

DISEÑO DE UN SISTEMA SOSTENIBLE DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA LA
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA SUSTENTABLE EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
SECCIONAL VILLAVICENCIO



LEDYS ESTEFANI PANQUEVA OSPINA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
VILLAVICENCIO

2026

DISEÑO DE UN SISTEMA SOSTENIBLE DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA LA
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA SUSTENTABLE EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
SECCIONAL VILLAVICENCIO

LEDYS ESTEFANI PANQUEVA OSPINA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

Orden: Investigación

Modalidad: Investigación aplicada

Asesor

Mg. JHON ADEMIR PALOMINO

Magíster en Teleinformática y Sistemas integrados de Gestión HSEQ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
VILLAVICENCIO

2026

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O.P.

Vicerrector Académico General

P. Luis Antonio ALFONSO VARGAS, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Juan Francisco CORREA HIGUERA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. Víctor Andrés RINCÓN GONZALEZ

Decano de la Facultad de Ingeniería Industrial

Agradecimientos

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi mamá Luz Dary Ospina y a mi abuela Catalina Gelvez, quien ha sido el pilar fundamental en mi formación personal y profesional. Su apoyo incondicional, motivación constante y confianza en mis capacidades fueron determinantes para culminar este trabajo de grado. Gracias por acompañarme en cada etapa del proceso y por impulsarme siempre a dar lo mejor de mí.

Agradezco también a la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio por permitirme el acceso a la información y a los datos institucionales necesarios para el desarrollo de esta investigación. La disposición para facilitar los registros de consumo energético y el acceso a las instalaciones hizo posible la realización técnica y metodológica del proyecto.

De igual manera, agradezco a novio Juan Pablo Ochoa por su apoyo constante durante este proceso académico. Su motivación, comprensión y acompañamiento fueron esenciales en los momentos de mayor exigencia, brindándome ánimo y fortaleza para avanzar hasta la finalización de este trabajo. A todos ellos, mi gratitud sincera por contribuir de manera significativa a la culminación de esta etapa académica.

Contenido

Resumen.....	5
Abstract.....	9
Glosario.....	10
Línea de investigación	12
Planteamiento del problema.....	13
Hipótesis de investigación	16
Alcance o delimitación	17
Justificación	18
Objetivos.....	21
Objetivo General.....	21
Objetivos específicos	21
Marco Referencial.....	22
Marco Metodológico.....	33
Tipo de Investigación.....	33
Técnicas de recolección de datos.....	33
Análisis de datos	34
<i>Etapas 1 Cuantificar la demanda de energía para las actividades institucionales.</i>	<i>35</i>
<i>Etapas 2 Determinar el potencial de aguas lluvias disponible para generar energía sustentable.</i>	<i>36</i>
<i>Etapas 3 Diseñar el sistema hidroeléctrico.</i>	<i>38</i>
Resultados y Discusiones.....	40
<i>Etapas 1 Cuantificar la demanda de energía para las actividades institucionales.</i>	<i>40</i>
<i>Etapas 2 Determinar el potencial de aguas lluvias disponible para generar energía sustentable.</i>	<i>47</i>
<i>Etapas 3 Diseñar el sistema hidroeléctrico.</i>	<i>53</i>
Conclusiones.....	62
Recomendaciones	64
Referencias bibliográficas.....	65

Lista de Tablas

Tabla 1 Materiales básicos para construcción de un micro - sistema hidroeléctrico.....	22
Tabla 2 Tabla para registrar los equipos.	36
Tabla 3 Estimación del consumo energético por equipos eléctricos del salón 302a	41
Tabla 4 Cálculo del consumo energético del salón 302 de la Universidad Santo Tomas	46
Tabla 5 Medidas de la torre A de la Universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio	48
Tabla 6 Datos mensuales 2024 y 2025	50
Tabla 7 Datos consumo mensual de agua demanda promedio	51

Lista de Figuras

Figura 1 Esquema del sistema hidráulico-sanitario	23
Figura 2 Esquema casero de la serie de turbinas	25
Figura 3 Componentes de una central de agua fluyente	26
Figura 4 Tanque elevado.....	27
Figura 5 Diseño de instalaciones hidráulicas, sanitarias y aguas lluvias	28
Figura 6 Componentes de una minihidráulica	29
Figura 7 Microturbina	30
Figura 8 Consumo energético septiembre 2025 a marzo 2026	46
Figura 9 Consumo energético septiembre 2025 a marzo 2026.....	47
Figura 10 Tomada por Estefani Panqueva de Google Earth Pro	48
Figura 11 Pronóstico de datos de agua lluvia en mm NASA POWER	49
Figura 12 Consumo mensual de agua 2024 y 2025	50
Figura 13 Diagrama de flujo del sistema hidráulico.....	54
Figura 14 Micro Turbina Hidráulica 12vdc 220ma Para 1/2'.	56
Figura 15 Micro Turbina Hidráulica 12vdc 220ma Para 1/2'.	56
Figura 16 Diseño del sistema de captación de agua lluvia para generar energía hidráulica.....	58

Resumen

Villavicencio es una de las ciudades con mayor pluviosidad en Colombia, condición que genera tanto retos de drenaje como oportunidades de aprovechamiento energético. Actualmente, en la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio el agua de lluvia se conduce directamente a los drenajes sin ser utilizada, lo que representa un desperdicio de un recurso con potencial para generar energía limpia y reducir la dependencia de la red eléctrica convencional, cuyos costos son volátiles y afectan los gastos operativos de la institución. Ante este panorama, se plantea una propuesta orientada a aprovechar las aguas lluvias mediante un sistema de captación y microturbinas que permita transformar el recurso hídrico en energía sustentable, aportando a la reducción de emisiones de CO₂ y al fortalecimiento de la sostenibilidad universitaria.

El proyecto busca diseñar una alternativa aplicable en el salón 302 del bloque A Santo Domingo de Guzmán, a partir de la caracterización del consumo eléctrico institucional, la estimación del potencial hídrico disponible y la evaluación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de su implementación. Para ello se utilizarán datos históricos de consumo energético (2025–2026), registros pluviométricos del IDEAM, observación directa de cubiertas y bajantes, así como mediciones experimentales de caudales y alturas de caída. El análisis será cuantitativo y se apoyará en fórmulas hidráulicas, simulación en software especializado, cálculos del costo nivelado de energía y del retorno de la inversión, además de una estimación del impacto ambiental.

El desarrollo de la propuesta seguirá un cronograma de diez actividades distribuidas entre agosto de 2025 y mayo de 2026, que incluyen la revisión bibliográfica, la recolección y organización de datos, observaciones de campo, mediciones experimentales, procesamiento y análisis de la información, diseño técnico del sistema, construcción de un prototipo funcional a escala y la redacción final de resultados, con el fin de aportar una solución innovadora, sostenible y replicable en la universidad.

Palabras Clave: Pluviosidad, Microturbinas, Hidráulica, Sostenibilidad, Energía, Innovación.

Abstract

Villavicencio is one of the cities with the highest rainfall in Colombia, a condition that generates both drainage challenges and opportunities for energy utilization. Currently, at the Universidad Santo Tomás – Villavicencio Campus, rainwater is directly discharged into drainage systems without being used, which represents a waste of a resource with potential to generate clean energy and reduce dependence on the conventional electrical grid, whose costs are volatile and impact the institution's operational expenses. In response to this situation, a proposal is presented to harness rainwater through a collection system and microturbines capable of transforming water resources into sustainable energy, contributing to the reduction of CO₂ emissions and strengthening university sustainability.

The project aims to design an applicable alternative for classroom 302 in Block A Santo Domingo de Guzmán, based on the characterization of institutional electricity consumption, the estimation of available hydrological potential, and the evaluation of the technical, economic, and environmental feasibility of its implementation. To achieve this, historical energy consumption data (2025–2026), rainfall records from IDEAM, direct observation of roofs and downspouts, as well as experimental measurements of flow rates and drop heights will be used. The analysis will be quantitative and supported by hydraulic formulas, simulation using specialized software, calculations of the levelized cost of energy and return on investment, in addition to an estimation of environmental impact.

The development of the proposal will follow a schedule of ten activities distributed between August 2025 and May 2026, including literature review, data collection and organization, field observations, experimental measurements, data processing and analysis, technical system design, construction of a functional scale prototype, and final drafting of results, with the purpose of providing an innovative, sustainable, and replicable solution within the university.

Key Word- Rainfall, Microturbines, Hydraulics, Sustainability, Energy, Innovation.

Glosario

- **Altura de caída:** Distancia vertical entre el punto donde se recoge el agua y el lugar donde se aprovecha para generar energía, determinando la cantidad de energía disponible.
- **Aprovechamiento energético:** Uso planificado de un recurso natural para transformarlo en energía útil, procurando eficiencia y sostenibilidad.
- **Caudal:** Volumen de agua que pasa por un punto específico en un intervalo de tiempo determinado.
- **Captación pluvial:** Proceso mediante el cual se recolecta y conduce el agua proveniente de la lluvia para su almacenamiento o utilización posterior.
- **Consumo eléctrico:** Cantidad de energía eléctrica utilizada por una instalación durante un periodo determinado.
- **Drenaje:** Sistema diseñado para conducir y evacuar aguas lluvias o residuales, evitando acumulaciones no deseadas.
- **Energía hidráulica:** Energía obtenida del movimiento o la altura del agua, la cual puede convertirse en electricidad mediante dispositivos mecánicos.
- **Energía renovable:** Tipo de energía que proviene de fuentes naturales que se regeneran continuamente y no se agotan con su uso.
- **Escorrentía:** Desplazamiento superficial del agua de lluvia cuando el suelo no logra absorberla completamente.
- **Factibilidad:** Análisis que permite determinar si un proyecto puede ejecutarse con éxito considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales.
- **Impacto ambiental:** Cambio que una actividad genera en el entorno natural, ya sea de manera positiva o negativa.
- **Microturbina:** Equipo de pequeña escala que convierte la energía del agua en movimiento mecánico y posteriormente en energía eléctrica.
- **Pluviosidad:** Cantidad de precipitación que se registra en una zona durante un periodo específico.
- **Potencial hídrico:** Capacidad estimada que tiene un recurso de agua para ser aprovechado con fines productivos o energéticos.
- **Prototipo:** Modelo preliminar construido para comprobar el funcionamiento de una propuesta

antes de su implementación definitiva.

- **Retorno de la inversión:** Indicador que permite estimar el tiempo o beneficio económico obtenido frente al dinero invertido en un proyecto.
- **Simulación:** Proceso de representación digital o matemática que permite prever el comportamiento de un sistema antes de su ejecución real.
- **Sostenibilidad:** Enfoque que busca desarrollar proyectos equilibrando beneficios ambientales, económicos y sociales a largo plazo.

Línea de investigación

Desarrollo Organizacional Sustentable (ODS11 – 7)

El presente proyecto se fundamenta en la línea de investigación de Desarrollo Organizacional Sustentable, la cual orienta a las organizaciones hacia modelos de gestión responsables, eficientes y comprometidos con el equilibrio entre el crecimiento institucional, el bienestar social y la sostenibilidad ambiental. Esta línea promueve la implementación de estrategias que optimicen el uso de los recursos naturales y fomenten entornos más resilientes e inclusivos.

En concordancia con los lineamientos establecidos por la Organización de las Naciones Unidas, el proyecto se articula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente con el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, que busca promover espacios seguros, inclusivos y sostenibles, y con el ODS 7: Energía asequible y no contaminante, orientado a garantizar el acceso a fuentes de energía limpias, renovables y eficientes.

Desde esta perspectiva, la investigación contribuye al fortalecimiento institucional mediante la incorporación de prácticas sostenibles que favorezcan la eficiencia energética, la reducción del impacto ambiental y la generación de soluciones innovadoras. Asimismo, promueve el aprovechamiento responsable de los recursos, la implementación de tecnologías limpias y el diseño de estrategias que aporten al desarrollo sostenible en el contexto organizacional y comunitario.

Planteamiento del problema

Villavicencio es una de las ciudades más lluviosas de Colombia, con precipitaciones medias anuales que superan los 4.000 mm, lo que genera tanto oportunidades de aprovechamiento hídrico como problemáticas de escorrentía y presión sobre la infraestructura de drenaje de la forma en que podemos ver una oportunidad para el uso de estas precipitaciones con un sistema energético hidráulico que provea energía alternativa para la Universidad Santo Tomas el cual “El estudio demostró que un correcto dimensionamiento de turbinas y conducciones permite mejorar la eficiencia energética y aprovechar racionalmente los recursos hídricos disponibles” (Ortiz et al., 2023). En este contexto, la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio, particularmente en el campus Aguas Claras, cuenta con una amplia superficie de cubiertas que actualmente no se utilizan para la captación ni el aprovechamiento energético del agua lluvia, limitándose a conducirla hacia los drenajes sin recuperación alguna “La implementación de microcentrales hidroeléctricas constituye una alternativa viable de bajo costo y sin impactos negativos significativos en el ambiente” (Leyva López, 2019).

Paralelamente, los costos de energía eléctrica en el país han mostrado incrementos y alta volatilidad en los precios, lo que representa un impacto directo en los gastos operativos de la universidad y en la dependencia de la red eléctrica convencional “La interdependencia entre agua, energía y medio ambiente exige un enfoque integrado que permita optimizar simultáneamente la gestión de recursos hídricos y energéticos” (Lofman et al., 2002)

A pesar de la existencia de lineamientos normativos nacionales para el aprovechamiento del agua lluvia y de experiencias internacionales que han demostrado la factibilidad de generar energía a partir de sistemas de microturbinas instalados en conducciones o bajantes “Para alimentar electrodomésticos más grandes, el microondas, se necesitaría un edificio de 95 m de altura y 64 turbinas” (Carter et al., 2023), por lo que no se ha realizado en el campus Aguas Claras un diagnóstico técnico y económico que permita cuantificar el potencial de recuperación energética de estas aguas pluviales ni se ha comparado su viabilidad frente a otras alternativas de autogeneración como la energía hidráulica.

