para un nuevo uso como lo es la recolección de aguas lluvias. Para la cubierta y el tanque, se realizó una estimación del costo total a través de un generador de precios unitario para Colombia, creado por la empresa CYPE Ingenieros, S.A. Este generador considera los costos de materiales, residuos, impacto ambiental, seguridad y mano de obra, lo que permite obtener un precio más preciso y cercano al valor real.

Tabla 15:
Presupuesto total del proyecto

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
FACHADA				\$ 103.078.489
PANEL GEO-CLAD	ML	1749	\$ 50.000	\$ 87.432.432
ANGULO DE SOPORTE	PZ	834	\$ 2.500	\$ 2.086.229
TUBULAR 1,5 *1,5	PZ	167	\$ 45.000	\$ 7.510.425
TORNILLOS	Und	12241	\$ 25	\$ 306.014
CHAZOS	Und	1669	\$ 300	\$ 500.695
CANAL REMATE DESARROLLO 232 MM	ML	111	\$ 17.800	\$ 1.968.244
CANAL REMATE DESARROLLO 450 MM	ML	23	\$ 67.441	\$ 1.532.934
REMATES	Und	127	\$ 13.200	\$ 1.671.516
SOSCOS	Und	10	\$ 7.000	\$ 70.000
CUBIERTA				\$ 9.767.843
CANAleta PVC 125x86 MM	M	146	\$ 41.616	\$ 6.085.572
CANAleta PVC 169x106 MM	M	44	\$ 55.817	\$ 2.444.781
BAJANTE PVC 2"	M	6,7	\$ 9.342	\$ 62.591
BAJANTE PVC 3"	M	9,4	\$ 27.248	\$ 256.131
BAJANTE PVC 4"	M	9,4	\$ 34.599	\$ 325.233
BAJANTE PVC 8"	M	12,4	\$ 47.866	\$ 593.535
TANQUE DE ALMACENAMIENTO				\$ 63.550.033
EXCAVACION	M^3	91	\$ 35.653,46	\$ 3.248.922
MUROS	M^2	81	\$ 650.212,74	\$ 52.667.232
PLACA Y TAPA	M^2	40,5	\$ 188.490,86	\$ 7.633.880
MANO DE OBRA, TRANSPORTE, EQUIPOS Y MANTENIMIENTO				\$ 42.591.594
M.O. INSTALACION (FACHADA)	M^2	647	\$ 23.500	\$ 15.204.500
SUPERVISIÓN DE OBRA	M^2	647	\$ 6.500	\$ 4.205.500
EQUIPOS	M^2	647	\$ 9.500	\$ 6.146.500
TRANSPORTES	M^2	647	\$ 2.800	\$ 1.811.600
IMPREVISTOS	Und	6	\$ 500.000	\$ 3.000.000
POLIZAS	Und	6	\$ 500.000	\$ 3.000.000
MANO DE OBRA (CUBIERTA)	ML	227,93	\$ 40.383	\$ 9.204.552
MANTENIMIENTO (CUBIERTA)	-	-	\$ 18.942	\$ 18.942
Total				\$ 218.987.959

Fuente: Elaboración propia

10.3. Viabilidad económica

Como se mencionó en el ítem "potencial ahorro de agua", mediante la relación entre el consumo y la demanda de agua potable se logra un ahorro de hasta el 90,6% para la Facultad de Ingenierías, lo que correspondería a un ahorro económico de 2.869.271 COP para el año 2023.

Teniendo en cuenta el presupuesto total del proyecto y el ahorro económico generado por el porcentaje de ahorro mencionado anteriormente, y asumiendo que tanto el consumo (suscriptores) como el precio del metro cúbico aumenten proporcionalmente en el transcurso de los años, la inversión que se realizaría para este proyecto podría ser recuperada en aproximadamente 76 años.

11. Viabilidad técnica y económica

11.1 Otras propuestas

Para evaluar la viabilidad técnica y económica, es necesario comparar dos enfoques distintos en la implementación de sistemas de recolección de aguas lluvias. Se analizarán diferentes áreas para determinar qué proyecto genera más beneficios para la Universidad La Gran Colombia. El primer enfoque incorpora tanto la cubierta como la fachada en el sistema, mientras que el segundo se centra exclusivamente en la utilización de la cubierta del edificio. Ambos proyectos tienen como objetivo optimizar la captación de aguas lluvias para su aprovechamiento sostenible, lo que resulta altamente beneficioso para la institución.

Además, se evaluará el impacto estético y funcional que cada opción ofrece al proyecto. Mediante un análisis detallado, se busca resaltar las ventajas y desafíos de cada enfoque, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en el desarrollo del proyecto.

11.1.1 Descripción del proyecto.

Para la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia, se propone implementar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como una alternativa sostenible para reducir el consumo de agua potable en sus instalaciones. Este sistema se enfocará en la recolección de agua de lluvia desde la cubierta del edificio, la cual tiene un área útil de $977,6 \text{ m}^2$. La cubierta está compuesta por tejas de superficie poco rugosa, lo que ayuda a minimizar el transporte de sólidos. El sistema de recolección y conducción propuesto hasta el tanque, se compone de 6 canaletas y 3 bajantes. La recolección del agua se realizará mediante estas canaletas y bajantes, que conducirán el agua al tanque de almacenamiento y, en caso de ser necesario, al sistema de alcantarillado. Las canaletas estarán equipadas con una malla para retener sólidos gruesos y evitar obstrucciones en el sistema.

