



Título del proyecto:

Prototipo simulado de vivienda sostenible

SWEET HOME

Elaborado por:

Rafael E Martínez

Julián Calderón Hincapié

Nelson Enrique González Cáceres

Director

Álvaro David Arévalo Salazar

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Trabajo de Grado

Bogotá, 2024

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	2
LISTA DE TABLAS	3
1. RESUMEN EJECUTIVO.....	4
2. INTRODUCCION	5
3. OBJETIVOS	7
3.1 Objetivo General.....	7
3.2 Objetivos Específicos	7
4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	8
4.1 Antecedentes.....	8
4.2 Diagnóstico del problema	9
4.3 Formulación del problema	9
5. JUSTIFICACIÓN	11
6. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	13
Funcionales.....	13
No funcionales	13
7. MARCO DE REFERENCIA.....	15
7.1 Marco Teórico	15
7.1.1 Antecedentes.....	15
8. ANALISIS DE LAS RESTRICCIONES	24
8.1 Ambientales	24
8.2 Normativo.....	24
8.3 Legales.....	25
8.4 Socioculturales.....	27
9. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN....	28
9.1 Procesamiento y análisis de resultados	33
10. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	42
11. ANÁLISIS DE COSTOS	46
12. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN.....	49
13. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
14. CONCLUSIONES.....	63
REFERENCIAS	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1- Elaboración propia: Gestión eficiente de los Recursos hídricos mediante el diseño en el sistema SCADA.....	12
Tabla 2 - Elaboración propia. Proyectos, ubicación y metodología	33
Tabla 3 - Elaboración propia. Proyectos, ubicación y metodología	34
Tabla 4 - Elaboración propia. Análisis de costos	46

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Tomado de Ministerio de Vivienda (2024). Desabastecimiento de agua en los departamentos	10
Ilustración 2 - Elaboración propia. Modelo en AutoCAD de un Sistema de Captación de Agua de lluvia	15
Ilustración 3 - Elaboración propia. Niveles de ahorro de agua	36
Ilustración 4 - Elaboración propia. Costos de implementación	38
Ilustración 5 - Elaboración propia. ROI estimado	39
Ilustración 6 - Elaboración propia. Visualización en 3D Modelo en AutoCAD del prototipo.....	53
Ilustración 7 - Elaboración propia. Fase 1 de la creación de la simulación	53
Ilustración 8 - Elaboración propia. Fase 2 de la creación de la simulación	54
Ilustración 9 - Elaboración propia. Fase 3 de la creación de la simulación	54
Ilustración 10 - Elaboración propia. Fase 4 de la creación de la simulación	54
Ilustración 11 - Elaboración propia. Fase 5 de la creación de la simulación	55
Ilustración 12 - Elaboración propia. Fase 6 de la creación de la simulación	55
Ilustración 13 - Elaboración propia. Fase 7 de la creación de la simulación	55
Ilustración 14 - Elaboración propia. Red de conducción externa e interna.....	56
Ilustración 15 - Elaboración propia. Red de conducción externa e interna tanque recolector de aguas lluvias	56
Ilustración 16 - Elaboración propia. Red de conducción externa e interna tanque recolector de aguas lluvias	56
Ilustración 17 - Elaboración propia. Red de conducción externa e interna tanque recolector de aguas lluvias	57
Ilustración 18 - Elaboración propia. Ubicación de la bomba sumergible del tanque recolector de aguas lluvias	57
Ilustración 19 - Elaboración propia. Ubicación de la bomba sumergible del tanque recolector de aguas lluvias	57
Ilustración 20 - Elaboración propia. Características de la bomba sumergible del tanque recolector de aguas lluvias	58
Ilustración 21 - Elaboración propia. Esquema de tuberías de agua	58
Ilustración 22 - Elaboración propia. Ingreso al Software SCADA (PLC)	59
Ilustración 23 - Elaboración propia. Alto nivel de agua en tanque subterráneo – alto nivel de agua en tanque abastecedor.....	59
Ilustración 24 - Elaboración propia. Análisis FODA	66
Ilustración 25- Elaboración propia. Estrategias derivadas de FODA	67

1. RESUMEN EJECUTIVO

Integrar diversos conceptos en las viviendas autosuficientes, ofrecerá al mercado la posibilidad de renovar sus espacios con una nueva visión acorde a las tendencias actuales que modelan la demanda para soluciones ambientales al que estamos sujetos, teniendo en cuenta la sostenibilidad económica, social y ambiental.

Dados los continuos cambios en la tasa representativa del mercado (TRM), los precios de la canasta familiar, servicios públicos, precio del combustible, están afectando de manera sustancial la economía de las personas en Colombia. Se ha evidenciado el cambio por parte de los usuarios en su consumo, priorizando sus compras a lo estrictamente básico, necesario y/o seleccionando productos de menor cuantía de marcas posiblemente desconocidas, sin mencionar que en 2021 más de 1,5 millones de personas prefirieron emigrar para USA ante la volatilidad económica según Chavez y Batalova.(2023), este y otros fenómenos sociales no ha permitido crear Sweet Home como una alternativa para mejorar la calidad de vida de las personas usando la creatividad en el diseño con herramientas comunes y con una inversión relativamente baja para los beneficios que se obtienen.

El presente documento ofrece propuestas y soluciones alternativas a las diferentes oportunidades de negocio, considerando las tendencias actuales en los modelos de vida y el pensamiento estratégico en la cotidianidad. Por tanto, se desarrolla Sweet Home como una solución cuya misión es brindar alternativas que reduzcan y optimicen el consumo excesivo de los recursos naturales, además de aportar a la solución del reto de combatir la amenaza ambiental mediante la gestión eficiente de los recursos hídricos. También busca optimizar el sistema de aguas.

Palabras clave

Viviendas autosostenibles, sistemas SCADA, gestión hídrica, captación de agua lluvia, reutilización de aguas grises, energías renovables, sostenibilidad ambiental, automatización de procesos, modelado en AutoCAD, cálculos estructurales en SAP2000, viabilidad económica.

2. INTRODUCCIÓN

El modelo de desarrollo convencional que prioriza el crecimiento económico, sin considerar la capacidad de los sistemas ambientales, ha provocado un acelerado deterioro ambiental, provocando fenómenos como la pérdida de biodiversidad, la deforestación, la contaminación, la degradación de suelos, el cambio climático y el calentamiento de la atmósfera, entre otros, que afectan las condiciones de vida del planeta, incluyendo la vida humana (Márquez Delgado, 2021). La problemática ambiental se torna así más compleja por su incidencia cada vez mayor en el plano social, evidenciada en un aumento de la pobreza, las migraciones, el crecimiento de las ciudades, la violencia y las epidemias, entre otros problemas.

El futuro de la sociedad actual dependerá en gran medida del uso sustentable de los recursos naturales (Brundtland, 1990). Dentro de este contexto, el recurso del agua juega un papel crucial y motiva la reflexión sobre cómo darle el mejor uso. A pesar de los grandes avances tecnológicos de los últimos años, en la actualidad se tienen muchos problemas en torno a este tema. En diversas regiones del mundo, el acceso al agua potable es tarea difícil, y la población sufre las consecuencias de carecer de este vital líquido. Esta situación justifica la realización de investigaciones en este campo, con el fin de que la población cuente con fuentes alternas de dotación de agua, principalmente en aquellos lugares en donde los sistemas de abastecimiento son deficientes o inexistentes.

La preocupación por la degradación del mundo natural ha llevado a muchos a volverse ambientalistas, como señalan Nebel y Wright (1999). Se sabe de problemas evidentes que determinan el impacto ambiental, el consumo exagerado de los recursos naturales y la falta de conciencia ante el cuidado de estos.

Cada vez más personas de toda clase, incluidos científicos, economistas, empresarios, líderes mundiales y estudiantes reconocen que somos los principales responsables del cambio climático y sus consecuencias. Por eso, nuestro proyecto de grado, Sweet Home (casas sostenibles), tiene como finalidad diseñar un sistema SCADA para la supervisión y control de la captación, almacenamiento y reutilización de agua en una vivienda, que optimice el uso de los recursos hídricos mediante el monitoreo en tiempo real y la automatización de procesos, contribuyendo a una gestión eficiente y sostenible del agua en el entorno residencial. Este sistema será simulado en AutoCAD y SAP 2000.

La sostenibilidad ambiental depende del uso racional de los recursos naturales con el fin de proteger la biodiversidad (Rad, 2008). Mediante el diseño simulado de una vivienda se presenta una propuesta que busca, entre otros aspectos, concientizar, informar y promover una cultura que respalde la protección ambiental (Rosales Escuer, 2021).

Mediante el uso de la herramienta de automatización y control industrial como lo es SCADA, se pretende controlar, supervisar, recoger datos y analizarlos para así ponderar el consumo típico en las zonas residenciales con respecto a las zonas industriales; este sistema permite:

- Controlar todo proceso industrial de forma remota.
- Monitorear continuamente y en tiempo real los datos que se recopilan.
- La interacción con sensores, motores, interfaz HMI mientras almacena la información en una base de datos.
- Permite tomar acciones inmediatas programando alarmas de fallas del funcionamiento tanto del sistema SCADA como del equipo monitoreado.
- Ampliar o diseñar herramientas de control de calidad según los datos obtenidos.

Al entender el sistema SCADA y su ventaja funcional en la toma de decisiones importantes, se disminuye el tiempo de respuesta a las fallas que pueda presentar, optimizando el control del proceso en la captación, almacenamiento y reutilización de los recursos hídricos. La forma para entender el funcionamiento de un sistema es a través de la experimentación, definida como el proceso para extraer datos sobre los cuales se ha ejercido una acción externa (Urquía Moraleda & Martín Villalba, 2016).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema SCADA para la supervisión y control de la captación, almacenamiento y reutilización de agua en una vivienda sostenible, que optimice el uso de los recursos hídricos mediante el monitoreo en tiempo real y la automatización de procesos, contribuyendo a una gestión eficiente y sostenible del agua en el entorno residencial simulado en AUTOCAD SAP 2000.

3.2 Objetivos Específicos

- Establecer un sistema eficiente para recolectar, tratar y reutilizar el agua
- Usar la simulación para modelar y cuantificar los efectos del diseño propuesto, incluyendo el flujo de agua lluvia para optimizar la instalación del sistema, así como la ubicación y la red de tuberías.
- Analizar la eficiencia del sistema propuesto en la reducción de costos y en la mejora de la sostenibilidad ambiental.

4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

4.1 Antecedentes

Existe evidencia inequívoca de que la Tierra se está calentando a un ritmo sin precedentes. La actividad humana es la causa principal. Mientras que el clima de la Tierra ha cambiado a lo largo de su historia, el calentamiento actual está ocurriendo a un ritmo no visto en los últimos 10.000 años.

Durante las primeras civilizaciones, dotar de agua potable o agua limpia fue un reto para los antiguos constructores o ingenieros, ya que disponer de este recurso podía marcar la diferencia entre la vida y las calamidades sanitarias. Este recurso se convirtió en una necesidad defensiva; con el tiempo y la llegada de la industrialización, los problemas de saneamiento y la falta del recurso hídrico proliferaron las enfermedades, lo que llevó a tomar acciones radicales para garantizar la salud pública y asegurar que el agua suministrada no transmitiera enfermedades (Vesilind, Heine, & Morgan, 2013).

El cambio climático es un fenómeno global que afecta todos los aspectos de la vida en la Tierra, incluyendo el ciclo del agua. El aumento de la temperatura global, los cambios en los patrones de precipitación y la elevación del nivel del mar son algunos de los efectos más significativos y visibles del cambio climático que afectan directamente los recursos hídricos. Fomentar la sostenibilidad mediante la implementación de procesos viables desde la tecnología como fuente de bienestar, protegiendo la salud y fomentando la cultura de protección de la biosfera, no era posible debido a los limitantes en el desarrollo de herramientas para evaluar el impacto ambiental desde la gestión de procesos (Vesilind, Heine, & Morgan, 2013).

En un contexto marcado por los impactos del cambio climático en la población mundial, Miranda, Neira, Torres y Valdivia (2018) señalan que la construcción global consume más del 40% de la energía de manera directa y el 50% de los materiales producidos, además de generar más del 50% de los residuos.

Estudios recientes sobre el cambio climático destacan diversas preocupaciones urgentes y soluciones adaptativas. Según el IPCC (2023), con un aumento de la temperatura global de 1,1 °C (2 °F), se están produciendo cambios en el sistema climático sin precedentes en siglos o milenios, desde el aumento del nivel del mar hasta fenómenos climáticos más extremos y la rápida desaparición del hielo marino.

Descrito por el secretario general de las Naciones Unidas, Antonio Gutiérrez, como un "atlas del sufrimiento humano y una crítica contundente al liderazgo fallido en materia climática", el informe AR6 concluye que los impactos climáticos adversos ya son de mayor alcance y extremos de lo previsto. Alrededor de la mitad de la población mundial enfrenta una grave escasez de agua durante al menos un mes al año, mientras que las temperaturas más altas permiten la propagación de enfermedades transmitidas por vectores como la malaria, el virus del Nilo Occidental y la enfermedad de Lyme.

4.2 Diagnóstico del problema

En el Estudio Nacional del Agua –ENA- realizado por el IDEAM se presentó el cálculo de la relación demanda oferta de agua para el año 2000, y proyecciones para los años 2015 y 2025, los cuales, en su tiempo indicaron que el 50% de la población de las áreas urbanas municipales estarían en un Alto riesgo de desabastecimiento, con condiciones hidrológicas medias. Si las condiciones hidrológicas son de año seco las proyecciones indican que el 80% de la población de las cabeceras municipales estarían en Alto riesgo de desabastecimiento.

Según la ministra de vivienda Catalina Velasco (2024), menciona en el comunicado de prensa de la UNGRD que debido al fenómeno del niño durante el monitoreo de los impactos sectoriales han identificado más de 140 municipios en 12 departamentos con afectación por desabastecimiento del recurso hídrico, aunque el 05 de diciembre de 2024 en el Foro de transición energética y gestión Integral del Agua en el Caribe; el vice ministro de Agua y Saneamiento Básico, del mismo modo, Edward Libreros (2020), destaca la importancia del plan departamental por garantizar el acceso de las comunidades al agua potable y los recursos destinados para mantener el enfoque sostenible para transformar la calidad de vida de los colombianos, en donde se requiere de apalancamientos con los esfuerzos del sector público, privado y las comunidades para poder avanzar en soluciones integrales y definitivas durante los próximos seis años asegurando el cierre de brechas de desigualdad que se perciben en zonas rurales.

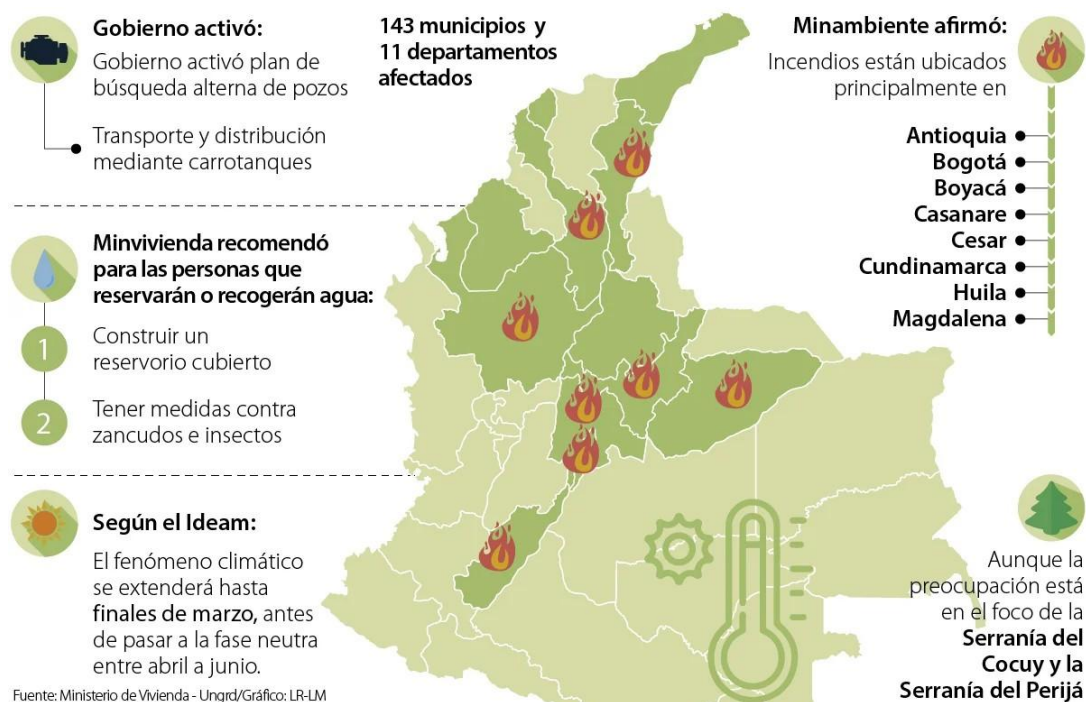


Ilustración 1 - Tomado de Ministerio de Vivienda (2024). Desabastecimiento de agua en los departamentos

Según Guerrero (2006), tras la revolución industrial y los avances tecnológicos que llevaron a la explotación de recursos hídricos, el crecimiento económico y la explosión demográfica han generado preocupación por la disponibilidad de este recurso. Guerrero también señala que "es imposible la interacción con el agua sin consecuencia dañina" y recomienda que las autoridades sanitarias monitoreen parámetros como acidez y pH para garantizar un consumo seguro.

Por su parte, Suárez, García y Mosquera (2006) proponen los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia como una solución alternativa para el suministro en áreas urbanas.

4.3 Formulación del problema

Aunque poco a poco se han ido implementando diferentes sistemas de recolección de aguas lluvias para su reutilización sobre todo en los entornos rurales, cada vez se vuelve una necesidad fundamental el abastecimiento de la calidad del recurso hídrico en zonas residenciales; por el momento no se contempla dentro de las aplicaciones del software SCADA un diseño que permita monitorear y brindar una solución al consumo habitual en los diferentes sectores urbanos tanto comerciales, industriales o caseros que cuenten con la optimización del sistema de aguas.

Con el diseño se pretende impulsar la gestión eficiente de los recursos hídricos promoviendo una cultura social con enfoque sostenible permitiendo una solución a los grandes retos que la humanidad enfrenta para mitigar el impacto ambiental.

