

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial



**Propuesta de un diseño autosustentable a partir de la integración de
sistemas fotovoltaicos y recirculación de aguas, Cayma-Arequipa 2023**

Tesis presentada por el Bachiller:

Cano Vilca, David Ignacio

ORCID: 0009-0005-7115-4095

para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Asesor:

Dr. Llaza Loayza, Marco Antonio

ORCID: 0000-0003-4584-8622

Arequipa - Peru

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA INDUSTRIAL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 11 de Julio del 2025

Dictamen: 011492-C-EPII-2025

Visto el borrador del expediente 011492, presentado por:

2017246011 - CANO VILCA DAVID IGNACIO

Titulado:

**PROPUESTA DE UN DISEÑO AUTOSUSTENTABLE A PARTIR DE LA INTEGRACIÓN DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS Y RECIRCULACIÓN DE AGUAS, CAYMA-AREQUIPA 2023**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO INDUSTRIAL

**32770023 - DEZA LOYAGA WALTER FRANCISCO
DICTAMINADOR**



**29639923 - URDAY LUNA FERLY ELMER
DICTAMINADOR**



**70677280 - TALLEDO MONROY BRUNELLA
DICTAMINADOR**



Propuesta de un diseño autosustentable a partir de la integración de sistemas fotovoltaicos y recirculación de aguas, Cayma-Arequipa 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
2	www.coursehero.com Fuente de Internet	1 %
3	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
5	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
6	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
7	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
8	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %



DEDICATORIA

A Dios y a mi familia



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica de Santa María, docentes y amigos

RESUMEN

Arequipa es una ciudad que presenta susceptibilidad al cambio climático y la escasez hídrica, el planteamiento de alternativas para el aprovechamiento de los recursos naturales, especialmente el agua, y la implementación de energías renovables, son de vital importancia para asegurar la sostenibilidad de la zona urbana y combatir el calentamiento global. En tal sentido, se plantea el diseño de un sistema solar fotovoltaico y un sistema de tratamiento de aguas residuales en la urbanización Quinta Samay a fin de poder reducir el consumo energético e hídrico con un tiempo de vida útil de 20 años. Para tal motivo, se empleó los softwares PVsyst y STOAT 5.0 para el modelado y verificación de los beneficios de implementación. Adicionalmente, se realizaron predicciones de los patrones de consumo de los habitantes y se realizó un análisis económico de las medidas planteadas. En lo que corresponde al sistema fotovoltaico, se compone de 7 módulos y 1 inversor, mientras que el sistema de tratamiento de aguas comprende la trampa de grasas, filtración, lodos activados y tanque de distribución. El análisis técnico demostró que la energía obtenida en un 24% la energía requerida por la urbanización, mientras que el agua tratada comprende 20 m³, que se pueden emplear para el riego de áreas verdes, tales como el Parque Almudena. Finalmente, el análisis económico VAN-TIR del sistema fotovoltaico demostró que la inversión inicial se recuperará en 3 años y 2 meses, teniendo los 17 años restantes de ganancias. Este tipo de medidas aseguran la sostenibilidad de las urbanizaciones e impulsan a la toma de políticas en favor de las energías renovables y la reutilización de las aguas grises

Palabras clave: Estrés hídrico, sistema fotovoltaico, sostenibilidad.