Entre las causas identificadas se encuentra la falta de información local medida sobre caudales instantáneos en bajantes, alturas de caída y rendimientos de microturbinas en condiciones reales del campus lo que podemos generar energía a partir de esta como alternativa dando como

dato “La energía pluvial anual a nivel mundial se estima en $3,44 \times 10^8$ GWh/año, cifra comparable al potencial de la energía solar” (Hadidi, 2024). También influye el diseño tradicional del drenaje pluvial que prioriza la evacuación rápida sin considerar la valorización energética lo que “La hidroelectricidad genera actualmente 2.600 TWh/año, con más de 700 GW de potencia instalada” (Pozo, 2024). Asimismo, el desconocimiento o falta de integración de los lineamientos regulatorios para captación, almacenamiento y uso de aguas lluvias con proyectos de microgeneración eléctrica limita la exploración de soluciones sostenibles “La energía hidroeléctrica es limpia, renovable y flexible, aunque su producción enfrenta limitaciones por conflictos de uso del agua” (Marín et al., 2017) por lo que la Universidad Santo Tomas tiene oportunidad frente a esta propuesta.

Como consecuencia, la universidad enfrenta mayores costos energéticos, mayor exposición a la volatilidad del mercado eléctrico, oportunidades perdidas de reducción de emisiones de CO₂ y una gestión pluvial que no contribuye a la sostenibilidad institucional dando como referencia que “En España, la hidroelectricidad aporta en promedio 15 % de la electricidad nacional y cuenta con más de 5.000 MW en centrales de bombeo, que representan el 28,4 % de la potencia hidroeléctrica del país” (Díaz Alonso et al., 2013). Desde la ingeniería industrial, el problema resulta observable y medible a través de la caracterización pluviométrica local, la medición de caudales en bajantes, la estimación de energía recuperable con base en la ecuación:

$$P_h = \rho * g * h * Q * \eta$$

Donde;

P_h : Potencia, la cantidad de energía transferida o utilizada por unidad de tiempo.

ρ (rho): Densidad del fluido, expresada en kilogramos por metro cúbico (kg/m³).

g : Aceleración de la gravedad, aproximadamente 9.8 m/s² en la Tierra.

Q : Caudal, el volumen de fluido que pasa por un punto por unidad de tiempo, usualmente en metros cúbicos por segundo (m³/s).

H : Altura o carga hidráulica, la altura a la que el fluido es elevado o la presión que se genera, en metros (m).

η (eta): Eficiencia del sistema, que representa las pérdidas por fricción y otras ineficiencias, un valor entre 0 y 1.

Lo cual es fundamental para calcular la potencia necesaria para operar bombas hidráulicas, determinar la energía disponible en un sistema de tuberías, o para analizar la transferencia de energía en cualquier sistema de fluidos.

El modelado tecno-económico del costo nivelado de energía y el cálculo del retorno de la inversión en comparación con los costos actuales por ejemplo “En Estados Unidos, el bombeo y distribución de agua potable consume alrededor del 4 % de la electricidad total del país” (Fooladivanda et al., 2018).

De este modo, se identifica un vacío de conocimiento aplicado: aunque existe abundante precipitación y tecnología disponible, aún no se ha cuantificado ni evaluado de manera sistemática el potencial técnico, económico y ambiental de la recuperación de energía a partir de aguas lluvias en este campus, lo que limita la toma de decisiones estratégicas en materia de eficiencia y sostenibilidad “El principal reto de la energía hidroeléctrica en pequeña escala no es tecnológico, sino la ausencia de estudios sistemáticos que evalúen de forma integral su viabilidad económica, social y ambiental, lo que dificulta su adopción como una alternativa estratégica de sostenibilidad” (Marín & Marín, 2010).

En consecuencia, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el potencial técnico-económico y ambiental de un sistema sostenible de captación y gestión de aguas lluvias con recuperación de energía en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio?

Hipótesis de investigación

La implementación de un sistema sostenible de captación y gestión de aguas lluvias con recuperación de energía mediante microturbinas en los bajantes del campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio permitirá generar un porcentaje significativo de energía eléctrica (kWh/año) que reducirá los costos operativos en al menos un X %, al tiempo que contribuirá a la disminución de las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía de la red en aproximadamente un Y %, demostrando su viabilidad técnica, económica y ambiental frente a la situación actual sin aprovechamiento.

Alcance o delimitación

La aplicación del proyecto se delimitará a la universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio, siendo sus coordenadas las siguientes 4.121556134709358, -73.61549852281358, siendo su estructura de la Torre A a partir de esos se podrá calcular datos de consumo de energía mensualmente en el salón 302 del bloque A Santo domingo de Guzmán desde el 2025 al 2026.

Justificación

El presente trabajo de grado se justifica en la necesidad de avanzar hacia soluciones sostenibles que integren la gestión del recurso hídrico y la generación de energía renovable en entornos universitarios. La Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio, ubicada en una región caracterizada por altos niveles de precipitación, representa un escenario propicio para el diseño e implementación de un sistema de captación de agua lluvia con recuperación de energía, ya que actualmente el agua pluvial se desaprovecha al ser conducida directamente a los sistemas de alcantarillado, sin explorar su potencial energético y ambiental.

Desde una perspectiva teórica, este proyecto busca aportar al conocimiento sobre el nexo agua-energía, fortaleciendo los enfoques de sostenibilidad y economía circular aplicados en la ingeniería industrial. De acuerdo con “la hidráulica básica y el entendimiento de los sistemas de flujo permiten no solo optimizar el transporte de agua, sino también concebir nuevas aplicaciones en las que se aproveche la energía potencial de este recurso” (Alb es et al., 2018) . En este sentido, el trabajo busca integrar teorías de hidráulica, gestión energética y sostenibilidad en un marco aplicado.

En el plano metodológico, la propuesta plantea un aporte innovador en cuanto al uso de microturbinas y sistemas de conducción que permiten convertir el caudal de agua de lluvia en energía eléctrica. Tal como señalan, “el diseño de tuberías y canales es posible calcular de forma precisa las pérdidas de energía y dimensionar la infraestructura necesaria para optimizar la eficiencia hidráulica” (José Manuel Jiménez Terán Ing Víctor Hugo García Pacheco Ing David Lozano Laez Ing Omar Zavala Arreola Ing Arturo Ortiz Cedano Eduardo Castillo González Rabindranarth Romero López, 2019). Asimismo, “demuestran que un recolector de energía pluvial con tanque de autoliberación puede generar hasta 160 V en condiciones de laboratorio, validando la factibilidad tecnológica de este tipo de sistemas” (Bao & Wang, 2021) . Estos elementos metodológicos refuerzan la pertinencia de aplicar técnicas de modelado hidráulico y de conversión energética en el estudio. Como lo es la siguiente ecuación que define la justificación del proyecto.

$$VR = \frac{R * Hra * Rc}{1000}$$

Asimismo, desde la perspectiva de la gestión energética, la investigación se articula con los modelos de generación distribuida y eficiencia energética, los cuales promueven el aprovechamiento de recursos renovables locales para disminuir la dependencia de fuentes convencionales y reducir los costos operativos asociados al consumo eléctrico institucional donde también tendremos en cuenta “La Ley del Caudal volumétrico: $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}}$. La Ley de la Potencia en el eje de la turbina: $\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\sqrt{Q_1}}{\sqrt{Q_2}}\right)^3$. Donde las revoluciones por minuto óptimas tomadas del catálogo emitido por el fabricante de la turbina y el segundo caso a las obtenidas en la investigación de campo.” (Ortiz et al., 2023) Estas leyes permiten dimensionar correctamente la turbina para el caudal variable de agua lluvia en Villavicencio, evitando sobreconsumo o subutilización del recurso.

En este sentido, el trabajo busca integrar teorías de hidráulica desde el enfoque hidráulico, el proyecto se fundamenta en los principios de conservación de la energía y mecánica de fluidos, particularmente en la capacidad del agua almacenada de transformar su energía potencial gravitacional en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica mediante microturbinas. Estos principios permiten comprender la relación entre caudal, altura de caída y potencia generada, elementos esenciales para el dimensionamiento del sistema propuesto.

La motivación práctica se orienta a resolver un problema concreto del campus: el consumo eléctrico derivado de la dependencia de la red convencional y la ausencia de estrategias de aprovechamiento de recursos hídricos. Según el “análisis energético realizado en España, la hidroelectricidad ha representado en promedio un 15 % de la producción eléctrica nacional, consolidándose como una de las principales fuentes limpias de la matriz energética” (Cuenca, 2016). Esto evidencia la relevancia de este recurso para diversificar la matriz y reducir emisiones de CO₂. Aplicar este modelo a nivel universitario no solo contribuye a disminuir costos operativos, sino que también fortalece la gestión ambiental institucional y promueve la cultura de sostenibilidad entre la comunidad académica. Además, la visión de la energía renovable como un derecho y una necesidad universal, planteada por la Agencia Internacional de Energías Renovables, resalta “la energía renovable es un derecho y una necesidad universal, por lo que se deben democratizar estas tecnologías y adaptarlas a contextos locales” (Soria, 2001). Además el estudio se relaciona con los enfoques contemporáneos de sostenibilidad y economía circular, dado que propone el aprovechamiento de un recurso hídrico actualmente desaprovechado, integrando

estrategias de reutilización y transformación energética alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 6 (agua limpia y saneamiento) y el ODS 7 (energía asequible y no contaminante). “La implementación de la microcentral hidroeléctrica será la alternativa más viable, debido a que no demanda una gran inversión, además que la construcción y el funcionamiento de ésta no presenta daños para el medio ambiente... La generación hidroeléctrica, además de no contaminar al medio ambiente, es una de las mejores alternativas.” (Leyva López, 2019) Un sistema de captación de agua lluvia acoplado a una microturbina es una solución sostenible, de bajo impacto ambiental y adecuada para una universidad que busca energías renovables sin depender de combustibles fósiles.

Objetivos

Objetivo General

Proponer un sistema de captación de agua lluvias para la producción de energía sustentable en el salón 302 del bloque A Santo domingo de Guzmán en la Universidad Santo Tomas seccional Villavicencio.

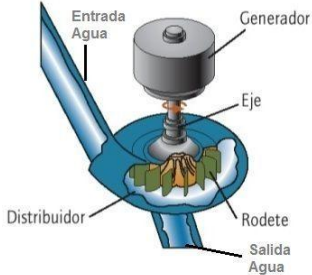
Objetivos específicos

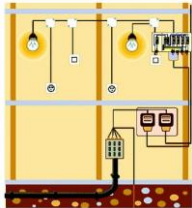
- Cuantificar la demanda de energía para las actividades institucionales a escala mensual en el salón 302 del bloque A Santo domingo de Guzmán.
- Determinar el potencial de aguas lluvias disponible para generar energía sustentable en el salón 302 del bloque A Santo domingo de Guzmán.
- Diseñar el sistema hidroeléctrico mediante la captación de aguas lluvias que considere la relación de oferta y demanda de consumo energético en la Universidad Santo Tomas.

Marco Referencial

El agua ha sido históricamente reconocida como un recurso esencial para la vida y el desarrollo de las sociedades, y en la actualidad constituye uno de los pilares del desarrollo sostenible. Desde la ingeniería, este recurso no solo se asocia a la provisión de agua potable o al riego agrícola, sino también a su capacidad de convertirse en fuente de energía limpia y renovable. La hidráulica, como disciplina de la ingeniería, analiza el comportamiento de los fluidos tanto cuando están quietos como cuando se encuentran en movimiento, proporcionando herramientas técnicas para el diseño de infraestructuras que permiten aprovechar el recurso hídrico de manera eficiente. Según Pérez Campomanes, “la hidráulica, como aplicación de la mecánica de fluidos, estudia el comportamiento de los fluidos en reposo o movimiento y su interacción con estructuras, sirviendo de base para el diseño de obras hidráulicas” (Campomanes, 2016).

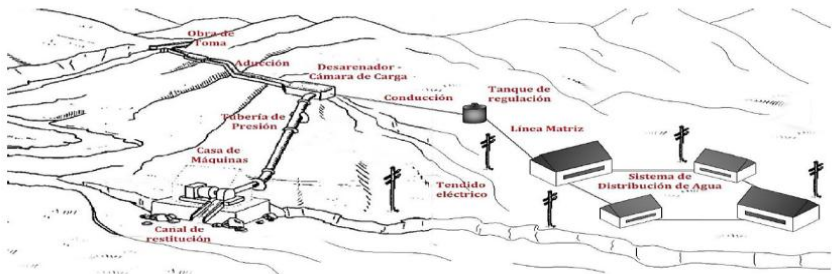
Tabla 1
Materiales básicos para construcción de un micro - sistema hidroeléctrico.

Elemento	Función principal	Imagen
Fuente de agua (tanque elevado)	Proporciona el caudal y la altura necesarios para generar energía.	
Canal de conducción / Penstock	Transporta el agua desde la fuente hasta la turbina, manteniendo la presión.	
Turbina hidráulica	Convierte la energía hidráulica (del agua en movimiento) en energía mecánica (rotación).	

Elemento	Función principal	Imagen
Generador eléctrico	Transforma la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica.	
Sistema de almacenamiento (baterías, opcional)	Guarda la energía para usarla cuando no haya flujo de agua suficiente.	
Red de distribución doméstica	Lleva la energía eléctrica a los equipos y aparatos del hogar.	

La evolución histórica de la ingeniería hidráulica también demuestra cómo el ser humano ha buscado optimizar el uso del agua. Los romanos desarrollaron sistemas avanzados de acueductos que, además de garantizar el suministro de agua, constituyen un referente en términos de innovación técnica y sostenibilidad urbana. Como señala Benito Segura, “la ingeniería hidráulica romana se basaba en una comprensión precisa de la topografía y del comportamiento de los fluidos, lo que permitió diseñar estructuras de captación y transporte que aún hoy son referentes históricos” (Segura, 2015). Estos antecedentes marcan un camino en el que el agua de lluvia tradicionalmente vista como un problema de drenaje, empieza a valorarse como recurso estratégico.