4.3 PREGUNTA DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar un sistema SCADA en una vivienda sostenible que permita optimizar la captación, almacenamiento y reutilización del agua, garantizando una gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos?

5. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de un proyecto que promueva viviendas autosuficientes y sostenibles se ha vuelto una necesidad inminente en nuestra sociedad. Estamos viviendo en un momento donde los cambios económicos son impredecibles, y las preocupaciones ambientales son cada vez más alarmantes. Ante esta realidad, es imprescindible replantear cómo vivimos y cómo interactuamos con nuestro entorno. Los hogares tradicionales, como los conocemos, ya no responden adecuadamente a las nuevas necesidades de las personas, que buscan reducir sus gastos y llevar un estilo de vida más consciente y respetuoso con el medio ambiente.

La idea de crear espacios autosuficientes se basa en que los costos de vida siguen subiendo, con precios en servicios públicos, alimentos y otros bienes básicos, Martínez. M, (2012). Gestión del cambio. Ediciones Diaz de Santos. Esta situación está llevando a muchas familias a priorizar sus gastos, muchas veces sacrificando aspectos esenciales de su bienestar. La autosuficiencia en el hogar se presenta como una solución práctica y accesible para enfrentar estos desafíos. Implementar tecnologías como la energía solar y sistemas para captar agua de lluvia puede generar un ahorro significativo en el consumo de recursos, lo que impacta directamente en la economía del hogar y a una solución tangible e innovadora dadas las circunstancias actuales.

Otro aspecto crucial de este proyecto es su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en la Agenda 2030. Estos objetivos no solo son un marco global para alcanzar un futuro más equitativo y sostenible, sino también una oportunidad para que cada persona y comunidad pueda contribuir de manera efectiva (Méndez & Padrón, 2023). Este proyecto se enfoca especialmente en promover una gestión responsable y eficiente del agua y en la acción contra el cambio climático. Al incentivar prácticas sostenibles en el hogar, no solo reducimos nuestra huella ecológica, sino que también fortalecemos nuestra capacidad para enfrentar los desafíos climáticos que están por venir.

La autosuficiencia también toca aspectos sociales y culturales importantes. Según Galloway (2021), durante la pandemia del COVID-19, quedó claro lo dependientes que somos de las grandes cadenas de suministro y lo complicado que puede ser acceder a lo básico en tiempos de crisis. Este proyecto busca que las personas redescubran su capacidad para producir y gestionar sus propios recursos. Finalmente, este proyecto también responde a la creciente necesidad de educar y concienciar a la población sobre la importancia de un consumo

responsable y una gestión eficiente de los recursos hídricos. No se trata solo de ofrecer una solución innovadora para el hogar, sino de impulsar un cambio cultural que lleve a más personas a adoptar prácticas sostenibles en su vida diaria. Promover el uso de tecnologías que interactúen con el aprovechamiento de recursos naturales es un paso crucial hacia un futuro en el que la sostenibilidad sea la norma y no la excepción.

El análisis recopilado de los datos del sistema SCADA del flujo de agua almacenado y reutilizado permitirán a largo plazo crear políticas de consumo que minimicen el desperdicio de agua potable, un impacto positivo en la economía local, disminución masiva de los productos químicos que se usan para el tratamiento del agua

Gestión Eficiente de los Recursos hídricos mediante el diseño en el sistema SCADA	
1.	El sistema SCADA cuenta con una interfaz de fácil manejo y comprensión de la data, monitoreo en tiempo real que permite toma de decisiones importantes de forma inmediata.
2.	Control de las fallas mediante la programación de alarmas y de pérdidas de comunicación
3.	Permite la cuantificación del consumo (en tiempo real), análisis de los requerimientos para optimizar el sistema de bombeo hídrico; así como monitorear el flujo del fluido en la tubería o líneas de distribución, presiones (PIP (Presión en la entrada de la bomba), inercia del fluido (si se presenta) presiones en las líneas, caudales y temperatura
4.	Evaluar cuan preciso son los resultados dando una respuesta numérica al comportamiento que se observa en el software aplicado (SCADA)
5.	Mantener el estándar de calidad en el agua almacenada y la distribuida para consumo casero y/o industrial

Tabla 1- Elaboración propia: Gestión eficiente de los Recursos hídricos mediante el diseño en el sistema SCADA

6. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

El análisis de requerimientos del proyecto especificará cuáles serán las funciones, tecnologías, materiales y métodos que proporcionarán la eficiencia de los recursos, salud a las personas y durabilidad de la vivienda. Planificando y ejecutando estos aspectos cuidadosamente convertiremos ideas en soluciones viables para enfrentar los desafíos ambientales actuales, estos requerimientos tienen como objetivo principal comprender lo que los clientes y los usuarios esperan y sus expectativas frente al proyecto. Buscamos definir de manera exhaustiva los parámetros de entrega del proyecto, garantizando el cumplimiento de los criterios de aceptación y maximizando la satisfacción del cliente.

Funcionales

- El sistema debe simular el proceso de abastecimiento de agua en una vivienda mediante la captación de aguas lluvias, garantizando su reutilización en procesos específicos como el riego de jardines, la limpieza de superficies, la descarga de inodoros y el lavado de vehículos.
- El sistema, a través de la simulación, debe identificar situaciones que requieran mejoras o ajustes, permitiendo detectar posibles ineficiencias o limitaciones en el diseño.
- La simulación debe indicar con claridad las características y funcionalidades del sistema, como el monitoreo de la capacidad de almacenamiento, los flujos de distribución y los niveles de consumo.
- La simulación debe garantizar que el sistema sea comprensible para el usuario final, presentando su funcionamiento y beneficios de manera clara y accesible.
- El sistema debe asegurar el uso eficiente de los recursos, optimizando la captación, almacenamiento y reutilización del agua para maximizar su aprovechamiento en los procesos definidos.

No funcionales

- Facilidad de aprendizaje
- Fiabilidad
- Capacidad
- Tolerante a fallas



Ilustración 2 - Elaboración propia. Modelo en AutoCAD de un Sistema de Captación de Agua de lluvia

La imagen presentada ilustra un modelo hidráulico diseñado para la captación de aguas lluvias en una vivienda. Este esquema representa cómo se distribuyen los componentes clave del sistema, incluyendo los canales de recolección instalados en el techo, las tuberías de conducción, y los tanques de almacenamiento. Además, se destacan elementos adicionales como los sistemas de filtración y distribución para garantizar que el agua captada pueda ser reutilizada en procesos específicos dentro del hogar, tales como el riego de jardines, la limpieza de superficies y la descarga de inodoros. La figura busca ejemplificar visualmente la implementación del sistema propuesto y sirve como referencia para entender su funcionamiento y los principios básicos de su diseño, alineándose con los objetivos del proyecto.

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1 Marco Teórico

7.1.1 Antecedentes

La escasez del agua resulta en una dinámica compleja que surge de la combinación de diversos factores que influyen en el cambio climático y en la capacidad de adaptación de los recursos hídricos a nivel de cuencas; sin embargo, adicional a los factores geofísicos también se consideran múltiples sectores que buscan mitigar dicha escasez; la dinámica del comercio global impacta tanto negativa como positivamente el modelo hidrológico y de la cual se busca una adaptación del mercado a la escasez hídrica que se muestra en la planificación de un sistema adaptativo. La escasez de recurso hídrico se puede entender como un problema de cuenca fluvial local, aun así, es un desafío para el desarrollo humano y el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS); el crecimiento paulatino y constante de la población, las dinámicas multirregionales y sectoriales, la globalización son los impulsores que impactan directamente en la capacidad de las fuentes hídricas.

Como explican Dolan, Lamontagne, Link, et al. (2021), la escasez de agua puede entenderse, desde un punto de vista económico, como la dificultad de abastecimiento que obliga a un cambio en el consumo. Esta reducción de suministro y consumo aumenta la demanda en una región, mientras que en otra puede inducir a la escasez cuando se observa desde un enfoque focal.

El concepto de viviendas autosostenibles ha ganado relevancia en las últimas décadas, especialmente en el contexto de los desafíos ambientales y económicos que enfrenta la humanidad. Las viviendas autosostenibles son estructuras diseñadas para minimizar el impacto ambiental, optimizando el uso de recursos renovables como la energía solar, eólica y la recolección de agua. Estas viviendas buscan no solo reducir el consumo de recursos, sino también generar un entorno más saludable y eficiente para sus habitantes, integrando avances tecnológicos, automatización y nuevos enfoques constructivos. Este marco teórico abordará los diversos aspectos que conforman las viviendas autosostenibles, desde su diseño arquitectónico y el uso de energías renovables, hasta la implementación de tecnologías avanzadas como la domótica y la inteligencia artificial.

Viviendas autosostenibles

Las viviendas autosostenibles representan un avance significativo en la arquitectura moderna, ya que están diseñadas para ser energéticamente independientes y respetuosas con el medio ambiente. Según Pérez (2020), este tipo de viviendas utiliza recursos renovables como la energía solar y la captación de agua de lluvia para cubrir sus necesidades básicas, reduciendo significativamente la dependencia de redes tradicionales de suministro. Estas estructuras no solo son eficientes, sino que también promueven un estilo de vida más consciente y alineado con la sostenibilidad. Un ejemplo de ello es la creciente implementación de estas viviendas en América Latina, donde los recursos naturales abundan y pueden aprovecharse para el bienestar social y económico de las comunidades locales (Pérez, 2020).

Las viviendas autosostenibles también contribuyen a mitigar el cambio climático mediante la reducción de emisiones de carbono. Estas construcciones están diseñadas para tener un impacto mínimo en el entorno, utilizando materiales ecológicos y técnicas de construcción sostenibles. Además, al depender menos de los combustibles fósiles, estas viviendas contribuyen a una economía más verde y resiliente, lo que las convierte en una solución viable frente a los desafíos actuales de sostenibilidad.

Energía renovable en viviendas autosostenibles

La energía renovable es un componente clave en el diseño de viviendas autosostenibles, ya que permite que estas estructuras se mantengan energéticamente independientes. Ramírez (2019) señala que el uso de paneles solares y aerogeneradores ha demostrado ser una opción eficiente para abastecer de energía a las viviendas, especialmente en regiones con abundante sol y viento. Estos sistemas no solo reducen el consumo de energía proveniente de fuentes no renovables, sino que también disminuyen los costos a largo plazo para los propietarios, lo que los convierte en una inversión sostenible tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

El impacto de las energías renovables en la arquitectura sostenible va más allá de la simple reducción de costos. El uso de paneles solares y aerogeneradores también mejora la resiliencia de las viviendas ante fluctuaciones en el suministro energético, especialmente en áreas rurales o remotas donde las redes eléctricas tradicionales son

inestables o inexistentes.

Ramírez (2019) destaca que esta integración de energías renovables en viviendas es un paso crucial para avanzar hacia ciudades y comunidades más sostenibles y autónomas.

Uso de agua en viviendas autosostenibles

El uso eficiente del agua es otro aspecto fundamental en el diseño de viviendas autosostenibles. López (2021) explica que la captación y reciclaje de agua de lluvia se ha convertido en una estrategia clave para reducir el desperdicio de este recurso y garantizar su disponibilidad en áreas donde el acceso al agua es limitado. A través de la implementación de sistemas de filtrado y tratamiento, el agua recolectada puede ser reutilizada para tareas como la irrigación de jardines, la limpieza y, en algunos casos, incluso el consumo humano.

Estos sistemas no solo contribuyen a la sostenibilidad del hogar, sino que también ayudan a reducir los costos operativos al disminuir la dependencia de fuentes de agua externas. En regiones donde la escasez de agua es un problema recurrente, este enfoque puede ser una solución efectiva para mitigar los efectos de la sequía y mejorar la resiliencia de las comunidades (López, 2021).

Materiales de construcción ecológicos

El uso de materiales ecológicos en la construcción de viviendas autosostenibles es otro pilar fundamental. Martínez (2020) destaca que materiales reciclables y biodegradables como la madera certificada y los ladrillos de tierra son esenciales para reducir el impacto ambiental durante la fase de construcción. Estos materiales, además de ser sostenibles, presentan ventajas como la durabilidad, el aislamiento térmico y la reducción de la huella de carbono, lo que los convierte en opciones ideales para viviendas que buscan ser verdaderamente autosostenibles.

El empleo de materiales ecológicos no solo favorece al medio ambiente, sino que también puede tener un impacto positivo en la salud de los ocupantes de la vivienda. Al evitar el uso de materiales tóxicos o de alta emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV), las viviendas se convierten en espacios más saludables, lo que contribuye al bienestar general de sus habitantes (Martínez, 2020).

Modelos de arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática es un enfoque que aprovecha las condiciones climáticas del entorno para optimizar la eficiencia energética de las viviendas. Según Hernández (2022), el diseño bioclimático se centra en la orientación de la vivienda, la ventilación cruzada y el uso de materiales que regulen la temperatura interior de manera natural, reduciendo la necesidad de sistemas de climatización artificial. Este enfoque no solo permite un ahorro energético considerable, sino que también mejora la calidad de vida de los habitantes al proporcionar un entorno confortable durante todo el año.

Ejemplos de arquitectura bioclimática se pueden observar en diversas zonas urbanas de América Latina, donde los arquitectos han adaptado estos principios para diseñar viviendas que se integran armónicamente con su entorno, aprovechando los recursos naturales de manera eficiente (Hernández, 2022).

Prototipos de viviendas autosostenibles en América Latina

El desarrollo de prototipos de viviendas autosostenibles ha avanzado notablemente en países como Colombia y México. Gómez (2019) resalta que, en áreas rurales, donde el acceso a servicios básicos como electricidad y agua potable es limitado, estos prototipos han demostrado ser una solución efectiva. Utilizan sistemas integrados de energía solar, recolección de agua y materiales locales que, además de reducir costos de construcción, garantizan una menor huella ambiental.

Este enfoque no solo ha sido útil en zonas rurales, sino que también ha abierto la posibilidad de replicar estos modelos en áreas urbanas, adaptándose a las necesidades específicas de cada región. Los proyectos en Colombia y México muestran cómo las viviendas autosostenibles pueden ser accesibles y escalables, lo que las convierte en una opción viable para atender las necesidades de vivienda de poblaciones vulnerables (Gómez, 2019).

Tecnología domótica en viviendas sostenibles

El uso de la domótica y la automatización en viviendas autosostenibles ha revolucionado la forma en que se gestionan los recursos. Vega (2021) señala que los sistemas inteligentes permiten controlar y optimizar el consumo de energía y agua en el hogar, garantizando una mayor eficiencia. Estos sistemas pueden programar dispositivos como paneles solares o sistemas de calefacción para funcionar solo cuando sea necesario, reduciendo el consumo energético y los costos.

Además, la domótica permite la gestión remota de las viviendas, lo que facilita el monitoreo y ajuste del uso de recursos a través de aplicaciones móviles. Esta capacidad de adaptación tecnológica ha hecho que las viviendas autosostenibles sean aún más eficientes y prácticas, integrando la sostenibilidad con la comodidad moderna (Vega, 2021).

Impacto ambiental de viviendas autosostenibles

El impacto ambiental de las viviendas autosostenibles es significativo, especialmente en términos de la reducción de la huella de carbono. Fernández (2020) destaca que, al utilizar energías renovables y materiales sostenibles, estas viviendas emiten considerablemente menos gases de efecto invernadero en comparación con las construcciones convencionales. Este enfoque es esencial en el contexto del cambio climático, ya que las viviendas autosostenibles contribuyen a mitigar el calentamiento global al aprovechar los recursos locales y renovables.

Además, estas construcciones promueven un ciclo de vida de bajo impacto ambiental, desde la elección de materiales hasta su desecho o reutilización. Fernández (2020) subraya que, mediante un enfoque consciente de la sostenibilidad, es posible crear viviendas que no solo respeten el entorno natural, sino que también promuevan un estilo de vida más equilibrado y responsable con el planeta.

Economía circular en viviendas sostenibles

La economía circular es un concepto que se integra cada vez más en la arquitectura sostenible, donde los materiales y recursos son reutilizados para minimizar el desperdicio. Cruz (2020) describe cómo este modelo ha sido implementado en la

construcción de viviendas autosostenibles mediante la reutilización de materiales de demolición, como ladrillos o madera, y el reciclaje de residuos durante la construcción. Este enfoque reduce la necesidad de extraer nuevos recursos y disminuye los costos operativos.

El uso de la economía circular no solo beneficia al medio ambiente, sino que también genera valor económico al reducir los costos a lo largo del ciclo de vida de la vivienda. La adopción de este modelo en la arquitectura permite una mayor eficiencia en el uso de recursos, lo que favorece tanto a los propietarios de viviendas como a las comunidades en las que se implementa (Cruz, 2020).

Normativas y certificaciones para viviendas sostenibles

Para asegurar que las viviendas autosostenibles cumplan con los estándares de sostenibilidad, existen certificaciones internacionales como LEED y EDGE. Torres (2021) explica que estas certificaciones evalúan aspectos clave de la construcción, como la eficiencia energética, el uso de materiales sostenibles y la gestión del agua. Obtener una certificación LEED o EDGE no solo garantiza que una vivienda sea respetuosa con el medio ambiente, sino que también aumenta su valor de mercado.

Estas normativas son particularmente importantes en América Latina, donde la sostenibilidad está adquiriendo un mayor protagonismo en los proyectos de construcción. Torres (2021) menciona que el número de edificios certificados en la región ha crecido exponencialmente, lo que demuestra una mayor conciencia sobre la importancia de construir viviendas que sean tanto ecológicas como económicamente viables.

Integración de sistemas energéticos autosostenibles

El diseño de sistemas energéticos autosostenibles es fundamental para garantizar la independencia energética de las viviendas. Méndez (2022) subraya la importancia de integrar fuentes de energía renovable, como la solar, con sistemas de almacenamiento eficientes que puedan asegurar un suministro continuo incluso en momentos de baja producción. La integración de baterías de alta capacidad ha permitido que las viviendas autosostenibles puedan almacenar el exceso de energía generado durante el día para su uso nocturno.

Este tipo de sistemas no solo garantiza la autosuficiencia energética, sino que también permite que las viviendas estén mejor preparadas ante cortes de energía o fluctuaciones en la red eléctrica. La integración de estos sistemas es un paso esencial hacia la sostenibilidad, ya que reduce la dependencia de recursos no renovables y optimiza el consumo energético (Méndez, 2022).