ABSTRACT

Arequipa is a city that is susceptible to climate change and water scarcity, the approach of alternatives for the use of natural resources, especially water, and the implementation of renewable energies, are of vital importance to ensure the sustainability of the urban area. and combat global warming. In this sense, the design of a photovoltaic solar system and a wastewater treatment system in the Quinta Samay urbanization is proposed in order to reduce energy and water consumption with a useful life of 20 years. For this reason, the PVsyst and STOAT 5.0 software were used for modeling and verification of the implementation benefits. Additionally, predictions of the consumption patterns of the inhabitants were made and an economic analysis of the proposed measures was carried out. Regarding the photovoltaic system, it is made up of 7 modules and 1 inverter, while the water treatment system includes the grease trap, filtration, activated sludge and distribution tank. The technical analysis showed that the energy obtained is 24% the energy required by the urbanization, while the treated water comprises 20 m³, which can be used for irrigation of green areas, such as Almudena Park. Finally, the VAN-TIR economic analysis of the photovoltaic system showed that the initial investment will be recovered in 3 years and 2 months, with the remaining 17 years of profits. These types of measures ensure the sustainability of urbanizations and promote the adoption of policies in favor of renewable energies and the reuse of gray water.

Keywords: Water stress, photovoltaic system, sustainability

ÍNDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
MARCO METODOLÓGICO	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Problemática de la Investigación	3
1.1.1. Descripción del problema.....	4
1.2. Justificación.....	10
1.2.1. Justificación ambiental	10
1.2.2. Justificación económica.....	10
1.2.3. Justificación social.....	11
1.2.4. Justificación tecnológica.....	11
1.2.5. Justificación Normativa y de Políticas Públicas.....	12
2. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Principal	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. HIPÓTESIS	13
CAPÍTULO II	15
FUNDAMENTO TEÓRICO	15
1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	15
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Energía	25
2.1.1. Energía No Renovable.....	25
2.1.2. Energía Renovable.....	25
2.2. Sistemas Fotovoltaicos.....	25
2.2.1. Células fotovoltaicas.....	26
2.2.1.1. Rendimiento de células solares dependiendo de la irradiancia	27
2.2.2. Módulos fotovoltaicos	28
2.2.3. Inversores.....	28
2.2.3.1. Inversores centrales y de cadena.....	30

2.2.3.2. Microinversores y optimizadores de potencia	30
2.2.4. Baterías	30
2.2.5. Reguladores de carga	31
2.2.6. Acimut y ángulo de inclinación	31
2.3. Diseño del sistema fotovoltaico	32
2.3.1. Diseño técnico	32
2.3.2. Rendimiento.....	33
2.3.2.1. Refrigeración	33
2.3.2.2. Enfriamiento por inmersión	33
2.3.2.3. Circulación forzada de agua	34
2.4. Sostenibilidad.....	34
2.4.1. Indicadores de Sostenibilidad en Energía.....	35
2.4.2. Huella Ecológica.....	38
2.4.3. Huella Hídrica.....	38
2.4.4. Huella de Carbono	38
2.4.5. Estrés Hídrico	38
2.4.6. Urbanización.....	39
2.4.7. Urbanización Sostenible	39
2.4.8. Compacidad	39
2.4.9. Eficiencia	39
2.4.10. Cierre de ciclos de agua, energía	40
2.4.11. Aguas Grises	40
2.5. Tratamiento y recirculación de aguas grises	40
2.5.1. Pretratamiento.....	42
2.5.2. Tratamiento primario	43
2.5.3. Tratamiento secundario	43
2.5.4. Desinfección	43
2.6. Marco Legal Vigente.....	44
2.6.1. Normativa para Agua.....	44
2.6.2. Normativa para Sistemas Fotovoltaicos	44
2.6.3. Ley de Concesiones Eléctricas (Ley N° 25844).....	44
2.6.4. Ley de Uso Eficiente de la Energía (Ley N° 27345).....	45
2.6.5. Ley de Inversión para la Generación de Electricidad (Ley N° 30282).....	45
CAPÍTULO III	46

