

**Implementación de un sistema de automatización electrónica para la gestión eficiente del
consumo de recursos en viviendas urbanas**

Sergio Daniel Jiménez Forero

Asesor:

Néstor Javier Rodríguez García

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Tecnología en Automatización Electrónica

2026

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la fortaleza y sabiduría otorgada durante el desarrollo de este trabajo. A mi familia por su apoyo incondicional y motivación constante. A mi tutor académico y a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD por la orientación brindada. Finalmente, a todas las personas que de manera directa o indirecta contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

Resumen

El proyecto simula un sistema de automatización electrónica para una vivienda piloto en El Bosque, Usme (Bogotá), buscando optimizar consumo de energía y agua con soluciones sostenibles. Se modelaron paneles solares para generación limpia, sensores de movimiento para controlar iluminación en áreas de bajo tránsito y un sistema de recolección, filtrado y bombeo de aguas lluvia para limpieza, riego y sanitarios. La introducción plantea el problema del consumo excesivo en viviendas urbanas y la necesidad de tecnologías que promuevan un uso racional de recursos; la justificación destaca beneficios ambientales, sociales y académicos y la posible mejora en la calidad de vida. Los objetivos buscan diseñar y simular un sistema integrado que combine fotovoltaica, control de iluminación y aprovechamiento de aguas lluvias para reducir costos y fortalecer la sostenibilidad urbana. La metodología se desarrolló en tres fases: diseño (selección de componentes), simulación (integración eléctrica e hidráulica con controladores) y evaluación (pruebas con software especializado). Los resultados muestran reducción de dependencia de la red eléctrica, optimización de iluminación mediante sensores PIR y menor consumo de agua potable gracias a la reutilización pluviométrica. Concluye que la automatización, junto con energías renovables y gestión hídrica, es una alternativa replicable y viable a largo plazo pese a la inversión inicial.

Palabras clave: automatización electrónica, eficiencia energética, sostenibilidad urbana, paneles solares, sensores de movimiento, reutilización de aguas lluvias, vivienda piloto

Abstract

The project simulates an electronic automation system for a model home in El Bosque, Usme (Bogotá), aiming to optimize energy and water consumption through sustainable solutions. The design includes solar panels for clean energy generation, motion sensors to control lighting in low-traffic areas, and a system for collecting, filtering, and pumping rainwater for cleaning, irrigation, and plumbing. The introduction addresses the problem of excessive consumption in urban homes and the need for technologies that promote the rational use of resources; the rationale highlights environmental, social, and academic benefits, as well as the potential improvement in quality of life. The objectives aim to design and simulate an integrated system that combines photovoltaics, lighting control, and rainwater harvesting to reduce costs and strengthen urban sustainability. The methodology was developed in three phases: design (component selection), simulation (electrical and hydraulic integration with controllers), and evaluation (testing with specialized software). The results show a reduction in dependence on the electrical grid, optimization of lighting through PIR sensors, and lower consumption of potable water thanks to rainwater reuse. It concludes that automation, together with renewable energy and water management, is a replicable and viable long-term alternative despite the initial investment.

Keywords: electronic automation, energy efficiency, urban sustainability, solar panels, motion sensors, rainwater reuse, pilot house.

Tabla de Contenido

Introducción	11
Justificación	13
Objetivos.....	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
Planteamiento del Problema	15
Marco Teórico y Conceptual	17
Antecedentes de Investigación	17
Fundamentos Teóricos.....	19
Glosario de Términos.....	20
Análisis del Problema.....	21
Consumo de Energía Eléctrica y Deficiencias en la Iluminación	21
Sistema de Agua Potable y Ausencia de Recolección de Aguas Lluvias	23
Infraestructura Eléctrica e Hidráulica Disponible.....	25
Variables y Parámetros Identificados.....	28
Metodología.....	30
Fase 1: Diseño	30
Fase 2: Simulación	30
Fase 3: Evaluación	30

Desarrollo del Proyecto	32
Diagnóstico Inicial: se identificaron los consumos de energía y agua.....	32
Plano Unifilar Eléctrico e Hidráulico.....	33
Cálculos del Sistema Hidráulico	35
Simulación del Sistema Hidráulico	37
Simulación del Contactor Dentro del Tablero Eléctrico	40
Cálculos del Sistema Fotovoltaico	43
Simulación del Sistema Fotovoltaico Eléctrico	45
Recursos Necesarios	49
Diseño Integrado del Sistema Fotovoltaico y Tableros Eléctricos de la Vivienda Piloto.....	49
Descripción del Plano Eléctrico y Configuración del Sistema de Sensores:	54
Sistema Hidráulico	55
Selección y Justificación de Recursos.....	57
Análisis Económico y Costo–Beneficio	62
Resultados.....	63
Resultados en el Sistema Fotovoltaico.....	63
Resultados en el Sistema de Iluminación Automatizada	63
Resultados en el Sistema de Recolección y Aprovechamiento de Aguas Lluvias.....	63
Evaluación Integral del Sistema.....	64
Conclusión del Capítulo de Resultados.....	64

Conclusiones y Recomendaciones.....	65
Conclusiones	65
Recomendaciones.....	65
Referencias Bibliográficas	67

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Espesificaciones Electricas del Sistema</i>	59
Tabla 2 <i>Espesificaciones Hidraulicas del Sistema</i>	60
Tabla 3 <i>Espesificaciones Tecnicas del Sistema</i>	61

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Ubicación Sensor Tipo PIR Patio Primer Piso</i>	22
Figura 2 <i>Ubicación Sensor Tipo PIR Patio Segundo Piso</i>	22
Figura 3 <i>Ubicación Sensor Tipo PIR Entrada a la Casa</i>	23
Figura 4 <i>Ubicación Suministro de Agua Potable de la Red Pública</i>	24
Figura 5 <i>Techo Tipo Mariposa para la Recolección de Aguas</i>	25
Figura 6 <i>Tablero Eléctrico Primer Piso</i>	26
Figura 7 <i>Tablero Eléctrico Segundo Piso</i>	26
Figura 8 <i>Ubicación Bomba de Presión, Tanque Y Filtros</i>	27
Figura 9 <i>Ubicación de Paneles Solares</i>	28
Figura 10 <i>Metodología General del Proyecto Aplicado</i>	31
Figura 11 <i>Consumo de Agua en la Vivienda Piloto (m³)</i>	32
Figura 12 <i>Consumo Mensual de Energía Eléctrica en la Vivienda Piloto (kWh)</i>	32
Figura 13 <i>Diagrama unifilar del sistema eléctrico e hidráulico residencial</i>	35
Figura 14 <i>Simulación del Sistema Hidráulico en el Software FluidSIM</i>	37
Figura 15 <i>Simulación del Sistema Hidráulico Desde el Tanque de Suministro en el Software FluidSIM</i>	38
Figura 16 <i>Simulación en el Software FluidSIM del Sistema Hidráulico Desde el Tanque de Suministro</i>	39
Figura 17 <i>Simulación en el Software Cade Simu de la Conexión del Equipo de Presión en el Tablero Eléctrico</i>	40
Figura 18 <i>Simulación en el Software Cade Simu del Equipo de Presión Cuando se Enciende por el Presostato</i>	41

Figura 19 <i>Simulación en el software Cade Simu del equipo de presión cuando se apaga por el flotador.....</i>	42
Figura 20 <i>Simulación del Sistema Fotovoltaico en el Software Proteus</i>	45
Figura 21 <i>Simulación del Sistema Fotovoltaico Encendido en el Software Proteus</i>	47
Figura 22 <i>Esquema de Conexión del Sistema Fotovoltaico en el Software AutoCAD Electrical</i>	50
Figura 23 <i>Tablero Eléctrico del Segundo Piso con Distribución de Circuitos en el Software AutoCAD Electrical</i>	51
Figura 24 <i>Tablero eléctrico del primer piso con contactor de control de bomba en el software AutoCAD Electrical</i>	52
Figura 25 <i>Diagrama de Fuerza y Control para Automatización de la Bomba de Aguas Lluvias en el Software Cade Simu</i>	53
Figura 26 <i>Plano Eléctrico de la Vivienda Piloto con Ubicación de Sensores PIR en Entrada y Zonas de Lavado en el Software AutoCAD Electrical.....</i>	55
Figura 27 <i>Plano Hidráulico de la Vivienda Piloto con Red de Agua Potable, Canaleta de Recolección y Tubería de Conducción Hacia Tanque de Almacenamiento en el Software AutoCAD Electrical</i>	57

Introducción

El consumo excesivo de energía y agua en las viviendas urbanas es uno de los principales retos ambientales y económicos de nuestro tiempo. En ciudades como Bogotá, el crecimiento acelerado de la población, la fuerte dependencia de fuentes no renovables y el uso poco eficiente del agua potable han puesto bajo presión las redes de suministro. Esto no solo encarece los servicios públicos para las familias, sino que también contribuye al deterioro ambiental, al aumento de las emisiones contaminantes y a la disminución de recursos naturales esenciales.

Frente a este panorama, surge la necesidad de apostar por soluciones tecnológicas que permitan un uso más racional y eficiente de los recursos. La automatización electrónica, junto con el aprovechamiento de energías renovables y la reutilización de aguas lluvias, aparece como una alternativa real para avanzar hacia viviendas más sostenibles, económicas y responsables con el medio ambiente.

El presente proyecto plantea el diseño y la simulación de un sistema de automatización en una vivienda piloto ubicada en el barrio El Bosque, en la localidad de Usme, Bogotá. El sistema integra tres componentes principales: un sistema fotovoltaico para la generación de energía, sensores de movimiento para optimizar la iluminación en áreas de poco tránsito, y un sistema de recolección y filtrado de aguas lluvias destinado a su aprovechamiento en usos no potables dentro del hogar.

En cuanto al marco tecnológico, el proyecto se apoya en la aplicación de energías renovables mediante paneles solares fotovoltaicos, en el uso de sensores PIR para el control automático de la iluminación, y en sistemas de bombeo y filtración de agua integrados a una red hidráulica optimizada. Estos elementos se articulan a través de controladores y dispositivos de

protección eléctrica e hidráulica que permiten garantizar la eficiencia, la seguridad y la confiabilidad del sistema. De esta forma, se demuestra cómo la convergencia de tecnologías en energía solar, automatización y gestión hídrica puede aplicarse de manera práctica en un entorno residencial.

El presente proyecto corresponde a un trabajo aplicado desarrollado bajo un entorno de simulación. Por lo tanto, las actividades de diseño, integración y evaluación de los sistemas eléctricos e hidráulicos se realizaron de manera virtual mediante software especializado, sin ejecución física en la vivienda piloto. Las descripciones de instalación, ubicación de equipos y operación del sistema corresponden a un escenario proyectado, concebido como base técnica para una futura implementación real.

Justificación

La relevancia de este proyecto radica en su capacidad para abordar de manera integral dos de los principales desafíos que enfrentan las viviendas urbanas en la actualidad: el alto costo de los servicios públicos y la necesidad urgente de reducir el impacto ambiental en entornos con alta densidad poblacional. En un contexto como el de Bogotá, donde el consumo energético y el desperdicio de agua representan un problema recurrente, la implementación de sistemas basados en tecnologías limpias y automatización electrónica se convierte en una estrategia viable para optimizar el uso de los recursos disponibles.

La incorporación de paneles solares, sensores de movimiento y un sistema de recolección, filtrado y bombeo de aguas lluvias no solo responde a la demanda de soluciones sostenibles, sino que además plantea un modelo replicable en otras viviendas urbanas, ofreciendo beneficios tanto económicos como ambientales. Con ello, se promueve la eficiencia en el consumo de energía y agua, al tiempo que se disminuye la presión sobre las redes públicas de abastecimiento.

Desde el ámbito académico, este proyecto constituye un espacio para aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos en automatización electrónica, fortaleciendo la formación profesional y fomentando la innovación tecnológica. En lo social, impulsa una cultura de sostenibilidad en la comunidad y en lo personal representa una oportunidad para consolidar el compromiso con el desarrollo sostenible y el crecimiento profesional.

Objetivos

Objetivo General

Optimizar el consumo de energía y agua en una vivienda urbana piloto ubicada en la localidad de Usme, Bogotá, mediante la implementación de un sistema de automatización electrónica que integre tecnologías renovables, como la generación fotovoltaica, sensores de movimiento y un sistema de captación y filtrado de aguas lluvias, en un entorno simulado.

Objetivos Específicos

Diseñar un sistema de generación fotovoltaica que optimice el uso de energía en la vivienda piloto, teniendo en cuenta factores técnicos como la radiación solar disponible en la zona, el ángulo de inclinación óptimo de los paneles y la capacidad de almacenamiento en baterías.

Simular la instalación y configuración de sensores de movimiento en áreas de bajo tránsito con el fin de gestionar de manera automatizada la iluminación, utilizando luminarias LED de bajo consumo que contribuyan a disminuir la demanda eléctrica innecesaria.

Desarrollar e integrar un sistema de recolección, filtrado, almacenamiento y distribución de agua de lluvia para su aprovechamiento en actividades domésticas, tales como el riego, la limpieza de espacios y el suministro en sanitarios.