Desarrollo urbano sostenible

El concepto de urbanismo sostenible se refiere a la planificación de ciudades que integren viviendas autosostenibles dentro de un modelo más amplio de sostenibilidad. Rojas (2018) destaca que el desarrollo urbano sostenible implica la creación de infraestructuras que no solo sean energéticamente eficientes, sino que también estén diseñadas para fomentar la movilidad sostenible, el uso de energías renovables y la reutilización de recursos.

Este enfoque no solo mejora la calidad de vida de los residentes, sino que también contribuye a la reducción del impacto ambiental en áreas urbanas densamente pobladas. En América Latina, ciudades como Medellín y Ciudad de México han empezado a adoptar estos principios, integrando viviendas autosostenibles en sus planes de desarrollo urbano (Rojas, 2018).

Sustainable housing in the USA

El desarrollo de viviendas autosostenibles en Estados Unidos ha tomado fuerza en los últimos años. Smith (2021) menciona que los modelos sostenibles de vivienda en ese país se centran en el uso de materiales ecológicos y en el diseño arquitectónico eficiente, optimizando el consumo de energía y agua. Estas viviendas, además de ser sostenibles, son cada vez más populares entre los compradores conscientes del medio ambiente, lo que ha impulsado el mercado de la construcción verde.

En particular, los desarrollos de viviendas en áreas urbanas como California y Nueva York han adoptado enfoques sostenibles, que incluyen la integración de tecnologías avanzadas y la maximización del uso de recursos locales para reducir la huella ambiental (Smith, 2021).

Diseño de prototipos en AutoCAD

El diseño de prototipos de viviendas autosostenibles en AutoCAD es una práctica común que permite a los arquitectos visualizar y planificar la construcción de manera eficiente. Según García (2023), AutoCAD ofrece herramientas precisas para diseñar estructuras complejas, permitiendo a los arquitectos crear modelos detallados que incluyen aspectos como el sistema de energía solar y la recolección de agua. Además, la capacidad de simular diferentes escenarios ayuda a optimizar el uso de materiales y energía, garantizando un diseño más sostenible (García, 2023).

Cálculos estructurales en SAP2000

Para garantizar que las viviendas autosostenibles sean seguras y eficientes, es fundamental realizar cálculos estructurales detallados. Según Rodríguez (2023), SAP2000 es una herramienta crucial para analizar las cargas y la resistencia de los materiales utilizados en la construcción de viviendas sostenibles. Este software permite a los ingenieros evaluar la estabilidad de la estructura y realizar ajustes para optimizar su rendimiento en términos de durabilidad y sostenibilidad (Rodríguez, 2023).

Sistemas SCADA para la supervisión y control

El uso de sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) en viviendas autosostenibles se ha consolidado como una herramienta clave para garantizar la eficiencia en la gestión de recursos. SCADA es un sistema integral que permite la supervisión, el control y la automatización de procesos mediante la interacción con sensores, actuadores y bases de datos. En el contexto de viviendas sostenibles, SCADA es fundamental para gestionar de manera eficiente la captación, almacenamiento y reutilización de agua, así como el control de sistemas de energía renovable.

Una de las principales ventajas del sistema SCADA es su capacidad para monitorear en tiempo real variables críticas, como los niveles de agua en los tanques, el consumo energético y el estado operativo de los equipos. Esto facilita la toma de decisiones informadas, permite la optimización de los recursos y minimiza los tiempos de inactividad, generando ahorros tanto en costos como en energía (López & Fernández, 2022).

Además, SCADA permite la integración con tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), ampliando su funcionalidad mediante la conexión de múltiples dispositivos en un entorno doméstico. Esta integración mejora significativamente la experiencia del usuario al proporcionar controles accesibles y datos analíticos que fomentan el uso racional de los recursos. De este modo, SCADA se posiciona como una herramienta indispensable para la sostenibilidad y funcionalidad de las viviendas autosostenibles (Martínez, 2021).

8. ANALISIS DE LAS RESTRICCIONES

8.1 Ambientales

La posición geográfica colombiana es estratégica para la implementación de sistemas con aprovechamiento de aguas lluvias ya que por encontrarse en la línea ecuatorial es privilegiada en producción de agua, (entre 500 y 5.000 milímetros anuales dependiendo de la región), lo que indica que se podrían recoger hasta 5.000 litros por metro cuadrado cada año.

El cambio climático representa una de las mayores amenazas presentes y futuras a las que el ser humano se enfrenta. Sus consecuencias son innegables y lamentablemente visibles en forma de inundaciones, tormentas, sequías y procesos de desertificación imparables. La sequía es una anomalía transitoria en la que la disponibilidad de agua se sitúa por debajo de los requerimientos estadísticos de un área geográfica dada.

El cambio climático y la desertificación tienen una relación retro alimentativa que no hace más que empeorar las condiciones de vida: La falta de lluvias, la baja humedad del suelo y el aumento de la temperatura que propician la desertificación, conlleva a problemas como la degradación y erosión del suelo o los cambios en los usos de este, que producen a su vez la liberación de gases de efecto invernadero y que, como consecuencia, se refleja en un aumento mayor de la temperatura.

8.2 Normativo

La normatividad colombiana aún no precisa la regulación respecto a los sistemas hidrosanitarios que incorporan el aprovechamiento de aguas lluvias, a la fecha, son pocos los proyectos de gran escala a nivel urbano que han implementado este sistema y algunos de ellos han recibido certificaciones internacionales por el uso eficiente del agua en su interior, éstos también han reducido sus costos operativos con menores pagos por servicio de acueducto. La Ley 373 de 1997, de uso eficiente del recurso hídrico, obliga a los proyectos a reciclar agua lluvia, pero el desconocimiento de esta hace que poco se aplique en la materia.

(Decreto 1541 de 1978, art. 144). artículo 2.2.3.2.16.3. Aguas lluvias y construcción de

obras. La construcción de obras para almacenar conservar y conducir aguas lluvias se podrá adelantar siempre y cuando no se causen perjuicios a terceros.

8.3 Legales

Licencias de software

Es fundamental garantizar que el uso de herramientas como AutoCAD y SAP2000 se realice bajo licencias legales, ya que el uso de software pirata puede acarrear sanciones legales y económicas para los desarrolladores del proyecto. La adquisición de licencias válidas no solo asegura el cumplimiento legal, sino también el acceso a actualizaciones y soporte técnico oficial.

Responsabilidad civil

Los errores en las simulaciones pueden generar responsabilidades legales, especialmente cuando estos errores conducen a riesgos en la infraestructura o en la seguridad de las personas. Por ejemplo, un cálculo inadecuado de cargas estructurales o flujos de agua podría derivar en daños materiales significativos o incluso accidentes fatales. Para mitigar estos riesgos, es esencial garantizar la precisión en los cálculos y el uso de software confiable como SAP2000 y SCADA, además de contar con profesionales calificados que verifiquen los resultados.

Normativas Ambientales Nacionales

- Licencias ambientales

Dependiendo del impacto del proyecto, podría requerirse una licencia ambiental emitida por autoridades como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs). Estas licencias garantizan que el proyecto se alinee con las regulaciones ambientales vigentes.

- Ley 99 de 1993

Establece los lineamientos para la protección del medio ambiente en Colombia. Este proyecto, al involucrar el manejo de recursos hídricos, debe cumplir con los estándares establecidos en esta ley, garantizando el uso sostenible de los recursos naturales.

- Ley 373 de 1997

Promueve el uso eficiente y el ahorro de agua, estableciendo lineamientos para proyectos que impliquen la captación, almacenamiento y reutilización del recurso hídrico. Es crucial que el diseño del sistema SCADA y los modelos de reutilización del agua cumplan con estos estándares.

Regulación de Vertimientos y Manejo de Aguas Residuales

- Decreto 3930 de 2010

Regula el uso, protección y conservación de fuentes hídricas, así como el manejo de aguas residuales. Si el proyecto genera aguas tratadas, estas deben cumplir con las normas de vertimiento establecidas para evitar sanciones.

- Normas de vertimientos

El agua reutilizada en procesos no potables debe cumplir con estándares establecidos por la autoridad ambiental para asegurar que su uso no genere impactos negativos en el medio ambiente o en la salud de las personas.

Normativa sobre Construcción y Desarrollo Urbano Sostenible

- Licencias de construcción y permisos municipales

El proyecto debe tramitar las licencias de construcción correspondientes, garantizando el cumplimiento de normativas locales y nacionales que promuevan la sostenibilidad y la protección ambiental.

- Regulaciones del POT (Plan de Ordenamiento Territorial)

El uso del suelo y las áreas de construcción deben respetar el POT vigente del municipio donde se desarrollará el proyecto. Es necesario evaluar si la ubicación incluye restricciones en zonas de reserva natural o áreas protegidas.

Normativas de Tecnologías de Información y Protección de Datos (para sistemas SCADA)

- Ley 1581 de 2012 (Ley de Protección de Datos Personales)

Si el sistema SCADA maneja datos personales de los usuarios, como patrones de consumo o datos de contacto, debe cumplir con las disposiciones de esta ley para garantizar la privacidad y la seguridad de la información recolectada.

- Estándares de ciberseguridad

Los sistemas SCADA deben implementarse bajo normativas internacionales de ciberseguridad para proteger la infraestructura contra accesos no autorizados y garantizar la integridad de los datos y la continuidad del servicio.

Normativas de Gestión de Residuos Sólidos y Peligrosos

- Ley 1259 de 2008

Establece lineamientos para la gestión de residuos sólidos y peligrosos, asegurando su adecuada recolección, tratamiento y disposición final.

- Normas de reciclaje y economía circular

Los residuos generados durante la construcción y operación del proyecto deben manejarse conforme a las normativas locales que promueven el reciclaje y la reducción de desechos. Esto es especialmente relevante si se busca obtener certificaciones de sostenibilidad.

8.4 Socioculturales

Las restricciones socioculturales del proyecto están relacionadas con las costumbres, normas y creencias de la comunidad en la que se implementará. En algunos casos, valores culturales o percepciones relacionadas con el uso de aguas lluvias, incluso para fines no potables, podrían generar rechazo por consideraciones de higiene o salubridad. Este tipo de resistencia puede retrasar la aceptación y puesta en marcha del proyecto, especialmente si no se socializan adecuadamente sus beneficios.

La aceptación sociocultural también dependerá de la ubicación y el impacto percibido del proyecto en la comunidad. En áreas donde las prácticas tradicionales predominan, es fundamental realizar actividades de sensibilización y educación que expliquen los objetivos y ventajas del sistema, asegurando que se adapte a las necesidades y valores locales. Este enfoque puede mitigar posibles objeciones y fomentar una mayor integración del proyecto en las dinámicas sociales existentes.

9. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Población y muestra

La población se define como el conjunto de compañías que han desarrollado proyectos relacionados con viviendas autosostenibles en Colombia y América Latina, enfocándose en tecnologías de captación, almacenamiento y reutilización de agua, además del uso de energías renovables y materiales ecológicos. Asimismo, el estudio incluye sectores residenciales y comerciales interesados en adoptar estas tecnologías sostenibles y autosuficientes.

El objetivo de este análisis es establecer un prototipo que sirva como referencia para futuras implementaciones, evaluando tanto los éxitos como los desafíos que han enfrentado proyectos similares. Según estudios recientes, solo aproximadamente el 10% de las viviendas en Colombia utilizan tecnologías avanzadas para la gestión del agua. En América Latina, ese porcentaje asciende al 25% en países como México y Brasil.

La muestra empresarial, seleccionada mediante un muestreo no probabilístico intencional, está constituida por compañías constructoras y desarrolladores de proyectos que han implementado tecnologías sostenibles en viviendas autosostenibles. Estas empresas han aplicado sistemas de captación y reutilización de agua mediante tecnologías SCADA u otros métodos de automatización.

Un estimado del 60% de los entes empresariales seleccionados tienen operaciones en Colombia. Estas ciudades han registrado un aumento del 15% en la adopción de tecnologías sostenibles en los últimos cinco años. El 25% de las empresas provienen de México, país donde la escasez de agua ha llevado a una adopción más rápida de tecnologías de captación de agua en zonas urbanas como Monterrey y Ciudad de México. El 15% restante corresponde a empresas con operaciones en Brasil, un país líder en la implementación de tecnologías sostenibles en grandes áreas urbanas como São Paulo y Río de Janeiro.

Las empresas seleccionadas para este estudio son 11 en total, distribuidas de la siguiente manera: 6 empresas en Colombia (Amarillo, Constructora Capital, ConConcreto, Grupo Argos (Celsia), Prodesa, Constructora Bolívar), 3 empresas en México (Vinte

Viviendas Integrales, Casas GEO, ICA) y 2 empresas en Brasil (MRV Engenharia, Cyrela Brazil Realty). Estas compañías cuentan con un historial significativo de proyectos exitosos que han logrado reducciones en el consumo de agua de entre el 30% y el 50%, estableciendo un estándar en la región. Sin embargo, varios de estos proyectos han enfrentado desafíos relacionados con la viabilidad económica, lo que permitirá evaluar tanto los factores de éxito como las áreas de mejora en términos de costos y retorno de inversión. Este análisis no solo busca identificar patrones exitosos, sino también construir un modelo de referencia para futuras implementaciones en viviendas autosostenibles.

Instrumentos y Metodología

Este estudio emplea una metodología cuantitativa basada en la revisión y análisis exhaustivo de datos secundarios obtenidos de informes empresariales disponibles en línea. El objetivo es proporcionar una visión integral sobre la implementación de sistemas SCADA y tecnologías sostenibles en viviendas autosostenibles, evaluando su eficiencia y viabilidad en contextos reales. La elección de este enfoque responde a la necesidad de analizar variables numéricas y patrones que permitan optimizar estas tecnologías en términos económicos, sociales y medioambientales.

El acceso a los informes se realizó mediante una búsqueda estructurada en plataformas empresariales, sitios web oficiales de compañías del sector y repositorios en línea especializados en proyectos de sostenibilidad. Esto permitió recopilar información actualizada y de alta relevancia para el desarrollo del proyecto Sweet Home.

Instrumentos Cuantitativos

Los instrumentos seleccionados para este estudio están orientados a extraer, analizar y sintetizar información clave contenida en los informes empresariales relacionados con proyectos de captación, almacenamiento y reutilización de agua mediante sistemas SCADA. A continuación, se describen los instrumentos y su implementación.

Análisis de informes empresariales

- **Descripción:** Se realizó una recopilación sistemática de informes empresariales accesibles en línea que documentan proyectos de sostenibilidad hídrica en Colombia y América Latina. Los informes incluyen datos sobre tecnologías SCADA aplicadas al

aprovechamiento del agua en viviendas autosostenibles.

- **Proceso de implementación:**

- La búsqueda de los informes se llevó a cabo mediante palabras clave específicas como *tecnologías SCADA*, *eficiencia hídrica* y *retorno de inversión en sostenibilidad*.
- Los informes seleccionados fueron evaluados en términos de su origen (empresas reconocidas del sector), actualidad (publicados en los últimos cinco años) y contenido técnico.
- Posteriormente, los datos se codificaron y clasificaron en métricas clave, tales como el porcentaje de ahorro de agua, los costos de implementación y el tiempo promedio de retorno de inversión.

- **Fiabilidad y consistencia:** Para asegurar la calidad de la información, se realizó una triangulación de datos, comparando métricas similares entre múltiples fuentes. Además, se emplearon herramientas como gestores de referencias y software de análisis de contenido para estructurar los datos y garantizar su relevancia.

Pruebas estadísticas (Regresión lineal múltiple)

- **Descripción:** La regresión lineal múltiple se utilizó como herramienta estadística avanzada para analizar cómo diferentes variables interactúan y afectan la viabilidad y el rendimiento de los sistemas SCADA. Esta técnica permitió identificar relaciones clave entre factores como el tipo de materiales, el tamaño del sistema, la ubicación geográfica y los costos de instalación.
- **Proceso de implementación:**
 - Los datos codificados de los informes empresariales se introdujeron en el software estadístico Excel.
 - El análisis permitió establecer la significancia de cada variable en el éxito de los sistemas, proporcionando una base sólida para optimizar el diseño del prototipo Sweet Home.
- **Interpretación de resultados:** Los resultados estadísticos no solo identificaron qué variables tienen un impacto significativo, sino también la magnitud de dicho impacto.

Diseño de Investigación

El diseño de investigación utilizado para este proyecto es de tipo correlacional y transversal, ya que la información se recopiló en un único momento temporal a partir de fuentes secundarias. Este diseño permite identificar relaciones entre variables clave relacionadas con los sistemas SCADA y la sostenibilidad en viviendas autosostenibles.

El enfoque cuantitativo se centró en medir variables numéricas y objetivas. Entre los datos analizados se incluyen:

- Porcentaje de agua reutilizada.
- Costos de implementación y retorno de inversión (ROI).
- Métricas de eficiencia de sistemas SCADA documentadas en informes empresariales online.

Los datos se analizaron estadísticamente para identificar patrones y tendencias que respalden la toma de decisiones en el diseño del proyecto.

Procedimientos Éticos

Este estudio se fundamenta en el análisis exclusivo de datos secundarios obtenidos de informes empresariales disponibles en línea, lo que elimina la necesidad de involucrar directamente a individuos o empresas. No obstante, se siguieron estrictamente las normativas éticas para el uso de información pública, garantizando que la confidencialidad y la integridad de los datos no se vean comprometidas. Además, se citaron todas las fuentes de manera adecuada para respetar la propiedad intelectual de los autores originales.

Resultados

Los resultados del estudio se presentan en dos apartados principales. En el primero, se exponen los resultados estadísticos descriptivos y las correlaciones entre las variables cuantitativas clave en relación con el uso de sistemas SCADA en viviendas autosostenibles, mientras que en el segundo se analiza la relación cualitativa entre el contexto normativo, social y económico con la adopción de estas tecnologías. Estos resultados ofrecen una visión completa del impacto y viabilidad de la implementación de tecnologías sostenibles en viviendas.

9.1 Procesamiento y análisis de resultados

El análisis se basó en datos recolectados de proyectos de constructoras en Colombia, México y Brasil, todos enfocados en implementar tecnologías sostenibles en viviendas autosostenibles. Los datos, organizados en Microsoft Excel, permitieron realizar cálculos de

promedios, graficar tendencias clave y comparar los resultados obtenidos. A continuación, se presentan las interpretaciones de cada proyecto, junto con una comparación general y cómo estos resultados pueden ser aplicados en el desarrollo de Sweet Home.