Durante los periodos de baja pluviosidad, el sistema de acueducto convencional seguirá siendo la fuente principal de suministro para la Facultad, asegurando que siempre se satisfagan las necesidades de agua de la institución. Este enfoque contribuirá significativamente al ahorro de agua potable y a la sostenibilidad ambiental de la Universidad La Gran Colombia.

11.1.2 Presupuesto.

La propuesta de diseño desarrollada para la cubierta de la facultad de ingeniería civil de la Universidad La Gran Colombia cuenta con un presupuesto general donde se incluyen 4 ítems, los cuales abordan la totalidad del proyecto. El tanque de almacenamiento de aguas lluvias, el interceptor de primeras aguas, el sistema de recolección y conducción de aguas lluvias al tanque de almacenamiento y la mano de obra y mantenimiento que requiere la obra.

Tabla 16:
Presupuesto recolección mediante cubierta UGC

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL (\$)
1	TANQUE ALMACENAMIENTO	\$ 63.550.033
2	INTERCEPTOR DE PRIMERAS AGUAS	\$ 705.000
3	SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN	\$ 9.767.843
4	MANO DE OBRA Y MANTENIMIENTO	\$ 9.223.494
TOTAL		\$ 83.246.370
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL (\$)

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta el consumo mensual de la facultad, el valor promedio del m³ (\$ 3.228,3 COP) y el porcentaje de ahorro de agua potable que presenta la implementación del sistema de recolección en la cubierta (77,5%) se obtiene un ahorro anual aproximado de \$ 2'454.396 COP.

Considerando el valor de ahorro anual aproximado se estima un retorno de inversión en aproximadamente 28 años.

11.2 Viabilidad del proyecto

Tabla 17:
Tabla multicriterio

	Criterio	Peso (%)	Proyecto Cubierta y Fachada	Puntuación A	Proyecto Cubierta	Puntuación B
1	Costo	10	\$ 218.987.959	7	\$ 83.246.370	7
2	Facilidad de implementación	10	Alta	8	Media	6
3	Impacto ambiental positivo	10	Medio	7	Medio	7
4	Mantenimiento	10	Dificultad	6	Medio	9
5	Vida útil	10	Alta	9	Alta	9
6	Beneficios para la comunidad educativa	10	Alto	10	Medio	6
7	Contribución a la sostenibilidad	10	Alto	10	Alto	9
8	Beneficios Económicos	10	Alto	9	Alto	9
9	Estética Agregada	10	Alta	10	Baja	1
10	Costo Beneficio	10	Alta	9	Media	7
Total		100		85		70

Fuente: Elaboración propia

Algunos aspectos importantes que se tuvo en cuenta para la elaboración de la tabla multicriterio (tabla 17) fue el proceso de instalación del material el cual se usará para la fachada. Primero nivelar la

estructura con plomos, luego montar y aseguran los soportes. Tras verificar la alineación, se instalan los paneles verticalmente, fijándolos con tornillos autoperforantes. Finalmente, se colocan los remates en forma de canales para un acabado estético.

En cuestión del mantenimiento de la fachada, se recomienda un mantenimiento periódico cada 2 años, teniendo en cuenta que parte de este mantenimiento está incluido en la cotización. Esta práctica busca maximizar la inversión a largo plazo y minimizar los costos de reemplazo, garantizando que el producto mantenga su integridad estructural y funcionalidad, especialmente en la recolección de aguas lluvias.

Por otro lado, la principal diferencia entre el sistema propuesto en este proyecto y un sistema convencional es el componente estético al involucrar la fachada en el sistema, no solo como parte de la renovación del edificio, sino también como área de captación adicional que complementa la recolección en la cubierta. Esto convierte al sistema en una opción técnicamente viable con una diferencia en el presupuesto de \$135.741.589.

Es importante tener en cuenta que esta diferencia comprende la parte estética y la renovación del edificio. A pesar de que se trata de una fachada, cuenta con un periodo de retorno que, aunque puede considerarse alto, no es habitual en este tipo de estructuras. Este sistema trae beneficios tanto a la universidad como a los estudiantes. En primer lugar, la facultad de ingenierías al cambiar la estructura externa del edificio provoca un impacto visual llamativo que puede atraer la atención de nuevos estudiantes y renovar la imagen del antiguo edificio de la facultad de ingenierías de la Universidad La Gran Colombia. Además, ayuda a la reducción del desperdicio de agua potable al aprovechar el agua lluvia en actividades sanitarias y de riego, beneficiando a los estudiantes al no depender únicamente del agua del acueducto, sino contar con una fuente alternativa. Esto evitaría que se queden sin el servicio debido a cortes inesperados de agua provocados por la crisis actual de este recurso.

Este último aspecto justifica el componente económico, considerando que, si se tiene en cuenta únicamente la cubierta, el sistema abastecería el 77.6% del agua total necesaria en la facultad durante un año (el 100% solo en 3 meses). Por lo tanto, se obtiene un alto costo-beneficio, dado que sin la inversión inicial de \$218.987.959, que comprende tanto la fachada como la cubierta, el sistema no sería técnicamente viable.