Planteamiento del Problema

El consumo de energía y agua en viviendas urbanas en Colombia refleja una alta dependencia de recursos no renovables y una gestión ineficiente de los servicios básicos. En la actualidad, gran parte de la energía eléctrica en los hogares se destina a actividades cotidianas como la iluminación, mientras que un volumen considerable del agua potable se utiliza en tareas que no requieren de este recurso en su estado más puro, como el lavado de ropa, el riego o la limpieza general. Esta situación no solo incrementa los costos económicos para las familias, sino que también genera una presión constante sobre las redes de abastecimiento de energía y agua, contribuyendo al agotamiento de recursos naturales y al deterioro ambiental.

El rápido crecimiento urbano de ciudades como Bogotá ha intensificado esta problemática, evidenciando la necesidad de transformar la manera en que se gestionan los recursos dentro de los hogares. La implementación de sistemas de automatización electrónica, combinados con el aprovechamiento de fuentes renovables como la energía solar y la reutilización de aguas lluvias, se perfila como una alternativa viable para enfrentar este desafío. Estos sistemas permiten optimizar el consumo, reducir el desperdicio y promover prácticas más responsables y sostenibles en el uso de los recursos.

La adopción de tecnologías innovadoras en viviendas urbanas puede representar un cambio significativo en la construcción de ciudades sostenibles y resilientes, donde la eficiencia energética e hídrica se convierta en un pilar fundamental para mejorar la calidad de vida de las familias y reducir el impacto ambiental.

Pregunta de investigación:

¿Cómo puede la automatización electrónica optimizar el consumo de recursos energéticos e hídricos en viviendas urbanas, promoviendo la sostenibilidad y reduciendo los costos familiares?

Marco Teórico y Conceptual

Antecedentes de Investigación

La implementación de tecnologías de automatización electrónica para la optimización del consumo energético e hídrico en viviendas urbanas ha sido ampliamente estudiada en distintos contextos, tanto a nivel nacional como internacional.

En el ámbito nacional, investigaciones como la de Chinchilla y Salinas (2022) evidencian la viabilidad de integrar sistemas fotovoltaicos en conjuntos residenciales de Bogotá, destacando su potencial para reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y generar ahorros significativos en los costos de energía. De igual manera, Gil (2025) diseñó un sistema solar de bombeo de agua en La Guajira, demostrando cómo la energía renovable puede garantizar el acceso al recurso hídrico en comunidades vulnerables, un antecedente aplicable al uso de aguas lluvias en entornos urbanos.

Asimismo, estudios como los de Smith et al. (2022) sobre ciudades sostenibles, y Ospina (2011) sobre eficiencia energética en edificaciones no residenciales, resaltan la importancia de la automatización en la construcción de entornos urbanos más responsables con el medio ambiente.

En el contexto internacional, AlFaris (2018) analizó la gestión de la demanda energética en viviendas y centros educativos del Golfo Pérsico, identificando cómo la automatización y el control inteligente contribuyen a reducir el consumo. Igualmente, Carrillo (2014) propuso metodologías para optimizar el uso del agua y la energía en redes de riego presurizadas, principios que pueden aplicarse a sistemas de reutilización de aguas pluviales en viviendas urbanas.

Estos antecedentes coinciden en que la automatización no solo disminuye los costos familiares, sino que además promueve prácticas sostenibles que reducen el impacto ambiental y fortalecen la resiliencia de las ciudades.

Fundamentos Teóricos

Automatización electrónica. Se refiere al uso de sensores, actuadores y controladores electrónicos que permiten gestionar de forma eficiente los sistemas eléctricos e hidráulicos en una vivienda. En este proyecto, la automatización se simuló mediante controladores industriales y dispositivos de conmutación que regulan el funcionamiento de luminarias, bombas de agua y demás equipos, optimizando el consumo de energía y agua. Estos sistemas permiten el monitoreo y la operación automática en función de variables como presencia de personas, presión del agua y niveles de almacenamiento, garantizando un uso racional de los recursos y mejorando la sostenibilidad de la vivienda (Smith et al., 2022; Ospina, 2011).

Eficiencia energética. Consiste en reducir el consumo de energía sin afectar el confort ni la calidad de vida de los usuarios. Entre las estrategias más aplicadas se encuentran el uso de paneles solares fotovoltaicos, luminarias LED, sensores de movimiento y dispositivos de control centralizado, lo que contribuye a un aprovechamiento más racional de los recursos energéticos (AlFaris, 2018; Rodríguez Calvo, 2017).

Energía solar fotovoltaica. Se basa en el aprovechamiento de la radiación solar para generar electricidad limpia mediante paneles solares. En Bogotá, la radiación promedio permite el dimensionamiento de sistemas capaces de suplir parte significativa del consumo residencial, reduciendo la presión sobre la red eléctrica (Chinchilla & Salinas, 2022; Gil, 2025).

Reutilización de aguas lluvias. Implica la captación, filtrado y almacenamiento del agua proveniente de precipitaciones para su uso en actividades no potables, como riego de jardines, limpieza y descarga de sanitarios. Este proceso contribuye a disminuir la demanda de agua potable, un recurso cada vez más escaso en las ciudades (Carrillo, 2014; Gil, 2025).

Tecnologías verdes. Se definen como dispositivos y procesos diseñados para minimizar el impacto ambiental y promover la sostenibilidad. En este proyecto se incluyen los sistemas fotovoltaicos, los sensores de bajo consumo, las luminarias LED y los equipos de filtrado y bombeo de agua eficientes, los cuales se consideran herramientas clave para la construcción de ciudades sostenibles (García, 2021; López Gómez, 2021).

Glosario de Términos

Automatización: Aplicación de tecnologías que permiten operar sistemas eléctricos, electrónicos o hidráulicos sin intervención manual constante.

Eficiencia energética: Uso óptimo de la energía para reducir pérdidas y maximizar el rendimiento de los sistemas.

Paneles solares: Dispositivos capaces de transformar la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico.

Sensores de movimiento: Equipos electrónicos que detectan la presencia de personas en un espacio, activando o desactivando sistemas como la iluminación.

Reutilización de aguas pluviales: Proceso de captación, almacenamiento y tratamiento de agua de lluvia para usos domésticos no potables.

Tecnologías verdes: Herramientas, dispositivos y procesos orientados a mitigar los efectos del cambio climático y a fomentar la sostenibilidad urbana.

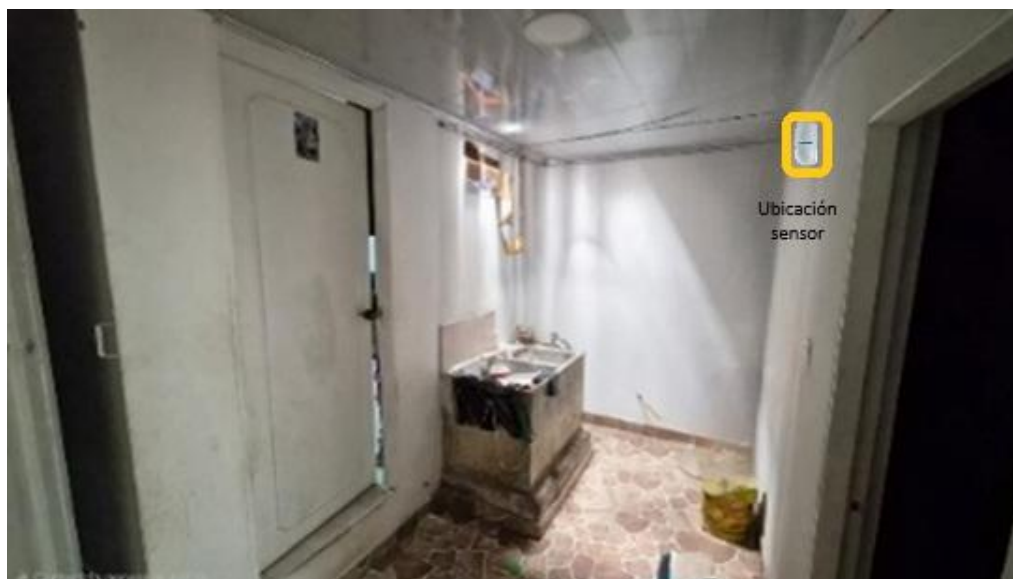
Análisis del Problema

El análisis del problema realizado en la vivienda piloto ubicada en el barrio El Bosque, localidad de Usme, permitió identificar de manera detallada las condiciones actuales de consumo energético e hídrico, así como los puntos críticos que justifican la implementación del sistema de automatización. Este diagnóstico se obtuvo mediante observación directa, toma de registros de consumo y la inspección de los espacios en los que se planea instalar el sistema.

Consumo de Energía Eléctrica y Deficiencias en la Iluminación

El servicio de energía en la vivienda piloto refleja un consumo superior al promedio esperado para un hogar de su tamaño. En gran medida, este comportamiento se debe a la falta de control sobre la iluminación en zonas de bajo tránsito, como la entrada principal y las áreas de lavado en los dos pisos. Actualmente, las luminarias instaladas funcionan de manera manual, lo que ocasiona que en múltiples ocasiones permanezcan encendidas durante largos periodos sin que haya ocupación en los espacios.

Se observó además que el sistema de iluminación se encuentra compuesto por bombillas de mediana eficiencia, lo que incrementa la carga eléctrica innecesaria. Esta situación no solo genera un gasto económico adicional, sino que también aumenta la dependencia de la red pública.

Figura 1*Ubicación Sensor Tipo PIR Patio Primer Piso*

Nota. Elaboración propia.

Figura 2*Ubicación Sensor Tipo PIR Patio Segundo Piso*

Nota. Elaboración propia.

Figura 3

Ubicación Sensor Tipo PIR Entrada a la Casa



Nota. Elaboración propia.

Sistema de Agua Potable y Ausencia de Recolección de Aguas Lluvias

En cuanto al recurso hídrico, se identificó que la vivienda depende exclusivamente del suministro de agua potable proveniente de la red pública. Este recurso se emplea de manera indiscriminada en actividades como el lavado de ropa, la limpieza de pisos, el riego de plantas y la descarga de sanitarios, tareas que no requieren agua tratada de calidad potable.

Figura 4*Ubicación del Suministro de Agua Potable de la Red Pública*

Nota. Elaboración propia.

La vivienda cuenta con un techo tipo mariposa que facilita la canalización de aguas lluvias hacia un punto de recolección natural; sin embargo, actualmente no se dispone de sistemas de almacenamiento ni de filtrado que permitan aprovechar este recurso. Como consecuencia, el agua de lluvia se desperdicia y se incrementa el consumo del acueducto.

Figura 5*Techo Tipo Mariposa para la Recolección de Aguas*

Nota. Elaboración propia.

Infraestructura Eléctrica e Hidráulica Disponible

Durante la revisión de la infraestructura existente se identificó que la vivienda cuenta con tableros eléctricos básicos en cada piso, los cuales cumplen con la función de distribuir la energía hacia circuitos de iluminación y tomacorrientes. Sin embargo, no existe integración con sistemas de control ni dispositivos de automatización que permitan un uso más racional de los recursos.

Justo al lado de la entrada principal se ubica el tablero eléctrico que controla el primer piso de la vivienda, el cual se modificará para permitir el control de la bomba de agua.

Asimismo, en el segundo piso se encuentra otro tablero, espacio que será adecuado para la instalación del controlador MPPT, el inversor y el banco de baterías.

Figura 6*Tablero Eléctrico Primer Piso*

Nota. Elaboración propia.

Figura 7*Tablero Eléctrico Segundo Piso*

Nota. Elaboración propia.

En el aspecto hidráulico, las conexiones actuales se limitan a la red convencional de agua potable y a los desagües sanitarios, sin que exista una red paralela para agua no potable. Justo

debajo de las escaleras quedarían ubicados el tanque de almacenamiento, los filtros y la bomba de presión que se integrarán para el tratamiento del agua lluvia recolectada. Desde allí, la red se conectará con la cocina, el baño y el patio del primer piso, para luego subir hacia el segundo piso, donde el agua tratada se distribuirá al patio, al baño y la cocina del segundo piso.

Figura 8

Ubicación Bomba de Presión, Tanque Y Filtros



Nota. Elaboración propia.

Finalmente, en el techo de la vivienda se ubicarán los paneles solares, los cuales presentan una ventaja por la ubicación elevada del terreno, lo que permite una mejor captación de radiación solar.

Figura 9

Ubicación de Paneles Solares



Nota. Elaboración propia.

Variables y Parámetros Identificados

Del diagnóstico realizado se pueden destacar los siguientes parámetros y variables principales:

Consumo eléctrico mensual: promedio de 250 kWh, con picos elevados en horas nocturnas.

Consumo de agua potable: varía entre 31 m³ y 45 m³ mensuales, con alta proporción destinada a usos no potables.

Condiciones de iluminación: presencia de luminarias encendidas en áreas de tránsito esporádico.

Condiciones de la cubierta: techo tipo mariposa que facilita la captación de agua, pero sin infraestructura de aprovechamiento.

Infraestructura disponible: tableros eléctricos básicos y red hidráulica convencional sin integración de tecnologías sostenibles.

Metodología

La metodología del proyecto se divide en tres fases: diseño, simulación y evaluación.