Figura 1
Esquema del sistema hidráulico-sanitario



Nota: Tomado de (Leyva López, 2019)

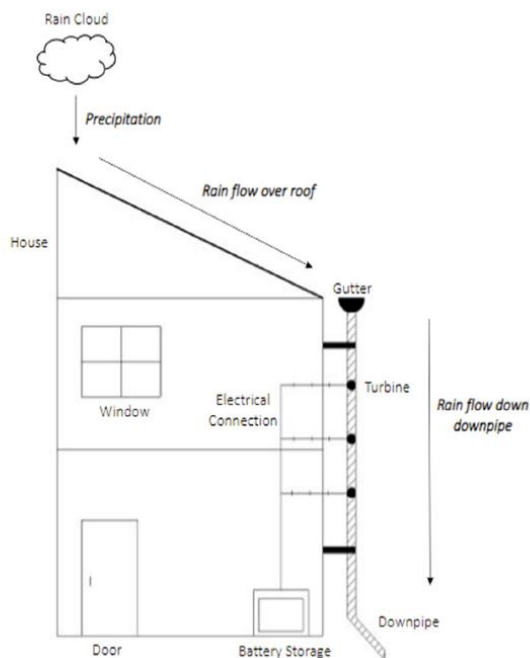
En términos conceptuales, la hidráulica moderna no solo se fundamenta en los principios de la mecánica de fluidos, sino que debe incorporar criterios de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética. Como explica Del Ángel, “la hidráulica estudia el comportamiento de los fluidos en reposo y en movimiento, con aplicaciones directas en el cálculo de presiones, caudales y pérdidas de energía” (Enriqueta & Ángel Hernández, 2014).

A nivel aplicado, los sistemas hidráulicos domésticos muestran la necesidad de un diseño adecuado para evitar fallos y pérdidas, ya que “los sistemas hidráulicos domésticos requieren un dimensionamiento preciso de tuberías y depósitos para evitar pérdidas de carga excesivas y garantizar la durabilidad” (Swiss, 2000). Estos elementos son claves para llevar los conceptos generales a sistemas más pequeños como los que pueden instalarse en entornos universitarios.

En el contexto contemporáneo, la hidráulica se vincula directamente con la transición energética. Tecnologías emergentes como los nanogeneradores triboeléctricos (TENG) han demostrado que es posible aprovechar la energía de las gotas de lluvia para generar electricidad. Se destacan que “estas tecnologías alcanzan densidades de potencia de hasta 200 W/m², demostrando el potencial de los sistemas distribuidos de captación energética en contextos urbanos” (Li et al., 2023). De igual manera, “materiales avanzados como el telururo de galio han mostrado un desempeño eficiente en la conversión de energía pluvial en electricidad” (Kumbhakar, 2015), mientras que “recolectores de alta sensibilidad permiten operar incluso en condiciones de baja pluviosidad” (Morarka & Ghaisasa, 2002) Estos avances permiten vislumbrar soluciones aplicables en territorios como Villavicencio, donde la abundancia de lluvias es una constante.

Figura 2

Esquema casero de la serie de turbinas.



Nota: Adaptada de (Carter et al., 2023)

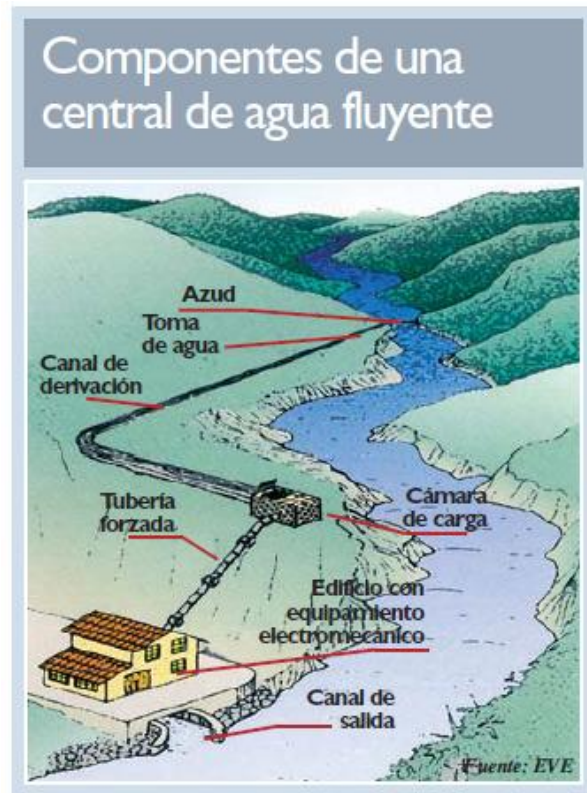
Ahora bien, el desarrollo de este tipo de sistemas debe estar enmarcado en la normativa vigente. En Colombia, la Ley 373 de 1997 promueve el uso eficiente y el ahorro del agua, mientras que la Resolución 1207 de 2014 establece lineamientos para el aprovechamiento de aguas lluvias y residuales en actividades no potables. De forma complementaria, el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones establece que “el diseño hidráulico de sistemas de drenaje debe contemplar tanto la capacidad de evacuación como la posibilidad de almacenamiento y uso alternativo del agua captada” (Ministerio de Transporte, 2010). Esto abre una ventana normativa para la integración de proyectos que, como el propuesto en la Universidad Santo Tomás, busquen no solo almacenar agua, sino transformarla en energía sustentable.

A nivel internacional, organismos como la UNESCO y la AIHR han establecido que la educación y la práctica en ingeniería hidráulica deben incluir criterios de sostenibilidad y gestión ambiental. Como lo plantean Kobus, Plate y Shen, “la educación en ingeniería hidráulica debe estar alineada con los objetivos globales de protección ambiental y uso responsable de los recursos” (Kobus et al., 1994). Lopardo agrega que “la próxima centuria parece estar destinada a

ser el siglo del agua, y la formación de ingenieros debe estar preparada para responder a las demandas energéticas y ambientales que esto implica” (Lopardo, 1995).

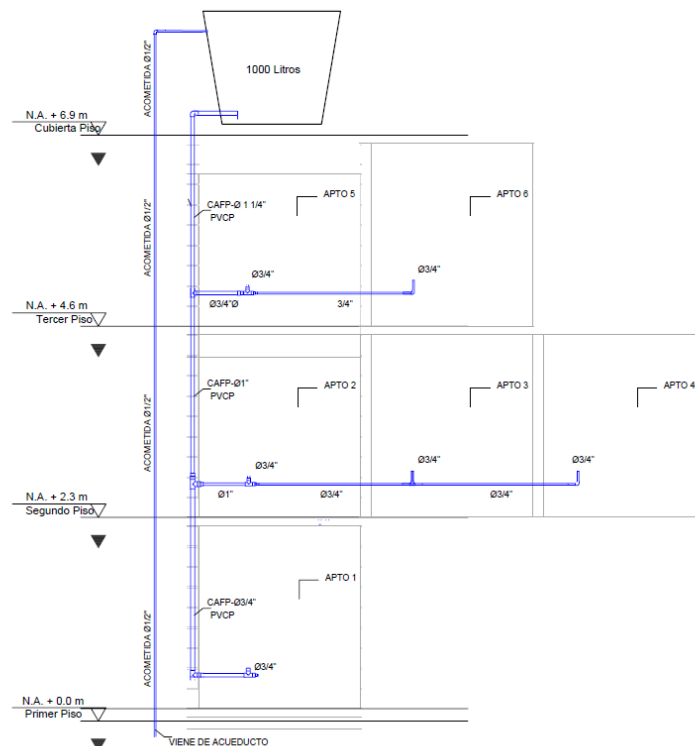
Figura 3

Componentes de una central de agua fluyente



Nota: Adaptado de (Soria, 2001)

Esto refleja una tendencia hacia la integración entre gestión hídrica y generación energética. “La integración de sistemas de captación de agua de lluvia en proyectos urbanos no solo reduce la presión sobre las fuentes tradicionales, sino que contribuye a la generación distribuida de energía” (Burszta-Adamiak & Przybylska, 2024). En este sentido, recuerdan que “las máquinas hidráulicas son dispositivos esenciales para transformar la energía potencial o cinética de un fluido en trabajo mecánico o energía eléctrica” (Zamora et al., 2016), reforzando que el fundamento técnico de estas iniciativas está sólidamente respaldado.

Figura 4*Tanque elevado*

Nota: Tomado de (Zamudio, 2021)

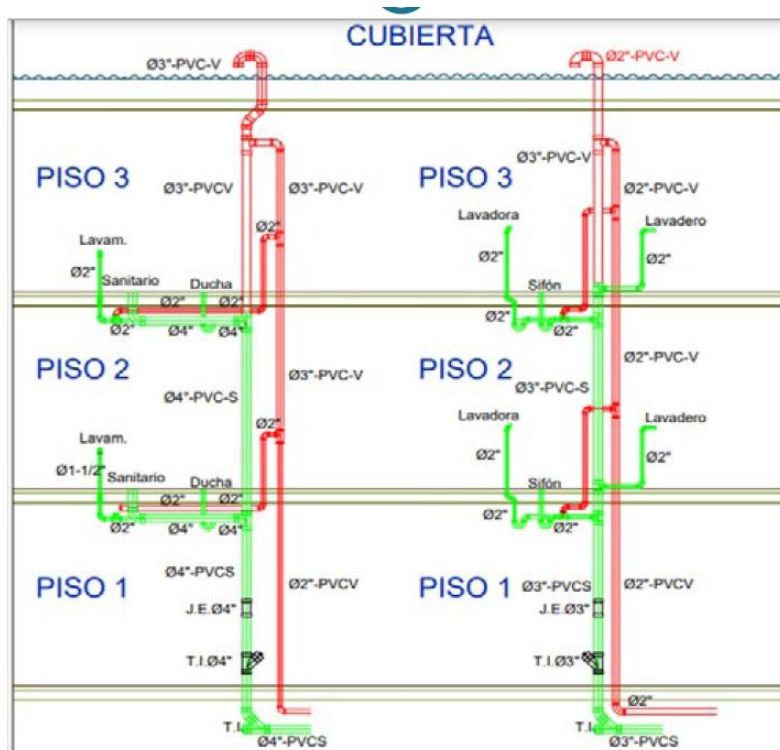
El diseño de instalaciones hidráulicas constituye una base metodológica para la implementación de proyectos de captación y aprovechamiento pluvial. Como señala González, “el diseño de instalaciones hidráulicas debe considerar tanto las condiciones de caudal máximo como los periodos de estiaje, a fin de garantizar eficiencia y seguridad en el suministro” (Zamudio, 2021). Estos lineamientos técnicos son aplicables al diseño de sistemas en la Universidad Santo Tomás.

En términos de experiencias aplicadas, se han desarrollado prototipos locales que demuestran la viabilidad de estas soluciones. En Villavicencio, Vargas et al. documentan que “el prototipo implementado genera una potencia eléctrica de 1 KW / 13 VDC, demostrando la viabilidad del aprovechamiento de caudales menores en zonas rurales de Villavicencio” (Vargas et al., 2016) .A gran escala, Cánovas, Zamora y Jiménez destacan que “la optimización de la

producción hidráulica en un embalse no puede conseguirse si las turbinas seleccionadas no son las óptimas; por ello se requieren procedimientos rigurosos de diseño” (Canovas et al., 2001) . Estos referentes permiten dimensionar desde pequeños sistemas experimentales hasta grandes proyectos hidroeléctricos, lo cual fortalece la pertinencia del estudio en contextos locales.

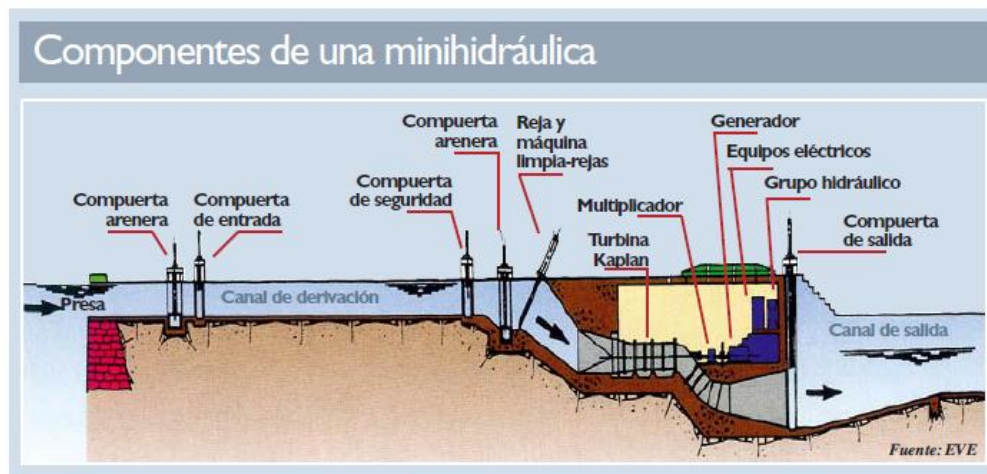
Figura 5

Diseño de instalaciones hidráulicas, sanitarias y aguas lluvias para casas de 1 a 4 pisos.



Nota: Tomado de (Zamudio, 2021)

Finalmente, la integración de referentes históricos, técnicos, normativos y prácticos converge en la necesidad de aplicar estos conocimientos en entornos universitarios como Villavicencio. Esta ciudad, con una pluviosidad promedio superior a los 3.500 mm anuales, ofrece condiciones idóneas para la captación de agua lluvia y su transformación en energía. Sin embargo, la literatura evidencia que la mayor parte de proyectos se ha orientado al almacenamiento para consumo o riego, y no a la recuperación energética, lo que constituye una brecha de conocimiento y una oportunidad para innovar desde la ingeniería industrial.