12. Conclusiones

Para la facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia, se estableció una dotación de 9 L/alumno/día, con lo cual se obtiene un consumo total de agua potable, en actividades que no la requieren, de 1330.29 m³/año. Por otro lado, el sistema de captación de agua lluvia propuesto ofrece una oferta de 1205.84 m³/año, lo que genera un ahorro de agua potable para la facultad del 90.6%. Considerando lo anterior y teniendo en cuenta la crisis de agua que se vive a nivel mundial, nacional y regional, este sistema demuestra una viabilidad técnica al crear una fuente alternativa de agua que es renovable e independiente, contrarrestando los problemas relacionados con el recurso hídrico, ya sea por desperdicio, cortes no previstos del servicio, incremento económico en el m³ o multas por excesos.

El diseño del sistema de canaletas de fachada y cubierta no tiene en cuenta la precipitación promedio mensual con la que se calculó la oferta de agua lluvia, debido a que la información de la estación Paraíso, de donde se obtuvieron los datos de precipitación, no cuenta con tiempos de duración e intensidad de la lluvia, lo que impide determinar un caudal para esta precipitación y, por ende, no es posible el dimensionamiento de las canaletas. Sin embargo, para este cálculo se tiene en cuenta la curva IDF de Bogotá, que, aunque no considera únicamente la intensidad de lluvia para la zona de estudio, permite calcular los caudales pico según el área de captación, lo que facilita un adecuado dimensionamiento de las canaletas sin que presenten problemas de sobredimensionamiento o desbordamiento de agua.

El sistema propuesto permite que la captación de agua cubra las necesidades de la facultad durante 8 meses al año. Sin embargo, si se considera solamente la captación por cubierta, el sistema abastecería el 100% de la demanda de la facultad únicamente durante 3 meses, es decir, un 77.6% del agua necesaria. Por otro lado, la captación por fachada aporta un 13% al ahorro total de agua potable, lo que demuestra la viabilidad de un sistema que considera el agua recolectada en la fachada, elevando tanto el ahorro económico como el de agua potable. Se sugiere una investigación continua sobre la

recolección de agua por fachada, debido a que es una forma de maximizar la eficiencia de un sistema de captación de agua lluvia.

Por otro lado, se presenta una elevada inversión inicial del sistema, que, por medio del ahorro generado, se recuperará en aproximadamente 76 años. Sin embargo, este proyecto no solo contempla el sistema de captación de agua lluvia, sino también una renovación de la imagen del edificio de la facultad de Ingenierías, aspecto que se debe tener en cuenta en la decisión de la universidad de implementar o descartar este sistema.

Se recomienda realizar la limpieza de los remates cada 12 meses. La cotización presentada anteriormente incluye 3 mantenimientos después de la instalación. La prioridad de este mantenimiento en la fachada es que se puede generar obstrucción en los remates y provocar un mal funcionamiento del sistema, aunque la posibilidad de que esto suceda es muy baja.

Al realizar el análisis comparativo entre los dos enfoques para el proyecto de recolección de aguas lluvias, se observa que la opción que se limita únicamente a la cubierta presenta ciertas limitaciones. En cambio, la integración de la fachada en el sistema no solo maximiza la eficiencia en la recolección de agua, sino que también aporta un valor estético significativo tanto para la universidad como para el proyecto en general. La incorporación de la fachada permite una mayor captación de agua y contribuye a una estética más armónica y moderna en el diseño arquitectónico. Este proyecto no solo facilita el aprovechamiento del agua, sino que también mejora la integración visual del sistema con la estructura general, lo que lo convierte en la opción más favorable desde un punto de vista tanto funcional como estético.

13. Bibliografía

- Acevedo-Tiusaba, M y Trujillo-Parrado, B. (2021). Guía para el diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias orientado a conjuntos residenciales. Universidad Católica de Colombia. <https://hdl.handle.net/10983/25788>
- Ávila, L., & Ramírez, L. (2015). Diseño hidráulico de un sistema de recolección y recirculación de aguas lluvias para uso sanitario en el Colegio Lausana ubicado en la ciudad de Bogotá D.C. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria
- Camelo, M. F. (2017). APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA EN EL DESARROLLO DE OBRA CIVIL.
- CYPE Ingenieros, S.A. (s. f). Generador de precios Colombia. Recuperado el 15 de junio de 2024, de https://colombia.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0_0_1|0_0_0_0_1_0_0_0|1|ISB020|isc_canalones-%3Ebajante:c4_0_1c7_0_5c11_0_1
- Duarte Agudelo, C. A. (2016). Introducción a la hidráulica de canales (4ta. edición.). Universidad Nacional de Colombia.
- Duran, P. (n.d.). Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable. www.conama10.es
- Hernandez, L. (2014). SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO LA FLORIDA, HUASMÍN, CELENDIN, CAJAMARCA.
- Hugues, Ronnie Torres. (2019). Rainwater harvesting as supply solutions in the past and the present. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125-139. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lng=es&tlng=en.
- IDEAM. (2014, March 21). Oferta agua. <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ofertaagua>
- IDEAM. (2022). ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2022.