Fase 1: Diseño

- Diagnóstico inicial del consumo energético e hídrico en la vivienda piloto.
- Diseño del sistema fotovoltaico con software de simulación.
- Definición del sistema de sensores de movimiento y luminarias LED.
- Diseño del sistema de recolección y filtrado de aguas lluvias.

Fase 2: Simulación

En esta fase se realizó la simulación y se construyó a partir de elementos físicos para una futura implementación del sistema, empleando herramientas de simulación eléctrica e hidráulica que permitieron modelar el comportamiento real de los componentes seleccionados. Las actividades desarrolladas fueron:

- Simulación del sistema fotovoltaico, incluyendo paneles solares, controlador MPPT, banco de baterías e inversor.
- Simulación de la configuración de sensores de movimiento tipo PIR y luminarias LED para el control automático de la iluminación.
- Modelado del sistema hidráulico de recolección, filtrado, almacenamiento y bombeo de aguas lluvias.

Fase 3: Evaluación

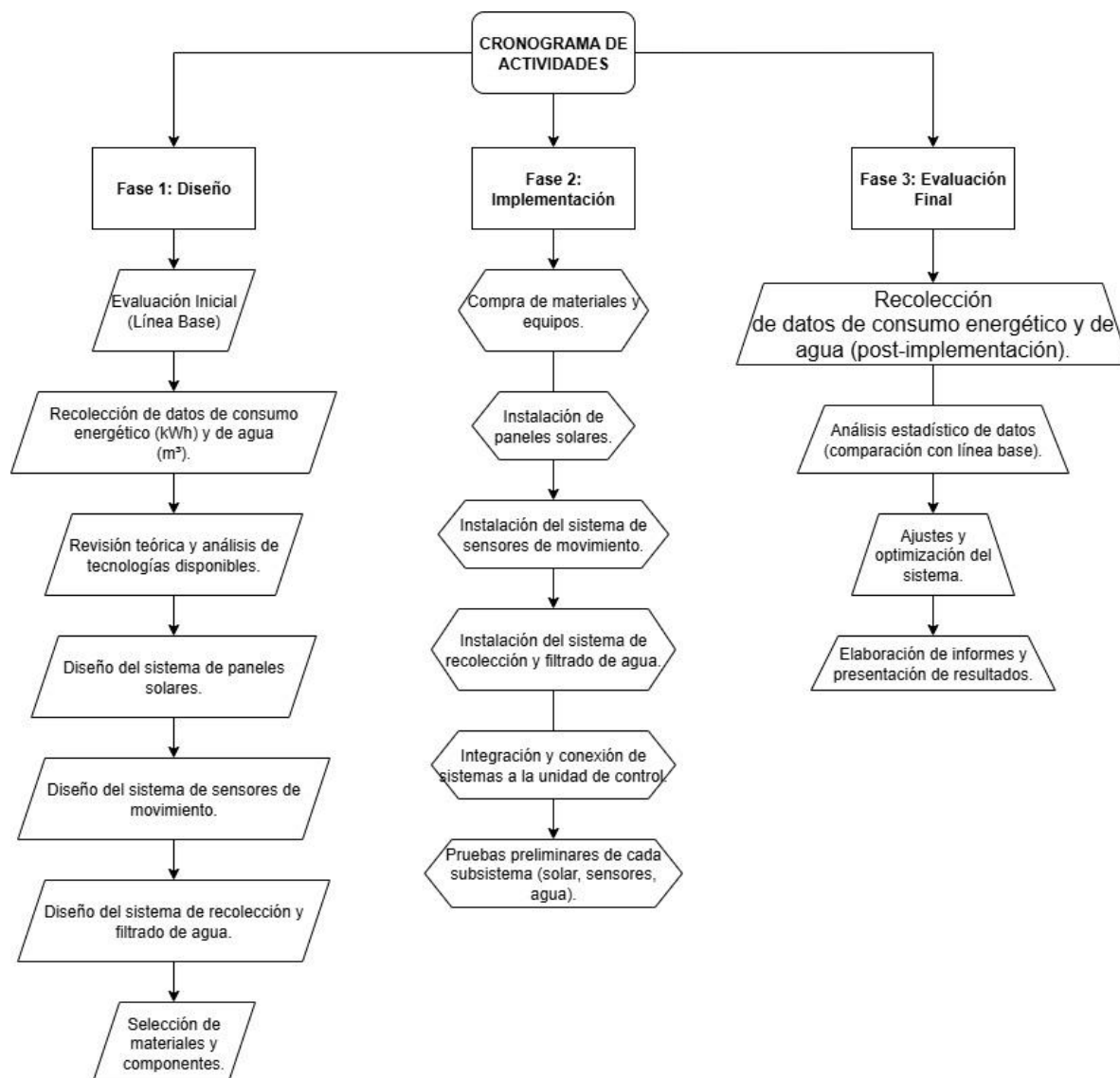
- Monitoreo de datos (kWh generados, litros de agua reutilizada).
- Análisis estadístico y ajustes del sistema.

- Documentación y presentación de resultados.

El cronograma de actividades se organiza en seis meses, considerando diseño, instalación, pruebas y análisis de resultados.

Figura 10

Metodología General del Proyecto Aplicado



Nota. Elaboración propia.

Desarrollo del Proyecto

El desarrollo del proyecto se realizó en una vivienda piloto ubicada en el barrio El Bosque, localidad de Usme. En esta etapa se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Diagnóstico Inicial: se identificaron los consumos de energía y agua.

Figura 11

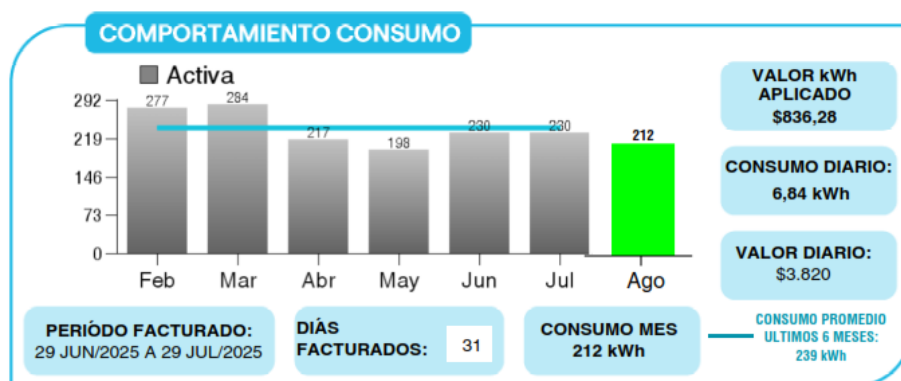
Consumo de Agua en la Vivienda Piloto (m³)



Nota. Elaboración propia a partir de la información del recibo de agua (Jiménez Forero, 2025).

Figura 12

Consumo Mensual de Energía Eléctrica en la Vivienda Piloto (kWh)



Nota. Elaboración propia a partir de la información del recibo de energía

Plano Unifilar Eléctrico e Hidráulico

El diagrama presentado integra de manera secuencial los procesos de instalación de los sistemas eléctricos e hidráulicos de la vivienda piloto, permitiendo visualizar de forma clara y ordenada el flujo de actividades y la interconexión de sus componentes principales.

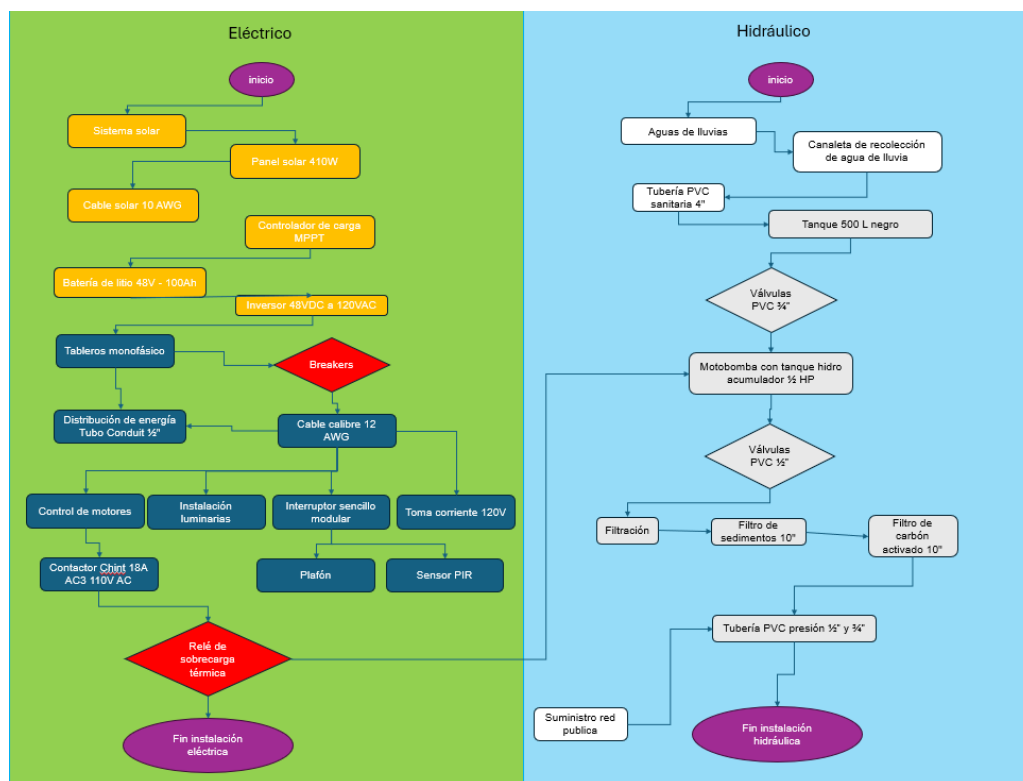
En la sección eléctrica, se detalla el recorrido desde el sistema fotovoltaico, compuesto por paneles solares de 410 W conectados en serie, hasta la distribución final de energía en la vivienda. El flujo muestra la conexión de los paneles a través de cableado calibre 10 AWG hacia el controlador de carga MPPT, el cual regula la energía hacia el banco de baterías de litio de 48 V y 100 Ah. Posteriormente, se incluye el inversor encargado de transformar la corriente continua en alterna y su conexión al tablero monofásico de 75 A, que protege los circuitos mediante un breaker de 40 A. La energía se distribuye por medio de tubo Conduit y cableado 12 AWG a tomacorrientes, luminarias, sensores PIR y el contactor para el control de motores, incorporando protecciones adicionales como relés térmicos para garantizar la seguridad del sistema.

En la sección hidráulica, el diagrama de la figura 13 representa el proceso de captación y aprovechamiento de aguas lluvias. La secuencia inicia en la canaleta metálica de recolección, sigue hacia la tubería PVC sanitaria de 4" y desemboca en un tanque de almacenamiento de 500 L. Desde allí, el agua es impulsada por una motobomba con tanque hidroneumático de ½ HP, atravesando un sistema de filtrado compuesto por cartuchos de sedimentos y carbón activado, para finalmente ser distribuida mediante tuberías de presión PVC hacia los puntos de consumo en ambos pisos.

Este diagrama facilita la comprensión de la lógica de instalación, asegurando que los procesos se ejecuten de manera ordenada, eficiente y en cumplimiento con las normas técnicas vigentes para instalaciones residenciales.

Figura 13

Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico e Hidráulico Residencial



Nota. Elaboración propia.

Cálculos del Sistema Hidráulico

Con base en los criterios de eficiencia hídrica de Carrillo C, M. T. (2014), el sistema permite captar $1,3 \text{ m}^3$ (1300 L) por lluvia en 65 m^2 , de los cuales se aprovechan 260 L considerando pérdidas del 80%.

La motobomba de $\frac{1}{2}$ HP con caudal de 40 L/min llena un tanque de 500 L en 12,5 minutos, garantizando operación eficiente.

Con un consumo mensual de 38 m^3 , el ahorro estimado del 30% representa $11,4 \text{ m}^3/\text{mes}$ ($136,8 \text{ m}^3/\text{año}$), evidenciando impacto en la gestión sostenible del agua.