Las siguientes tablas presentan el análisis de los 11 proyectos sostenibles en Colombia, México y Brasil, destacando las tecnologías implementadas, el ahorro de agua, los costos de implementación y el ROI estimado. La primera tabla resume la ubicación y tecnologías utilizadas, mientras que la segunda muestra resultados cuantitativos clave, con promedios que ofrecen una visión general del desempeño. Estos datos fueron organizados y analizados en Microsoft Excel para facilitar comparaciones y extraer aprendizajes relevantes para proyectos futuros, como Sweet Home.

Nombre del Proyecto	Ubicación	Tecnologías Implementadas
Reserva de la Sabana	Chía, Colombia	Sistemas de captación de agua lluvia, reutilización de aguas grises, automatización SCADA
Eco Towers	Bogotá, Colombia	Captación de agua lluvia, sistemas de riego automatizados, materiales ecológicos
Verde Horizonte	Medellín, Colombia	Sistemas SCADA para gestión hídrica, paneles solares, reutilización de aguas grises
Ciudad del Río	Medellín, Colombia	Captación y tratamiento de agua lluvia, sistemas SCADA, eficiencia energética
Bosque Real	Bogotá, Colombia	Reutilización de aguas grises, sistemas de monitoreo SCADA, materiales sostenibles
Parque Central	Cali, Colombia	Sistemas de captación de agua lluvia, automatización SCADA, paneles solares
Real del Sol	Tecámac, México	Captación de agua pluvial, sistemas SCADA, eficiencia energética
Villa del Campo	Tijuana, México	Reutilización de aguas grises, automatización SCADA, materiales ecológicos
Puerta de Hierro	Monterrey, México	Sistemas de captación y reutilización de agua, SCADA, paneles solares
Parque das Águas	São Paulo, Brasil	Captación de agua lluvia, sistemas SCADA, eficiencia energética
Eco Vila	Río de Janeiro, Brasil	Reutilización de aguas grises, automatización SCADA, materiales sostenibles

Tabla 2 - Elaboración propia. Proyectos, ubicación y metodología

Nombre del Proyecto	Ahorro de Agua (%)	Costo de Implementación (USD)	ROI Estimado (año)
Reserva de la Sabana	35%	\$ 500.000	5
Eco Towers	30%	\$ 450.000	4,5
Verde Horizonte	40%	\$ 600.000	6
Ciudad del Río	45%	\$ 700.000	5,5
Bosque Real	38%	\$ 480.000	5
Parque Central	42%	\$ 550.000	5,2
Real del Sol	33%	\$ 400.000	4,8
Villa del Campo	36%	\$ 420.000	5
Puerta de Hierro	40%	\$ 500.000	5,5
Parque das Águas	37%	\$ 450.000	5
Eco Vila	39%	\$ 470.000	5,2
Promedio	38%	\$ 501.818	5,155

Tabla 3 - Elaboración propia. Proyectos, ubicación y metodología

En Chía, Colombia, Amarilo desarrolló el proyecto "Reserva de la Sabana", un ejemplo destacado de vivienda autosostenible que integra sistemas de captación de agua lluvia, reutilización de aguas grises y automatización SCADA. Estos avances han permitido un ahorro del 35% en el consumo de agua, con un costo de implementación de 500 USD y un retorno de inversión estimado en 5 años (Amarilo, 2023). Este proyecto subraya el compromiso de Amarilo con la sostenibilidad, al implementar soluciones tecnológicas que mejoran la eficiencia hídrica y reducen el impacto ambiental.

El proyecto "Eco Towers", ubicado en Bogotá y liderado por Constructora Capital, combina la captación de agua lluvia con sistemas de riego automatizados y materiales ecológicos. Esta iniciativa ha logrado un ahorro de agua del 30%, con un costo de implementación de 450 USD y un tiempo estimado de retorno de inversión de 4.5 años (Constructora Capital, 2022). Este desarrollo refleja el interés de la constructora en fomentar prácticas sostenibles mediante tecnologías modernas.

"Verde Horizonte", desarrollado por ConConcreto en Medellín, implementa sistemas SCADA para la gestión hídrica, reutilización de aguas grises y generación de energía mediante paneles solares. Estas tecnologías han resultado en un ahorro de agua del 40%, con un costo de implementación de 600 USD y un retorno de inversión en 6 años (ConConcreto, 2021). Este proyecto destaca por su enfoque integral en sostenibilidad hídrica y energética.

En Medellín, "Ciudad del Río" es un proyecto innovador desarrollado por Grupo Argos y su filial Celsia. Este incluye la captación y tratamiento de agua lluvia mediante sistemas SCADA, junto con soluciones de eficiencia energética, alcanzando un ahorro de agua del 45%. El costo de implementación fue de 700 USD, con un retorno estimado de inversión de 5.5 años (Celsia, 2020). Este desarrollo demuestra cómo las grandes empresas pueden liderar la transformación hacia prácticas más sostenibles.

"Bosque Real", en Bogotá, es un proyecto de Prodesa que incorpora la reutilización de aguas grises y sistemas de monitoreo SCADA para optimizar la gestión hídrica. Este proyecto ha logrado un ahorro del 38%, con un costo de implementación de 480 USD y un tiempo de retorno estimado de 5 años (Prodesa, 2022). Su diseño incluye materiales sostenibles, demostrando un enfoque en minimizar los impactos ambientales.

En Cali, "Parque Central" es un proyecto de Constructora Bolívar que integra sistemas de captación de agua lluvia, automatización SCADA y generación de energía solar. Este desarrollo ha alcanzado un ahorro de agua del 42%, con un costo de implementación de 550 USD y un retorno de inversión de 5.2 años (Constructora Bolívar, 2021). Este proyecto se destaca por ser un referente en la construcción sostenible en Colombia.

"Real del Sol", liderado por Vinte Viviendas Integrales en Tecámac, México, combina la captación de agua pluvial con sistemas SCADA y tecnologías de eficiencia energética. Este proyecto ha alcanzado un ahorro del 33% en el consumo de agua, con un costo de implementación de 400 USD y un retorno de inversión estimado de 4.8 años (Vinte Viviendas Integrales, 2021). Vinte muestra cómo los desarrollos residenciales pueden ser innovadores y sostenibles.

Casas GEO desarrolló el proyecto "Villa del Campo" en Tijuana, México, integrando tecnologías de reutilización de aguas grises, SCADA y materiales ecológicos. El proyecto reporta un ahorro de agua del 36%, con un costo de implementación de 420 USD y un tiempo estimado de retorno de inversión de 5 años (Casas GEO, 2020). Este desarrollo refleja el compromiso de la empresa con la sostenibilidad en el segmento de interés social.

En Monterrey, México, "Puerta de Hierro" es un proyecto de ICA que integra sistemas de captación y reutilización de agua, SCADA y generación de energía mediante paneles solares. Este desarrollo ha logrado un ahorro del 40%, con un costo de implementación de 500 USD y un retorno estimado de inversión de 5.5 años (ICA, 2019).

"Parque das Águas", desarrollado por MRV Engenharia en São Paulo, Brasil, emplea sistemas SCADA y tecnologías de captación de agua lluvia para mejorar la eficiencia hídrica. Este proyecto ha reportado un ahorro del 37%, con un costo de implementación de 450 USD y un tiempo de retorno estimado de 5 años (MRV Engenharia, 2021).

En Río de Janeiro, Brasil, Cyrela Brazil Realty desarrolló "Eco Vila", un proyecto que incorpora la reutilización de aguas grises, SCADA y materiales sostenibles. Este desarrollo ha logrado un ahorro del 39%, con un costo de implementación de 470 USD y un retorno estimado de inversión de 5.2 años (Cyrela Brazil Realty, 2020). Este proyecto refuerza el liderazgo de Cyrela en sostenibilidad en el sector inmobiliario brasileño.

Presentación de gráficos

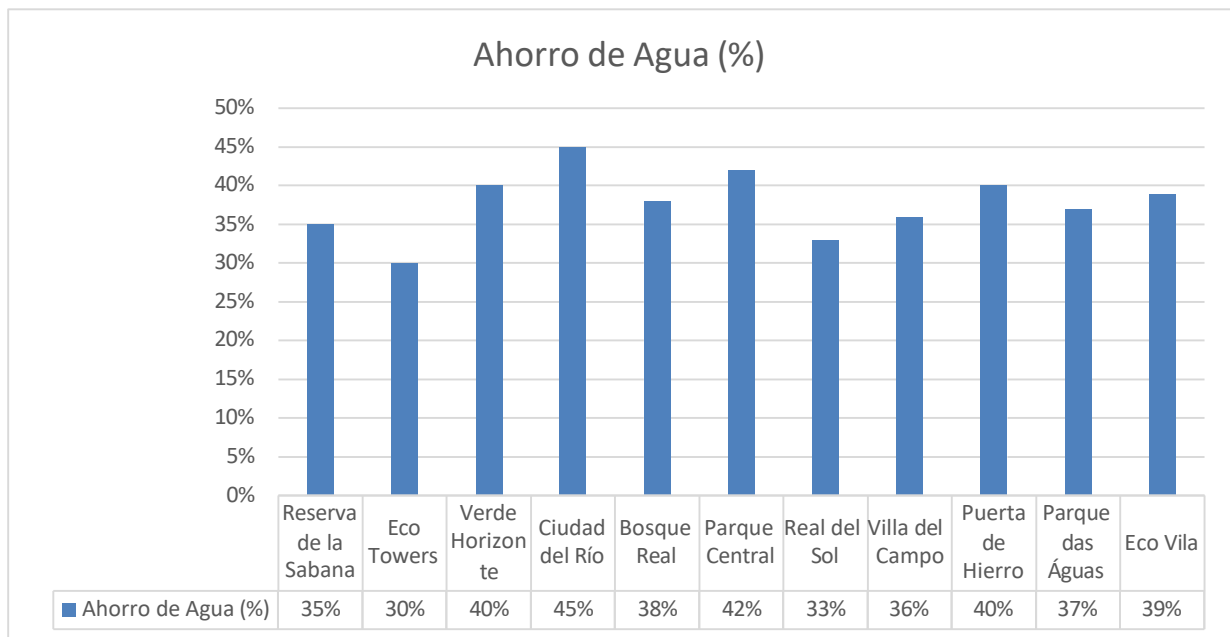


Ilustración 3 - Elaboración propia. Niveles de ahorro de agua

El gráfico ilustra los porcentajes de ahorro de agua obtenidos en 11 proyectos sostenibles desarrollados en Colombia, México y Brasil. Estos proyectos han implementado tecnologías como sistemas SCADA, captación de agua lluvia, reutilización de aguas grises y medidas de eficiencia energética. La información permite analizar las diferencias en desempeño hídrico entre los desarrollos y evaluar la efectividad de las soluciones aplicadas.

Liderazgo en Ahorro Hídrico: Ciudad del Río (45%)

Este proyecto, ubicado en Medellín, se posiciona como el más eficiente en términos de ahorro de agua. La integración de tecnologías avanzadas, como sistemas SCADA y soluciones de captación y tratamiento de agua lluvia, ha sido determinante para alcanzar este resultado, convirtiéndolo en un modelo de sostenibilidad ideal para áreas urbanas con alta demanda hídrica.

Proyectos con Ahorro Superior al Promedio (38%)

Varios proyectos han logrado superar el promedio de ahorro. Parque Central (42%) se destaca por combinar tecnologías de captación de agua lluvia con paneles solares, lo que evidencia un enfoque integral en la gestión hídrica. De manera similar, Verde Horizonte (40%) y Puerta de Hierro (40%) han logrado un equilibrio entre el uso de tecnologías avanzadas y costos moderados. Eco Vila (39%), aunque ligeramente por debajo, mantiene un desempeño notable dentro del contexto brasileño.

Proyectos con Ahorro Cercano al Promedio: Bosque Real (38%) y Parque das Águas (37%)

Ambos desarrollos muestran resultados consistentes y reflejan la efectividad de tecnologías como la reutilización de aguas grises y los sistemas SCADA, lo que reafirma su aplicabilidad en diversos entornos.

Proyectos con Menor Ahorro Hídrico

El proyecto Eco Towers (30%), aunque registra el porcentaje más bajo de ahorro, se caracteriza por sus costos reducidos y un retorno de inversión competitivo, lo que lo convierte en una opción económicamente viable. Por otro lado, Real del Sol (33%) y Villa del Campo (36%) presentan resultados ligeramente por debajo del promedio, evidenciando que un menor costo de implementación puede implicar compromisos en eficiencia hídrica.

Comparaciones Relevantes

- Eficiencia Hídrica: Proyectos como Ciudad del Río (45%) y Parque Central (42%) destacan como referentes en ahorro hídrico, mientras que desarrollos como Eco Towers (30%) subrayan la importancia de optimizar tecnologías para mejorar el rendimiento.

- Consistencia Regional: La mayoría de los proyectos se ubican entre el 35% y el 42%, reflejando la implementación efectiva de tecnologías sostenibles y su capacidad de adaptación a diferentes contextos.

- Relación Costo-Beneficio: Aunque proyectos como Real del Sol y Villa del Campo muestran menores porcentajes de ahorro, demuestran que es posible lograr soluciones sostenibles con presupuestos más ajustados, lo que es especialmente relevante en contextos de vivienda social o con recursos limitados.

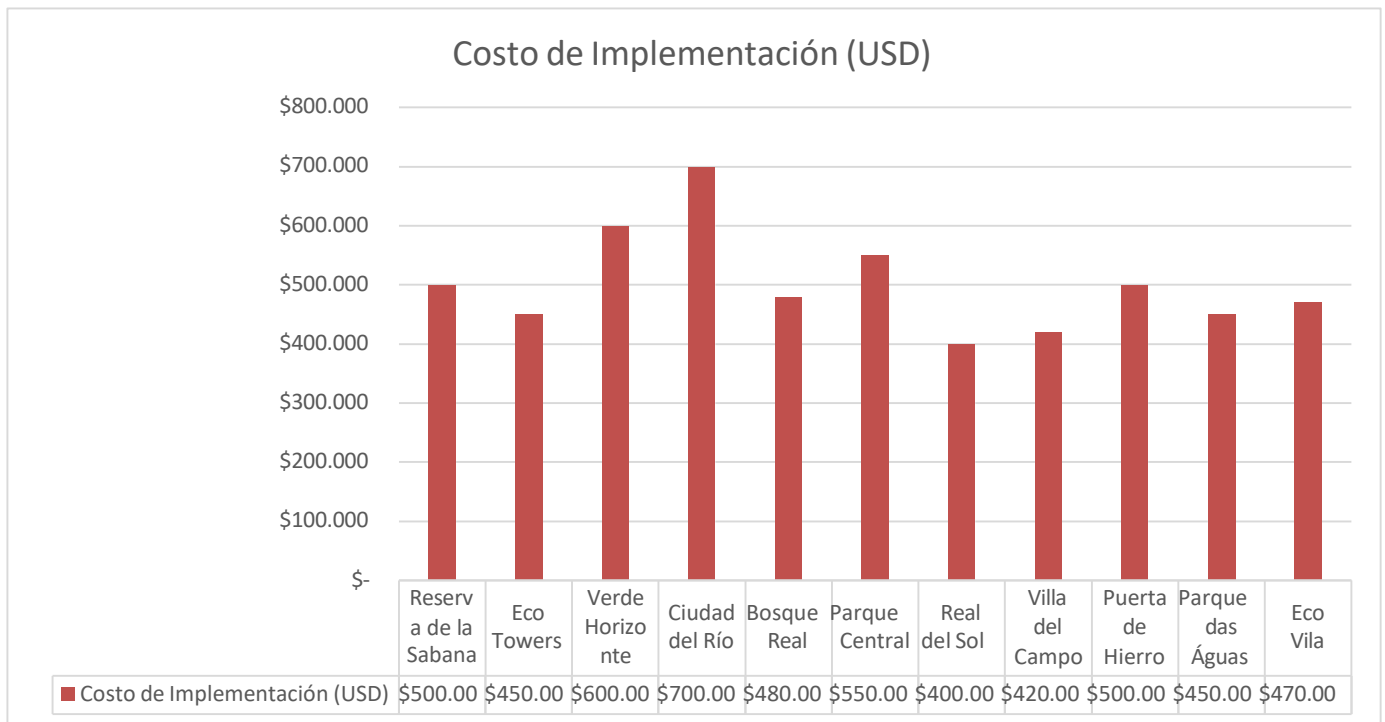


Ilustración 4 - Elaboración propia. Costos de implementación

El gráfico analiza los costos de implementación en dólares estadounidenses. Estos proyectos han integrado tecnologías como sistemas SCADA, captación de agua lluvia y reutilización de aguas grises, destacando variaciones importantes en la inversión requerida dependiendo del enfoque y la región. Los costos reflejan la relación entre la magnitud de la inversión y los beneficios esperados en términos de sostenibilidad hídrica.

Ciudad del Río, con un costo de \$700,000, lidera como el proyecto con la inversión más alta. Este valor corresponde al uso de tecnologías avanzadas que optimizan el ahorro de agua al máximo (45%). Sin embargo, su costo elevado puede representar una barrera para su replicabilidad en contextos con recursos más limitados.

Por otro lado, proyectos como Verde Horizonte (\$600,000) y Parque Central (\$550,000) también registran inversiones significativas, pero logran equilibrarlas con porcentajes destacados de ahorro hídrico, lo que los convierte en ejemplos de alto desempeño dentro del rango superior de costos. Eco Vila (\$470,000), aunque más accesible, mantiene un enfoque eficiente, lo que lo posiciona como una opción competitiva en el mercado brasileño.

En el rango cercano al promedio (\$501,818), se encuentran Bosque Real (\$480,000) y Puerta de Hierro (\$500,000). Ambos proyectos logran una combinación equilibrada entre inversión y eficiencia, destacándose por mantener costos moderados sin sacrificar un rendimiento aceptable en ahorro de agua (38% y 40%, respectivamente).

Real del Sol, con un costo de \$400,000, representa el proyecto más económico, demostrando que es posible implementar soluciones sostenibles con presupuestos ajustados. Aunque su ahorro de agua (33%) es inferior al promedio, sigue siendo una alternativa viable, especialmente en proyectos dirigidos a sectores con limitaciones financieras. Villa del Campo (\$420,000) y Eco Towers (\$450,000) también sobresalen en este segmento, con costos más bajos y resultados aceptables en eficiencia hídrica.