Méndez Calderón, M. C. (2023). El Agua Dulce, un recurso geoestratégico visto desde la perspectiva de la hidropolítica. *Multiverso Journal*, 3(4), 20–28. <https://doi.org/10.46502/issn.2792-3681/2023.4.2>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Económico. (2016). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000: Título D, sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. Bogotá D.C.
https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000. TÍTULO B: Sistemas de Acueducto. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330.
<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). Resolución 0799.
https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/0799_2021.pdf

Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). Guía de diseño para captación del agua de lluvia.
<https://bibliotecaambiental.ambiente.gob.sv/documentos/guia-de-diseno-para-captacion-del-agua-de-lluvia/>

Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2003). Especificaciones técnicas captación de agua de lluvia para consumo humano.

https://www.academia.edu/32786498/ESPECIFICACIONES_T%C3%89CNICAS_CAPTACI%C3%93N_DE_AGUA_DE_LLUVIA_PARA_CONSUMO_HUMANO

Osorio Osorio, J. A. (2008). La historia del agua en Bogotá: Una exploración bibliográfica sobre la cuenca del río Tunjuelo, en el siglo XX. *Revistas Universidad Javeriana*, 12(25), 107-116.

<https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/memoysociedad/article/view/8187/6545>

Osorio, J., & Rueda, F. (2022). Aprovechamiento de Agua Lluvia a Través de la Captación en la Fachada del Edificio Chibcha de la Universidad de Santander Osorio.

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.

Pérez, R. (2010). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones* (6th ed.).

<https://lalibriadelingeniero.blogspot.com/>

Sistema de Alerta Bogotá SAB. (2024, 26 de abril). Información hidrometeorológica. Portal Único del Estado Colombiano GOV.CO. <https://www.sire.gov.co/web/sab/informacion-hidrometeorologica>

Trujillo, J. (2023, 24 de marzo). En el Colombia, 3,2 millones de personas no tienen acceso al servicio de agua potable. *70 La República*. <https://www.larepublica.co/economia/en-el-colombia-3-2-millones-de-personas-no-tienen-acceso-al-servicio-de-agua-potable-3576736>

UNESCO. (2023). Riesgo inminente de una crisis mundial del agua (UNESCO/ONU-Agua) | UNESCO. <https://www.unesco.org/es/articulos/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua>

Whitman, B. E., & Walski, T. (2021). *Computer applications in hydraulic engineering*.

14. ANEXOS

ANEXO 1: ESTUDIANTES DE PREGADO POR FACULTAD, PROGRAMA Y GENERO 2023-1. BOGOTÁ.

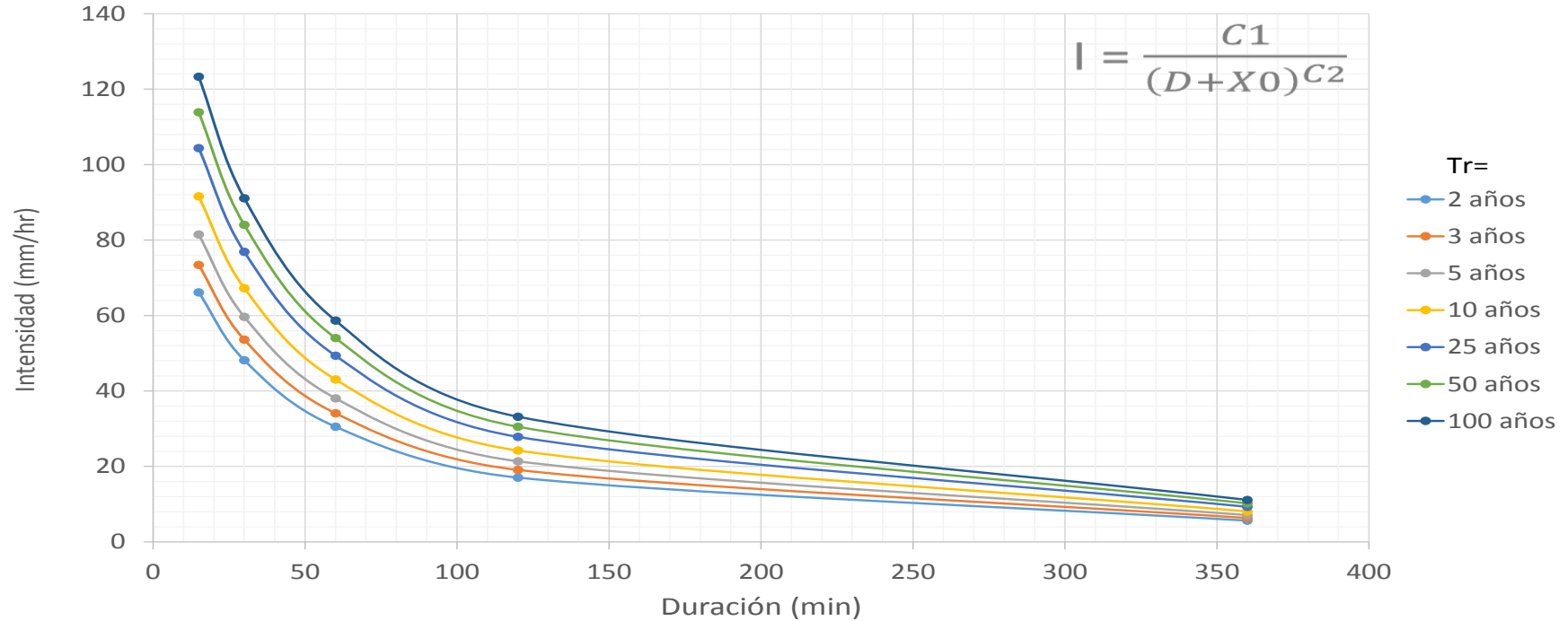
Facultad	Programa	Mujeres	Hombres	Total
Arquitectura	Arquitectura	506	772	1,278
	Tecnología en Construcciones Arquitectónicas	1	9	10
	Total Facultad	507	781	1,288
Ciencias de la Educación	Licenciatura en Humanidades y Lengua Castellana	56	33	89
	Licenciatura en Filosofía	9	18	27
	Licenciatura en Filosofía e Historia	1	5	6
	Licenciatura en Educación Infantil	63	4	67
	Licenciatura en Ciencias Sociales	101	173	274
	Licenciatura en Inglés		1	1
	Licenciatura en Lenguas Modernas con Énfasis en Inglés	587	338	925
	Licenciatura en Matemáticas	8	20	28
	Total Facultad	825	592	1,417
Ciencias Económicas y Empresariales	Administración de Empresas (presencial)	173	113	286
	Contaduría Pública (presencial)	211	113	324
	Economía (presencial)	64	65	129
	Administración de Empresas (virtual)	68	42	110
	Contaduría Pública (virtual)	95	50	145
	Economía (virtual)	32	47	79
	Total Facultad	643	430	1,073
Derecho y Ciencias Políticas y Sociales	Derecho	1,002	799	1,801
	Gobierno y Relaciones Internacionales	75	54	129
	Comunicación Social y Periodismo	51	33	84
	Total Facultad	1,128	886	2,014
Ingenierías	Ingeniería Civil	160	485	645
	Total Facultad	160	485	645
Total		3,263	3,174	6,437