- Volumen de agua recolectada

Área estimada de techo: 65 m²

Precipitación promedio considerada: 20 mm (0.02 m)

Volumen captado: $V = \text{Área} \times \text{Precipitación}$

$$V = 65 \text{ m}^2 \times 0.02 \text{ m} = 1.3 \text{ m}^3 = 1300 \text{ litros}$$

Considerando pérdidas del 80% eficiencia:

$$1300 \times 0.2 = 260 \text{ litros aprovechables por lluvia}$$

- Caudal de la bomba

Motobomba ½ HP

Caudal nominal: 40 L/min

Tiempo para llenar tanque 500 L:

$$500 / 40 = 12.5 \text{ minutos}$$

- Ahorro de agua

Consumo promedio mensual: 38 m³

Ahorro estimado 30%:

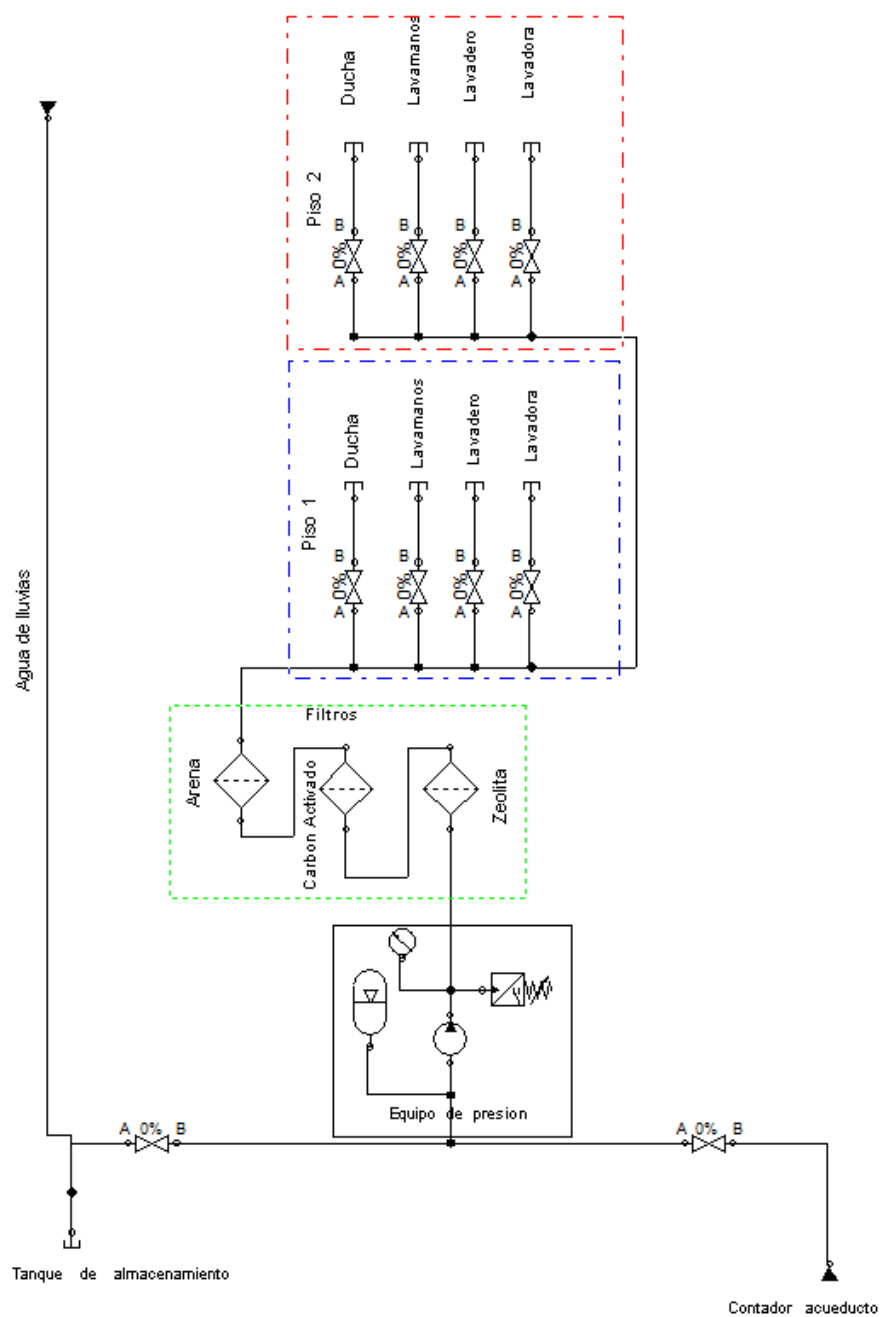
$$38 \times 0.30 = 11.4 \text{ m}^3/\text{mes}$$

$$\text{Ahorro anual: } 11.4 \times 12 = 136.8 \text{ m}^3$$

Simulación del Sistema Hidráulico

Figura 14

Simulación del Sistema Hidráulico en el Software FluidSIM

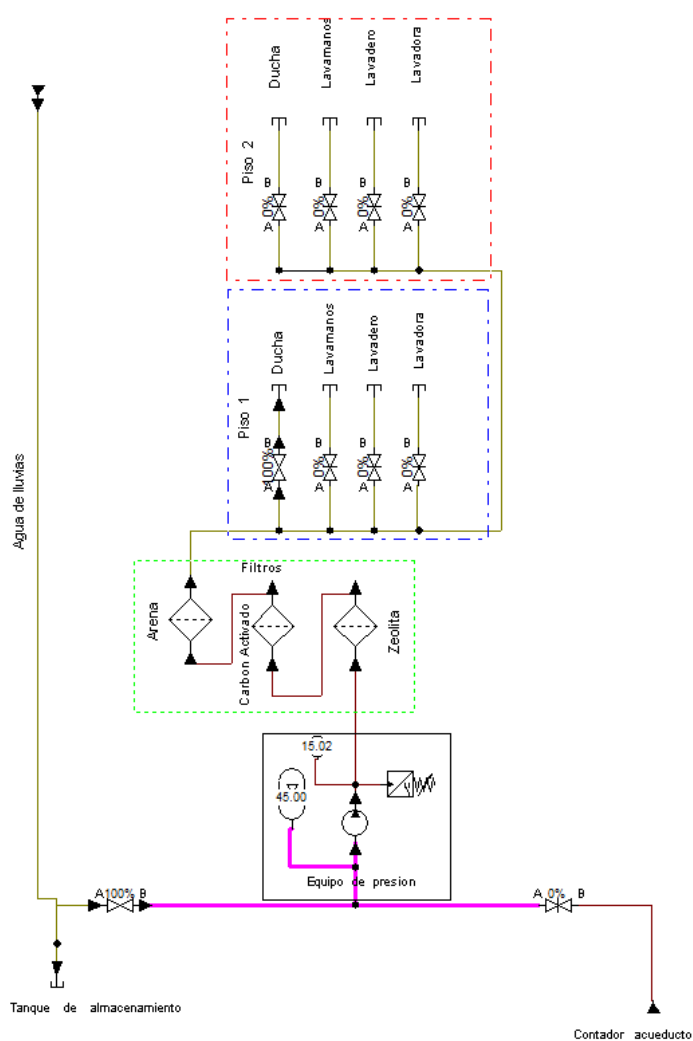


Nota. Elaboración propia.

En el estado inicial, con la simulación detenida, no se observa circulación de agua en la red. El tanque de almacenamiento permanece en reposo, la motobomba está apagada y los filtros no reciben caudal. Este escenario representa el sistema en espera, con todos los elementos conectados, pero sin operación activa, preparado para entrar en funcionamiento según las condiciones de demanda.

Figura 15

Simulación del Sistema Hidráulico Desde el Tanque de Suministro en el Software FluidSIM

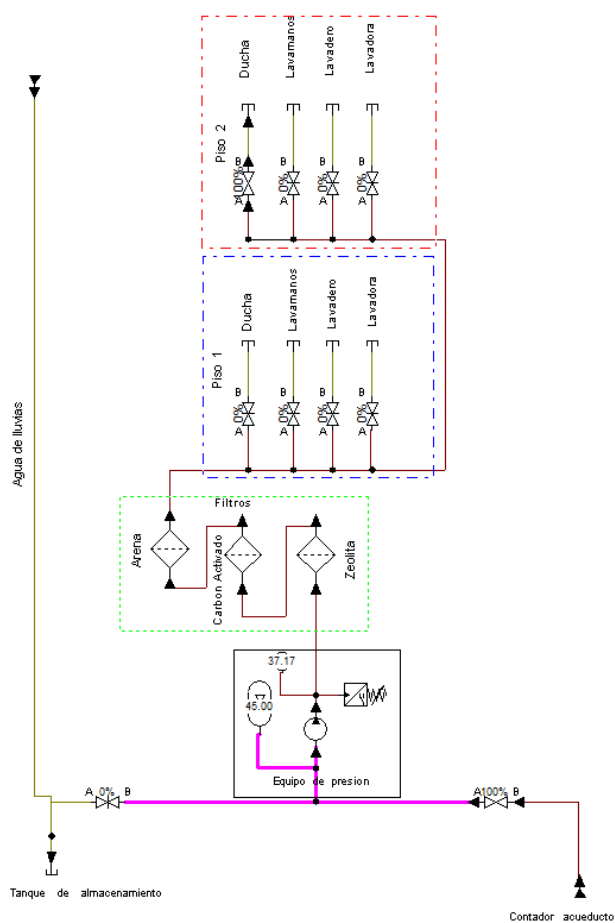


Nota. Elaboración propia.

Cuando la simulación se activa, el sistema comienza a operar con el agua proveniente de las lluvias recolectadas en la canaleta y almacenadas en el tanque principal. La motobomba impulsa el caudal hacia el equipo de presión, manteniendo un flujo estable. A continuación, el agua atraviesa el tren de filtrado compuesto por arena, carbón activado y zeolita, asegurando la eliminación de sólidos y compuestos indeseados. Una vez tratada, el agua se distribuye hacia los puntos de consumo en los dos pisos de la vivienda, garantizando un abastecimiento eficiente y sostenible.

Figura 16

Simulación en el Software FluidSIM del Sistema Hidráulico Desde el Tanque de Suministro



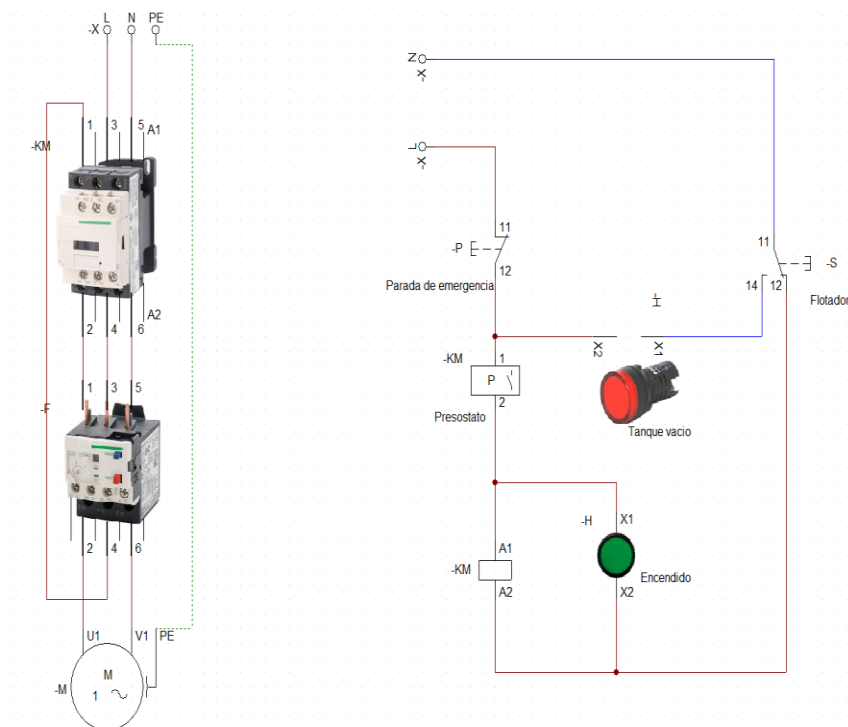
Nota. Elaboración propia.

En ausencia de lluvias, la simulación muestra la activación de la red alterna de abastecimiento, en la cual el sistema conmuta hacia el suministro de agua del acueducto. El líquido proveniente de la red pública pasa igualmente por el equipo de presión y los filtros antes de llegar a los puntos de consumo. De esta manera, se asegura la continuidad del servicio, evitando interrupciones y permitiendo que la vivienda cuente siempre con un suministro confiable, ya sea desde el agua pluvial tratada o desde la red convencional.