Figura 6*Componentes de una minihidráulica*

Nota: Tomado de (Soria, 2001)

La búsqueda de fuentes de energía alternativas y limpias se ha intensificado a nivel global, llevando a los investigadores a explorar recursos no convencionales. En este contexto, la energía contenida en la precipitación pluvial emerge como una oportunidad significativa, especialmente en regiones de alta pluviosidad. De acuerdo, "a escala mundial, se estima que el potencial energético total de la lluvia anual es de aproximadamente $3,44 \times 10^8$ GWh, una magnitud que resulta comparable al potencial estimado de la energía solar a nivel global" (Hadidi, 2024). Este dato es particularmente relevante para Colombia y, específicamente, para Villavicencio, una de las ciudades más lluviosas del país, donde la precipitación media anual supera los 4.000 mm. Esta condición geográfica convierte a la región en un escenario idóneo para el diseño de sistemas que capturen y transformen la energía de la lluvia en electricidad, pasando de ser un problema de drenaje a una oportunidad de generación distribuida y sostenible.

La viabilidad técnica de estos sistemas se sustenta en el desarrollo de nuevas tecnologías y en la adaptación de principios clásicos de la hidráulica. Se han propuesto diversos mecanismos para aprovechar la energía de la lluvia, que van desde la captación de la energía cinética de las gotas hasta el uso de la energía potencial del agua recolectada. En su propuesta de un marco integral, se explica que "se pueden combinar tres estrategias innovadoras: paneles piezoeléctricos que convierten el impacto de las gotas en electricidad, torres de captación que aprovechan la energía potencial del agua mediante turbinas hidráulicas, y unidades de energía osmótica que

generan electricidad a partir del gradiente de salinidad entre el agua dulce de lluvia y agua salada" (Hadidi, 2024). Este enfoque multifacético demuestra que la energía de la lluvia puede ser aprovechada a diferentes escalas y mediante distintas tecnologías, maximizando así su potencial.

A una escala más aplicada y doméstica, otros estudios han explorado la integración de microturbinas directamente en los sistemas de drenaje de edificios. "la investigación experimental con microturbinas Gorlov de eje vertical instaladas en bajantes demostró que es posible generar energía eléctrica a partir del flujo de agua de lluvia, obteniendo una correlación positiva entre el número de turbinas instaladas y la energía generada, lo que valida la factibilidad de implementar sistemas modulares en infraestructuras existentes"(Carter et al., 2023). Esto último es particularmente relevante para la Universidad Santo Tomás, donde múltiples bajantes podrían convertirse en pequeñas centrales de generación distribuida.

Figura 7

Microturbina



Nota: Tomado de (Soria, 2001)

Para el diseño de estos sistemas, es indispensable un sólido conocimiento de los principios de la hidráulica. La correcta aplicación de las ecuaciones fundamentales permite no solo optimizar el transporte y almacenamiento del agua, sino también calcular con precisión la energía que se puede generar. En su análisis de mini hidroeléctricas aisladas, se señalan que "una metodología integradora que considera la dinámica de fluidos, la selección de turbinas y el dimensionamiento de componentes mecánicos es fundamental para diagnosticar problemas comunes como el sobreconsumo de agua y mejorar la eficiencia energética de la instalación" (Ortiz et al., 2023). Estos fundamentos son directamente aplicables al diseño propuesto para el salón 302, donde se deben calcular parámetros como el caudal disponible, la altura de caída y la potencia teórica generable.

La implementación de proyectos hidroeléctricos a pequeña escala no es solo una posibilidad teórica, sino que cuenta con ejemplos prácticos que demuestran su viabilidad y beneficios. En su estudio sobre un proyecto multipropósito en Bolivia, concluye que "las microcentrales hidroeléctricas constituyen una alternativa viable que, además de generar energía limpia sin impactos ambientales significativos, pueden integrarse con sistemas de abastecimiento de agua potable, abordando múltiples necesidades con una sola infraestructura sostenible" (Leyva López, 2019) se destaca que este tipo de proyectos resulta particularmente adecuado cuando se comparan con alternativas como la extensión de redes eléctricas convencionales, que requieren inversiones considerablemente mayores. Este enfoque integral, que combina lo técnico, lo económico y lo social, es un modelo a seguir para el proyecto en la Universidad Santo Tomás, donde se busca no solo generar energía, sino también fortalecer la sostenibilidad institucional y servir como un ejercicio académico y de innovación.

Finalmente, la relevancia de estos proyectos se enmarca en un desafío global más amplio donde la interdependencia entre el agua, la energía y el medio ambiente. Al analizar el caso de California, advierten que "la gestión del agua su transporte, tratamiento y uso consume enormes cantidades de energía, mientras que la generación de energía, especialmente la hidroeléctrica, depende críticamente de la disponibilidad del recurso hídrico, lo que evidencia un nexo de profunda interdependencia que debe ser abordado de manera integrada" (Lofman et al., 2002). Al proponer un sistema que capta el agua lluvia para generar energía, el proyecto no solo aborda un problema local de desperdicio y costos, sino que contribuye a una gestión más inteligente e integrada de los recursos, alineándose con las tendencias globales hacia la sostenibilidad y la

resiliencia urbana, tal como lo promueven los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7 y ODS 11) que enmarcan esta investigación.

Marco Metodológico

Tipo de Investigación

El presente proyecto se considera como una investigación de tipo descriptivo observacional. En primer lugar, el enfoque es descriptivo porque el proyecto se orienta a caracterizar y analizar de manera detallada las variables relacionadas con el aprovechamiento energético de las aguas lluvias en la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio. En este sentido, se describen aspectos como el consumo eléctrico institucional, los niveles de precipitación registrados en la ciudad entre 2024 y 2025, las condiciones físicas de las cubiertas y bajantes del bloque A Santo Domingo de Guzmán, así como el potencial hídrico disponible para la generación de energía. Además el estudio es observacional porque no existe manipulación deliberada de las variables independientes. No se va a intervenir para alterar el comportamiento de la precipitación, el consumo energético ni la infraestructura física del campus, sino que recopila información a partir de fuentes existentes y mediciones directas en campo. Cabe resaltar que es transversal porque el análisis se realiza en un periodo específico de tiempo, tomando como referencia información histórica consolidada y evaluando las condiciones actuales del sistema para proyectar una alternativa de diseño.

La población objeto de estudio estuvo conformada por la infraestructura hídrica que no se usa institucionalmente y potable, eléctrica asociada al salón 302 del bloque A Santo Domingo de Guzmán de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio, incluyendo las cubiertas de captación, bajantes pluviales, equipos eléctricos instalados y registros históricos de precipitación y consumo energético.

La muestra correspondió específicamente al salón 302 y a la superficie de captación asociada a la Torre A, con un área aproximada de 1.292,64 m², seleccionada debido a sus condiciones de altura, disponibilidad de bajantes y representatividad dentro de la infraestructura universitaria para el diseño del sistema propuesto.

Técnicas de recolección de datos

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon diferentes técnicas de recolección de datos orientadas a obtener información confiable sobre el comportamiento hídrico

y energético del salón 302 del bloque A Santo Domingo de Guzmán de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio. En primer lugar, se utilizó la técnica de análisis documental, mediante la cual se realizó la revisión de registros institucionales relacionados con el consumo energético y el uso de recursos dentro de la infraestructura universitaria. Para ello, se emplearon como instrumentos tablas de registro, bases de datos institucionales, hojas de cálculo en Microsoft Excel y documentos técnicos suministrados por la universidad, los cuales permitieron organizar y analizar la información histórica disponible. Asimismo, se consultaron artículos científicos, estudios previos, normativas y literatura especializada relacionada con sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, generación hidroeléctrica a pequeña escala y sostenibilidad energética, utilizando como instrumentos matrices bibliográficas y fichas de análisis documental para clasificar y sintetizar la información relevante. De igual manera, se integraron datos climáticos obtenidos a través de plataformas especializadas como NASA POWER e IDEAM, empleando herramientas digitales y sistemas de información geográfica como Google Earth Pro para identificar áreas de captación, dimensiones de cubiertas y características físicas de la infraestructura objeto de estudio. Por otra parte, se aplicó la técnica de observación directa mediante inspecciones físicas realizadas en el bloque A de la universidad, específicamente en las cubiertas, bajantes y sistemas de drenaje pluvial asociados al salón 302. Durante estas observaciones se utilizaron como instrumentos formatos de registro de campo, registros fotográficos, herramientas de medición digital y esquemas de identificación de puntos de captación y alturas de caída, permitiendo reconocer las condiciones reales del lugar y establecer la viabilidad técnica para la instalación del sistema hidroeléctrico propuesto. La combinación de estas técnicas e instrumentos permitió recopilar información cuantitativa y cualitativa necesaria para caracterizar el potencial hídrico disponible, estimar la demanda energética del espacio académico y estructurar técnicamente la propuesta de generación sustentable planteada en la investigación.

Análisis de datos

La aplicación conjunta de estas técnicas permitirá obtener tanto información cuantitativa como cualitativa, facilitando una comprensión más completa de la situación actual de la universidad en relación con el manejo y aprovechamiento del recurso hídrico. A partir de este análisis será posible establecer las bases necesarias para el planteamiento de un sistema de captación de agua lluvia

adecuado, considerando las condiciones particulares y las necesidades de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio.

Para el desarrollo del análisis de la información se emplearán herramientas de estadística descriptiva, entre las cuales se incluyen:

- **Medidas de tendencia central:** se calculará la media o promedio de los datos recopilados con el propósito de identificar el comportamiento general de las variables analizadas y evaluar su variación a lo largo de diferentes periodos mensuales y anuales.
- **Representación gráfica de la información:** se utilizarán histogramas y diagramas de dispersión que permitan visualizar de manera clara la distribución y relación entre los datos obtenidos, facilitando así su interpretación.

Etapas 1 Cuantificar la demanda de energía para las actividades institucionales.

Se realizó una estimación del consumo eléctrico a partir de la caracterización de los equipos eléctricos presentes en el espacio. Para ello, se llevará a cabo un inventario detallado de los dispositivos utilizados durante las actividades académicas, incluyendo sistemas de iluminación, equipos de cómputo, proyectores y otros elementos eléctricos. Posteriormente, se registrará la potencia nominal de cada equipo y se estimará el tiempo promedio de uso durante las jornadas académicas.

A partir de esta información se calculará el consumo energético utilizando la relación entre potencia y tiempo de operación, lo que permitirá estimar el consumo diario y mensual a partir de septiembre del 2025 a marzo del 2026 del salón 302 del bloque A Santo Domingo De Guzmán.

Este procedimiento permitirá establecer una aproximación de la demanda energética del espacio de estudio, incluso en ausencia de mediciones directas de consumo individualizado.

$$\text{Consumo} = \text{Potencia de equipos} \times \text{horas de uso}$$

Donde;

Consumo: Consumo del equipo por hora (KWh)

Potencia de equipos: El consumo energético del equipo(W)

Horas de uso: Tiempo estimado de una hora que el equipo se usa (h)

Donde utilizaremos una tabla para registrar los equipos:

Tabla 2

Tabla para registrar los equipos.

Equipo	Potencia	Cantidad	Horas/día
Bombillos LED	x	x	x

La potencia de los equipos eléctricos se expresará en watts (W) o kilowatts (kW), de acuerdo con las especificaciones técnicas de cada dispositivo. Por su parte, el consumo energético se calculará en kilowatt-hora (kWh), unidad que representa la cantidad de energía utilizada durante un periodo de tiempo determinado. Para estimar el consumo energético del salón se empleará la relación entre potencia y tiempo de uso de los equipos, mediante la expresión

$$E = P \times t$$

$E = P \times t$, donde la energía se expresa en kWh, la potencia en kW y el tiempo de funcionamiento en horas.

Etapas 2 Determinar el potencial de aguas lluvias disponible para generar energía sustentable.

Con el propósito de determinar el potencial de aguas lluvias disponible para la generación de energía sustentable en el salón 302 del bloque A Santo Domingo de Guzmán, se realizará una estimación del volumen de agua que puede ser captado a partir de la precipitación que incide sobre la cubierta del edificio. Para ello se utilizarán registros históricos de precipitación correspondientes a la ciudad de Villavicencio, obtenidos de fuentes oficiales como el IDEAM.

A partir de estos datos se calculará la cantidad aproximada de agua lluvia que podría recolectarse mensualmente mediante el sistema de captación propuesto. En este procedimiento se considerarán variables como la precipitación promedio, el área efectiva de la cubierta destinada a la captación y un coeficiente de escorrentía de 0,9, el cual permite estimar la proporción del agua que realmente puede ser aprovechada después de considerar pérdidas por absorción o evaporación.

$$VR = \frac{R * Hra * Rc}{1000}$$

Donde;

VR: Es el volumen mensual de agua de lluvia que podría obtenerse en el sistema (m³)

R: Es la precipitación mensual (mm), considerando:

$$1 \text{ mm precipitación} = 1 \frac{L}{m^2}$$

Hra: Es el área neta de captación (m²)

Rc: Es el coeficiente de escorrentía (adimensional), material del tejado.

1000: Es el factor de litros a metros cúbicos.

El resultado de este cálculo permitirá establecer el volumen potencial de agua disponible para su aprovechamiento y servirá como base para estimar posteriormente la cantidad de energía que podría generarse mediante la implementación de microturbinas dentro del sistema de drenaje pluvial.

La estimación del área de captación (Hra) se llevó a cabo mediante la medición de las superficies de cubierta presentes en la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio. Para realizar este procedimiento se utilizó el software Google Earth Pro, el cual cuenta con herramientas de medición que permiten calcular distancias y áreas directamente sobre imágenes satelitales. El uso de esta herramienta se adoptó como alternativa metodológica debido a que, a pesar de haberse intentado obtener los planos arquitectónicos del edificio para realizar mediciones más precisas, no fue posible acceder a dicha información. En consecuencia, mediante la plataforma mencionada se delimitaron las áreas correspondientes a las cubiertas, particularmente las asociadas a la Torre A, con el fin de obtener una aproximación confiable de la superficie disponible para la captación de agua lluvia.