Fuente: Sistema de Gestión Académica
Consolidado Oficina de Planeación

ANEXO 3: CURVA IDF, BOGOTÁ D.C.



CURVAS INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA - IDF
 ESTACIÓN: OBS MET NACIONAL (BOGOTA D.C.)
 CODIGO: 2120523



TR (años)	C1	X0	C2
2	6343.361	33.417	1.176
3	7077.232	33.889	1.175
5	7913.103	34.348	1.174
10	8984.033	34.840	1.173
25	10361.209	35.358	1.173
50	11395.816	35.682	1.173
100	12431.185	35.964	1.173

D (min)	I _{TR=2}	I _{TR=3}	I _{TR=5}	I _{TR=10}	I _{TR=25}	I _{TR=50}	I _{TR=100}
15	66.2	73.4	81.5	91.7	104.6	114.1	123.6
30	48.2	53.5	59.5	67.0	76.4	83.4	90.4
60	30.7	34.3	38.4	43.4	49.8	54.6	59.3
120	16.8	18.9	21.2	24.1	27.8	30.6	33.3
360	5.8	6.4	7.1	8.0	9.1	9.9	10.7

Datos Técnicos

Ventana de información:

Datos de intensidades ajustados a:

Parámetros estimados con el método de:

Fecha de Actualización:

Abreviaturas y Unidades

TR: Periodo de retorno (años)

D: Duración (minutos)

I: Intensidad de Precipitación (mm/h)

Fecha de reporte: Marzo 15 de 2017

1962 a 1993

Distribución de probabilidad Gumbel

L-Momentos

Diciembre de 2016

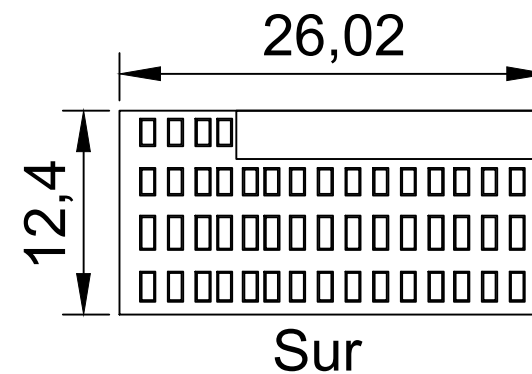
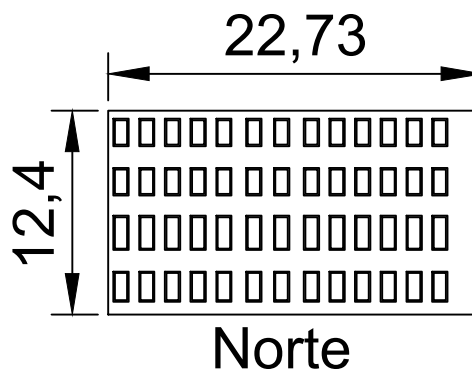
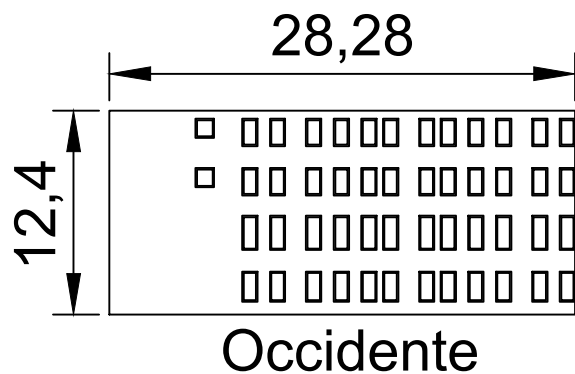
Años empleados