METODOLOGÍA	46
1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	46
1.1. Tipo	46
1.2. Nivel.....	46
2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
2.1. METODOLOGÍA	49
2.1.1. Delimitación del área de estudio.....	50
2.1.2. Recopilación de datos	50
2.1.3. Procesamiento y análisis de datos.....	50
2.1.4. Diseño de un sistema integrado que combine la tecnología fotovoltaica con la recirculación de aguas, específicamente adaptado a las necesidades y características de la urbanización de Cayma.	52
2.1.5. Establecimiento de la ubicación geográfica	52
2.1.6. Fijación del ángulo de inclinación de acimut	53
2.1.7. Selección de módulo fotovoltaico adecuado	54
2.1.8. Determinación de parámetros de instalación.....	55
2.1.9. Evaluación Económica	55
2.1.10. Determinación de parámetros del agua residual.....	56
2.1.11. Diseño del sistema	56
2.1.12. Descripción del Modelo de Simulación del Sistema de Tratamiento de Aguas Grises (STOAT 5.0).....	58
2.1.13. Evaluación económica	60
2.1.14. Simulación y evaluación de la eficacia y eficiencia del sistema propuesto en términos de reducción de consumo de energía y agua, y analizar su impacto ambiental y aceptación comunitaria.....	60
2.1.15. Modelado de Consumo Basado en Datos Históricos.....	60
2.1.16. Integración del Sistema de Paneles Fotovoltaicos y Recirculación de Aguas	60
2.1.17. Simulación y Selección de Parámetros para el Sistema de Tratamiento de Aguas Grises (STOAT 5.0).....	61
2.1.18. Campo de verificación	62
2.1.18.1. Ubicación espacial	62
2.1.18.2. Población muestra.....	63
2.1.19. Procesamiento de datos.....	63

2.1.20. Análisis de datos	63
2.1.21. Interpretación de resultados	64
2.1.22. Visualización de datos	64
2.1.23. Diseño del Estudio de Percepción y Aceptación Comunitaria	64
CAPÍTULO IV	77
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
2.1. RESULTADOS	77
2.1.1. Delimitación del área de estudio.....	77
2.1.2. Recopilación de datos	77
2.1.3. Procesamiento y análisis de datos.....	84
2.1.4. Establecimiento de la ubicación geográfica (información en tabla de PVsyst	87
2.1.5. Fijación del ángulo de inclinación y acimut.....	87
2.1.6. Selección del módulo fotovoltaico adecuado y Determinación de parámetros de instalación	89
2.1.7. Evaluación económica (PVsyst).....	91
2.1.8. Elaboración de un sistema para la recirculación de aguas grises y su reaprovechamiento	94
2.1.9. Determinación de parámetros del agua residual	94
2.1.10. Diseño del sistema STOAT	95
2.1.11. Modelado de consumo energético	98
2.1.12. Modelado de consumo hídrico.....	99
2.1.13. Funcionamiento del sistema fotovoltaico	100
2.1.13.1. Energía recolectada en el plano colector	100
2.1.13.2. Temperatura del conjunto en función a la irradiancia efectiva.....	100
2.1.13.3. Producción normalizada del sistema	101
2.1.13.4. Energía diaria de salida del sistema.....	101
2.1.13.5. Diagrama de pérdidas	102
2.1.14. Funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas.....	103
2.1.14.1. Tratamiento de lodos activados	103
2.1.14.2. Tratamiento global del sistema.....	105
2.1.14.3. Evaluación Económica del Sistema de Recirculación de Aguas Grises. 108	
2.1.15. Resultados del Estudio de Percepción y Aceptación Comunitaria.....	109
DISCUSIÓN.....	113

CAPÍTULO V	114
CONCLUSIONES	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXOS.....	126