Una vez determinadas las dimensiones del área de captación y establecido el valor del coeficiente de escorrentía, se procedió a recopilar y analizar información relacionada con la precipitación en la zona donde se encuentra ubicada la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio. La localización geográfica utilizada para este análisis corresponde a las coordenadas 4.121556134709358, -73.61549852281358, las cuales permiten identificar con precisión el punto de estudio.

Para la obtención de los datos climáticos se utilizó la plataforma NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources), una herramienta desarrollada por la NASA que permite consultar bases de datos globales sobre variables ambientales relevantes para estudios energéticos y climáticos. Esta plataforma integra información proveniente de sensores satelitales

y redes de estaciones meteorológicas, ofreciendo registros confiables de parámetros como radiación solar, temperatura, velocidad del viento y precipitación. Debido a estas características, la herramienta es ampliamente utilizada en investigaciones relacionadas con energías renovables, análisis climáticos y evaluación de recursos naturales.

A partir de esta plataforma se extrajeron los registros de precipitación correspondientes al periodo comprendido entre 2024 y 2025, los cuales posteriormente fueron organizados y analizados con el fin de emplearlos en los cálculos necesarios para estimar el volumen de agua lluvia disponible en el área de estudio y continuar con el desarrollo de las ecuaciones utilizadas en la investigación.

Etapas 3 Diseñar el sistema hidroeléctrico.

En esta etapa se desarrolló el proceso de diseño del sistema propuesto para el aprovechamiento de aguas lluvias, considerando la relación entre la disponibilidad del recurso hídrico y la demanda energética identificada en el espacio de estudio. Como primer paso, se elaboró una matriz de demanda energética correspondiente al periodo comprendido entre 2025 y 2026, utilizando la información suministrada por la institución. Esta matriz permitió organizar y analizar el comportamiento del consumo energético a lo largo del tiempo, estableciendo una referencia para comparar la oferta potencial de energía.

Posteriormente, se integraron las variables necesarias para estimar el potencial de generación de energía a partir de la precipitación. Entre los parámetros considerados se incluyó la información climática relacionada con la lluvia, cuyos registros fueron obtenidos mediante la plataforma NASA POWER, tal como se mencionó en etapas anteriores del estudio. Con estos datos se efectuaron los cálculos correspondientes para analizar la disponibilidad del recurso hídrico durante el periodo evaluado y se organizó la información de manera estructurada para facilitar su interpretación.

A partir de este análisis también se estimó un indicador de estrés hídrico, el cual permitió examinar la relación entre la oferta de agua proveniente de la precipitación y la demanda asociada al sistema propuesto. Este indicador contribuyó a identificar las condiciones de disponibilidad del recurso y su potencial aprovechamiento dentro del contexto institucional.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se planteó el diseño conceptual del sistema de captación y almacenamiento de agua lluvia. Para ello se definió la ubicación más adecuada para la instalación del tanque de almacenamiento, considerando aspectos como la infraestructura existente, las condiciones del sistema de drenaje y la eficiencia en la recolección del recurso hídrico. Asimismo, se establecieron las dimensiones aproximadas del tanque.

Con el fin de visualizar de manera más clara la propuesta, se utilizó un software de diseño que permitió elaborar planos y representaciones gráficas del sistema, incluyendo la localización del tanque colector y los componentes principales del sistema de captación. Este proceso permitió estructurar una propuesta técnica orientada al aprovechamiento eficiente del agua lluvia y a su posible integración en estrategias de sostenibilidad energética dentro de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio.

Resultados y Discusiones

El apartado de resultados se estructurará en tres fases, cada una de las cuales dará respuesta directa a los objetivos planteados en el proyecto. En ellas se expondrá de manera ordenada y detallada el procedimiento seguido en el desarrollo metodológico del trabajo y se realizará la entrega de resultados del proyecto así mismo se generará discusiones del procedimiento que se tuvo en cuenta a la hora de poder llegar a la entrega del producto final.

Etapas 1 Cuantificar la demanda de energía para las actividades institucionales.

Para la estimación del consumo energético del salón 302, se calcularon individualmente los aportes de cada equipo eléctrico, considerando su potencia nominal, el tiempo de uso diario y la frecuencia mensual de operación.

Inicialmente, se determinó el consumo base mensual mediante la aplicación de la ecuación:

$$E = P \times t$$

Donde;

E = corresponde a la energía consumida (kWh)

P = la potencia del equipo (kW)

t = el tiempo de uso (horas).

Donde E corresponde a la energía consumida en kWh, P representa la potencia del equipo en kW y t el tiempo de funcionamiento en horas. Esta ecuación permitió calcular individualmente el consumo energético del aire acondicionado, iluminación, tomas de corriente y televisor, cuyos resultados se presentan en la Tabla 3. A partir de esta relación fue posible calcular el consumo mensual aproximado de cada componente eléctrico, tomando en consideración jornadas académicas promedio de veinte días al mes y condiciones normales de uso dentro del aula.

Tabla 3

Estimación del consumo energético por equipos eléctricos del salón 302 según potencia.

Equipo	Potencia	Cantidad	Horas/día	Imagen
Aire acondicionado (LG Cassette 4-Vías (Inverter))	1,200W - 3,500W (Depende de BTU)	1	11 horas - 5 días	
Iluminación (Panel Fluorescente (2 tubos T8))	64W - 72W	8	3 horas	
Tomas Corriente	Celulares 4 por clase 10 a 20 W o Computadores portátiles 45W a 65W	5	11 horas - 5 días	
Televisor LG	80W - 150W	1	80W - 150W	

Al analizar los valores de consumo normal, observo que el aire acondicionado representa la carga más significativa con 550 kWh al mes, lo que equivale a operar un equipo de 2.5 kW durante 11 horas diarias por 20 días. Este dato es clave porque indica que la demanda energética

está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas de Villavicencio, donde las temperaturas elevadas requieren climatización constante. La iluminación, por su parte, apenas alcanza 32.64 kWh mensuales, ya que se calculó con base en 0.544 kW operando solo 3 horas diarias durante 20 días, lo que sugiere un uso moderado y eficiente de la luz artificial. Las tomas eléctricas, con 0.275 kW de potencia instalada y un uso de 11 horas diarias, suman 60.5 kWh al mes, reflejando la conexión de equipos como computadores o cargadores. Finalmente, el televisor aporta 11.5 kWh mensuales con solo 5 horas diarias de funcionamiento. En conjunto, el total de 654.64 kWh mensuales para estos tres meses me permite establecer una base realista de operación del sistema. Concluyo que, en periodos normales, la potencia media requerida es baja (alrededor de 0.91 kW sostenidos), pero la potencia pico alcanza 3.43 kW, lo que obliga a dimensionar la microturbina hidráulica para que sea capaz de entregar esa demanda máxima durante las horas de mayor uso, optimizando así el aprovechamiento del agua lluvia almacenada.

(septiembre, octubre, marzo)

- **Aire acondicionado**

$$2.5 \text{ kW} \times 11 \text{ h/día} \times 20 \text{ días} = 550 \text{ kWh/mes}$$

- **Iluminación**

$$(0.068 \times 8) = 0.544 \text{ kW}$$

$$0.544 \times 3 \times 20 = 32.64 \text{ kWh/mes}$$

- **Tomas**

$$(0.055 \times 5) = 0.275 \text{ kW}$$

$$0.275 \times 11 \times 20 = 60.5 \text{ kWh/mes}$$

- **Televisor**

$$0.115 \times 5 \times 20 = 11.5 \text{ kWh/mes}$$

Al aplicar un incremento del 10% sobre los consumos normales, obtengo valores de 605 kWh en aire acondicionado, 35.90 kWh en iluminación, 66.55 kWh en tomas y 12.65 kWh en televisor, alcanzando un total mensual de 720.10 kWh. Este escenario corresponde a los meses de noviembre y febrero, que seguramente presentan temperaturas más extremas o una mayor actividad académica y administrativa dentro de la universidad. El incremento del 10% afecta proporcionalmente a todas las cargas, lo que me indica que no hay un consumo atípico concentrado en un solo equipo, sino una elevación generalizada del uso. Desde una perspectiva hidroenergética, este aumento del 10% en la demanda eléctrica implica que la microturbina debería operar con un

caudal ligeramente superior al normal o durante más horas al día. Aplicando la ley de potencia que establece que la energía generada es proporcional al caudal y al salto, un incremento del 10% en la potencia requerida podría traducirse en un aumento similar del caudal necesario, siempre que el salto se mantenga constante. Por lo tanto, concluyo que durante noviembre y febrero el sistema debe estar preparado para operar en un régimen de mayor exigencia, lo que se logra asegurando que el reservorio de agua lluvia tenga suficiente almacenamiento para suministrar el caudal adicional sin agotarse prematuramente, evitando así el sobreconsumo del recurso hídrico.

(+10%) (noviembre y febrero)

- **Aire acondicionado**

$$550 \times 1.10 = 605 \text{ kWh}$$

- **Iluminación**

$$32.64 \times 1.10 = 35.90 \text{ kWh}$$

- **Tomas**

$$60.5 \times 1.10 = 66.55 \text{ kWh}$$

- **Televisor**

$$11.5 \times 1.10 = 12.65 \text{ kWh}$$

$$\text{Total} = 720.10 \text{ kWh}$$

Al reducir los consumos normales en un 40%, obtengo 330 kWh en aire acondicionado, 19.58 kWh en iluminación, 36.30 kWh en tomas y 6.90 kWh en televisor, con un total mensual de 392.78 kWh. Este escenario representa los meses de diciembre y enero, que coinciden con periodos de vacaciones o menor actividad universitaria, donde la demanda energética cae drásticamente. Una disminución del 40% es muy significativa y plantea un desafío operativo distinto al anterior. Si la microturbina sigue generando la misma potencia que en meses normales, se produciría un excedente energético que debería ser disipado en una carga lastre para evitar daños al generador. Desde el punto de vista hidráulico, esta baja demanda me permite reducir el caudal de agua turbinada sin afectar el servicio, lo que representa una oportunidad para almacenar agua en el reservorio y acumular recurso para los meses de alta demanda. En conclusión, para diciembre y enero puedo operar el sistema a carga parcial, cerrando parcialmente el inyector de la turbina para reducir el caudal, lo que no solo evita el desperdicio de agua lluvia, sino que también conserva el recurso para cuando realmente se necesite, logrando así una gestión sostenible del agua y la energía.

(-40%) (diciembre y enero)

- **Aire acondicionado**

$$550 \times 0.60 = 330 \text{ kWh}$$

- **Iluminación**

$$32.64 \times 0.60 = 19.58 \text{ kWh}$$

- **Tomas**

$$60.5 \times 0.60 = 36.30 \text{ kWh}$$

- **Televisor**

$$11.5 \times 0.60 = 6.90 \text{ kWh}$$

$$Total = 392.78 \text{ kWh}$$

Al sumar los consumos de los siete meses analizados (tres meses normales, dos de alta demanda y dos de baja demanda), obtengo un total general de 4,189.68 kWh en el período considerado. Este valor representa la energía que el sistema hidroeléctrico basado en captación de agua lluvia debe ser capaz de suministrar durante esos meses para cubrir completamente la demanda de la universidad. Si extrapolo este dato, puedo estimar un consumo anual aproximado de 7,200 kWh, dependiendo de cuántos meses adicionales se incluyan. Este volumen de energía es perfectamente alcanzable con una microcentral hidroeléctrica de pequeña escala, siempre que se cuente con un salto hidráulico adecuado (por ejemplo, 10 a 15 metros entre el tanque elevado y la turbina) y un caudal promedio del orden de 0.5 a 1 litro por segundo continuo. Atendiendo a la ley de semejanza que relaciona el caudal con la potencia al cubo:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\sqrt{Q_1}}{\sqrt{Q_2}} \right)^3$$

Significado:

- P = Potencia generada por la turbina (en kW)
- Q = Caudal de agua (en m³/s o L/s)
- El subíndice 1 se refiere a una condición inicial o de diseño
- El subíndice 2 se refiere a una nueva condición (ejemplo: cuando hay menos agua)

Cabe aclarar que cuando la ley de la semejanza se usa es cuando se presentan épocas de intermitencia de agua o épocas de sequía así que pequeños cambios en el caudal producen cambios enormes en la potencia generada. Por eso, si en época seca el caudal de agua lluvia baja solo un

30%, la generación eléctrica no baja un 30%, sino casi un 70%. Y ahí la importancia de tener un reservorio que mantenga el caudal estable.

Una pequeña reducción en el caudal por estacionalidad de lluvias podría afectar notablemente la generación, por lo que el reservorio debe dimensionarse para garantizar la autonomía en épocas secas. Finalmente, concluyo que el consumo total anual calculado justifica plenamente la inversión en un sistema de captación de agua lluvia con microturbina, ya que la energía demandada es lo suficientemente alta como para lograr un retorno de inversión en un plazo razonable, y lo suficientemente baja como para ser cubierta por una fuente renovable no convencional de pequeña escala, alineada con los principios de sostenibilidad y eficiencia energética que persigue la Universidad Santo Tomás.

Total, General

$$\begin{aligned} &(654.64 \times 3) + (720.10 \times 2) + (392.78 \times 2) \\ &= 1963.92 + 1440.20 + 785.56 \\ &= 4,189.68 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Posteriormente, los resultados obtenidos en la Tabla 4 permitieron establecer la variación mensual del consumo energético entre septiembre de 2025 y marzo de 2026. Para representar de manera más cercana las condiciones reales de ocupación del aula, se incorporaron factores de ajuste asociados a periodos de alta y baja demanda académica. En los meses de noviembre de 2025 y febrero de 2026 se aplicó un incremento del 10 % sobre el consumo base debido al aumento en la utilización de equipos eléctricos y a la mayor permanencia de estudiantes dentro del salón. Por el contrario, durante diciembre de 2025 y enero de 2026 se redujo el consumo energético considerando el periodo vacacional universitario y la disminución significativa de actividades académicas.