31

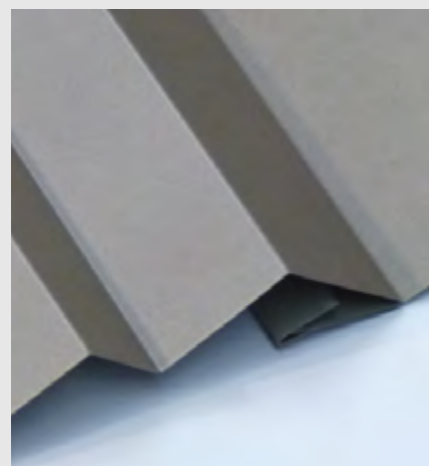
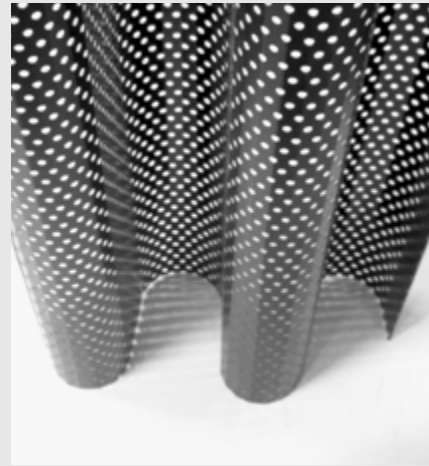
Actualizado por:

Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

ANEXO 4: DIMENSIONES DE FACHADA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS DE LA UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA DESDE EL SEGUNDO PISO.



ANEXO 5: ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL GEOCLAD.



SECCIONES STANDARD

TIPO	MÓDULO	MATERIAL	MEDIDAS (mm)			PESO PANEL (kg/m)	CONSUMO ESTIMADO (m ² /m ²)
			ESPESOR	DESARROLLO	ANCHO ÚTIL		
PANEL GEOCLAD QL	18/15	ALUZINC	0,50	571	290	2,1	3,45
		ALUMINIO	0,70			1,1	
	37/15	ALUZINC	0,50	595	370	2,1	2,70
		ALUMINIO	0,70			1,1	
	45/45	ALUZINC	0,60	610	346	2,7	2,89
	92/40	ALUZINC	0,60	610	420	2,7	2,38
90/30/16	ALUZINC	0,60	414	269	1,8	3,72	
	ALUMINIO	0,70			0,8		
100/10/60	ALUZINC	0,60	610	495	2,7	2,02	
PANEL GEOCLAD T	112/30	ALUZINC	0,60	610	447	2,7	2,24
PANEL GEOCLAD SW	25	ALUZINC	0,50	496	273	1,8	3,66
		ALUMINIO	0,70			1,0	

PANEL GEOCLAD QL 18/15

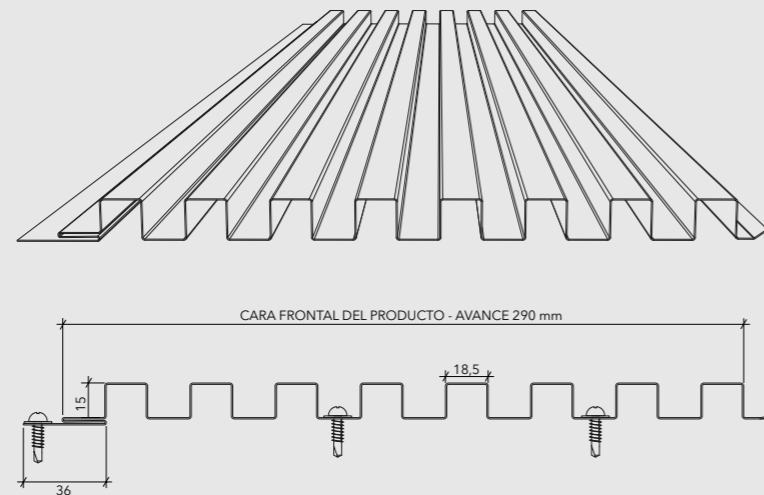
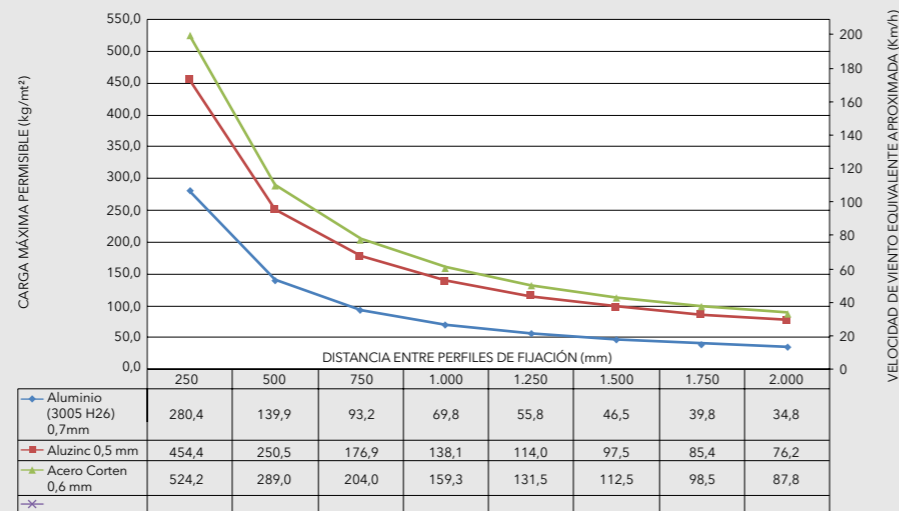


TABLA SPAN



Valores calculados en condiciones de fijación establecidos en la ficha técnica del producto.
©Hunter Douglas de Colombia S.A.S