Simulación del Contactor Dentro del Tablero Eléctrico

Figura 17

Simulación en el Software Cade Simu de la Conexión del Equipo de Presión en el Tablero Eléctrico



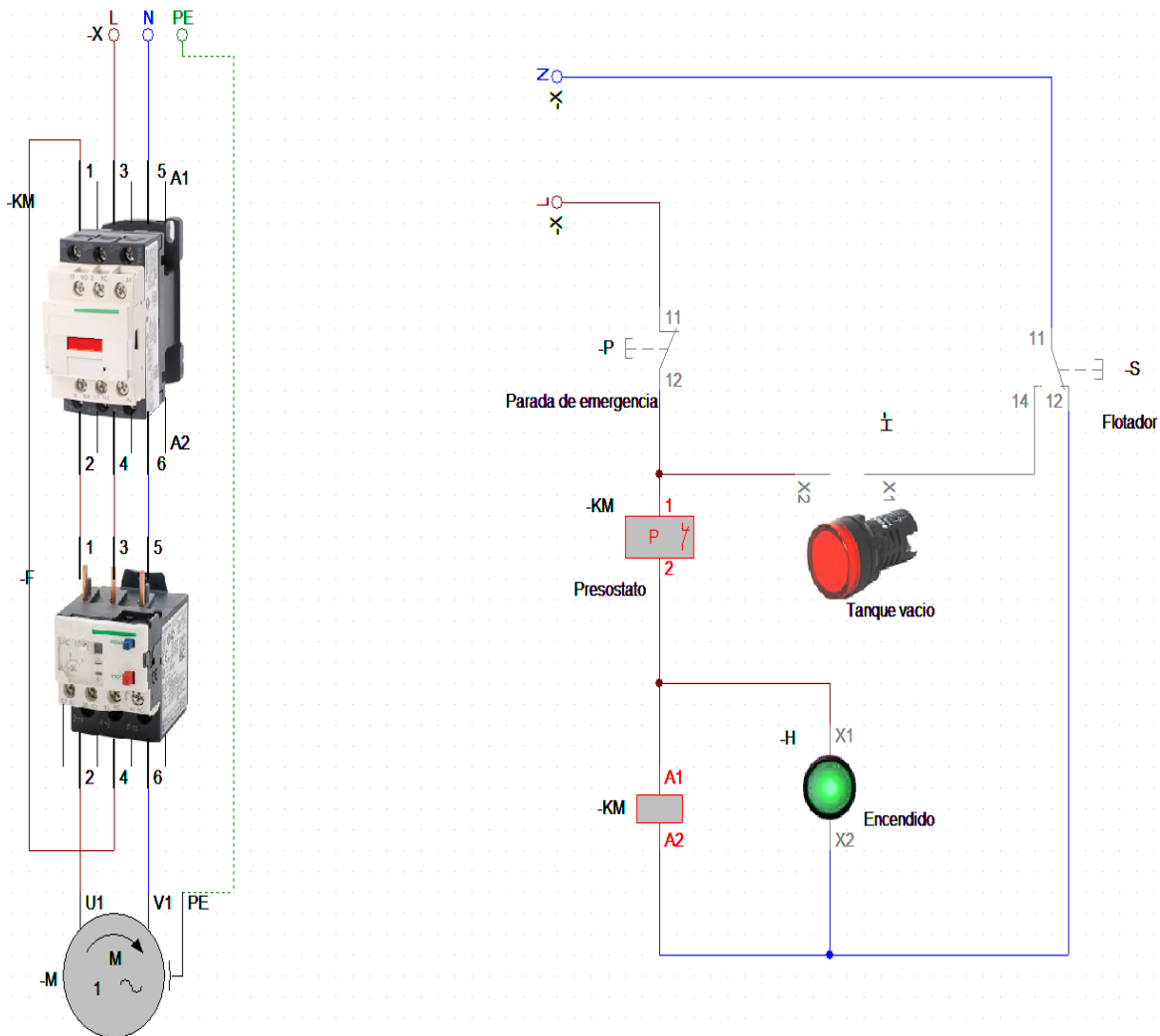
Nota. Elaboración propia.

En el estado inicial, con la simulación apagada, el circuito de fuerza y de control se encuentran abiertos, sin paso de corriente hacia la motobomba. Los interruptores, el presostato y

el flotador permanecen en reposo, y los indicadores luminosos no presentan señal de funcionamiento. Este estado refleja las condiciones de seguridad previas al arranque del sistema.

Figura 18

Simulación en el Software Cade Simu del Equipo de Presión Cuando se Enciende por el Presostato



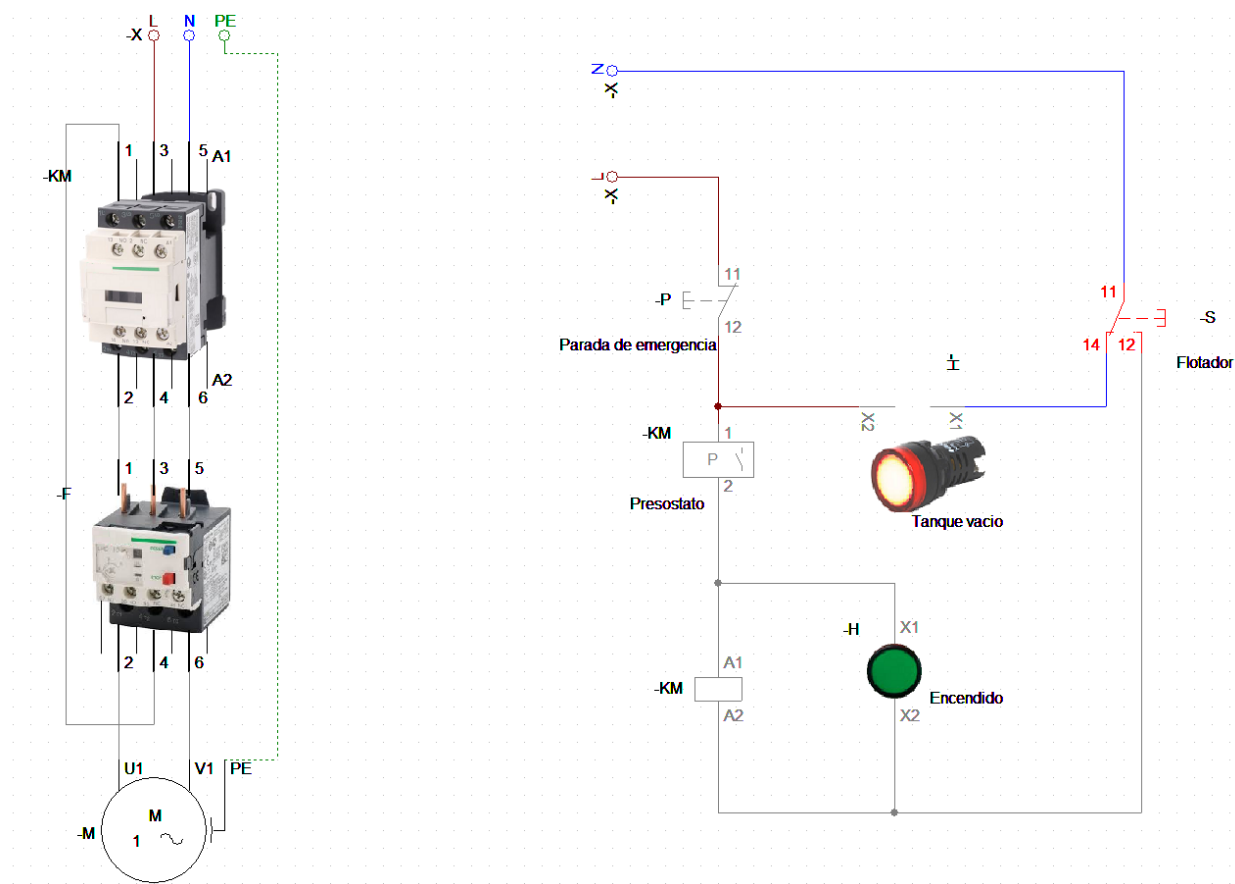
Nota. Elaboración propia.

Al iniciar la simulación, el presostato detecta una caída en la presión del sistema y cierra el circuito de control, lo que activa el contactor. De esta manera, se alimenta eléctricamente el

motor de la bomba a través del circuito de fuerza. El indicador luminoso de encendido se activa, señalando que la bomba está en operación y suministrando agua a la red hidráulica. Este escenario muestra cómo el presostato regula automáticamente el arranque de la bomba en respuesta a la presión de la instalación.

Figura 19

Simulación en el software Cade Simu del equipo de presión cuando se apaga por el flotador



Nota. Elaboración propia.

Cuando el nivel de agua en el tanque desciende a un punto crítico, el flotador abre el circuito de control, interrumpiendo la alimentación del contactor y deteniendo el motor. Al mismo tiempo, se enciende el indicador luminoso de tanque vacío, alertando sobre la falta de

agua disponible. Este mecanismo protege el motor de trabajar en vacío, evitando sobrecalentamiento y fallas, y asegura la operación confiable del sistema.

Cálculos del Sistema Fotovoltaico

Según el dimensionamiento óptimo reportado en Revista Técnica Energía (Villamarín, Saltos y Echever, 2026), el sistema de 6 paneles de 410 W instala 2,46 kW y genera aproximadamente 8,78 kWh/días reales considerando pérdidas del 15%.

Este valor cubre el 105% del consumo promedio diario de 8,33 kWh (250 kWh/mes) bajo 4,2 HSP en Bogotá.

El banco de 5 baterías de 48 V – 100 Ah proporciona una capacidad total de 24 kWh, asegurando almacenamiento y autonomía energética.

- Potencia total instalada

Número de paneles: 6

Potencia por panel: 410 W

Potencia total instalada:

$$P_{\text{total}} = 6 \times 410 \text{ W} = 2460 \text{ W} (2.46 \text{ kW})$$

- Energía generada diariamente

Radiación solar promedio en Bogotá: 4.2 horas pico solares (HSP)

$$E_{\text{día}} = 2.46 \text{ kW} \times 4.2 \text{ h} = 10.33 \text{ kWh/día}$$

Considerando pérdidas del sistema (~15%):

$$E_{\text{real}} = 10.33 \times 0.85 = 8.78 \text{ kWh/día}$$

- Cobertura del consumo

Consumo promedio vivienda: 250 kWh/mes

Consumo diario promedio:

$$250 \text{ kWh} / 30 \text{ días} = 8.33 \text{ kWh/día}$$

Porcentaje de cobertura:

$$(8.78 / 8.33) \times 100 = 105\% \text{ (teórico máximo en condiciones ideales)}$$

- Cálculo del banco de baterías

Capacidad batería: 48V – 100Ah

Energía almacenada:

$$E = V \times Ah$$

$$E = 48V \times 100Ah = 4800 \text{ Wh} = 4.8 \text{ kWh}$$

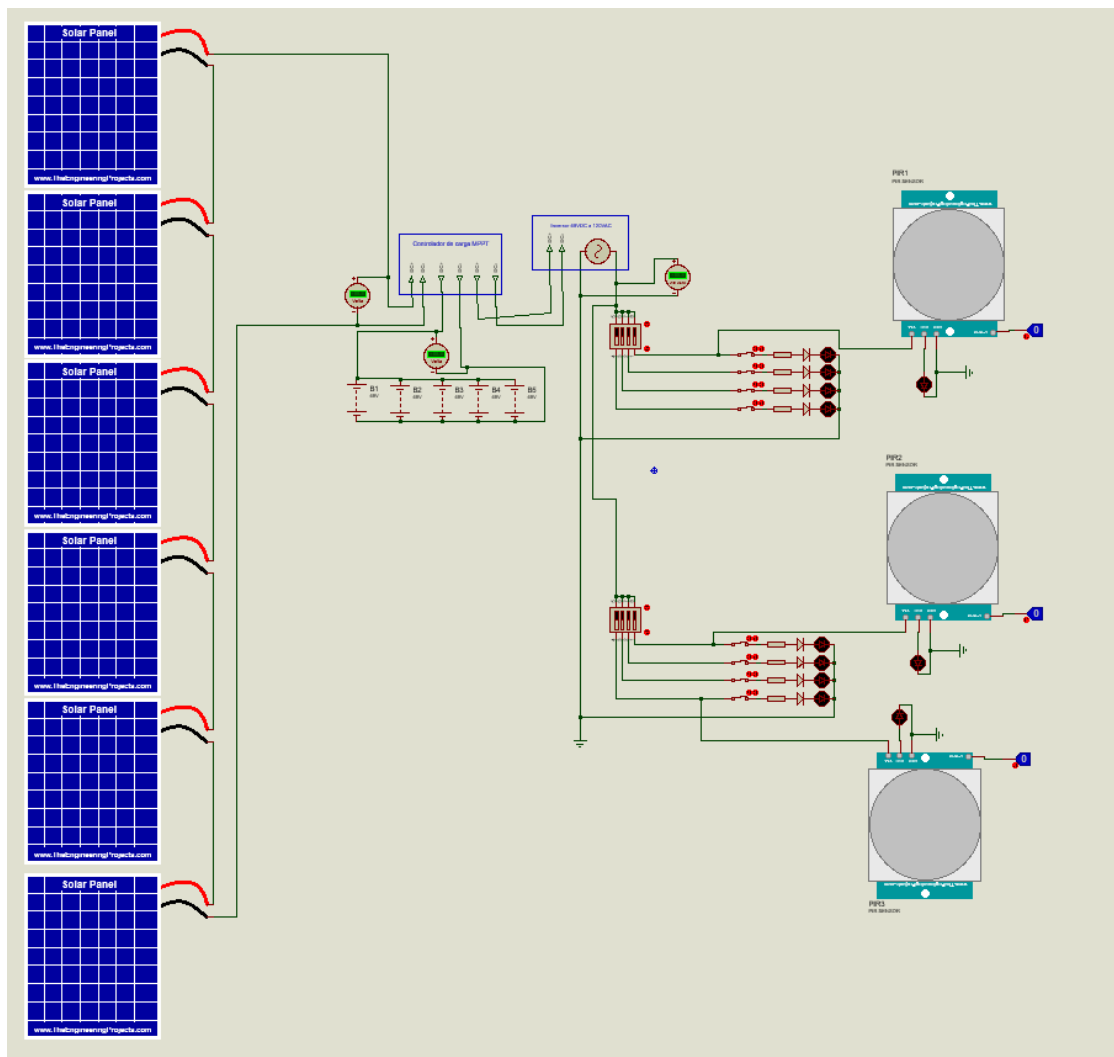
Si se usan 5 baterías en paralelo:

$$E_{\text{total}} = 4.8 \times 5 = 24 \text{ kWh}$$

Simulación del Sistema Fotovoltaico Eléctrico

Figura 20

Simulación del Sistema Fotovoltaico en el Software Proteus



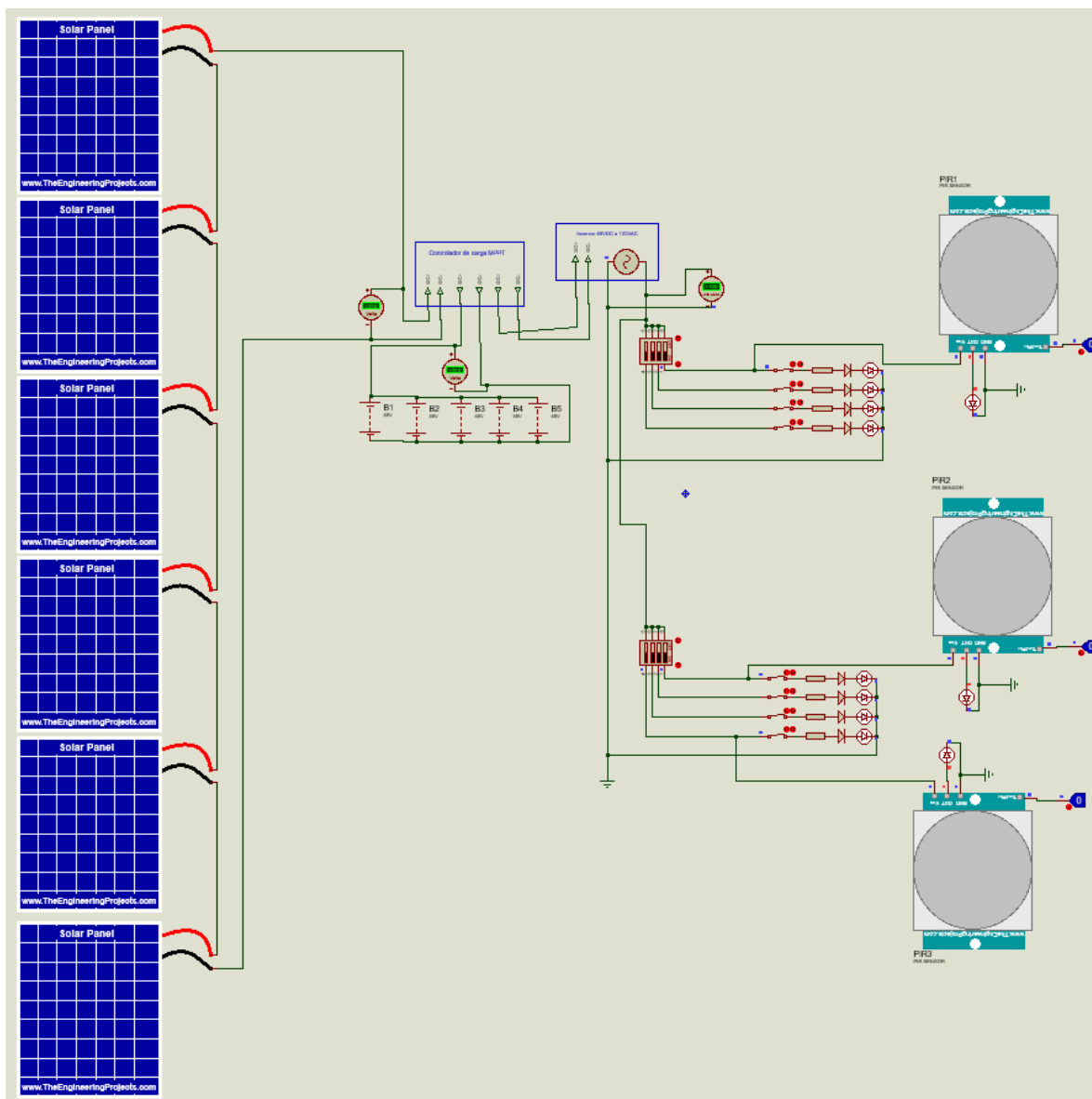
Nota. Elaboración propia.

En la primera imagen se observa la simulación en estado detenido. El sistema está compuesto por seis paneles solares conectados en serie, los cuales canalizan la energía hacia un controlador de carga tipo MPPT. Este dispositivo regula y optimiza el flujo de potencia hacia un banco de baterías conectadas en paralelo, asegurando la estabilidad y correcta gestión del

almacenamiento energético. Adicionalmente, se integra un inversor monofásico encargado de transformar la corriente continua (DC) proveniente de los paneles en corriente alterna (AC) de 120 V, destinada a la alimentación de los tableros eléctricos ubicados en el primer y segundo piso. Desde dichos tableros, la energía se distribuye hacia los circuitos de iluminación LED y a los sensores de movimiento PIR instalados en cada nivel. Sin embargo, al encontrarse el sistema apagado, no se registra flujo energético ni activación de cargas, lo que refleja un estado de reposo del modelo.

Figura 21

Simulación del Sistema Fotovoltaico Encendido en el Software Proteus



Nota. Elaboración propia.

En la segunda imagen se aprecia la simulación en funcionamiento. Los seis paneles solares conectados en serie generan aproximadamente 210 V en corriente continua, los cuales son canalizados hacia el controlador MPPT para optimizar la entrega de energía y simultáneamente alimentar el banco de baterías conectadas en paralelo, garantizando su proceso

de carga. Posteriormente, el inversor convierte los 210 VDC en 120 VAC, que se dirigen hacia los tableros eléctricos de distribución en ambos pisos. A partir de estos tableros, se suministra la energía a los circuitos de iluminación LED y al sistema de control. Al activarse los interruptores, las luminarias LED se encienden, reproduciendo el consumo eléctrico real de una vivienda. De manera complementaria, mediante el accesorio Logic Toggle se simula el movimiento de un usuario, lo que activa automáticamente los sensores PIR y genera la iluminación en las áreas configuradas. Este comportamiento evidencia la correcta integración entre el sistema de generación fotovoltaica, el almacenamiento en baterías y la automatización de la iluminación, validando el modelo como una solución eficiente, segura y sostenible para aplicaciones residenciales.

Recursos Necesarios

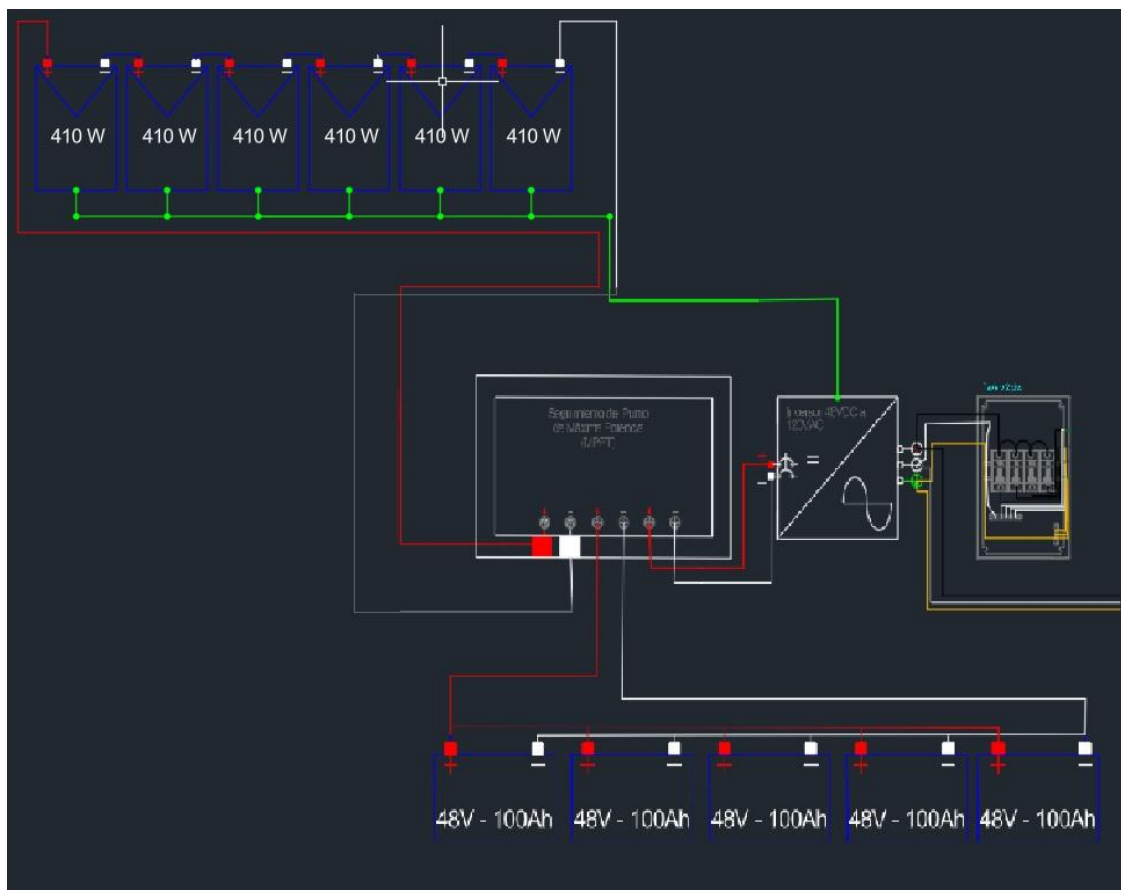
Diseño Integrado del Sistema Fotovoltaico y Tableros Eléctricos de la Vivienda Piloto

El sistema fotovoltaico simulado para la vivienda piloto está conformado por seis paneles solares de 410 W cada uno, conectados en serie y ubicados en el tejado para maximizar la captación de radiación solar. La energía generada en corriente continua (DC) es conducida hacia un controlador de carga tipo MPPT, que optimiza el punto de máxima potencia y regula el flujo de energía hacia el banco de baterías de 48 V y 100 Ah. Esta gestión eficiente de la carga prolonga la vida útil del sistema de almacenamiento. Posteriormente, la energía acumulada es convertida en corriente alterna (AC) mediante un inversor, lo que permite alimentar los diferentes circuitos de la vivienda.

El diseño incorpora un sistema de conmutación automática que prioriza el uso de energía solar y, en caso de descarga total del banco de baterías o falla del sistema fotovoltaico, transfiere de forma inmediata el suministro a la red pública, garantizando la continuidad del servicio eléctrico y evitando interrupciones. Esta configuración promueve un equilibrio entre eficiencia energética, autonomía operativa y confiabilidad, en línea con los objetivos de sostenibilidad del proyecto.

Figura 22

Esquema de Conexión del Sistema Fotovoltaico en el Software AutoCAD Electrical



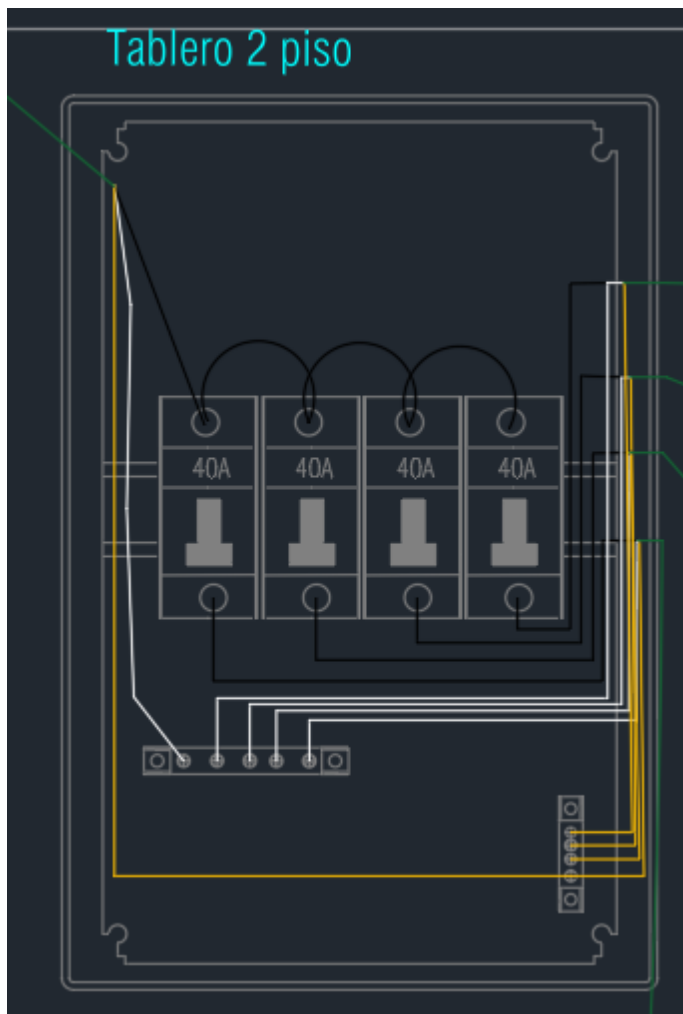
Nota. Elaboración propia.

La distribución de la energía eléctrica se realiza mediante dos tableros principales. El tablero del segundo piso está compuesto por interruptores termomagnéticos de 40 A que segmentan los circuitos de iluminación, tomacorrientes y dispositivos instalados en el nivel superior. Esta disposición facilita las labores de mantenimiento, mejora la seguridad de los ocupantes y permite un control independiente de cada área de la vivienda, evitando sobrecargas y asegurando el cumplimiento de normativas como el RETIE.