Tabla 4

Cálculo del consumo energético del salón 302 de la Universidad Santo Tomas.

Mes	Aire kWh/m	Iluminación	Tomas	TV	Total (kWh)
Septiembre 2025	550	32.64	60.5	11.5	654.64
Octubre 2025	550	32.64	60.5	11.5	654.64
Noviembre 2025	605	35.90	66.55	12.65	720.10
Diciembre 2025	55	3.26	6.05	1.15	65.46
Enero 2026	55	3.26	6.05	1.15	65.46
Febrero 2026	605	35.90	66.55	12.65	720.10
Marzo 2026	550	32.64	0.5	11.5	654.64

Cabe resaltar que realice unas figuras de diagramas de barras el cual a su vez se realizó un diagrama de líneas para tener una mejor visualización del consumo energético y poder interpretar mejor los resultados y realizar un respectivo análisis.

Figura 8

Consumo energético septiembre 2025 a marzo 2026.

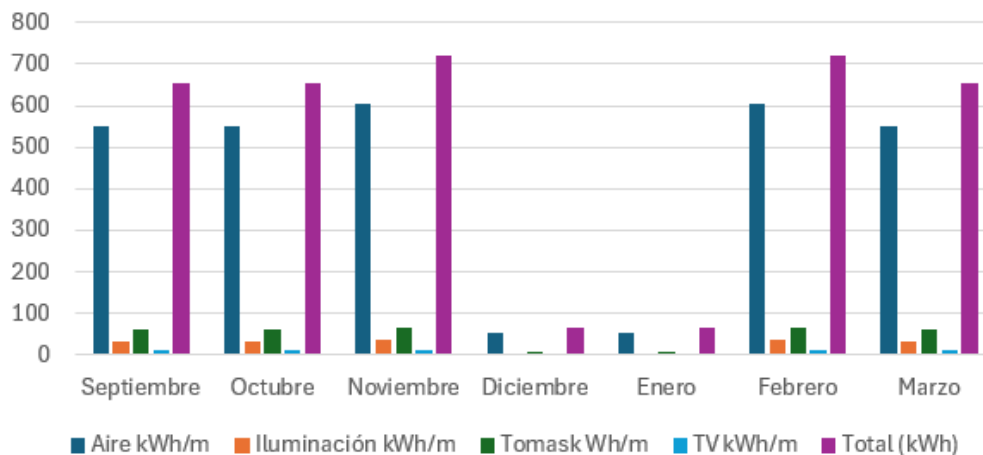
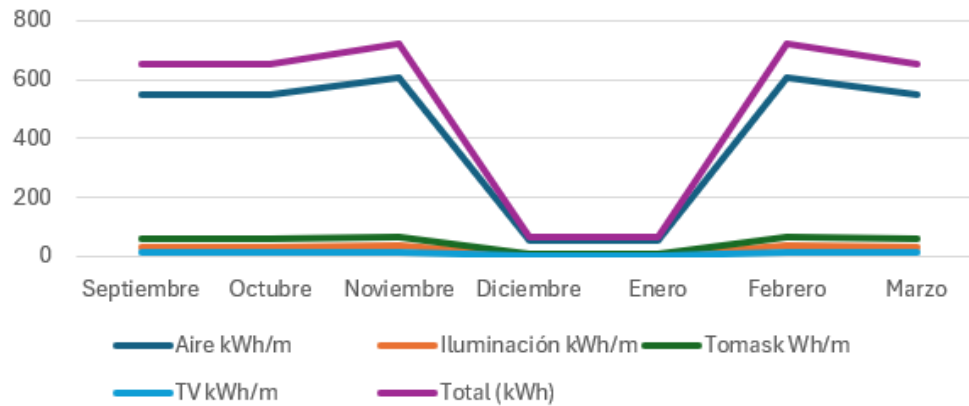


Figura 9

Consumo energético septiembre 2025 a marzo 2026.



En el caso del aire acondicionado, se estimó un consumo mensual de 550 kWh, resultado de multiplicar una potencia promedio de 2.5 kW por 11 horas diarias durante 20 días. Para el sistema de iluminación, compuesto por ocho luminarias, se obtuvo un consumo de 32.64 kWh/mes. Las tomas de corriente presentaron un consumo de 60.5 kWh/mes, mientras que el televisor registró 11.5 kWh/mes.

Posteriormente, se introdujeron factores de ajuste para reflejar la variabilidad en el uso del salón. En los meses de mayor actividad académica (noviembre y febrero), se incrementó el consumo en un 10%, mientras que en los meses de receso (diciembre y enero), se redujo en un 40%.

Este procedimiento permitió obtener un consumo total estimado de 4,189.68 kWh para el periodo analizado, integrando tanto condiciones normales como variaciones operativas reales.

Etapas 2 Determinar el potencial de aguas lluvias disponible para generar energía sustentable.

Para determinar el potencial hídrico disponible en el salón 302 del bloque A Santo Domingo de Guzmán, se realizó inicialmente el análisis de precipitación promedio anual utilizando los registros climáticos correspondientes a los años 2024 y 2025 obtenidos mediante la plataforma NASA POWER. A partir de esta información se calculó una precipitación promedio anual de

3,064.1 mm, valor que confirma las condiciones de alta pluviosidad características de la ciudad de Villavicencio.

Posteriormente, mediante el uso de herramientas de medición digital en Google Earth Pro, se determinó un área efectiva de captación de 1,292.64 m² correspondiente a la cubierta asociada a la Torre A de la universidad. Según la información presentadas en las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** pudimos hallar las siguientes medidas:

Figura 10

Tomada por Estefani Panqueva de Google Earth Pro.

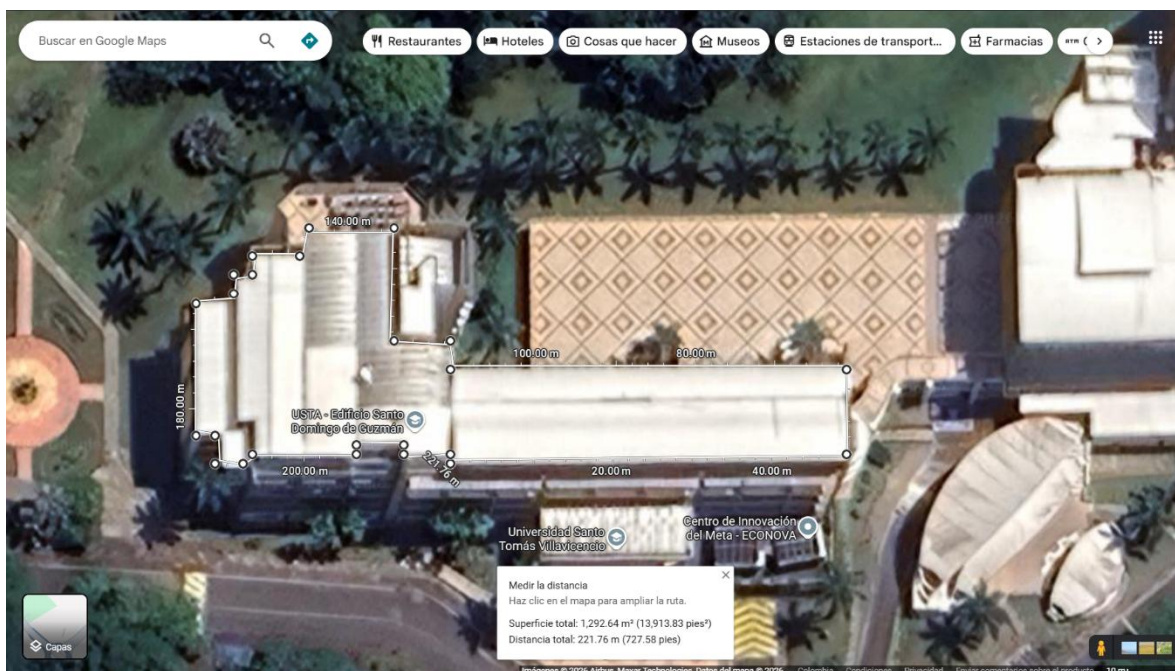


Tabla 5

Medidas de la torre A de la Universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio.

Torre A Santo Domingo De Guzman
Superficie total: 1.292,64 m ²

Una de las variables necesaria para cumplir con la ecuación que vamos a utilizar para calcular el volumen del potencial de agua lluvia que se puede obtener, después de hallar la variable del área, posterior se halla la variable de la precipitación que fue tomada en el aplicativo de la “NASA POWER | DAV”. Con el propósito de determinar el potencial hídrico disponible para la

generación de energía sustentable en el salón 302 del bloque A Santo Domingo de Guzmán, se realizó inicialmente la recopilación y análisis de información pluviométrica correspondiente a los años 2024 y 2025. Los datos de precipitación fueron obtenidos mediante la plataforma climática NASA POWER, seleccionada debido a su disponibilidad de registros meteorológicos históricos y su aplicabilidad en estudios relacionados con recursos hídricos y energías renovables. Esta información permitió establecer una caracterización preliminar del comportamiento de las lluvias en la ciudad de Villavicencio, reconocida por presentar altos índices de precipitación a nivel nacional.

Figura 11

Pronóstico de datos de agua lluvia en mm NASA POWER.

-BEGIN HEADER-														
NASA/POWER Source Native Resolution Monthly and Annual														
Dates (month/day/year): 01/01/2024 through 12/31/2025 in UTC														
Location: Latitude 4.1217 Longitude -73.6156														
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 1391.75 meters														
ie for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999														
Parameter(s):														
PRECTOTCORR_SUM MERRA-2 Precipitation Corrected Sum (mm/day)														
-END HEADER-														
PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
PRECTOTCORR_SUM	2024	7.68	78.83	134.0	245.29	634.87	341.83	215.84	132.05	96.3	295.06	283.65	261.64	2727.04
PRECTOTCORR_SUM	2025	141.77	89.63	281.32	477.26	547.31	529.75	285.0	368.61	231.66	223.2	160.18	65.44	3401.13

Los registros obtenidos evidenciaron una precipitación anual de 2,727.04 mm para el año 2024 y de 3,401.13 mm para el año 2025. A partir de estos valores se calculó una precipitación promedio anual de 3,064.1 mm, resultado que confirma la existencia de una oferta hídrica considerable dentro del área de estudio. Este comportamiento climático resulta especialmente relevante para la investigación, ya que el potencial de captación y generación energética depende directamente de la cantidad de agua lluvia disponible sobre la superficie de captación seleccionada. Los cuales los datos fueron los siguientes:

Tabla 6
Datos mensuales 2024 y 2025.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
2024	7,68	78,83	134	245,29	634,87	341,83
2025	141,77	89,63	281,32	477,26	547,31	529,75
JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
215,84	132,05	96,3	295,06	283,65	261,64	2727,04
285	368,61	231,66	223,2	160,18	65,44	3401,13

También se realizó una figura la cual podríamos tener una mejor representación de la precipitación de agua entre el 2024 y 2025 y tener una mejor visualización de los datos y poder interpretar los resultados de manera correcta.

Figura 12
Precipitación de agua 2024 y 2025.



De esta manera cabe resaltar que se realizó el cálculo promedio de la precipitación mensual para poder hallar el promedio en mm.

Tabla 7*Precipitación promedio.*

Mes	2024	2025	Promedio (mm)
Enero	7.68	141.77	74.73
Febrero	78.83	89.63	84.23
Marzo	134	281.32	207.66
Abril	245.29	477.26	361.28
Mayo	634.87	547.31	591.09
Junio	341.83	529.75	435.79
Julio	215.84	285	250.42
Agosto	132.05	368.61	250.33
Septiembre	96.3	231.66	163.98
Octubre	295.06	223.2	259.13
Noviembre	283.65	160.18	221.92
Diciembre	261.64	65.44	163.54

Sumamos los resultados y sacamos el promedio:

$$P_{anual} \approx 3064.1 \text{ mm}$$

Sustituyendo:

$$VR = \frac{3064.1 \times 1292.64 \times 0.9}{1000}$$

$$\text{Volumen de agua obtenido} \approx 3564.70 \text{ m}^3/\text{año}$$

El desarrollo de la ecuación permitió obtener un volumen aproximado de 3,564.70 m³ de agua lluvia al año. Este resultado evidencia que la infraestructura universitaria presenta una capacidad considerable de captación hídrica, aspecto que valida técnicamente la posibilidad de implementar estrategias de aprovechamiento energético mediante recursos pluviales. Asimismo, el volumen calculado demuestra que gran parte del agua precipitada sobre la cubierta actualmente es desaprovechada y conducida directamente hacia el sistema de drenaje convencional.

Desde una perspectiva analítica, los resultados obtenidos reflejan una relación directa entre las condiciones climáticas de Villavicencio y el potencial de aprovechamiento hídrico urbano. Diversas investigaciones desarrolladas en regiones tropicales de alta precipitación han señalado que las edificaciones institucionales poseen un importante potencial para implementar sistemas de captación y reutilización de aguas lluvias, especialmente cuando cuentan con superficies amplias de cubierta y sistemas de drenaje centralizados.

Después calculamos la energía hidráulica generada anual:

$$E = \rho * g * h * V$$

Unidades

- $\rho = kg/m^3$
- $g = m/s^2$
- $h = m$
- $V = m^3$
-

Resultado: Joules (J)

$$E = 1000 \, kg/m^3 * 9.81 \, m/s^2 * 18.5 \, m * 3563.8 \, m^3$$

Como resultado del procedimiento matemático se obtuvo una energía aproximada de 647,000,000 Joules, valor que posteriormente fue convertido a kilowatt-hora (kWh) mediante el factor de conversión energética equivalente a 3.6×10^6 Joules por kWh.

$$E \approx 647,000,000 \, J$$

Convertir Joules a kWh:

$$E = \frac{647,000,000 \, J}{3,600,000}$$

$$E = 179.7 \, kWh/año$$

Por último, consideramos las pérdidas que se puede tener por las turbinas, generador o tuberías, etc; realizamos el cálculo de la eficiencia real que sería la siguiente:

$$Eficiencia \, Real = 179.8 \, kWh * 0.6$$

$$Eficiencia \, Real = 107.8 \, kWh/año$$

Finalmente, considerando pérdidas operativas asociadas a la eficiencia de la microturbina, fricción en tuberías y desempeño general del sistema, se adoptó una eficiencia global del 60 %, obteniendo una generación energética real aproximada de 107.8 kWh anuales.