PANEL GEOCLAD QL 37/15

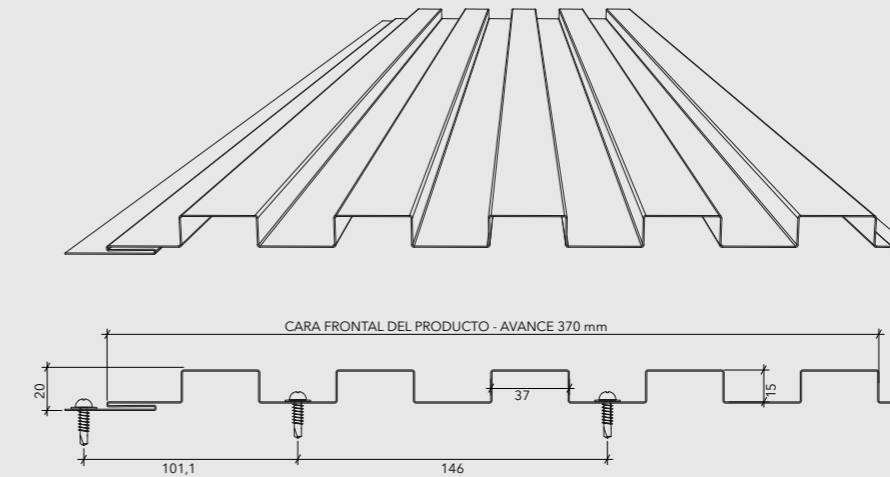
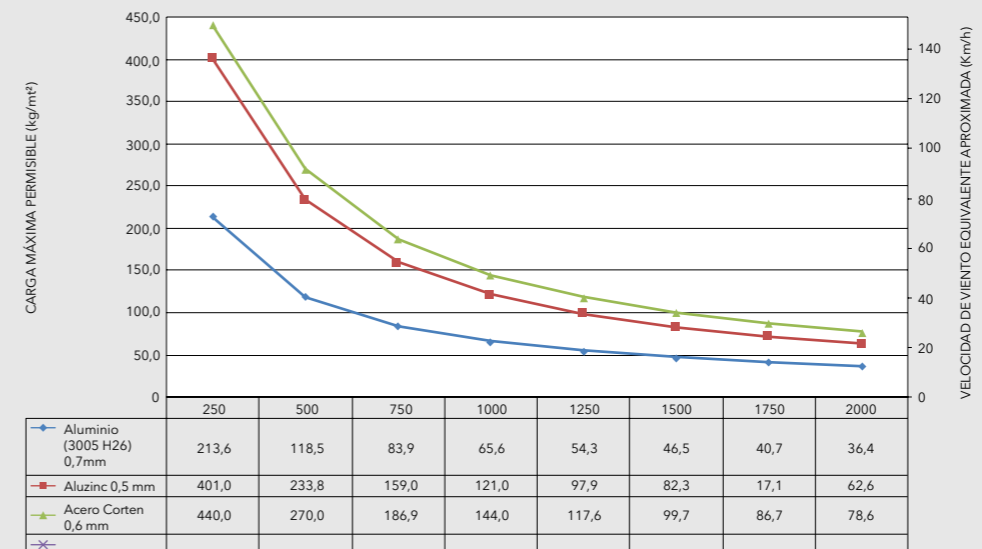
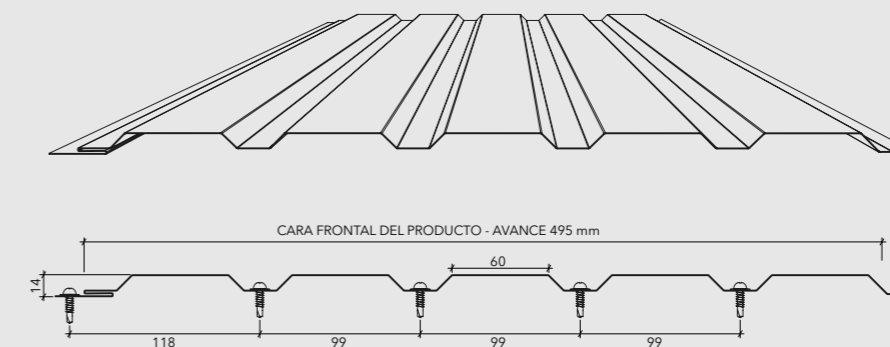