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de operacionalización de variables	47
Tabla 2. Cuadro de matriz de consistencia	48
Tabla 3. Cuadro de Selección de Parámetros de Simulación para PVsyst y STOAT 5.0	51
Tabla 4. Consumo Energético Mensual Promedio y Costo para una Vivienda (Año de Referencia)	77
Tabla 5. Consumo Energético Mensual Durante Tres Años de Registro	79
Tabla 6. Consumo Hídrico Mensual Promedio y Costo (Año de Referencia)	81
Tabla 7. Consumo Hídrico Mensual Durante Tres Años de Registro	82
Tabla 8. Análisis Estadístico Descriptivo del Consumo Energético Mensual (kWh) Durante Tres Años.....	84
Tabla 9. Condiciones Meteorológicas Anuales para la Ubicación del Proyecto	87
Tabla 10. Acimut	88
Tabla 11. Especificaciones Técnicas del Módulo Fotovoltaico e Inversor Seleccionados	89
Tabla 12. Parámetros de Diseño y Operación del Arreglo Fotovoltaico	90
Tabla 13. Relación entre Consumo Energético y Costo para el Año de Referencia	91
Tabla 14. Costos de inversión.....	91
Tabla 15. Proyección del Flujo de Caja Descontado para el Sistema Actual (20 Años).....	92
Tabla 16. Caracterización Físicoquímica del Agua Gris Residual	94
Tabla 17. Modelado de consumo energético mensual (kWh)	98
Tabla 18. Modelado de consumo hídrico mensual (m ³)	99
Tabla 19. Costo del Sistema Fotovoltaico (7 módulos + 1 inversor)	106
Tabla 20. Costo del Sistema de Recirculación y Tratamiento de Aguas Grises.....	107
Tabla 21. Costos adicionales y complementarios.....	107
Tabla 22. Total de inversión proyectada.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rama Causa-Efecto del Problema y Solución Propuesta.....	9
Figura 2. Funcionamiento Célula FV	27
Figura 3. Componentes Sistema FV Conectado	34
Figura 4. Proceso Tratamiento Aguas Grises	42
Figura 5. Diagrama de Flujo Metodológico de la Investigación	49
Figura 6. Mapa de ubicación de la Urbanización	77
Figura 7. Consumo Energético Mensual Promedio (kWh)	78
Figura 8. Consumo Energético Anual Comparativo (kWh)	80
Figura 9. Consumo Hídrico Mensual Promedio	81
Figura 10. Consumo Hídrico Anual Comparativo (m ³).....	83
Figura 11. Sistema lineal fotovoltaico	90
Figura 12. Tren de tratamiento	95
Figura 20. Remediación de Nitratos	103

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1 . Tablas de Procesamiento.....	126
Anexo 2. Figuras de funcionamiento y rendimiento	129
Anexo 3. Informe Final.....	145
Anexo 4. Evidencia fotográfica	148
Anexo 5. Tabla de Datos para Rendimiento de Simulación STOAT 5.0 para Tratamiento de Aguas Grises.....	150
Anexo 6. Cuestionario del Estudio de Percepción.....	151
Anexo 7. Gráficos de Respuestas al Cuestionario.....	153
Anexo 8. Excel con Respuestas al Cuestionario.....	153
Anexo 9. Operacionalización de la variable	154
Anexo 10. Base de datos.....	155
Anexo 11. Planos.....	156
Anexo 12. Constancia De Validación.....	160
Anexo 13. Matriz De Validación.....	161

INTRODUCCIÓN

En un entorno progresivamente más urbanizada, donde más del cincuenta por ciento de los habitantes del planeta vive en zonas metropolitanas, las urbes sostenibles aparecen como una alternativa frente a los retos ecológicos, sociales y financieros que afronta la sociedad contemporánea. Dichos asentamientos están ideados para enfrentar una extensa variedad de inconvenientes, desde la polución del aire y la escasez de recursos naturales hasta la inequidad económica y social.

Uno de los fundamentos esenciales de las urbanizaciones ecológicas es la incorporación de acciones que impulsen el ahorro energético y la preservación de insumos. Esto supone la utilización de tecnologías limpias, como la energía fotovoltaica y eólica, sistemas de control inteligente de electricidad, y el empleo de elementos constructivos sustentables y de bajo daño ambiental. Igualmente, estas poblaciones aplican técnicas de eficiencia en el consumo del agua y su reutilización, como la captación de lluvia, el reciclaje de aguas residuales domésticas y el uso de jardinería ecológica que minimiza el riego.