El análisis evidencia que los costos de implementación están directamente relacionados con la complejidad y el alcance de las tecnologías adoptadas. Proyectos como Ciudad del Río destacan por su enfoque integral y alto rendimiento, mientras que desarrollos como Real del Sol y Villa del Campo se consolidan como opciones accesibles con un impacto positivo. Estos datos permiten evaluar la adaptabilidad de las soluciones según el contexto económico, fomentando estrategias que balanceen inversión y sostenibilidad.

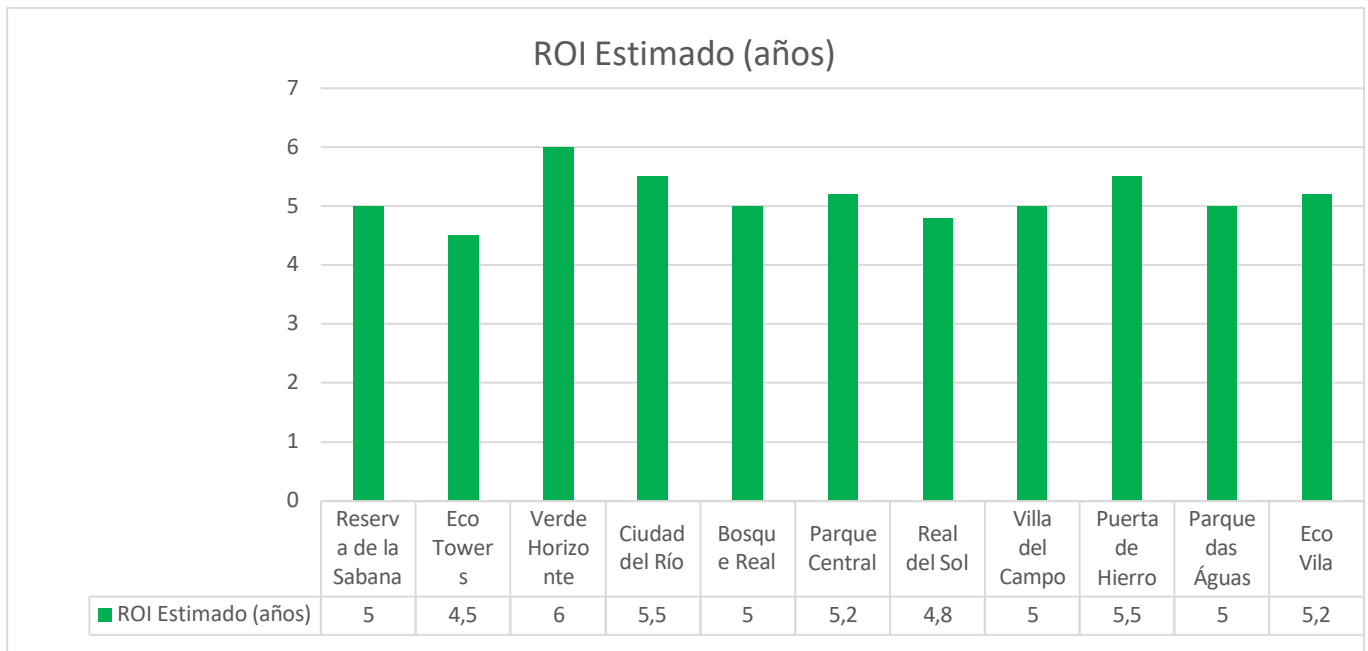


Ilustración 5 - Elaboración propia. ROI estimado

El gráfico refleja el tiempo estimado de retorno de inversión (ROI) en años para los proyectos sostenibles desarrollados en Colombia, México y Brasil. Este indicador mide el periodo necesario para recuperar la inversión inicial mediante los beneficios obtenidos, principalmente en ahorro de agua. Los resultados muestran variaciones que van desde los 4,5 hasta los 6 años, dependiendo del nivel de inversión y la eficiencia de las tecnologías implementadas.

Eco Towers, con un ROI de 4,5 años, destaca como el proyecto con el menor tiempo de retorno. Su bajo costo de implementación de \$450,000 y un ahorro hídrico del 30% hacen de este desarrollo una opción atractiva para proyectos con presupuestos limitados. Aunque no lidera en eficiencia hídrica, ofrece una recuperación rápida de la inversión, lo que resulta ideal en contextos donde se prioriza la viabilidad económica.

En el caso de Real del Sol, el ROI es de 4,8 años, ubicándose también por debajo del promedio general de 5,15 años. Este proyecto combina un bajo costo de \$400,000 con una recuperación relativamente rápida, aunque a costa de un menor porcentaje de ahorro hídrico del 33%. Esto lo posiciona como una alternativa viable para iniciativas con recursos más ajustados.

La mayoría de los proyectos, como Reserva de la Sabana, Bosque Real y Villa del Campo, tienen un ROI cercano al promedio de 5 años. Estas iniciativas logran un equilibrio entre costos moderados y beneficios consistentes, lo que demuestra su capacidad de adaptarse a diferentes escenarios sin comprometer su sostenibilidad.

Por otro lado, desarrollos como Ciudad del Río y Puerta de Hierro, con ROIs de 5,5 años, muestran un tiempo de retorno ligeramente superior al promedio. Esto se debe a sus mayores costos de implementación, que se compensan con ahorros de agua significativos, alcanzando el 45% y 40%, respectivamente. Estas características los convierten en modelos destacados para proyectos con un enfoque a largo plazo.

En el extremo superior se encuentra Verde Horizonte, con un ROI de 6 años, el más alto entre los proyectos analizados. Su alto costo de \$600,000 y el uso de tecnologías avanzadas justifican este plazo extendido, ya que prioriza un enfoque integral que combina sostenibilidad hídrica y energética.

Proyectos como Parque Central y Eco Vila, con ROIs de 5,2 años, ofrecen un tiempo de retorno intermedio, destacando por su capacidad de equilibrar inversiones moderadas con buenos niveles de eficiencia hídrica, alcanzando el 42% y 39%, respectivamente.

El análisis de proyectos en Colombia, México y Brasil nos ofrece importantes aprendizajes cualitativos para el diseño del prototipo "Sweet Home". Una conclusión clave es que la integración de tecnologías sostenibles como sistemas SCADA, captación de agua lluvia y reutilización de aguas grises resulta fundamental para mejorar la eficiencia hídrica y la sostenibilidad en viviendas autosostenibles. Estos proyectos demuestran que combinar diversas tecnologías puede ser efectivo para abordar retos ambientales, aunque es crucial priorizar soluciones que se adapten al contexto local y a las necesidades específicas de los usuarios. Además, el uso de materiales ecológicos no solo fortalece el impacto ambiental positivo, sino que también mejora la percepción de sostenibilidad del proyecto.

Por otro lado, el análisis destaca la importancia de un diseño equilibrado que contemple tanto la viabilidad económica como el impacto sostenible. Los proyectos exitosos muestran que es posible implementar soluciones funcionales y sostenibles sin depender exclusivamente de tecnologías complejas o costosas. Para el prototipo "Sweet Home", es recomendable enfocarse en un diseño modular y escalable, que permita integrar gradualmente tecnologías más avanzadas en función de las necesidades y recursos disponibles. Asimismo, el enfoque en prácticas sostenibles y accesibles fortalecerá el valor educativo del proyecto, sirviendo como referencia para futuras iniciativas orientadas a mejorar la gestión hídrica en entornos residenciales.

10. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

Respecto al tema abordado en el proyecto, existen varias propuestas y alternativas de solución que se deben analizar para determinar cuál es la más viable o efectiva para cumplir los objetivos establecidos en el contexto de la formulación de un proyecto, identificar y evaluar alternativas de solución es clave para:

- Comparar opciones: Analizar diferentes caminos o métodos para solucionar el problema.
- Optimizar recursos: Identificar la opción que ofrezca mayores beneficios en términos de costo, tiempo y resultados.
- Minimizar riesgos: Elegir la alternativa que implique menor riesgo o que sea más sostenible en el tiempo.

La problemática identificada en este proyecto se basa en el alto riesgo de desabastecimiento hídrico en las áreas urbanas y en las cabeceras municipales presentando un panorama crítico en las condiciones hidrológicas medias, enfrentando una grave escasez del recurso natural en el marco del fuerte impacto ambiental por el cambio climático. Un fenómeno global que nos obliga a implementar procesos viables que fomenten el bienestar de la población y la protección ambiental, por ejemplo:

1. Captación y almacenamiento de agua de lluvia

La captación de agua de lluvia consiste en la instalación de sistemas especializados que recolectan y almacenan el agua pluvial para diversos usos. Los principales sistemas incluyen tanques, aljibes o cisternas conectados a techos y canaletas, que dirigen el agua hacia un punto de almacenamiento. Esta solución resulta particularmente efectiva en zonas con precipitaciones regulares, ya que reduce significativamente la dependencia de fuentes de agua subterráneas o superficiales, al tiempo que optimiza los recursos disponibles.

Para garantizar su funcionamiento eficiente, es esencial contar con techos inclinados que faciliten el flujo del agua, canaletas adecuadas que recojan la mayor cantidad posible de agua y sistemas básicos de filtración para eliminar residuos sólidos y otros contaminantes iniciales.

2. Uso de tecnologías de riego eficiente

La implementación de sistemas de riego por goteo o micro aspersión es una de las formas más efectivas de reducir el consumo de agua en actividades agrícolas. Estos sistemas funcionan mediante la liberación controlada de agua directamente en las raíces de las plantas, minimizando el desperdicio asociado a métodos tradicionales como el riego por inundación. Además, mejoran la distribución uniforme del agua, lo que favorece un crecimiento más saludable de los cultivos.

Sin embargo, estos sistemas requieren materiales específicos, como tubos de polietileno, emisores de goteo, filtros para evitar obstrucciones y válvulas reguladoras de presión. Adicionalmente, es fundamental capacitar a los usuarios en la instalación, operación y mantenimiento para asegurar su efectividad a largo plazo.

3. Reutilización de aguas grises

La reutilización de aguas grises implica recolectar y tratar agua proveniente de actividades domésticas, como lavar platos, ropa o ducharse, para su uso en tareas no esenciales como riego o limpieza. Este proceso se logra mediante sistemas de filtración simples, que pueden incluir biofiltros naturales compuestos por materiales como arena, grava y plantas, o tecnologías más avanzadas de tratamiento químico.

Esta estrategia ofrece múltiples beneficios, como el ahorro de agua potable y la reducción de la cantidad de agua desechada. Además, es una solución viable tanto en contextos urbanos como rurales, siempre que se cuente con la infraestructura adecuada para recolectar, tratar y distribuir las aguas tratadas.

4. Conservación de fuentes hídricas

La conservación de fuentes hídricas se centra en la reforestación y el manejo adecuado de cuencas hidrográficas. Esto implica proteger nacimientos de agua y prevenir su contaminación mediante prácticas como la restauración de la vegetación natural, la construcción de barreras para evitar la erosión y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles.

Esta estrategia es fundamental para asegurar un suministro sostenible de agua a largo plazo. Sin embargo, su éxito depende de la participación activa de la comunidad, que debe estar

educada en la importancia de estas prácticas. También se requiere un plan integral de manejo

ambiental que involucre a autoridades locales y organizaciones ambientales.

5. Sensibilización y capacitación comunitaria

La sensibilización y capacitación comunitaria son herramientas clave para fomentar prácticas sostenibles en el manejo del agua. A través de campañas de educación, se pueden enseñar técnicas de ahorro y uso eficiente, como reparar fugas, recolectar agua de lluvia o instalar tecnologías de bajo consumo.

Estas iniciativas promueven cambios de comportamiento tanto a nivel individual como colectivo. Para su implementación, es necesario disponer de materiales educativos adaptados al contexto local, como folletos, talleres o videos, así como contar con líderes comunitarios capacitados que actúen como multiplicadores del conocimiento.

6. Uso de tecnologías tradicionales o ancestrales

El uso de tecnologías ancestrales consiste en recuperar y adaptar prácticas tradicionales como canales de infiltración, acequias o pozos comunitarios. Estas técnicas, desarrolladas a lo largo de generaciones, están diseñadas para adaptarse al contexto rural y suelen ser económicas y sostenibles.

Para aprovechar estas tecnologías, es esencial combinar el conocimiento local con un mantenimiento básico que asegure su funcionalidad. Además, su integración con tecnologías modernas puede potenciar su efectividad, asegurando un uso óptimo de los recursos hídricos disponibles.

7. Implementación de pozos someros con manejo responsable

Los pozos someros son una solución práctica para acceder al agua subterránea en zonas donde las fuentes superficiales son escasas. Estos pozos, excavados manualmente, deben manejarse de forma controlada para evitar la sobreexplotación del recurso.

Su implementación requiere estudios básicos para evaluar la disponibilidad hídrica y determinar la profundidad adecuada. También es necesario instalar sistemas de bombeo eficientes que permitan extraer el agua sin comprometer el acuífero, así como capacitar a las comunidades en el manejo sostenible del recurso.

8. Instalación de biodigestores

Los biodigestores son sistemas que procesan desechos orgánicos para generar agua tratada y biogás, que puede ser utilizado como fuente de energía. Esta tecnología es especialmente útil en zonas rurales donde los desechos no siempre se gestionan de manera adecuada.

Aunque requieren una infraestructura inicial significativa, como tanques herméticos y tuberías de conexión, los beneficios a largo plazo son múltiples. Además de reducir la carga sobre las fuentes de agua limpia, contribuyen a disminuir la contaminación y ofrecen una alternativa energética sostenible. Para su implementación, es fundamental capacitar a los usuarios en su mantenimiento y operación.

Estas estrategias ofrecen soluciones integrales para la gestión del agua en diferentes contextos. Cada una de ellas, desde la captación de agua de lluvia hasta el uso de biodigestores, se adapta a necesidades específicas, promoviendo la sostenibilidad y optimización de los recursos hídricos. Su implementación requiere una combinación de infraestructura adecuada, conocimientos técnicos y participación comunitaria, garantizando su eficacia y sostenibilidad a largo plazo.

11. ANÁLISIS DE COSTOS

ANÁLISIS DE COSTOS										
	PROYECTO PROTOTIPO SIMULADO SWEET HOME									
	COSTOS DE PRODUCCIÓN									
	Concepto	Cantidad	Valor Unitario	Tiempo Requerido	Tiempo de utilidad	Costo Total	Depreciación Anual	Valor depreciado	Costo depreciado	
Requerimientos Tecnológicos										
Costo Directo	Licencias software AutoCAD	1	7.676.811	1	Anual	7.676.811	25%	1.919.203	1.151.392	
Costo Directo	Licencias software SAP 2000	1	500.000	1	Anual	500.000	25%	125.000	375.000	
Activo con valor de depreciación	Equipo computacional	1	5.200.000	1	Anual	5.200.000	20%	1.040.000	4.160.000	
								DECREMENTO PROYECTADO	5.686.392	
							Revalorización anual	Valor Revalorizado		
Costo Directo	Servicio de conexión a Red de internet	1	86.000	12	Mes	1.032.000	2,93%	30.237	1.067.237	
Costo Directo	Servicio de almacenamiento Hosting	1	320.000	1	Anual	320.000	0,25%	800	320.800	
Costo Directo	Sistema Software servicio Web	1	1.800.000	1	Anual	1.800.000	9,80%	176.400	1.976.400	
Costo Directo	Costo materiales tecnologicos	1	800.000	12	Mes	9.600.000			9.600.000	
Requerimiento de Personal										
Costo Directo	Salario/ Prestación de servicio	Diseñador y modelador	1	1.462.000	1	Mes	1.462.000	12%	175.440	1.637.000
Costo Directo		Costos por servicio de mantenimiento	1	200.000	12	Mes	2.400.000			2.400.000
Costo Directo		Costos por actualización de (los) software (s)	1	250.000	1	Anual	250.000			250.000
Requerimientos Públicos										
Costo indirecto		Costo arriendo locación	1	1.200.000	12	Mes	14.400.000	IPC 9,8%	1.411.200	15.811.200
Costo indirecto		Costo servicios públicos	1	250.000	12	Mes	3.000.000	6,34%	192.000	3.192.000
Costo indirecto		Costos movilización y transporte	1	320.000	12	Mes	3.840.000	4,64%	178.176	4.018.176
		COSTOS POST-PRODUCCIÓN								
Requerimientos promocionales- divulgación										
Revalorización de activos	Costos promocionales	Costos por Promoción canales virtuales	1	11.500.000	3	Trimestral	11.500.000			11.500.000
Revalorización de activos		Costos por publicidad	1	2.500.000	3	Trimestral	7500000			7500000
Revalorización de activos		Costo participación ferias y exposiciones	1	4.500.000	2	Semestral	9000000			9000000
Revalorización de activos		Costos por participación programas de estímulos	1	1.750.000	1	Anual	1.750.000			1.750.000
						COSTO TOTAL DEL PROYECTO	81.230.811		INCREMENTO PROYECTADO	70.022.813

Tabla 4 - Elaboración propia. Análisis de costos

Costo directo

Se entiende por costo directo aquellos se pueden medir y asignar de forma concreta a un producto. Por ejemplo: La materia prima la cual se podría cuantificar de forma clara e intuitiva al conocer que tipo de materiales y en qué medida se requieren para fabricar un producto.

La mano de obra directa es otro de los costos directos al asignar un valor salarial concreto (Smith, 2023).

Costos indirectos

son aquellos que afectan los procesos productivos del proyecto y/o empresa, estos no se pueden medir ni asignar a ninguna de las etapas de producción directamente, para este caso se concierne asumir un criterio coherente de imputación.

Costo indirecto de producción: son aquellos atribuidos a los factores que contribuyen a la obtención de los resultados.

Costo indirecto general: son aquellos que son considerados innecesarios para la fabricación del o de los productos, pero son necesarios en otras áreas administrativas o comerciales (Horngren, & Datar, 2012).

Depreciación de activos

Son aquellos costos que se asignan a la vida útil de los activos, es usada para el cálculo de la alícuota de depreciación anual, el costo de los activos debe amortizarse durante su desgaste para determinar qué porcentaje periódico de deprecio (Nobles & Mattison, 2017).