TABLA SPAN



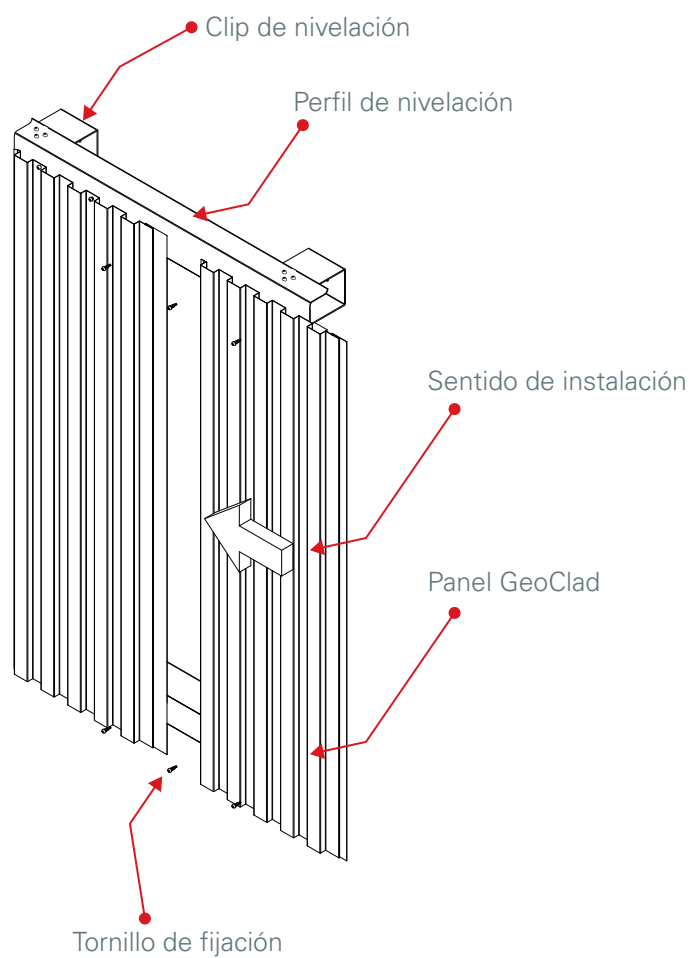
Valores calculados en condiciones de fijación establecidos en la ficha técnica del producto.
©Hunter Douglas de Colombia S.A.S

PANEL GEOCLAD QL 100/10/60

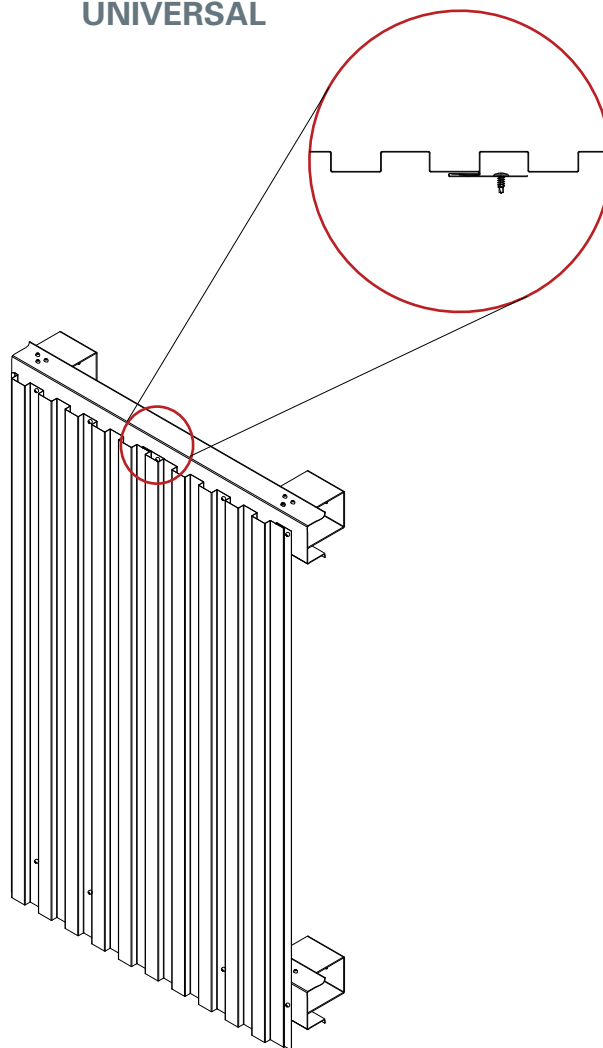


ANEXO 6: SISTEMA DE INSTALACION DE GEOCLAD.

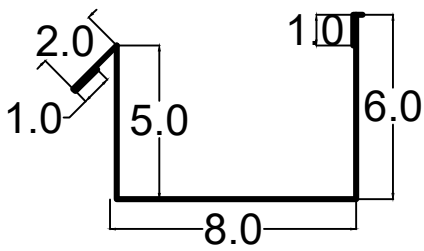
GeoClad®
SISTEMA DE INSTALACIÓN



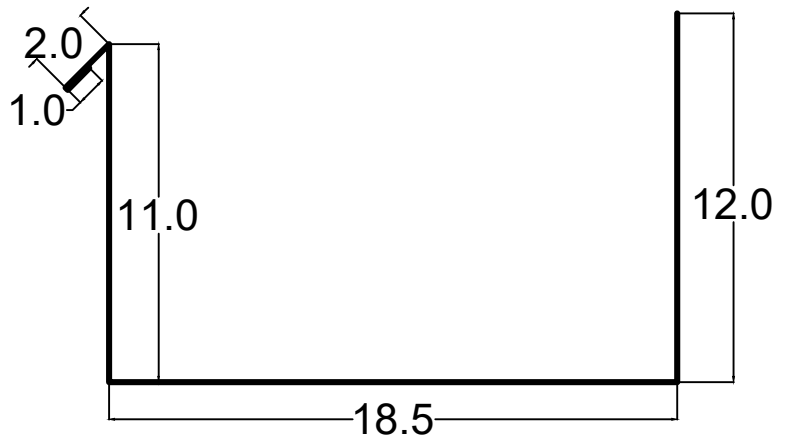
DETALLE DE GRAFE UNIVERSAL



ANEXO 7: DIMENSIONAMIENTO DE REMATE PARA FCHADA.



Desarrollo
232 mm



Desarrollo
450 mm

ANEXO 9: RENDER DE FACHADA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS DE LA UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA DESDE EL SEGUNDO PISO.