La incorporación del factor de eficiencia resulta fundamental dentro del análisis, debido a que permite aproximar el comportamiento del sistema a condiciones reales de operación. En sistemas hidroeléctricos de pequeña escala es común la existencia de pérdidas energéticas asociadas a turbulencias, fricción hidráulica y limitaciones mecánicas de los equipos utilizados. Por esta razón, el ajuste realizado proporciona resultados técnicamente más coherentes y aplicables a un escenario de implementación práctica.

Los resultados obtenidos evidencian que, aunque la capacidad energética generada no es suficiente para abastecer completamente la demanda eléctrica del salón 302, sí posee potencial para suplir parcialmente cargas de baja potencia, especialmente sistemas de iluminación LED, equipos audiovisuales y dispositivos electrónicos auxiliares. Este comportamiento coincide con estudios sobre microgeneración hidroeléctrica urbana, donde se establece que las microturbinas instaladas en sistemas pluviales funcionan principalmente como mecanismos complementarios de generación distribuida y sostenibilidad energética institucional.

Podemos interpretar que la energía generada por el sistema, estimada en 107,8 kWh/año, permite suplir parcialmente la demanda energética del salón, especialmente en sistemas de baja potencia como iluminación LED, ventilación y equipos audiovisuales. Aunque no es suficiente para abastecer la totalidad de la carga eléctrica, su implementación contribuye significativamente a la eficiencia energética y al aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos disponibles.

Etapas 3 Diseñar el sistema hidroeléctrico.

Una vez determinada la demanda energética del salón 302 y calculado el potencial hídrico disponible en la infraestructura de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio, se procedió al diseño conceptual del sistema hidroeléctrico orientado al aprovechamiento de aguas lluvias para la generación de energía sustentable. Esta etapa permitió integrar los resultados obtenidos previamente y establecer una propuesta técnica funcional capaz de transformar parte de la energía potencial del agua lluvia en energía eléctrica utilizable dentro del entorno universitario.

El diseño del sistema fue estructurado considerando el recorrido natural del agua desde la superficie de captación hasta el punto final de almacenamiento, incorporando componentes hidráulicos y eléctricos de bajo costo y fácil implementación. El flujo operacional del sistema se planteó de la siguiente manera:

Diseño Del Sistema Hidroeléctrico

Flujo del sistema

Techo → Canaletas → Tanque elevado → Filtro → Tubería → Turbina → Generador →
Batería → Uso → Tanque

Figura 13*Diagrama de flujo del sistema hidráulico*

Esta configuración fue seleccionada debido a que permite aprovechar la gravedad como mecanismo principal de conducción hidráulica, reduciendo la necesidad de equipos de bombeo adicionales y disminuyendo el consumo energético auxiliar del sistema. Asimismo, el diseño propuesto busca maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico disponible sin alterar significativamente la infraestructura existente del edificio.

Posteriormente, el agua captada es conducida mediante canaletas y bajantes fabricadas en PVC convencional, material seleccionado debido a su bajo costo, resistencia a la corrosión y facilidad de instalación. La utilización de este tipo de tubería resulta adecuada para sistemas de conducción pluvial de pequeña escala, especialmente en proyectos orientados a sostenibilidad institucional y eficiencia económica. A continuación, el sistema incorpora un tanque elevado destinado al almacenamiento temporal del agua recolectada. La inclusión de este componente cumple una función fundamental dentro del diseño, debido a que permite regular el flujo hidráulico y garantizar disponibilidad de agua incluso durante periodos de precipitación intermitente. Desde el punto de vista energético, el tanque elevado también contribuye a incrementar la energía potencial gravitacional del sistema, favoreciendo el rendimiento de la microturbina instalada posteriormente.

La implementación de sistemas de almacenamiento en proyectos de captación pluvial ha sido ampliamente recomendada en investigaciones relacionadas con aprovechamiento hídrico

urbano, ya que mejora la estabilidad operativa y optimiza la continuidad del flujo dentro de los sistemas hidráulicos.

Posteriormente, antes del ingreso del agua a la microturbina, se planteó la instalación de un filtro mecánico sencillo compuesto por malla metálica o filtros de sedimentos básicos. Este componente tiene como finalidad evitar el ingreso de hojas, partículas sólidas o residuos que puedan afectar el funcionamiento de la turbina y reducir la eficiencia del sistema. La incorporación de procesos de filtrado preliminar representa una estrategia fundamental en sistemas hidroeléctricos de pequeña escala, debido a que disminuye riesgos de obstrucción, desgaste mecánico y pérdidas de rendimiento hidráulico.

El agua filtrada es posteriormente conducida mediante tuberías PVC de 2" o 3" hacia la microturbina hidráulica. La selección del diámetro de conducción se realizó considerando la necesidad de mantener un flujo relativamente estable y minimizar pérdidas por fricción dentro de la red hidráulica. Este aspecto resulta especialmente importante debido a que el rendimiento energético del sistema depende directamente de la presión y velocidad del agua que ingresa a la turbina.

Como componente principal de generación energética se seleccionó una microturbina hidráulica tipo Pelton de pequeña escala con generador DC integrado. La elección de este tipo de turbina se fundamenta en que las turbinas Pelton presentan un mejor desempeño en escenarios donde existe una altura considerable de caída y caudales moderados, condiciones que coinciden con las características físicas del bloque analizado y la altura efectiva disponible de 18.5 metros.

Las Figuras 14 y 15 presentan el modelo referencial de microturbina hidráulica utilizado dentro de la propuesta. Este dispositivo posee una capacidad de generación aproximada de 12VDC y 220 mA, características suficientes para alimentar cargas eléctricas de baja potencia dentro del salón 302, como iluminación LED, estaciones de carga y pequeños equipos electrónicos.

Figura 14

MicroTurbina Hidráulica 12vdc 220ma Para 1/2'.

**Figura 15**

Microturbina Hidráulica 12vdc 220ma Para 1/2'.

**Características de las microturbinas:**

- Microturbina hidráulica: pequeño generador que gira con el flujo de agua.
- 12VDC: entrega hasta 12 voltios en corriente continua.
- 220 mA: puede suministrar aproximadamente 220 miliamperios de corriente.
- Para 1/2": está diseñada para conectarse a una tubería de media pulgada.

Desde una perspectiva técnica, la utilización de microturbinas hidráulicas de corriente continua representa una alternativa viable para proyectos de microgeneración distribuida en edificaciones urbanas, especialmente en contextos donde se busca complementar parcialmente el consumo energético convencional mediante recursos renovables de bajo impacto ambiental.

Posteriormente, la energía generada por la turbina es conducida hacia una batería de almacenamiento de 12V conectada a un controlador y regulador de carga. La incorporación de este sistema eléctrico permite almacenar la energía producida y proteger los componentes frente a posibles variaciones de voltaje o sobrecargas. Este aspecto resulta importante debido a que el comportamiento de las lluvias no es constante, por lo que el almacenamiento energético permite estabilizar parcialmente el suministro eléctrico generado.

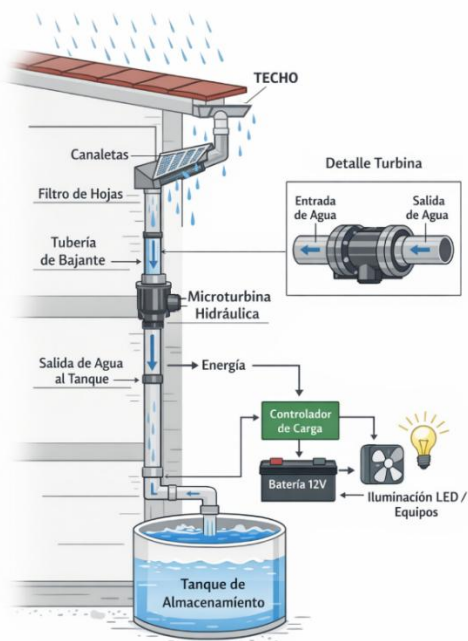
El punto de consumo del sistema fue orientado principalmente hacia cargas eléctricas de baja demanda, como iluminación LED y equipos auxiliares de bajo consumo energético. Los resultados obtenidos en las etapas anteriores demostraron que la capacidad de generación estimada del sistema no permite abastecer completamente la demanda energética del salón; sin embargo, sí posee potencial para reducir parcialmente el consumo proveniente de la red eléctrica institucional.

Esta condición coincide con investigaciones desarrolladas sobre sistemas hidroeléctricos urbanos de pequeña escala, donde se establece que este tipo de tecnologías funcionan principalmente como mecanismos complementarios de sostenibilidad energética y no como sistemas de autosuficiencia total. Finalmente, el agua utilizada en el proceso de generación continúa hacia un tanque de almacenamiento secundario destinado a usos no potables dentro de la universidad. Este componente permite ampliar el aprovechamiento del recurso hídrico más allá de la generación eléctrica, integrando estrategias de reutilización de agua para limpieza, riego o mantenimiento institucional. De esta manera, el sistema diseñado no solo contribuye a la producción parcial de energía renovable, sino también a la gestión sostenible del recurso hídrico dentro del campus universitario.

La Figura 16 presenta el plano general del sistema hidroeléctrico propuesto mediante captación de aguas lluvias, integrando los componentes hidráulicos y eléctricos planteados en el diseño conceptual. El esquema desarrollado evidencia la viabilidad técnica de implementar soluciones de microgeneración energética a partir del aprovechamiento pluvial dentro de edificaciones universitarias ubicadas en zonas de alta precipitación.

Figura 16

Diseño del sistema de captación de agua lluvia para generar energía hidráulica.



En términos generales, los resultados obtenidos en esta etapa permitieron validar técnicamente el diseño de un sistema hidroeléctrico funcional, económicamente accesible y adaptable a las condiciones físicas de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio. Asimismo, la propuesta desarrollada demuestra que el aprovechamiento de aguas lluvias puede constituir una estrategia complementaria orientada a fortalecer procesos institucionales de sostenibilidad, eficiencia energética y gestión responsable de recursos naturales.

Los resultados obtenidos a lo largo de la investigación permitieron evidenciar que la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio posee condiciones climáticas e infraestructurales favorables para el aprovechamiento de aguas lluvias con fines de generación energética sustentable. La combinación entre altos índices de precipitación anual, superficies amplias de captación y diferencias de altura dentro de la infraestructura universitaria permitió validar técnicamente la posibilidad de implementar un sistema hidroeléctrico de pequeña escala orientado al suministro parcial de energía eléctrica dentro del salón 302 del bloque A Santo Domingo de Guzmán. En relación con la demanda energética identificada durante la primera etapa, los resultados demostraron que el aire acondicionado representa el componente de mayor

incidencia dentro del consumo total del salón, alcanzando valores significativamente superiores frente a los sistemas de iluminación, tomas eléctricas y equipos audiovisuales. Este comportamiento coincide con investigaciones desarrolladas en edificaciones educativas ubicadas en regiones cálidas y húmedas, donde los sistemas de climatización constituyen uno de los principales factores de demanda energética institucional.

Asimismo, la variabilidad observada entre los periodos académicos y vacacionales permitió evidenciar que el comportamiento energético del salón depende directamente del nivel de ocupación y de la intensidad de uso de los equipos eléctricos. Esta situación resulta relevante dentro del análisis, debido a que demuestra la necesidad de considerar escenarios operativos reales al momento de proyectar sistemas alternativos de generación energética. En este sentido, los resultados obtenidos permitieron establecer una línea base energética coherente con las dinámicas funcionales de la universidad.

Por otra parte, los resultados correspondientes a la segunda etapa confirmaron que el potencial hídrico disponible dentro de la universidad es considerablemente alto debido a las condiciones de precipitación características de la ciudad de Villavicencio. El volumen anual calculado de agua lluvia evidenció que una cantidad significativa del recurso hídrico actualmente es desaprovechada y conducida directamente hacia los sistemas convencionales de drenaje. Desde esta perspectiva, el proyecto demuestra que las edificaciones institucionales pueden transformarse en espacios de aprovechamiento hídrico y energético mediante la incorporación de sistemas sostenibles de captación y reutilización.

La relación establecida entre precipitación, área de captación y generación energética permitió determinar que el potencial eléctrico obtenido mediante microgeneración hidroeléctrica es técnicamente viable, aunque limitado frente a la demanda total del salón. No obstante, este resultado no invalida la propuesta; por el contrario, confirma el comportamiento reportado en estudios relacionados con sistemas hidroeléctricos urbanos de pequeña escala, donde la finalidad principal no es reemplazar completamente la energía convencional, sino complementar parcialmente el suministro eléctrico mediante recursos renovables locales.

De igual manera, la implementación de factores de eficiencia dentro de los cálculos energéticos permitió obtener resultados más cercanos a condiciones reales de operación. Esto resulta importante debido a que muchos estudios preliminares sobre generación energética suelen presentar valores teóricos idealizados que no consideran pérdidas hidráulicas, fricción en tuberías

ni limitaciones mecánicas de las microturbinas. En consecuencia, la inclusión de un rendimiento global del sistema permitió desarrollar una propuesta técnicamente más coherente y aplicable a escenarios reales de implementación. En cuanto a la tercera etapa, el diseño del sistema hidroeléctrico permitió integrar componentes hidráulicos y eléctricos funcionales utilizando materiales comercialmente accesibles y de bajo costo relativo. La utilización de canaletas de PVC, sistemas de filtrado sencillos y microturbinas hidráulicas tipo Pelton evidencia que este tipo de soluciones pueden implementarse sin requerir infraestructuras altamente complejas o inversiones excesivamente elevadas. Este aspecto incrementa considerablemente la viabilidad práctica y la posibilidad de replicar el sistema en otros espacios académicos de la universidad.