Revalorización de activos

Es el valor máximo de los activos, este se da atendiendo el costo histórico de adquisición en condición de generar rentabilidad, según el artículo 64 del decreto 2649 de 1993 se establece que los activos fijos se les debe realizar un avalúo técnico mínimo cada tres años determinando el valor comercial de dicho activo (Mauleón, 2012).

Requerimientos Tecnológicos

Son los requisitos técnicos mínimos que se deben obtener para a correcta ejecución de las actividades comerciales, empresariales, en este caso se relaciona como necesidad de adquisición y la valoración en costo anual (Schnarch, 2021).

Requerimientos de personal

Son aquellas necesidades puntuales en relación con las cualidades, conocimientos y experiencia de las personas que desarrollan las actividades puntuales en los procesos de producción/creación o modificación de un producto, así como todo el personal humano competente directo e indirecto que actúa por el cumplimiento de los objetivos (Guízar, 2013).

Requerimientos de promoción

Son los costos estimados para el proceso de promoción, divulgación una vez el producto se encuentre en condiciones de comercialización, se entiende como la inversión necesaria estratégica de visibilizar el producto en un entorno definido o en el nicho de mercado (Montúfar, 2023).

12. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

1. Objetivo del proyecto

Diseñar un sistema SCADA para la supervisión y control de la captación, almacenamiento y reutilización de agua en una vivienda sostenible, que optimice el uso de los recursos hídricos mediante el monitoreo en tiempo real y la automatización de procesos, contribuyendo a una gestión eficiente y sostenible del agua en el entorno residencial simulado en AUTOCAD SAP 2000.

2. Planificación

La etapa de planificación comienza con la definición del alcance del proyecto, donde se identifican viviendas o comunidades piloto para la instalación del sistema. Este análisis incluye establecer metas específicas, como el volumen de agua a tratar (por ejemplo, 5,000 litros/día), el porcentaje de reutilización proyectado (40%-50%) y los niveles de automatización esperados. También se definen parámetros clave como la eficiencia del sistema en cada etapa, desde la captación hasta la distribución.

En cuanto a la selección de tecnologías, se identifican componentes físicos como tanques de polietileno de alta densidad (PEAD) para almacenamiento, canaletas de PVC reforzado, filtros de carbón activado y membranas ultrafiltrantes para el tratamiento inicial, y bombas sumergibles con control variable para distribución. Por otro lado, se emplean herramientas digitales como AutoCAD para el diseño técnico en 2D y 3D, así como un sistema SCADA que opere bajo protocolos Modbus o OPC-UA para el monitoreo y control remoto.

- Pasos clave:
 - Realizar un análisis inicial del área seleccionada para evaluar el potencial de captación según datos climatológicos.
 - Especificar requerimientos técnicos para garantizar la durabilidad y compatibilidad de los materiales.
 - Definir un cronograma detallado que contemple cada etapa del proyecto.

3. Diseño del Sistema

En el diseño de la infraestructura de simulación, se desarrolla un modelo a escala en AutoCAD que incluye todos los componentes técnicos del sistema. Este modelo considera detalles como la ubicación y capacidad de los tanques (e.g., tanque de captación de 2,000 litros y tanque de almacenamiento de 3,000 litros), la longitud y diámetro de las canaletas dimensionados según el área de captación del techo, y el diseño de sistemas de filtración de primera y segunda etapa.

El dimensionamiento del sistema incluye cálculos específicos para determinar el almacenamiento necesario basándose en promedios de precipitación local y el área del techo captador. También se dimensionan las tuberías utilizando la fórmula de continuidad del flujo $Q=v \cdot A$, donde v representa la velocidad del flujo y A , el área transversal. Además, se simulan las capacidades operativas del sistema SCADA, como el monitoreo de niveles en tanques mediante sensores ultrasónicos y el control automático de bombas.

- Pasos clave:
 - Modelar todos los componentes en AutoCAD asegurando compatibilidad entre ellos.
 - Realizar simulaciones preliminares para validar que el diseño cumple con los requisitos hidráulicos y de automatización.
 - Ajustar el diseño en función de los resultados obtenidos en las simulaciones iniciales.

4. Elaboración de la Simulación

Para la simulación, se identifican los elementos necesarios, como hardware y software especializados. En hardware, se utilizan computadoras capaces de ejecutar AutoCAD y sistemas SCADA, PLCs (controladores lógicos programables), sensores ultrasónicos de nivel, válvulas solenoides y actuadores eléctricos. En software, se implementan AutoCAD para el diseño técnico y plataformas SCADA como Ignition o Wonderware para el monitoreo en tiempo real.

El montaje de la simulación incluye el diseño detallado de los componentes físicos, como puntos de captación, líneas de conducción, válvulas de control, filtros y tanques. Además, se configura el sistema SCADA para monitorear niveles en tiempo real, activar automáticamente bombas y generar alarmas en caso de fallas.

- Pasos clave:
 - Integrar los componentes diseñados en un modelo funcional.
 - Ejecutar pruebas para verificar el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones.
 - Documentar los resultados obtenidos para referencia futura.

5. Ejecución y Pruebas

La simulación se ejecuta simulando el flujo de agua desde la captación hasta su uso final. Durante esta etapa se monitorean parámetros como presión, caudal y capacidad de almacenamiento. También se introducen escenarios de prueba, como lluvias intensas o fallos en las bombas, para evaluar la respuesta del sistema.

El objetivo principal es validar las alarmas y mecanismos de seguridad configurados en SCADA y garantizar que el sistema opere de manera eficiente bajo condiciones simuladas.

- Pasos clave:
 - Ejecutar simulaciones completas bajo condiciones climáticas y demandas variables.
 - Analizar el desempeño de cada componente en términos de eficiencia y confiabilidad.
 - Ajustar configuraciones en caso de detectar problemas.

6. Evaluación

La evaluación de los resultados se centra en comparar los datos obtenidos con los objetivos iniciales. Este análisis identifica puntos de mejora en el diseño, como ajustes en la capacidad de almacenamiento o modificaciones en los diámetros de las tuberías.

También se realiza una evaluación de los beneficios proyectados, como el porcentaje de ahorro en agua potable, el impacto económico del sistema y su viabilidad a largo plazo.

- Pasos clave:
 - Elaborar un informe técnico que resuma los hallazgos de la simulación.
 - Proponer soluciones para optimizar el diseño en base a los resultados obtenidos.

7. Documentación y Presentación

En esta última etapa, se documenta todo el proceso en un informe técnico que incluye diagramas detallados generados en AutoCAD, gráficos y tablas de desempeño del sistema SCADA, y un análisis financiero exhaustivo. El informe sirve como referencia clave para futuras implementaciones. Finalmente, se prepara una presentación que incluye simulaciones visuales y datos relevantes para comunicar los resultados a audiencias técnicas y no técnicas.

- Pasos clave:
 - Crear un informe técnico completo y detallado.
 - Preparar una presentación que resuma los puntos clave.

13. ANÁLISIS DE RESULTADOS

13.1 Resultados obtenidos

Vista general de la Simulación realizada en AutoCAD SAP2000 de un prototipo de vivienda sustentable enfocado en la reutilización de aguas lluvias.



Ilustración 6 - Elaboración propia. Visualización en 3D Modelo en AutoCAD del prototipo

Fase 1. Inicio de la simulación de la casa modelando la infraestructura, dimensiones de suelos y tanque recolector de aguas lluvias.

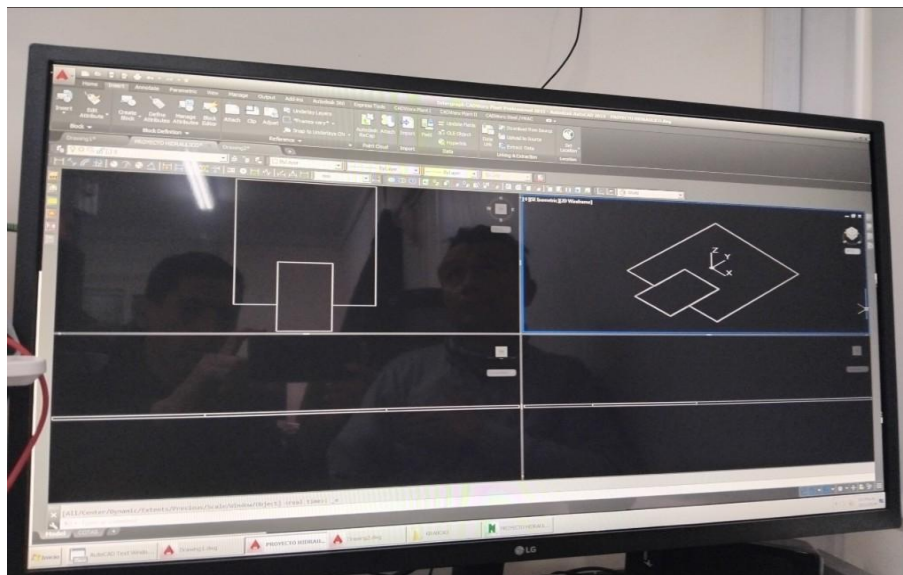


Ilustración 7 - Elaboración propia. Fase 1 de la creación de la simulación

Fase 2. Modelado del contorno, muros y ventanería, aquí se da un poco de estética al modelo simulado.

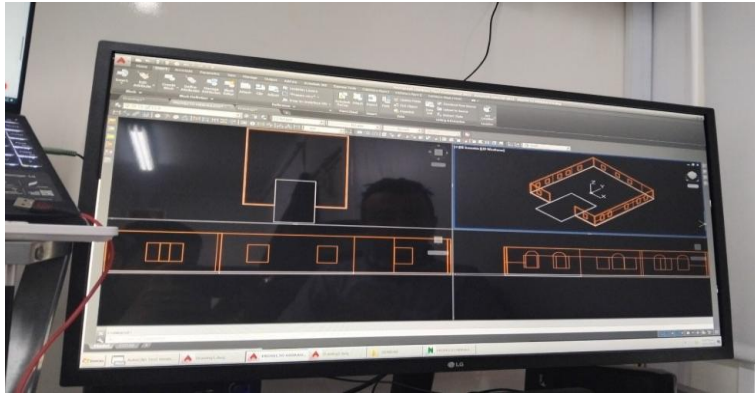


Ilustración 8 - Elaboración propia. Fase 2 de la creación de la simulación

Fase 3. Modelado del interior, muros y divisiones, aquí se dio un poco de estética al modelo en su interior para definir la ubicación de los accesorios que se utilizarán para controlar el suministro de agua (inodoros, llaves, lavaderos, lavamanos).

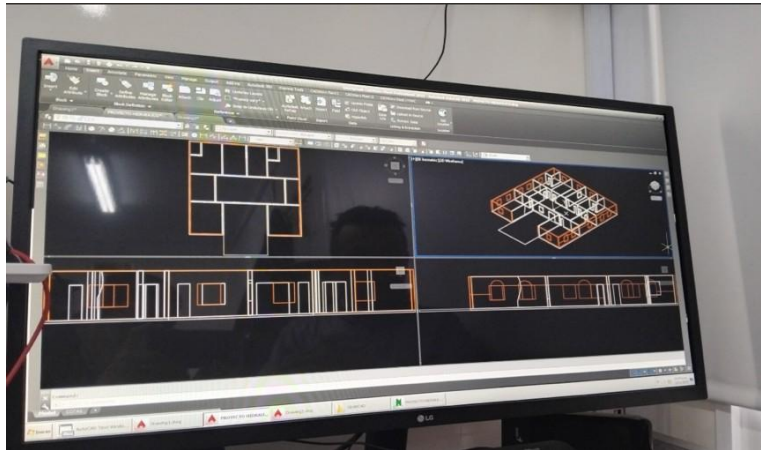


Ilustración 9 - Elaboración propia. Fase 3 de la creación de la simulación

Fase 4. Añadir todos los componentes internos de la casa, simulando los enceres, muebles y electrodomésticos que generalmente integran una vivienda.

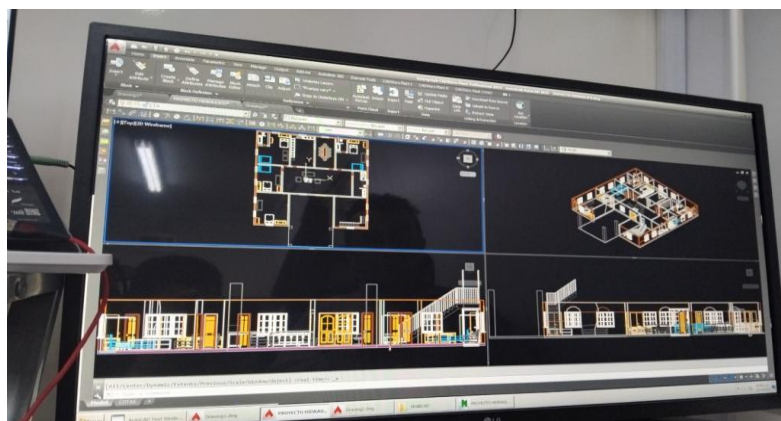


Ilustración 10 - Elaboración propia. Fase 4 de la creación de la simulación

Fase 5. Vista general de la simulación, aquí se realizaron los ajustes requeridos en las fases anteriores y determinamos algún cambio pertinente.

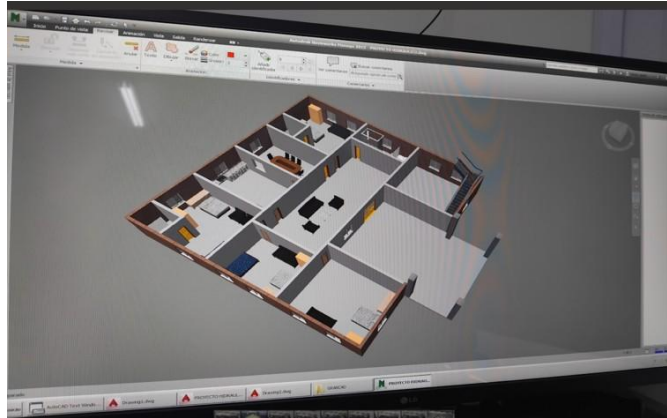


Ilustración 11 - Elaboración propia. Fase 5 de la creación de la simulación

Fase 6. Este análisis realiza una revisión de la simulación en sus ejes X Y Z es importante para determinar coordenadas en 2 dimensiones del plano.

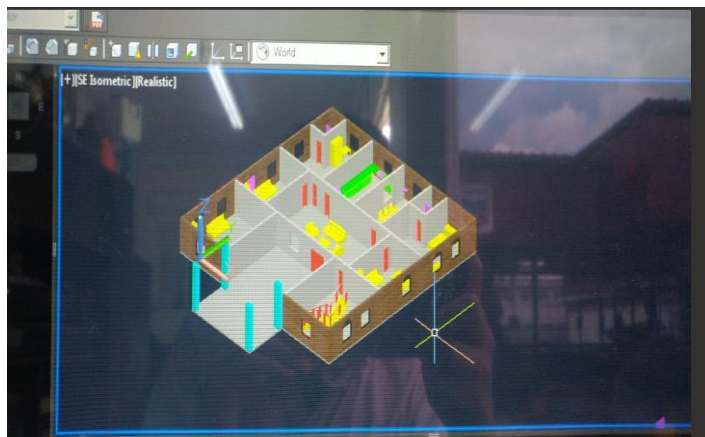


Ilustración 12 - Elaboración propia. Fase 6 de la creación de la simulación

Fase 7. Esta vista general desde una perspectiva superior de la simulación, permitió aprobar el diseño simulado.



Ilustración 13 - Elaboración propia. Fase 7 de la creación de la simulación

Fase 8. Vista estructural, aquí se usa una herramienta que genera el plano de las longitudes de todos los componentes del modelo.



Ilustración 14 - Elaboración propia. Red de conducción externa e interna

Fase 9. Vista frontal de la estructura del tanque recolector de aguas lluvias, aquí se calcula la envergadura y posición final y donde serán ubicados las tuberías de ingreso y salida.



Ilustración 15 - Elaboración propia. Red de conducción externa e interna tanque recolector de aguas lluvias

Fase 10. Vista lateral de la estructura del tanque recolector de aguas lluvias, aquí se calcula la envergadura y posición final y donde serán ubicados las tuberías de ingreso y salida.

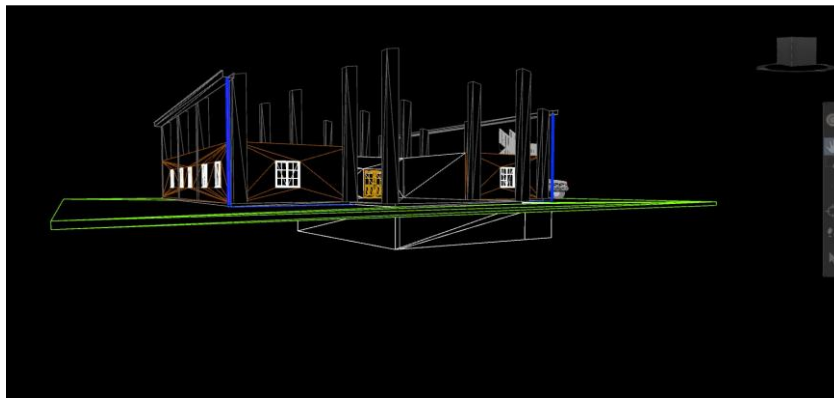


Ilustración 16 - Elaboración propia. Red de conducción externa e interna tanque recolector de aguas lluvias

Fase 11. Vista inferior de la estructura del tanque recolector de aguas lluvias, aquí se calcula la envergadura y posición final y donde serán ubicados las tuberías de ingreso y salida.

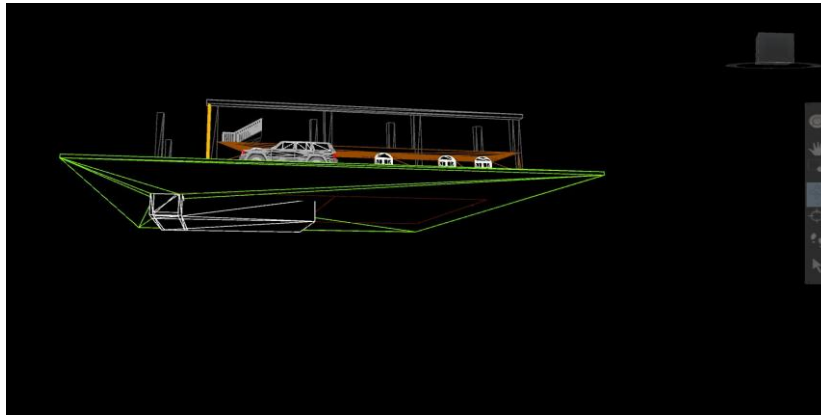


Ilustración 17 - Elaboración propia. Red de conducción externa e interna tanque recolector de aguas lluvias

Vista de la bomba sumergible utilizada para la simulación, donde se evidencia la succión y descarga de la misma, representando los flujos y su dirección.