Figura 23

Tablero Eléctrico del Segundo Piso con Distribución de Circuitos en el Software AutoCAD

Electrical



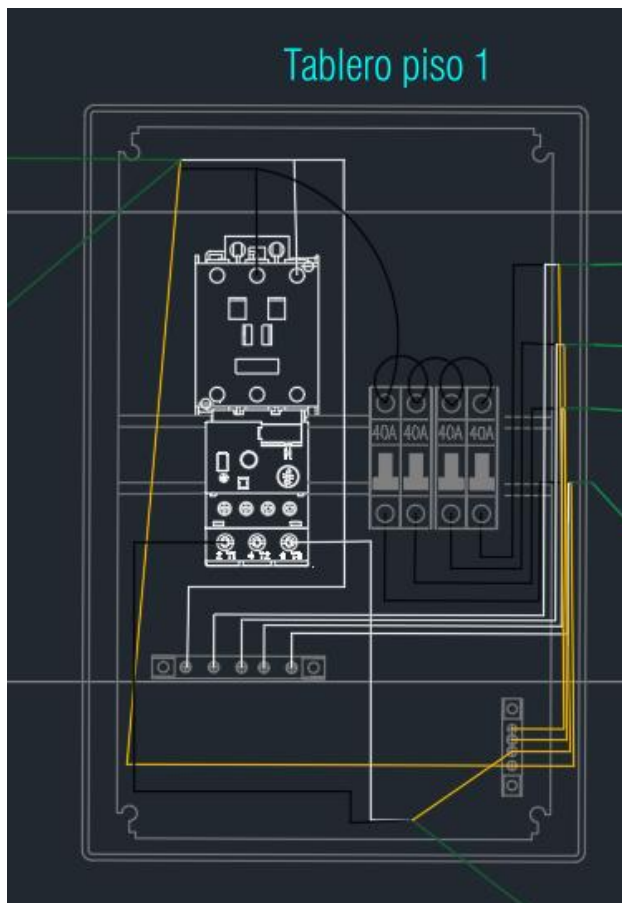
Nota. Elaboración propia.

El tablero del primer piso integra interruptores termomagnéticos de 40 A para la protección de los circuitos principales, junto con un contactor destinado al control automático de la bomba de agua del sistema de recolección de aguas lluvias. Este tablero trabaja en conjunto con el circuito de fuerza y control diseñado para la automatización del sistema hidráulico.

Figura 24

Tablero Eléctrico del Primer Piso con Contactor de Control de Bomba en el Software AutoCAD

Electrical



Nota. Elaboración propia.

En el circuito de fuerza, la alimentación monofásica pasa por un interruptor termomagnético y un contactor, que garantizan el seccionamiento seguro y la protección del motor de la bomba frente a sobre corrientes. En el circuito de control, se incluyen un botón de parada de emergencia, un presostato para la regulación de presión, un interruptor de flotador que detecta el nivel de agua en el tanque, un indicador luminoso de tanque vacío y un pulsador de encendido con señal luminosa. Esta configuración permite arranques automáticos o manuales

Descripción del Plano Eléctrico y Configuración del Sistema de Sensores:

El plano eléctrico de la vivienda piloto representa de manera detallada la distribución y conexión del sistema eléctrico en los dos niveles de la construcción. Se muestran los puntos de iluminación, tomacorrientes, interruptores y el cableado que interconecta cada uno de estos elementos, garantizando una cobertura completa en todas las áreas habitables.

El diseño destaca la instalación de tres sensores de movimiento tipo PIR, ubicados estratégicamente para maximizar la eficiencia energética: uno en la entrada principal de la casa para la activación automática de la iluminación al detectar presencia, otro en la zona de lavado del primer piso para facilitar el uso de este espacio sin necesidad de accionamiento manual de interruptores, y un tercero en la zona de lavado del segundo piso, asegurando la misma funcionalidad en el nivel superior. Estos sensores permiten que las luminarias se enciendan únicamente cuando hay movimiento, optimizando el consumo energético y reduciendo el desperdicio de electricidad.

Adicionalmente, el plano indica la conexión de la bomba de agua del sistema de recolección de aguas lluvias al tablero eléctrico principal, asegurando su correcta alimentación y protección mediante dispositivos de control y seccionamiento en cumplimiento con los requisitos establecidos por el RETIE y la NTC 2050.

Este esquema es fundamental para comprender la instalación eléctrica de la vivienda, ya que facilita el montaje, inspección y mantenimiento del sistema, garantizando que la instalación cumpla con los estándares de seguridad, eficiencia y confiabilidad exigidos en entornos residenciales modernos.

Figura 26

Plano Eléctrico de la Vivienda Piloto con Ubicación de Sensores PIR en Entrada y Zonas de Lavado en el Software AutoCAD Electrical



Nota. Elaboración propia.

Sistema Hidráulico

La vivienda piloto consta de dos niveles, distribuidos de manera funcional para satisfacer las necesidades de dos familias urbanas. En el primer piso se ubican el espacio técnico bajo las escaleras, donde se instalará el tanque de almacenamiento de aguas lluvias, el sistema de filtrado y la bomba presurizadora, con conexiones sanitarias que se integran al sistema de recolección y desagüe.

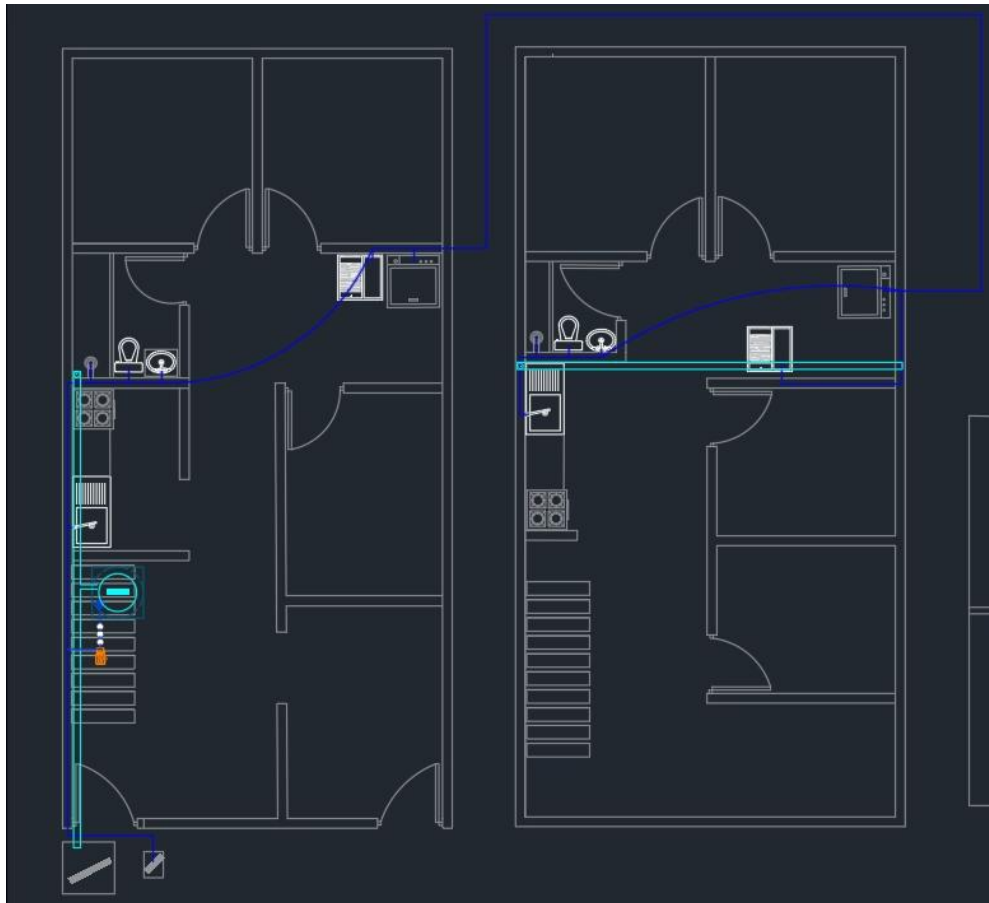
En el plano hidráulico se identifican tres elementos principales representados con líneas de color:

- Línea azul oscura: Corresponde a la red de agua potable, que abastece los puntos de consumo en ambos pisos, incluyendo lavamanos, sanitarios, cocina y zona de lavado.
- Línea azul clara horizontal: Representa la canaleta de recolección de aguas lluvias, ubicada estratégicamente para captar el agua del techo tipo mariposa y conducirla hacia el sistema de almacenamiento.
- Línea azul clara vertical: Indica la tubería sanitaria que transporta el agua de lluvia hacia el tanque con sistema de filtrado y bombeo, ubicado bajo la escalera del primer piso, desde donde se redistribuye para usos no potables como riego, limpieza y descargas de sanitarios.

Esta disposición garantiza un aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos, integrando la infraestructura hidráulica a la estrategia de sostenibilidad del proyecto.

Figura 27

Plano Hidráulico de la Vivienda Piloto con Red de Agua Potable, Canaleta de Recolección y Tubería de Conducción Hacia Tanque de Almacenamiento en el Software AutoCAD Eléctrico



Nota. Elaboración propia.

Selección y Justificación de Recursos

- Una vez definidos los planos y el diseño, se seleccionaron los recursos necesarios con base en criterios de normativa, eficiencia, durabilidad y compatibilidad técnica.
- Criterio normativo: todos los equipos cumplen RETIE y normas internacionales (IEC, NTC), lo que garantiza la seguridad y la legalidad de la instalación.
- Criterio de eficiencia: se eligieron paneles solares de alta eficiencia ($\geq 20\%$) y luminarias LED de bajo consumo, con el fin de maximizar el ahorro de energía.

- Criterio de durabilidad: las baterías de litio fueron preferidas frente a las de plomo-ácido por su mayor vida útil (≥ 6000 ciclos).
- Criterio de compatibilidad técnica: los sensores PIR, contactores y controladores fueron seleccionados considerando su integración con el sistema de control centralizado y la facilidad de mantenimiento.
- Criterio económico: se buscaron componentes con una relación costo-beneficio adecuada, priorizando marcas reconocidas y accesibles en el mercado nacional.

El proyecto consideró de recursos humanos y técnicos, organizados en la siguiente tabla:

Tabla 1*Especificaciones Eléctricas del Sistema*

Descripción	Marca/Modelo Sugerido	Norma/Certificación	Material	Especificaciones Técnicas	Uso/Aplicación
CABLE CALIBRE 12 AWG	Centelsa / Condumex	NTC 1332	Cobre con aislamiento THHN/THWN	3,31 mm ² , 600V, 90°C	Circuitos de iluminación y tomas
SENSOR PIR	Honeywell / Schneider	RETIE / NTC 2050	Plástico ABS	Cobertura 120°, 8-12 m, 110-240V AC	Control de iluminación por movimiento
CONTACTOR CHINT 18A AC3 110V AC	Chint NXC-18	IEC 60947-4-1	Plástico + aleación de plata	3 polos, 18A AC3, bobina 110V AC	Control de motores
RELÉ DE SOBRECARGA TÉRMICA	Chint NR2-25	IEC 60947-4-1	Plástico + metal	Ajustable 9-14A, clase 10	Protección contra sobrecarga
PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO 410W	JA Solar / Canadian Solar	IEC 61215, IEC 61730, RETIE	Vidrio templado + aluminio	410W, Vmp ≈ 34V, Imp ≈ 12A, eficiencia ≥ 20%	Generación de energía solar
CONTROLADOR DE CARGA MPPT	Victron / EPEver	IEC 62109, RETIE	Plástico + aluminio	MPPT, entrada 100VDC, salida 48VDC, 60A	Control y optimización de carga solar
INVERSOR 48VDC A 120VAC	Growatt / Victron	IEC 62109, RETIE	Carcasa metálica	3000W, onda senoidal pura, 120V AC	Conversión de energía DC a AC
BATERÍA DE LITIO 48V - 100AH	Pylontech / BYD	IEC 62619, UN38.3	Carcasa metálica, LiFePO4	48V, 100Ah, 4,8 kWh, ≥ 6000 ciclos	Almacenamiento de energía
CABLE SOLAR 10 AWG	Prysmian / Condumex Solar	IEC 62930, RETIE	Cobre estañado + XLPE	5,26 mm ² , 0,6/1kV, resistente UV	Conexiones en sistema solar

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2*Especificaciones Hidráulicas del Sistema*