Desde una perspectiva ambiental, la propuesta desarrollada adquiere relevancia debido a que promueve simultáneamente el aprovechamiento de aguas lluvias y la generación parcial de energía renovable. Esto contribuye no solo a reducir parcialmente la dependencia de la red eléctrica convencional, sino también a fortalecer estrategias institucionales orientadas a sostenibilidad, eficiencia energética y gestión responsable de recursos naturales. Además, el aprovechamiento posterior del agua utilizada mediante tanques de almacenamiento secundario amplía el alcance ambiental del proyecto, incorporando criterios de reutilización hídrica y economía circular.

No obstante, durante el desarrollo de la investigación también se identificaron limitaciones importantes. Una de las principales restricciones estuvo relacionada con la ausencia de mediciones directas de caudal y planos hidráulicos detallados de la infraestructura universitaria, lo que obligó a utilizar aproximaciones digitales y estimaciones teóricas para algunos cálculos. Aunque estas metodologías son ampliamente utilizadas en estudios preliminares, futuras investigaciones podrían complementar los resultados mediante mediciones experimentales en tiempo real y pruebas piloto de funcionamiento hidráulico. Asimismo, la capacidad energética obtenida demuestra que el sistema diseñado funciona principalmente como una alternativa complementaria de generación distribuida y no como una solución capaz de abastecer completamente la demanda energética del salón. Sin embargo, esta condición no disminuye la importancia del proyecto, ya que el principal aporte de la investigación radica en demostrar la viabilidad técnica y ambiental del aprovechamiento energético de aguas lluvias dentro de contextos universitarios tropicales.

Finalmente, los resultados y análisis desarrollados permitieron evidenciar que la integración entre captación pluvial y microgeneración hidroeléctrica constituye una estrategia innovadora aplicable a instituciones educativas ubicadas en regiones de alta precipitación. En este

sentido, la investigación no solo aporta una propuesta técnica para la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio, sino que también establece bases conceptuales y metodológicas que pueden ser utilizadas en futuros proyectos relacionados con sostenibilidad energética y aprovechamiento integral de recursos hídricos en edificaciones urbanas.

Conclusiones

El desarrollo de la presente investigación permitió demostrar la viabilidad técnica de aprovechar el recurso pluvial como fuente complementaria de generación energética en la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio, específicamente en el salón 302 del bloque A Santo Domingo de Guzmán, dando cumplimiento a los objetivos planteados para el estudio.

En primer lugar, respecto al objetivo de cuantificar la demanda energética del salón 302, se determinó que el consumo eléctrico acumulado durante el periodo comprendido entre septiembre de 2025 y marzo de 2026 fue de 4.189,68 kWh, evidenciando una demanda variable asociada a la ocupación del espacio académico, las temporadas vacacionales y el uso diferencial de equipos de climatización y apoyo audiovisual. Este análisis permitió establecer una línea base de consumo energético indispensable para dimensionar el alcance real del sistema propuesto y evaluar su posible contribución dentro de la demanda energética institucional.

En segundo lugar, en relación con la determinación del potencial hídrico disponible, se estimó una precipitación promedio anual de 3.064,1 mm, la cual, combinada con un área de captación de 1.292,64 m² y un coeficiente de escorrentía de 0,9, permitió calcular un volumen anual de captación de aproximadamente 3.564,70 m³ de agua lluvia. Este resultado confirma el alto potencial de aprovechamiento pluvial existente en la ciudad de Villavicencio, coherente con su condición de zona de alta pluviosidad dentro del territorio colombiano.

Posteriormente, mediante la aplicación de principios de energía potencial gravitacional y considerando una altura efectiva de caída de 18,5 m, se estimó una generación energética anual de 107,8 kWh, valor ajustado con una eficiencia global del sistema del 60 %. Aunque esta capacidad de generación no resulta suficiente para cubrir la totalidad de la demanda eléctrica del salón analizado, sí evidencia la posibilidad de suplir parcialmente cargas de baja potencia como sistemas de iluminación LED, equipos audiovisuales o puntos de carga auxiliar, validando la aplicabilidad del sistema como fuente de apoyo energético complementario.

En tercer lugar, se diseñó conceptualmente un sistema hidroeléctrico de pequeña escala compuesto por canaletas de captación, sistema de filtrado primario, tuberías de conducción en PVC, tanque de almacenamiento, microturbina tipo Pelton, controlador de carga, banco de baterías y sistema de distribución eléctrica auxiliar. El diseño planteado demuestra que la implementación del sistema es técnicamente factible utilizando componentes comercialmente disponibles y de bajo

costo relativo, lo cual incrementa su potencial de replicabilidad dentro de la infraestructura universitaria.

Desde una perspectiva ambiental, el proyecto aporta a la sostenibilidad institucional mediante la valorización de un recurso hídrico actualmente desaprovechado, reduciendo parcialmente la dependencia de la red eléctrica convencional y promoviendo estrategias de gestión integrada del agua y la energía en entornos educativos. Asimismo, fortalece el enfoque de infraestructura sostenible universitaria al integrar aprovechamiento hídrico y eficiencia energética en una única solución técnica.

Finalmente, esta investigación contribuye al conocimiento aplicado en el campo de la generación distribuida y el aprovechamiento de energías renovables no convencionales en edificaciones institucionales, evidenciando que, aunque la microgeneración hidroeléctrica mediante aguas lluvias presenta limitaciones en términos de potencia disponible, constituye una alternativa técnicamente viable, ambientalmente favorable y académicamente replicable para contextos de alta precipitación como Villavicencio.

Recomendaciones

Se recomienda a la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio considerar la implementación piloto del sistema propuesto en el salón 302 del bloque A Santo Domingo de Guzmán, orientando inicialmente su uso al suministro de cargas de baja demanda energética, tales como sistemas de iluminación LED, televisores o estaciones de carga auxiliar, con el fin de validar experimentalmente el comportamiento real del sistema bajo condiciones operativas.

Se sugiere realizar mediciones de campo complementarias previas a una implementación física, incluyendo aforos reales de caudal en bajantes durante eventos de precipitación, inspección estructural de cubiertas y bajantes, así como levantamiento técnico de planos hidráulicos y arquitectónicos de la edificación, con el propósito de optimizar el dimensionamiento definitivo del sistema y mejorar la precisión de los cálculos hidráulicos y energéticos.

Se recomienda evaluar la ampliación futura del sistema hacia otros salones o bloques académicos de la institución, integrando mayores áreas de captación que permitan incrementar el volumen de agua aprovechable y, en consecuencia, la capacidad de generación energética, mejorando así la relación costo-beneficio de la inversión.

Desde el punto de vista económico, se propone desarrollar en investigaciones posteriores un análisis financiero detallado que incluya costos de adquisición, instalación, mantenimiento, depreciación de equipos, ahorro energético proyectado, costo nivelado de energía (LCOE) y periodo de retorno de la inversión (ROI), con el fin de establecer la viabilidad económica integral del proyecto.

Asimismo, se recomienda a futuros investigadores profundizar en la comparación entre distintos tipos de microturbinas hidráulicas y tecnologías alternativas de aprovechamiento pluvial energético, como sistemas piezoeléctricos o híbridos, para determinar cuál presenta el mejor desempeño técnico y económico en condiciones similares.

Finalmente, se sugiere replicar la metodología desarrollada en esta investigación en otras instituciones educativas, edificaciones públicas o privadas ubicadas en regiones de alta pluviosidad, con el fin de validar la transferibilidad del modelo y ampliar la evidencia científica sobre el aprovechamiento energético de aguas lluvias en contextos urbanos e institucionales.

Referencias bibliográficas

- Alb Es, J., Berto Rodríguez, S., Castro, E., & Mich de Ada, S. (2018). Apuntes de hidráulica básica. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/hidraulica-basica-35265182/35265182#2>
- Bao, B., & Wang, Q. (2021). A rain energy harvester using a self-release tank. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.107099>
- Biomass Users Network – Centroamérica (BUN-CA). (2000). Sistemas hidráulicos domésticos. BUN-CA. <https://bun-ca.org/wp-content/uploads/2020/08/HidraulicosDomesticos.pdf>
- Burszta-Adamiak, E., & Przybylska, A. (2024). The potential for sustainable rainwater management through domestic rainwater harvesting based on real rainfall. *Journal of Water and Land Development*, 62, 37–43. <https://doi.org/10.24425/jwld.2024.150279>
- Campomanes, G. (2016). Manual de obras hidráulicas. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/manual-de-obras-hidraulicas/59445239>
- Canovas, A., Parra, B., & Bosque, R. (2001). Aprovechamiento hidráulico óptimo del embalse del Cenajo en la cuenca del Segura. *Ingeniería del Agua*. Volumen 8, 423-432. <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2875>
- Carter, J., Rahmani, A., Dibaj, M., & Akrami, M. (2023). Rainwater energy harvesting using micro-turbines in downpipes. *Energies*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/en16041660>
- Cuenca, D. G. (2016). Análisis energético de los recursos hídricos en España [Trabajo de grado, Universidad Pontificia Comillas]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/14419/TFG000714.pdf?sequence=1>
- Díaz Alonso, G., Álvarez Álvarez, E., & Gutiérrez Trashorras, A. J. (2013). Análisis de la aportación de la energía hidráulica al sistema energético nacional desde los años 90 a nuestros días [Trabajo de máster, Universidad de Oviedo]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/rF6q0V>
- Enriqueta, I., & Hernández, D. Á. (2014). Hidráulica. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. <http://www.uaeh.edu.mx/virtual>
- Fooladivanda, D., Domínguez-García, A. D., & Sauer, P. W. (2018). Utilization of water supply networks for harvesting renewable energy. *arXiv*. <http://arxiv.org/abs/1808.05046>

- Hadidi, A. (2024). Proposal and design a comprehensive framework to provide water and energy from rain and precipitation. *Water Resources and Industry*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2024.100263>
- Jiménez Terán, J. M., García Pacheco, V. H., Lozano Laez, D., Zavala Arreola, O., Ortiz Cedano, A., Castillo González, E., & Romero López, R. (2019). Manual de apuntes de la experiencia educativa de tuberías y canales. *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/686073805/Manual-De-Hidraulica-De-Tuberias-Y-Canales>
- Kobus, H., Plate, E., Shen, H. W., & Szöllösi-Nagy, A. (1994). La formación del ingeniero hidráulico. *Ingeniería del Agua*, 1(3). <https://iwaponline.com/ia/article/1/3/41/68137/la-formacion-del-ingeniero-hidraulico>
- Kumbhakar, P. (2021). Recolección de energía de lluvia mediante un nanogenerador impreso en 3D decorado con telururo de gadolinio de espesor atómico. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsanm.1c00428>
- Leyva López, M. I. (2019). Proyecto multipropósito: energía, agua y producción para la población originaria de Mojos. *Revista Ingeniería*, 3(5), 16–31. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v3i5.29>
- Li, Z., Cao, B., Zhang, Z., Wang, L., & Wang, Z. L. (2023). Rational TENG arrays as a panel for harvesting large-scale raindrop energy. *iEnergy*, 2(2), 93–99. <https://doi.org/10.23919/IEN.2023.0015>
- Lofman, D., Petersen, M., & Bower, A. (2002). Water, energy and environment nexus: The California experience. *International Journal of Water Resources Development*, 18(1), 73–85. <https://doi.org/10.1080/07900620220121666>
- Lopardo, R. A. (1995). La formación del ingeniero hidráulico para el siglo XXI. *Ingeniería del Agua*, Volumen 2(4). https://www.researchgate.net/publication/39431296_La_formacion_del_ingeniero_hidraulico_para_el_siglo_XXI
- Marín, C. E., & Marín, R. G. (2010). Agua y energía: Producción hidroeléctrica en España. *Investigaciones Geográficas*, 51, 107–129. <https://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/2010-n51-agua-y-energia-produccion-hidroelectrica-en-espana>

- Marín, C. E., Marín, R. G., Eulalia, A., & Guerrero, A. (2017). El resurgimiento de la energía minihidráulica en España y su situación actual. *Ingeniare*. 67,115-143
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022017000200007
- Ministerio de Transporte. (2010). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje.
<https://biblioteca.ucuenca.edu.ec/digital/files/original/bce6d60491e812db4affca62c8595c514466c56e.pdf>
- Morarka, A. R., Ghaisas, S. V., & Date, A. (2017). Design of a high sensitivity fluid energy harvester. *Energy Procedia*, 110, 298–303.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021730173X>
- Ortiz, C., Oro, X., García, I., & García, M. C. (2023). Aprovechamiento del potencial hidroenergético en una mini hidroeléctrica aislada. Vol. 44(2), 62-70.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9986189>
- Pozo, J. (2024). Análisis de datos de energía hidráulica. *AGRIS*.
<https://agris.fao.org/search/en/providers/125087/records/674891587625988a371daf50>
- Segura, O. (2015). La ingeniería hidráulica romana: Análisis de técnicas. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio institucional.
<https://riunet.upv.es/entities/publication/a6b5d470-47e8-4e14-a23e-884452fbdc05>
- Soria, E. (2001). Energía hidráulica. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
<https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2007/07/Cuadernos-Energias-Renovables-Para-Todos-Hidraulica-Fenercom.pdf>
- Vargas, J., Arango, J., Salazar, M., Torres, H., & Herrera, L. (2016). Prototype for mechanical energy transformation in electricity hydraulic. *Visión Electrónica*, 10(1), 1-10.
<https://doi.org/10.14483/22484728.11713>
- Zamora, B., Antonio, P., & Robles, V. (2016). Máquinas hidráulicas. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Cartagena.
<https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/7e221783-47af-4061-a21f-42a389821f0c/content>
- Zamudio, E. (2021). Diseño de instalaciones hidráulicas. *Scribd*.
<https://es.scribd.com/document/631978927/I-H-S-Diseno-I-H-S-Casa-4-Pisos>