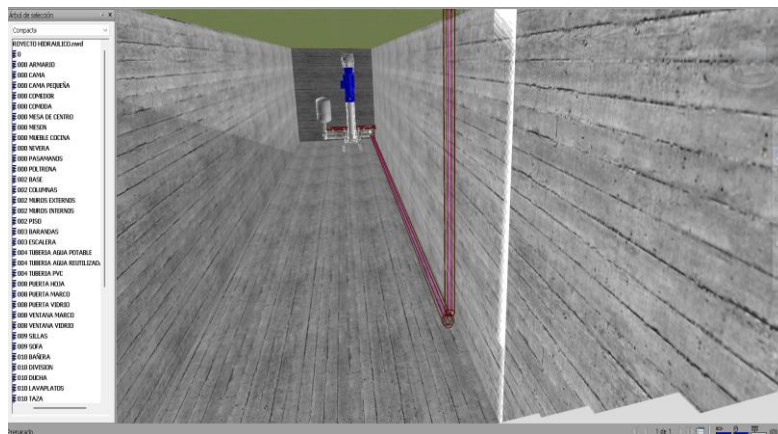


Ilustración 18 - Elaboración propia. Ubicación de la bomba sumergible del tanque recolector de aguas lluvias

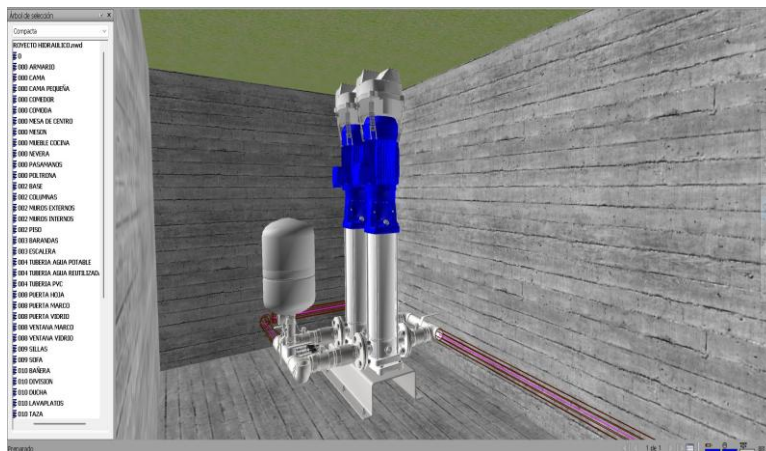


Ilustración 19 - Elaboración propia. Ubicación de la bomba sumergible del tanque recolector de aguas lluvias

Se revisaron tipos de bombas para determinar cuál es la bomba sumergible más apropiada para el proyecto simulado para que la interface con SCADA sea de fácil programación.



Ilustración 20 - Elaboración propia. Características de la bomba sumergible del tanque recolector de aguas lluvias

Esta imagen permite evidenciar las tuberías que se utilizaron en la simulación, es posible comprender el ciclo de las aguas tanto al interior como al exterior y sus puntos donde se utilizará el recurso.

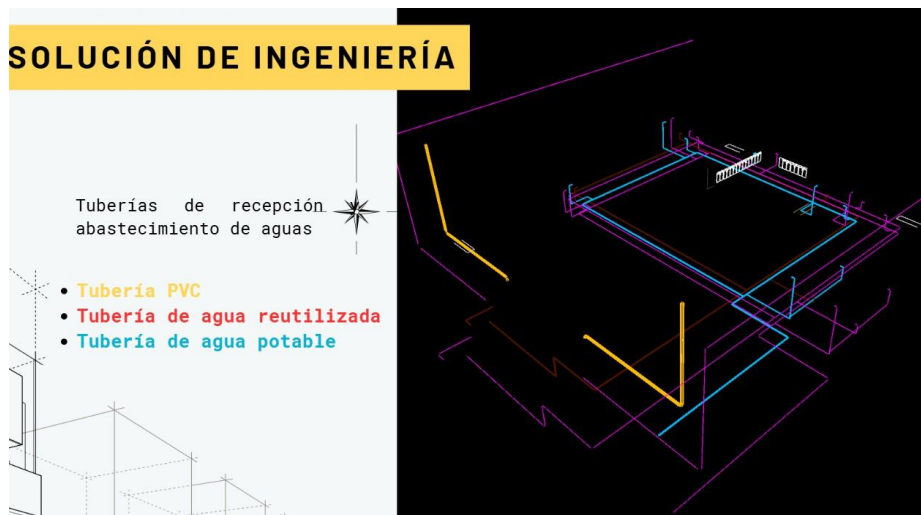


Ilustración 21 - Elaboración propia. Esquema de tuberías de agua

Simulación realizada en Scada de un prototipo de vivienda sustentable enfocado en la reutilización de aguas lluvias, su objetivo principal es controlar el recibo y abastecimiento de agua, con variables preestablecidas, que actúan como salvaguardas para garantizar el buen desempeño del diseño, tales como:

El sistema no opera si existe:

- Bajo nivel de agua en tanque de almacenamiento de aguas lluvias (10%).

- Bajo nivel de agua en tanque de almacenamiento de aguas lluvias (10%) y bajo nivel en tanque de abastecimiento al interior de la casa (10%).
- Alto nivel de agua en tanque de almacenamiento de aguas lluvias (95%).
- Alto nivel de agua en tanque de almacenamiento de aguas lluvias (95%) y alto nivel en tanque de abastecimiento al interior de la casa (95%).

Esta imagen representa como hacemos el ingreso al programa SCDA (Login-Logout). Garantizamos la seguridad del componente de una posible manipulación inadecuada.

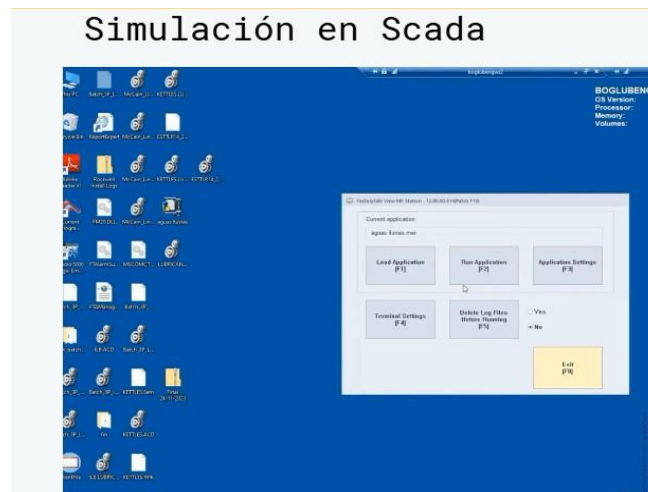


Ilustración 22 - Elaboración propia. Ingreso al Software SCADA (PLC)

El software permite condicionar el proceso, realizamos algunos cálculos y determinamos bajos y altos niveles de capacidad en los tanques en unos porcentajes que protejan los componentes del sistema.



Ilustración 23 - Elaboración propia. Alto nivel de agua en tanque subterráneo – alto nivel de agua en tanque abastecedor

- *Video explicativo de las simulaciones en AutoCAD SAP2000 y SCADA*

<https://youtu.be/Oy0OtzOEI1w>

- Presentación final del proyecto:

https://www.canva.com/design/DAGW3npMmKc/xmN4PZzk9t3p9lCHN3BWTw/edit?utm_content=DAGW3npMmKc&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

Durante la ejecución del proyecto, se llevaron a cabo simulaciones detalladas utilizando AutoCAD y SCADA. Estas herramientas permitieron modelar, visualizar y evaluar el sistema propuesto en diversos aspectos técnicos clave, logrando los siguientes resultados:

- Visualización en 3D del sistema completo: Aunque inicialmente se trabajó con representaciones en 2D, se optó por la visualización tridimensional para obtener un modelo más realista y detallado. Esto permitió identificar posibles conflictos en el diseño estructural y optimizar la disposición de los componentes.
- Diseño de la red de conducción externa e interna: Se modelaron las rutas y direcciones de las tuberías, considerando las ubicaciones óptimas para canaletas, filtros y puntos de distribución dentro de la vivienda. Estas rutas se optimizaron para garantizar un flujo eficiente del agua y minimizar las pérdidas por fricción.
- Capacidad de almacenamiento en tanques: Se evaluaron diferentes dimensiones y materiales para los tanques de captación y almacenamiento. Los diseños seleccionados equilibraron la funcionalidad con la estética de la vivienda, integrándose armónicamente en su estructura.
- Análisis de caudal y flujo: Las simulaciones permitieron estudiar la dirección y el comportamiento del agua en el sistema. Se analizaron escenarios de alta y baja intensidad de lluvia para garantizar que el diseño pudiera manejar variaciones en el caudal sin comprometer la eficiencia.
- Selección y evaluación de la bomba: Se investigaron diferentes tipos de bombas y se eligió la más adecuada según la capacidad de elevación requerida y el flujo demandado por el sistema. La bomba seleccionada cumple con los parámetros establecidos para garantizar un suministro constante y eficiente.

En general, los resultados obtenidos muestran que el sistema propuesto puede recolectar y reutilizar eficientemente aguas lluvias, abasteciendo diversas actividades

domésticas, como riego y limpieza, que típicamente consumen agua potable. Esto no solo contribuye al cuidado del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales, sino que también reduce los costos asociados al consumo de agua potable.

Comparación con los Objetivos Planteados

Los resultados alcanzados se compararon con los objetivos planteados al inicio del proyecto para evaluar su grado de cumplimiento:

- **Objetivo general:** Se logró diseñar un sistema SCADA funcional que permite la supervisión y control en tiempo real de la captación, almacenamiento y reutilización de agua en la vivienda simulada en AutoCAD. El sistema optimiza el uso de recursos hídricos mediante la automatización de procesos, cumpliendo así con el objetivo principal.
- **Objetivos específicos:**
 - **Establecimiento de un sistema eficiente para recolectar, tratar y reutilizar el agua:** El diseño demostró ser eficiente en la simulación, con un balance óptimo entre la capacidad de captación y la reutilización de agua.
 - **Uso de la simulación para modelar y cuantificar los efectos del diseño:** Las simulaciones realizadas en AutoCAD y SCADA permitieron modelar con precisión el flujo de agua, la ubicación óptima de los componentes y la red de tuberías.
 - **Análisis de eficiencia en costos y sostenibilidad ambiental:** El sistema mostró potencial para reducir significativamente los costos asociados al consumo de agua potable, a la vez que mejora la sostenibilidad ambiental mediante la disminución del desperdicio hídrico y la conservación de recursos naturales.

Evaluación del Desempeño del Prototipo

El desempeño del prototipo simulado se evaluó utilizando parámetros clave, que incluyeron funcionalidad, sostenibilidad, costo, tiempo de respuesta, capacidad de procesamiento, exactitud, fiabilidad, facilidad de uso y durabilidad. A continuación, se detallan los aspectos evaluados:

- **Funcionalidad y rendimiento:** El sistema simulado cumplió con las expectativas iniciales, mostrando una alta eficiencia en la captación y distribución de agua. Las bombas seleccionadas operaron dentro de los parámetros esperados, y el flujo se mantuvo constante durante las simulaciones.

- **Sostenibilidad ambiental:** La reutilización de aguas lluvias contribuye a la reducción del consumo de agua potable y la conservación de recursos naturales. Este enfoque refuerza los principios de sostenibilidad propuestos en el proyecto.
- **Costo y viabilidad económica:** La implementación simulada demostró que los costos iniciales de instalación pueden ser compensados a mediano plazo mediante el ahorro en el consumo de agua potable, logrando un equilibrio costo-beneficio favorable.
- **Fiabilidad y durabilidad:** Los componentes seleccionados mostraron ser adecuados para soportar las condiciones de operación esperadas, con un diseño robusto que minimiza el riesgo de fallas.
- **Facilidad de uso:** El sistema SCADA diseñado proporciona una interfaz intuitiva para el monitoreo y control, permitiendo que los usuarios supervisen fácilmente el funcionamiento y reciban alertas en caso de irregularidades.

Finalmente, se verificó que las características del prototipo simulado coincidieran con los parámetros especificados en el diseño inicial. Esto asegura que el prototipo sea adecuado para su propósito, respondiendo efectivamente al problema planteado y cumpliendo con las expectativas del proyecto.

El análisis de resultados confirma que el sistema SCADA propuesto cumple con los objetivos establecidos, ofreciendo una solución eficiente, sostenible y económicamente viable para la captación y reutilización de aguas lluvias en viviendas sostenibles. Las simulaciones realizadas en AutoCAD y SCADA validaron la funcionalidad y los beneficios proyectados, sentando las bases para futuras implementaciones en escenarios reales.

13.2 Validación con Expertos

La validación del proyecto se llevó a cabo mediante consultas a expertos en áreas relevantes, quienes aportaron su conocimiento técnico y experiencia para evaluar la viabilidad, funcionalidad y sostenibilidad del sistema diseñado. Entre ellos, Jimmy Alexander Pinto, ingeniero de software y experto con más de 10 años de experiencia en sectores como eléctrica, electromecánica, instrumentación y programación, ofreció una evaluación integral de la propuesta. Pinto, actualmente ingeniero de aplicaciones, ha trabajado en la implementación de soluciones innovadoras para automatización y optimización de recursos, lo que lo convierte en una autoridad clave en proyectos tecnológicos como este.

El proceso incluyó la presentación del modelo desarrollado en AutoCAD y SCADA, detallando aspectos como la capacidad de captación de agua, el diseño de las redes de conducción, el dimensionamiento de los tanques y el sistema de monitoreo en tiempo real.

Adicionalmente, se discutieron las simulaciones realizadas y los resultados preliminares en términos de eficiencia hídrica y costos operativos.

Resultados y retroalimentación obtenidos

El experto validó el diseño técnico del sistema, destacando los siguientes puntos clave:

- **Viabilidad técnica:** El sistema SCADA integrado cumple con los estándares requeridos para un control eficiente de los procesos de captación y reutilización de agua. El diseño presentado muestra una estructura bien fundamentada y técnicamente viable.

- **Autosostenibilidad:** Pinto destacó que el proyecto tiene un alto potencial para ser autosostenible, especialmente en entornos residenciales donde el uso de agua potable para actividades como riego o limpieza puede ser reemplazado eficazmente por agua tratada.

- **Impacto económico:** Según su análisis, el retorno de inversión (ROI) es alcanzable en un plazo corto, dado el ahorro significativo en el consumo de agua potable y los bajos costos operativos del sistema una vez instalado. Esto posiciona al proyecto como una solución rentable para las viviendas sostenibles.

- **Sostenibilidad ambiental:** El enfoque del sistema contribuye a la gestión responsable de los recursos hídricos, minimizando el desperdicio y fomentando prácticas sostenibles. Pinto valoró especialmente el impacto positivo en la reducción del consumo de agua potable y la preservación de fuentes hídricas.

El experto también realizó recomendaciones específicas para optimizar el diseño:

1. Incorporar un sistema de redundancia en el monitoreo del nivel de los tanques, asegurando la operación continua en caso de fallos en los sensores principales.

2. Evaluar la posibilidad de integrar sistemas de energía renovable, como paneles solares, para alimentar los componentes eléctricos y aumentar la sostenibilidad del sistema.

3. Realizar un análisis más detallado de la variabilidad de la demanda de agua en diferentes condiciones climáticas para ajustar los parámetros operativos del sistema.

Integración de comentarios en el diseño final:

En respuesta a las recomendaciones del experto, se realizaron las siguientes mejoras en el diseño:

- Se integraron sensores adicionales de nivel en los tanques, configurados en paralelo para proporcionar redundancia y evitar interrupciones en el monitoreo.
- Se incluyó una evaluación preliminar de la viabilidad de utilizar paneles solares para alimentar las bombas y el sistema SCADA, alineando el proyecto con un enfoque de energía limpia, lo cual sería muy útil al materializar proyectos como este.
- Las simulaciones en SCADA se ajustaron para incluir variaciones en el consumo de agua según escenarios climáticos, mejorando la precisión del sistema en la regulación del flujo y almacenamiento.

Impacto del Análisis y Evaluación

El proceso de validación con expertos no solo confirmó la viabilidad técnica y económica del proyecto, sino que también fortaleció su diseño mediante ajustes que mejoran su eficiencia y sostenibilidad. El proyecto se consolida como una propuesta robusta que combina tecnología avanzada con principios de sostenibilidad ambiental y económica. Estos aportes garantizan que el sistema diseñado no solo sea funcional en condiciones ideales, sino también adaptable a variaciones en las demandas y desafíos operativos, haciendo del proyecto una solución integral para la gestión hídrica en viviendas sostenibles.

13.3 Impacto técnico

Durante el desarrollo del proyecto, la simulación realizada mediante herramientas como AutoCAD y SCADA permitió optimizar diversos parámetros técnicos del sistema, asegurando su funcionalidad y adaptabilidad a distintas condiciones operativas. Este proceso resultó esencial para ajustar elementos clave del diseño, como los caudales de agua, los volúmenes de almacenamiento en tanques y la capacidad de tuberías y canales, con el objetivo de garantizar el máximo rendimiento con el menor costo posible. Estas optimizaciones técnicas fueron fundamentales para desarrollar un sistema eficiente, sostenible y económicamente viable.

Uno de los principales logros de la simulación fue calcular la capacidad del sistema para manejar condiciones climáticas extremas, como lluvias intensas o prolongadas. Estas evaluaciones

permitieron identificar posibles riesgos, como el sobrellenado de tanques o el colapso de canales y tuberías, implementando soluciones preventivas en el diseño. Este enfoque no solo asegura la funcionalidad del sistema en condiciones normales, sino que también lo hace resiliente frente al cambio climático, mitigando riesgos asociados con inundaciones y escasez de agua. adicionalmente, el diseño optimizado contribuye al máximo aprovechamiento del agua de lluvia, reduciendo significativamente la dependencia de fuentes externas, como agua potable de red o subterránea, y fomentando la autosuficiencia hídrica en las viviendas donde se implemente.