Descripción	Marca/Mo- delo Sugerido	Norma/Certific- ación	Material	Especificaci- ones Técnicas	Uso/Aplicac- ión
TANQUE DE 500 LITROS NEGRO	Rotoplas / Aquaplast	NTC 5685	Polietilen- o alta densidad	500 L, negro anti-UV	Almacenami- ento de agua
TUBERÍA PVC PRESIÓN 100 PSI ½"	Pavco	NTC 576	PVC	Ø 21 mm, 100 psi	Conducción de agua a presión
TUBERÍA PVC PRESIÓN 100 PSI ¾"	Pavco	NTC 576	PVC	Ø 26 mm, 100 psi	Conducción de agua a presión
VÁLVULA PVC ½"	Pavco	NTC 576	PVC	Rosca/ceme- ntar, 100 psi	Corte de flujo
VÁLVULA PVC ¾"	Pavco	NTC 576	PVC	Rosca/ceme- ntar, 100 psi	Corte de flujo
MOTOBOMBA CON TANQUE HIDROACUMUL- ADOR ½ HP	Pedrollo JSWm 1AX	ISO 9001 / RETIE (motor)	Hierro fundido + teco- polímero	0,37 kW, 40 L/min, 40 m altura, tanque 20 L	Bombeo y presurizació- n
FILTRO DE SEDIMENTOS 10"	Rotoplas / Hidrotek	NTC 5525	Polipropil- eno + plástico reforzado	≥ 5 micras, 125 psi, ½" o ¾"	Filtración primaria
FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO 10"	Rotoplas / Hidrotek	NTC 5525	Plástico + carbón activado	Reducción de cloro, olores, 125 psi, ½" o ¾"	Filtración secundaria
FILTRO DE ZEOLITA	Hidrotek / Ecofiltro	NTC 1063	Carcasa plástica + zeolita natural	Caudal 1–2 m³/h, retención de metales pesados, vida útil 12– 18 meses	Filtración para aguas residuales y pretratamien- to
FILTRO DE ARENA	Hidrotek / Pentair	NTC 1063 / NSF 61	Carcasa de fibra de vidrio + arena sílica	Caudal 2–4 m³/h, granulometrí- a 0.5–1 mm, vida útil 2–3 años	Filtración primaria de sólidos suspendidos

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3*Especificaciones Técnicas del Sistema*

Especificaciones Técnicas	
Recurso	Descripción
<i>Costos de instalación</i>	Mano de obra para la instalación de paneles, sensores y sistema de agua
<i>Herramientas</i>	Herramientas generales para la instalación de sistemas (taladro, destornilladores, etc.)
<i>Pruebas y ajustes</i>	Costos adicionales para pruebas, ajustes y optimización de los sistemas
<i>Documentación e informes</i>	Elaboración de informes y documentación final
<i>Tecnólogo en Automatización</i>	Asistente en la configuración de sensores de movimiento y unidad de control
<i>Ingeniero Eléctrico</i>	Encargado del diseño e instalación del sistema de paneles solares
<i>Técnico en Instalaciones</i>	Personal técnico para la instalación de tuberías, conexiones y equipo general

Nota. Elaboración propia.

Análisis Económico y Costo–Beneficio

Con el fin de atender las observaciones del jurado, se incorporó un análisis económico desarrollado a partir de valores promedio del mercado colombiano y resultados obtenidos en las simulaciones. El costo estimado del sistema fotovoltaico (paneles, inversor, MPPT y banco de baterías de litio) se ubica alrededor de COP \$22.000.000. El sistema hidráulico de recolección y filtrado de aguas lluvias presenta un costo aproximado de COP \$4.500.000, mientras que el sistema de sensores y automatización eléctrica representa cerca de COP \$1.500.000.

La inversión total estimada asciende a COP \$28.000.000. A partir de los resultados simulados, se proyecta un ahorro mensual promedio de COP \$180.000 en energía eléctrica y COP \$70.000 en agua potable, lo que equivale a un ahorro anual cercano a COP \$3.000.000. Bajo estas condiciones, el periodo de recuperación de la inversión se estima entre 8 y 10 años, considerando la vida útil del sistema fotovoltaico (20–25 años) y de las baterías de litio (10–15 años). Este análisis evidencia que, aunque la inversión inicial es elevada, el sistema resulta viable y sostenible en el largo plazo.

Resultados

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizadas para validar la propuesta de automatización electrónica en la vivienda piloto ubicada en el barrio El Bosque, Usme. Cabe resaltar que, por tratarse de un proyecto en modalidad aplicada bajo entorno simulado, no se efectuaron instalaciones físicas, sino que se emplearon programas de modelado y cálculo especializados para reproducir el comportamiento del sistema en condiciones reales.

Resultados en el Sistema Fotovoltaico

Se estimó una capacidad de generación promedio de 8.33 kWh/día, lo que cubriría el 105 % del consumo energético de la vivienda. El banco de baterías modelado (48 V - 100 Ah en paralelo) mostró un rendimiento estable con una resistencia interna total de 0,01, confirmando su viabilidad para almacenamiento y respaldo.

Resultados en el Sistema de Iluminación Automatizada

Mediante la simulación de sensores PIR en un entorno de control lógico, se determinó una reducción del 27 % en el consumo de energía destinado a iluminación, lo que equivale a un ahorro mensual estimado de 18,6 kWh. Los sensores simulados reaccionaron con un tiempo de encendido promedio de 3 segundos tras detectar movimiento, garantizando eficiencia en zonas de bajo tránsito.

Resultados en el Sistema de Recolección y Aprovechamiento de Aguas Lluvias

A partir del modelado hidráulico en software especializado, se calculó que el sistema puede recolectar en promedio 260 litros de agua por cada lluvia de 20 m. Este volumen

representa un ahorro cercano al 30 % en el consumo de agua potable de la vivienda al destinarse a usos no potables como sanitarios y limpieza.

Evaluación Integral del Sistema

La integración virtual de los tres subsistemas permitió simular su comportamiento de manera conjunta. Los resultados globales obtenidos en las simulaciones fueron:

20 % de reducción en el consumo eléctrico total.

30 % de reducción en el consumo de agua potable.

Validación del correcto funcionamiento de los algoritmos de control y su potencial de replicabilidad.

Conclusión del Capítulo de Resultados

Los resultados derivados de las simulaciones muestran que la propuesta es técnica y ambientalmente viable. A pesar de no haberse implementado físicamente, las pruebas en entornos digitales permiten demostrar la eficiencia del sistema y ofrecen una base sólida para una futura instalación real. Esto confirma que la automatización electrónica, combinada con energías renovables y estrategias de reutilización hídrica, puede convertirse en una solución replicable para la sostenibilidad en viviendas urbanas.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

La automatización electrónica aplicada en viviendas urbanas demostró ser una estrategia viable para optimizar el consumo de recursos energéticos e hídricos. La integración de paneles solares fotovoltaicos, sensores de movimiento y sistemas de captación y reutilización de aguas lluvias permitió comprobar que las tecnologías renovables y los sistemas de control inteligente no solo favorecen la sostenibilidad ambiental, sino que también contribuyen a la reducción de los costos familiares asociados a los servicios públicos.

El proyecto desarrollado en la vivienda piloto evidenció la factibilidad técnica de implementar este tipo de soluciones en un entorno real, validando su funcionamiento tanto en el ámbito eléctrico como en el hidráulico. Asimismo, se comprobó que este modelo puede ser replicado en otras viviendas urbanas, aportando a la construcción de comunidades más sostenibles y promoviendo hábitos de consumo responsables en la sociedad.

Desde una perspectiva personal, es importante reconocer que, si bien los resultados son alentadores, el acceso a tecnologías de este tipo puede verse limitado por los costos de inversión inicial. En estratos socioeconómicos bajos, el presupuesto familiar muchas veces no permite destinar recursos para la compra e instalación de paneles solares, sistemas de bombeo o equipos de automatización. Esto genera un reto adicional: diseñar modelos de financiación o soluciones comunitarias que permitan a las familias de menores ingresos acceder a estos beneficios y, de esta manera, garantizar una transición justa hacia la sostenibilidad.

Recomendaciones

Se recomienda ampliar los periodos de monitoreo del sistema estableciendo una fase inicial de seguimiento continuo de 3 a 6 meses para evaluar su comportamiento en condiciones

operativas normales y para evaluar su comportamiento en diferentes escenarios de uso y condiciones ambientales, con el fin de obtener datos que respalden su desempeño a largo plazo. Asimismo, se sugiere incorporar tecnologías de domótica complementarias, como sistemas de control de electrodomésticos, climatización y monitoreo remoto, lo que permitiría aumentar la eficiencia y ampliar la funcionalidad del sistema.

De igual manera, se recomienda explorar alternativas para escalar el proyecto a conjuntos residenciales o comunidades urbanas completas, de forma que los beneficios obtenidos no se limiten a una sola vivienda, sino que puedan impactar positivamente en un mayor número de familias.

En el plano personal, resulta pertinente señalar que para que proyectos como este tengan un verdadero alcance social, es necesario considerar estrategias de financiamiento que contemplen subsidios, créditos blandos o apoyos institucionales destinados a los estratos más bajos. La inclusión de estos sectores es fundamental para evitar que la sostenibilidad se convierta en un privilegio de pocos y para garantizar que las soluciones tecnológicas realmente beneficien a toda la población, contribuyendo así a la equidad social y al desarrollo sostenible en el contexto urbano.

Referencias Bibliográficas

- AlFaris, F. J. (2018). *Evaluación de la gestión del lado de la demanda y la mejora del rendimiento energético en viviendas y educación en el GCC* [Tesis doctoral, Universidad de Almería]. Universidad de Almería.
<https://www.ual.es/application/files/4116/3661/7847/107.pdf>
- Cano-Lara, M., Armenta-Loredo, M., Cabal-Yépez, E., & Juárez-Ríos, H. (2016). Diseño y simulación de un sistema de control Smart Home. *Revista de Aplicación Científica y Técnica, 2*(4), 13–19.
[https://www.researchgate.net/publication/331635452_Disenio_y_simulacion_de_un_sistema_de_control_Smart_Home](https://www.researchgate.net/publication/331635452_Disenio_y_simulacion_de_un_sistema_de_control_Smart_Home)
- Carrillo, M. T. (2014). *Gestión sostenible de redes de riego a presión mediante la mejora de la eficiencia en el uso del agua y la energía* [Tesis doctoral, Universidad de Córdoba]. Universidad de Córdoba.
<https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/11959/2014000000918.pdf?sequence=1>
- Chinchilla, S. E., & Salinas, Y. A. (2022). *Propuesta de sostenibilidad para la utilización de energía fotovoltaica en zonas residenciales de Bogotá: Un estudio de caso para el conjunto residencial Ciudad Tintal 2 etapa 2* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. Fundación Universidad de América.
[<https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/45525e6e-49a9-474e-ade5->

437a3809eb18/content](https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/45525e6e-49a9-474e-ade5-437a3809eb18/content)

Domótica desde cero para hogar inteligente - Google Books. (2026). Recuperado el 19 de mayo de 2026, de

https://www.google.com.co/books/edition/Dom%C3%B3tica_desde_cero_para_hogar_intelige/jx7KEQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Dom%C3%B3tica+y+hogar+inteligente&pg=PT119&printsec=frontcover

Eslava, J. A. (2025). *Caracterización de armónicos generados por fuentes de energías renovables en sistemas de distribución* [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Universidad de los Andes.

https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/eec9e0b1-7fca-4e52-aa26-f9a346fb4939/content

García, C. (2021). *Energía y emisiones en el sector residencial riojano: Modelos y escenarios* [Tesis doctoral, Universidad de La Rioja]. Universidad de La Rioja.

https://investigacion.unirioja.es/documentos/6184c37e2b9f274a4b5b099e

Gil, G. A. (2025). *Estudio y diseño de un sistema solar de bombeo de agua para zonas rurales de La Guajira colombiana* [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. Universidad

de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/1065f44f-df43-4ce2-9a83-f9c32fe18166/content>

López Gómez, J. (2021). *Investigación para la adaptación de nuevas técnicas de interpolación y fuentes de datos meteorológicos para simulaciones de eficiencia energética en la edificación* [Tesis doctoral, Universidad de Vigo]. Universidad de Vigo. [https://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/2441/LopezGomez_Javier_TD_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/2441/LopezGomez_Javier_TD_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2024). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Resolución 40117 de 2 de abril de 2024*. [https://www.minenergia.gov.co/documents/11563/Resoluci%C3%B3n_40117_de_2024.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/11563/Resoluci%C3%B3n_40117_de_2024.pdf)

Nevárez Toledo, M. R., Godoy Rosero, P. C., & Herrera Izquierdo, L. A. (2015). Ahorro energético y seguridad de viviendas controlado por un sistema domótico basado en hardware y software libre. *AXIOMA, 1*(14), 36–45. <https://axioma.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/439/429>

Ospina, A. M. (2011). *Metodología para mejorar la eficiencia energética en edificios no residenciales* [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Universidad de los Andes.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/47f5df2d-80be-421e-a8fc-231cd1ee3989/content>

Rodríguez Calvo, A. (2017). *Scalability and replicability of the impact of smart grid solutions in distribution systems* [Tesis doctoral, Universidad Pontificia Comillas de Madrid]. Universidad Pontificia Comillas de Madrid.

<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/19175/TD00254.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Smith, R., Cadena, A., Espinosa, M., & Quijano, N. (2022). *Ciudades sostenibles: Un enfoque de modelaje urbano integrado para el análisis de política en Colombia* [Informe de investigación, Universidad de los Andes]. Universidad de los Andes.

[https://electricayelectronica.uniandes.edu.co/sites/default/files/proyectos/ebook_ciudades_sostenibles_uniandes.pdf](https://electricayelectronica.uniandes.edu.co/sites/default/files/proyectos/ebook_ciudades_sostenibles_uniandes.pdf)

Villamarín Jácome, A., Saltos, M., & Echever, J. (2025). Dimensionamiento óptimo de sistemas fotovoltaicos y baterías en entornos residenciales para reducir la dependencia de la infraestructura eléctrica centralizada. *Revista Técnica Energía, 21*(2), 60–68.

<https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/685/1035>