Así como se considera componentes medioambientales y de desplazamiento, las comunidades sustentables también buscan garantizar la igualdad social y el bienestar general de sus habitantes. Esto incluye el diseño de áreas comunes accesibles, el desarrollo de viviendas económicas, el fomento de la pluralidad cultural y la inclusión vecinal en los procesos de organización y construcción urbana.

Los aportes que brindan estas urbes sostenibles son amplios y abarcan desde la disminución del impacto ecológico y de los gastos operacionales tanto a nivel doméstico como colectivo, hasta el fortalecimiento de la salud y el confort de los ciudadanos. Sin embargo, también encaran barreras importantes, como el gasto inicial elevado necesario

para aplicar tecnologías verdes, la oposición al cambio por parte de ciertos grupos poblacionales y la urgencia de normas y leyes favorables por parte de las administraciones locales y nacionales.

Pese a los obstáculos, los conjuntos urbanos sostenibles están adquiriendo protagonismo en todo el planeta y el Perú no es la excepción, ya que presenta numerosos casos ejemplares que prueban su posibilidad y funcionalidad, incluyendo vecindarios ecológicos en Lima. Estas comunidades evidencian que es viable construir un porvenir urbano más saludable, justo y ecológicamente responsable para las próximas generaciones. En este contexto, proponemos la posibilidad de nuevas urbes sostenibles.

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la Investigación

A causa del aumento demográfico, los centros urbanos han venido expandiéndose de manera excesiva, elevando la exigencia de energía y de insumos naturales. La expansión urbana representa una de las más relevantes modificaciones sociales, que junto con la industrialización y el progreso económico influye intensamente en la población humana y su ambiente vital (Zhang et al., 2022).

Esta evolución provoca una ocupación acelerada del territorio, ciudades extendidas, requerimientos de obras públicas y un alto gasto de recursos básicos y energéticos, afectando negativamente las zonas ecológicas y elevando la liberación de agentes contaminantes al aire (Ortiz-Fernández et al., 2023). El 90% del proceso de urbanización global ocurre en naciones en desarrollo, localizadas principalmente en zonas tropicales y subtropicales. La expansión de los núcleos urbanos en estas regiones ejerce una influencia considerable en las emisiones planetarias de Gases de Efecto Invernadero (GEI), poniendo en riesgo de forma grave el aumento de las consecuencias del calentamiento del planeta y la alteración del clima (Martins et al., 2021).

Por estas razones, el ámbito de la edificación se ha transformado en un foco relevante de liberación de carbono y utilización de energía a nivel internacional, como resultado del constante estrés ambiental generado por la actividad humana. La carencia de información precisa sobre las emisiones de carbono durante el ciclo completo de vida y sobre el consumo energético en el entorno urbano, complica el entendimiento de las causas del cambio climático a nivel local. Asimismo, la expansión urbana debe hacer frente a: la creciente

exigencia de alimentos y agua apta para el consumo; alteraciones en los patrones climáticos y la disminución de las fuentes hídricas (Raw & Shaw, 2016).

1.1.1. Descripción del problema

En la ciudad de Arequipa, esta problemática no resulta extraña, ya que el área urbana está en permanente expansión, generando un aumento considerable en el uso de energía eléctrica y el suministro de agua. Esta situación se intensifica debido al estado de escasez hídrica estructural de la zona, la cual es altamente susceptible a la variabilidad del clima. De hecho, el régimen hidrológico es inconstante: existen años en los que se presentan etapas de sequía intensa, seguidos por otros con lluvias abundantes. Esta oscilación provoca que la disponibilidad del agua sea inestable y su manejo complicado.