La simulación también permitió ajustar el tamaño y especificaciones de los componentes del sistema, como tanques, tuberías y canales, para garantizar que se adapten a las necesidades del entorno sin comprometer la estética ni los costos del proyecto. Este nivel de precisión en el diseño minimiza errores y mejora la eficiencia operativa del sistema, facilitando su implementación en diferentes tipos de viviendas. Además, el proceso de simulación posibilitó realizar múltiples ensayos y pruebas, lo que no solo redujo errores potenciales, sino que también mejoró la precisión y confiabilidad del diseño final.

Otro aspecto destacado es la alineación del diseño con normativas locales sobre la gestión de aguas lluvias, promoviendo su implementación como un sistema regulado y técnicamente validado. Esto refuerza la viabilidad del proyecto, ya que no solo cumple con estándares legales y ambientales, sino que también puede servir como modelo de referencia para desarrollar sistemas similares en otras viviendas o regiones. El modularidad del diseño permite adaptarlo a diferentes patrones climáticos, demandas hídricas y contextos socioeconómicos, aumentando su replicabilidad y escalabilidad.

En términos prácticos, este diseño no solo aborda la gestión eficiente del agua, sino que también contribuye a reducir costos a mediano y largo plazo. Al sustituir el uso de agua potable en actividades no esenciales, el sistema disminuye el gasto en servicios públicos y apoya iniciativas de sostenibilidad ambiental. Asimismo, la capacidad del sistema para realizar monitoreo en tiempo real mediante SCADA garantiza un control eficiente y oportuno, lo que incrementa la fiabilidad y funcionalidad del sistema.

13.4 Análisis Crítico

El análisis crítico de los resultados obtenidos a partir de la matriz FODA permite identificar tanto las oportunidades como los retos que enfrenta el prototipo de recolección de

aguas lluvias automatizado. Este enfoque reflexivo y sustentado analiza las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, con el propósito de optimizar el rendimiento del proyecto y garantizar su adaptabilidad a diferentes contextos.



Ilustración 24 - Elaboración propia. Análisis FODA

Reflexión sobre las Fortalezas

El proyecto presenta fortalezas significativas que lo posicionan como una solución viable y sostenible. Entre estas se destacan la sostenibilidad ambiental, la adaptabilidad climática y la eficiencia técnica del prototipo. Estas características permiten que el sistema se ajuste a condiciones climáticas variables y aproveche al máximo los recursos hídricos disponibles. Además, las pruebas previas realizadas mediante simulaciones en software especializado como AutoCAD y SCADA confirman su capacidad para minimizar costos a largo plazo, lo que resulta crucial para asegurar su implementación en comunidades con recursos limitados.

Análisis de las Debilidades

A pesar de las fortalezas mencionadas, el proyecto enfrenta desafíos importantes. La dependencia de datos precisos para el diseño y la configuración inicial del sistema es una limitación clave, ya que cualquier inexactitud podría comprometer el rendimiento del sistema. Además, el costo inicial elevado y la necesidad de mantenimiento continuo representan barreras para su adopción en entornos económicamente desfavorecidos. La falta de experiencia técnica en algunos equipos o regiones también puede dificultar la implementación adecuada y escalable del sistema.

Exploración de las Oportunidades

En cuanto a las oportunidades, se observa un creciente interés global por la sostenibilidad, acompañado de incentivos gubernamentales que podrían facilitar el financiamiento de este tipo de proyectos. La expansión de mercados y la contribución al cambio climático también representan ventajas estratégicas. Estas oportunidades sugieren que el prototipo tiene un potencial significativo para convertirse en un modelo replicable, especialmente en comunidades donde la gestión hídrica es un desafío crítico.

Evaluación de las Amenazas

Por otro lado, las amenazas identificadas incluyen la variabilidad climática extrema, que podría superar las capacidades de almacenamiento y distribución del sistema, y las restricciones normativas que podrían limitar su implementación. Además, la competencia con alternativas más económicas o menos complejas podría reducir el interés por esta solución. La vulnerabilidad económica de algunas regiones y los daños ambientales imprevistos también representan riesgos que deben ser mitigados mediante un diseño flexible y adaptable.



Ilustración 25- Elaboración propia. Estrategias derivadas de FODA

F-O: Fortalezas y Oportunidades

El proyecto cuenta con ventajas clave como la sostenibilidad ambiental, eficiencia técnica y reducción de costos a largo plazo. Estas fortalezas pueden aprovecharse para promover el prototipo como una solución innovadora y sostenible en diversos mercados. Este posicionamiento debe dirigirse a través de campañas que resalten su contribución al cambio climático y al manejo eficiente de recursos hídricos. Además, las oportunidades en el entorno, como los incentivos gubernamentales y alianzas estratégicas, representan un recurso clave. Por ejemplo, acceder a programas del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) o a políticas locales de sostenibilidad permitirá obtener subsidios o financiamiento que reduzcan las barreras económicas iniciales. Mejorar la tecnología del sistema mediante la incorporación de sensores avanzados y sistemas IoT reforzará la eficiencia y la innovación, asegurando un mayor impacto y aceptación en sectores que buscan soluciones sostenibles.

D-O: Debilidades y Oportunidades

Entre las principales debilidades se encuentra el alto costo inicial y la dependencia de datos precisos. Para enfrentarlas, es crucial buscar financiamiento externo a través de alianzas con el sector privado o incentivos gubernamentales, lo que permitirá superar estas barreras económicas. Al mismo tiempo, capacitar a los usuarios en el uso y mantenimiento del sistema asegurará su funcionalidad, minimizando los errores operativos que puedan surgir debido a una falta de conocimiento técnico. Este enfoque se complementa con programas de sensibilización que eduquen a las comunidades sobre los beneficios económicos y ambientales del sistema, incrementando la aceptación social y promoviendo una implementación más amplia.

A-F: Amenazas y Fortalezas

El diseño del prototipo debe prepararse para enfrentar escenarios climáticos extremos mediante simulaciones avanzadas realizadas en AutoCAD y SAP2000. Estas simulaciones permitirán prever el comportamiento del sistema ante eventos adversos como lluvias torrenciales o sequías prolongadas, asegurando la resiliencia del sistema frente al cambio climático. Asimismo, es esencial realizar capacitaciones enfocadas en la sensibilización comunitaria, promoviendo un conocimiento más profundo sobre cómo el prototipo puede mejorar la calidad de vida y reducir los costos operativos a largo plazo. Esto refuerza la aceptación social y ayuda a mitigar las restricciones normativas que puedan surgir en ciertas regiones.

D-A: Debilidades y Amenazas

Para abordar las limitaciones económicas y las restricciones normativas identificadas, es vital desarrollar versiones escalables y económicas del sistema. Este enfoque permite que las comunidades con recursos limitados puedan implementar el sistema en etapas, comenzando con componentes básicos y ampliando gradualmente con módulos avanzados. Además, asegurar que los datos utilizados en las simulaciones sean representativos de las condiciones locales garantizará un diseño adaptado a las necesidades específicas de cada región. Este proceso no solo fortalece la viabilidad técnica del prototipo, sino que también mejora su capacidad de cumplir con normativas locales y globales sobre la gestión de aguas lluvias, consolidando su potencial como una solución replicable y sostenible.

14 CONCLUSIONES

El proyecto Sweet Home, basado en el diseño y simulación de un sistema SCADA para la captación, almacenamiento y reutilización de agua, demostró su potencial como solución sostenible en entornos residenciales. A lo largo del desarrollo del prototipo, se alcanzaron importantes avances que reflejan aspectos novedosos en el manejo eficiente de recursos hídricos. A través de simulaciones en AutoCAD y SAP2000, se verificó la viabilidad técnica del sistema y su impacto positivo en la reducción del consumo de agua potable.

El cumplimiento de los objetivos fue evidente. Se estableció un sistema que permite captar y reutilizar agua de lluvia para usos no potables, logrando una disminución significativa en la dependencia de fuentes tradicionales. Además, el diseño contempló materiales accesibles y tecnologías adaptables, asegurando su escalabilidad a proyectos de mayor envergadura. La simulación también permitió identificar áreas de mejora, como el manejo de aguas excedentes y la necesidad de incluir sistemas avanzados de filtrado para garantizar la calidad del agua recolectada.

En cuanto a la metodología, los análisis realizados mostraron un enfoque integral, combinando herramientas de modelado y simulación con criterios de sostenibilidad económica y ambiental. Aunque los resultados fueron prometedores, se identificaron limitaciones inherentes al entorno simulado, como la dependencia de datos climáticos precisos y la falta de pruebas físicas para validar el diseño.

Mirando hacia el futuro, este proyecto abre la puerta a múltiples posibilidades. Su implementación real podría traducirse en beneficios económicos y ambientales, contribuyendo a la disminución de la presión sobre los sistemas de agua urbanos. Se recomienda avanzar en la construcción de prototipos físicos para optimizar el diseño y evaluar su desempeño en escenarios reales. Además, la integración de nuevas tecnologías, como el Internet de las Cosas (IoT), podría mejorar la eficiencia y funcionalidad del sistema.

En síntesis, el proyecto Sweet Home representa un paso importante hacia el desarrollo de soluciones sostenibles para la gestión del agua en viviendas. Sus resultados no solo aportan una base sólida para futuras investigaciones, sino que también destacan la relevancia de promover prácticas responsables y adaptativas frente a los desafíos ambientales actuales.

REFERENCIAS

- **Álvarez, R.** (2020). *Programación de sistemas energéticos en viviendas autosostenibles*. *Revista de Ingeniería Electrónica*.
- **Amarilo.** (2023). *Proyecto Reserva de la Sabana*. Recuperado de <https://amarilo.com>.
- **Blocher, E. J., Juras, P. E., & Smith, S. D.** (2023). *Administración de costos. Un enfoque estratégico*. McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=31449>.
- **Brown, K.** (2020). *Renewable energy in UK housing developments*. *Energy and Environment Journal*.
- **Casas GEO.** (2020). *Proyecto Villa del Campo*. Tijuana: Informes corporativos.
- **Clima pasado.** (s.f.). Recuperado el 22 de septiembre de 2021, de <https://www.climate.gov/maps-data/climate-data-primer/past-climate>.
- **ConConcreto.** (2021). *Verde Horizonte*. Medellín: Informes de sostenibilidad.
- **Constructora Bolívar.** (2021). *Parque Central*. Documentación oficial.
- **Constructora Capital.** (2022). *Proyecto Eco Towers*. Documentos internos.
- **Cruz, S.** (2020). *Economía circular y arquitectura sostenible*. *Revista de Ciencias Ambientales*.
- **Cyrela Brazil Realty.** (2020). *Eco Vila*. Río de Janeiro: Reportes internos.
- **Díaz Coutiño, R.** (2015). *Desarrollo sustentable una oportunidad para la vida: enfoque basado en competencias*. McGraw-Hill. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=1454>.
- **Dolan, F., Lamontagne, J., Link, R., et al.** (2021). *Evaluación del impacto económico de la escasez de agua en un mundo cambiante*. *Nat Commun*, 12, 1915. Recuperado de <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1038/s41467-021-22194-0>.
- **Fernández, P.** (2020). *Viviendas autosostenibles y su impacto en el cambio climático*. *Revista de Medio Ambiente*.
- **Galloway, S.** (2021). *POST CORONA*. Recuperado el 14 de noviembre de 2021, de <https://www.cemexventures.com/es/materiales-construccion-sostenible>.
- **Gómez, F.** (2019). *Prototipos de viviendas autosostenibles en América Latina*. *Ingeniería y Desarrollo*.
- **Grupo Argos.** (2020). *Ciudad del Río*. Medellín: Informes de sostenibilidad.
- **Guerrero, M.** (2006). *El agua* (5ª ed.). FCE, SEP, CONACyT.
- **Guízar Montúfar, R.** (2013). *Desarrollo organizacional*. McGraw-Hill. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=373>.

- **Gutiérrez, A.** (2021). *Aplicaciones de domótica en hogares sostenibles*. *Revista de Innovación Tecnológica*.
- **Hernández, J.** (2022). *Arquitectura bioclimática: Diseño eficiente en zonas urbanas*. *Revista Latinoamericana de Arquitectura*.
- **Horngren, C. T., Rajan, M. V., & Datar, S. M.** (2012). *Contabilidad de costos: un enfoque gerencial*. Pearson Educación. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=3619>.
- **ICA.** (2019). *Proyecto Puerta de Hierro*. Monterrey: ICA Publicaciones.
- **Johnson, P.** (2019). *Green building technologies for sustainable homes*. *International Journal of Sustainable Design*.
- **Labandeira, X., Vázquez, M. X., & León, C. J.** (2007). *Economía ambiental*. Prentice Hall. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=3676>.
- **López, C.** (2021). *Sistemas de gestión del agua en viviendas autosostenibles*. *Revista de Ingeniería Civil*.
- **López, R., & Fernández, J.** (2022). *Sistemas SCADA: Aplicaciones y beneficios en la gestión sostenible de recursos*. Editorial Técnica Global.
- **Márquez Delgado, D. L., Hernández Santoyo, A., Márquez Delgado, L. H., & Casas Vilardell, M.** (2021). *La educación ambiental: evolución conceptual y metodológica hacia los objetivos del desarrollo sostenible*. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 301-310.
- **Martínez, A.** (2020). *Materiales sostenibles en la construcción de viviendas*. *Arquitectura Sustentable en América Latina*.
- **Martínez, P.** (2021). *Integración de IoT en sistemas SCADA para viviendas sostenibles*. *Innovación y Tecnología en Ingeniería*, 7(3), 45-60.
- **Martínez Guillén, M. del C.** (2012). *Gestión del cambio*. Ediciones Diaz de Santos. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=7031>.
- **Mauleón, M.** (2012). *Logística y costos*. Diaz de Santos. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=4961>.
- **Méndez, J., & Padrón, A.** (2023). *Hacia la educación universitaria del futuro: Contribuciones de la pedagogía decolonial transdisciplinaria a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030*.
- **Méndez, T.** (2022). *Sistemas energéticos para viviendas autosostenibles*. *Revista Latinoamericana de Energía*.

- **Mohamed, W.** (2015). *The Philosophy Of Sustainable Design*.
- **Ministerio de Vivienda.** (2024). *Ante el Foro de Transición Energética y Gestión Integral del Agua en el Caribe, Minvivienda destaca el rol de los Planes Departamentales de Agua*. Recuperado de <https://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/ante-el-foro-de-transicion-energetica-y-gestion-integral-del-agua-en-el-caribe-minvivienda-destaca-el-rol-de-los-planes-departamentales-de-agua>
- **Morales, J.** (2020). *Aplicación de la ingeniería de sistemas en viviendas sostenibles*. *Revista de Sistemas y Automatización*.
- **Morales Llaja, O. A., & Sanchez Chamorro, G. J.** (2020). *Diseño de una vivienda verde unifamiliar, aplicado a un desarrollo sostenible en Huánuco*.
- **MRV Engenharia.** (2021). *Parque das Águas*. São Paulo: MRV Publicaciones.
- **Nebel, B. J., & Wright, R. T.** (1999). *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. Pearson educación.
- **Nobles, T. L., Matsumura, E. M., & Mattison, B.** (2017). *Contabilidad de Horngren*. Pearson Educación. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=4625>.
- **Ortiz, M.** (2022). *Inteligencia artificial en sistemas domóticos para viviendas*. *Revista Latinoamericana de Sistemas Inteligentes*.
- **Paneles solares ¿Cómo funcionan y qué son?**. Recuperado el 05 de mayo de 2018, de <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son>.
- **Pérez, L.** (2020). *Diseño de viviendas autosostenibles en América Latina*. *Revista de Arquitectura y Medio Ambiente*.
- **Prodesa.** (2022). *Proyecto Bosque Real*. Bogotá: Informes corporativos.
- **Project Management Institute.** (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide) and the standard for project management (7th ed.)*. Project Management Institute.
- **Ramírez, M.** (2019). *El impacto de las energías renovables en la arquitectura sostenible*. *Revista de Energía y Ambiente*.
- **R. S. Nerem, B. D. Beckley, J. T. Fasullo, B. D. Hamlington, D. Masters, & G. T. Mitchum.** (2024). *Climate-change–driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era*. Recuperado del sitio web de National Aeronautics and Space Administration: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/evidencia/>.
- **Rojas, D.** (2018). *Viviendas autosostenibles y desarrollo urbano en ciudades latinoamericanas*. *Planificación y Desarrollo Urbano*.
- **Ross, S. A.** (2022). *Finanzas corporativas*. McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de

- <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=22472>.
- **Rosales Escuer, M.** (2021). *Casas Sostenibles y Ecológicas* (Bachelor's thesis, Universidad Politécnica de Catalunya).
 - **Sánchez, F.** (2021). *Control automático en viviendas sostenibles*. *Revista de Ingeniería de Control*.
 - **Schnarch Kirberg, A.** (2021). *Desarrollo de nuevos productos: creatividad, innovación y marketing*. McGraw-Hill. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=106>.
 - **Smith, A.** (2021). *Sustainable housing models in the USA*. *Journal of Environmental Design*.
 - **Suárez, J., García, M., & Mosquera, R.** (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*. VI SEREA-Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (Brasil), 5.
 - **Thompson, R.** (2021). *Passive house design in sustainable housing*. *Building and Environment Journal*.
 - **Torres, G.** (2021). *Certificaciones LEED en América Latina: Un análisis*. *Arquitectura Sostenible*.
 - **Urquía Moraleda, A., & Martín Villalba, C.** (2016). *Métodos de simulación y modelado*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/48877?page=27>.
 - **Vega, R.** (2021). *Tecnología domótica aplicada en viviendas sostenibles*. *Revista de Innovación Tecnológica*.
 - **Vesilind, P. A., Heine, L. G., & Morgan, S. M.** (2013). *Introducción a la ingeniería ambiental*. Cengage Learning. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=801>.
 - **Vinte Viviendas Integrales.** (2021). *Real del Sol*. Reporte anual.
 - <https://www.wri.org/insights/2023-ipcc-ar6-synthesis-report-climate-change-findings>.
 - **Gómez, F.** (2019). *Prototipos de viviendas autosostenibles en América Latina*. *Ingeniería*