Aunque existe el Sistema Interconectado Nacional de Electricidad (SEIN), que proporciona energía a distintas zonas del país, la exigencia creciente derivada del crecimiento poblacional y la proliferación urbana sin planificación representa una carga considerable sobre la capacidad de los sistemas de distribución, tanto de agua como de electricidad. Investigaciones recientes indican que, a pesar de contar con infraestructura de conexión, la urbe arequipeña podría experimentar una falta constante de recursos si no se aplican alternativas locales sostenibles para la generación y aprovechamiento de insumos (Autoridad Nacional del Agua -ANA, 2021; Ministerio de Energía y Minas -MINEM, 2020).

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se proyecta que la cantidad disponible de agua en Arequipa se reducirá en los próximos años debido a la combinación de alteraciones climáticas, la tala indiscriminada en las partes altas de las cuencas, y la demanda urbana creciente (ANA, 2021). Del mismo modo, el Ministerio de Energía y Minas señala que la necesidad energética del sur peruano, y sobre todo de ciudades medianas como

Arequipa, aumentará a un ritmo medio de 5 % por año, lo que pone en riesgo la estabilidad del sistema si no se amplía la matriz energética con energías renovables (MINEM, 2020).

Para afrontar todos estos retos, se requiere una transformación de enfoque, con una visión autosuficiente que contemple el uso racional de los recursos naturales, repercutiendo positivamente en las distintas áreas urbanas. Por tanto, la sostenibilidad en las ciudades cumple una función esencial en la puesta en marcha y desarrollo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a escala local.

En Cayma, la intensificación de la urbanización ha incrementado el uso de recursos naturales, principalmente energía y agua, como consecuencia del crecimiento demográfico y de una expansión sin control (Mamani, 2023). Esta realidad se agrava con el cambio climático, que modifica los patrones de lluvia y aumenta la aparición de eventos extremos, llevando a la región a un estado grave de estrés

hídrico (Mamani, 2023). Adicionalmente, el uso energético en dicha urbanización se ha elevado notablemente, generando una dependencia mayor de fuentes fósiles y aumentando la liberación de gases contaminantes, lo cual alimenta el calentamiento del planeta (Ortiz-Fernández et al., 2023).

Un reto extra en el distrito de Cayma es la inclusión de la ciudadanía en la creación de alternativas sostenibles. La aplicación adecuada de tecnologías ecológicas requiere no solo nuevas soluciones técnicas, sino también un enfoque social y cultural que involucre activamente a la población local. La oposición al cambio y la falta de cultura ambiental son obstáculos claves que impiden la implementación de estas innovaciones (Martins et al., 2021).

Para afrontar estos retos de forma completa, es imprescindible adoptar un enfoque interdisciplinario que contemple los aspectos sociales, económicos, culturales y tecnológicos. Esta perspectiva debe favorecer la colaboración entre profesionales en

energías limpias, administración del recurso hídrico, sociología urbana y participación vecinal, con el fin de crear e implementar soluciones que sean viables tecnológicamente y socialmente aceptadas.

La intervención ciudadana es fundamental para que cualquier proyecto sostenible tenga éxito. Estrategias como talleres informativos, programas de formación y vínculos con líderes vecinales pueden fortalecer la percepción positiva y la adopción de tecnologías limpias, aumentando su impacto y duración (Martins et al., 2021). En resumen, la urbanización de Cayma enfrenta

dificultades complejas y diversas que exigen un enfoque integral y cooperativo para lograr un desarrollo sostenible. Este análisis tiene como objetivo aportar al diseño de sistemas autosuficientes que no solo reduzcan los problemas relacionados con el uso de energía y agua, sino que también impulsen una cultura de sostenibilidad y compromiso comunitario (Ortiz-Fernández et al., 2023; Martins et al., 2021; Mamani, 2023).

La Urbanización Quinta Samay en Cayma, centro del presente estudio, evidencia una alta necesidad de recursos energéticos y naturales, acentuando los problemas regionales existentes. Los datos de consumo evaluados en esta investigación (ver Tablas 01–04 de este documento) muestran un uso promedio anual por vivienda de aproximadamente 2,838 kWh, con máximos mensuales de hasta 296 kWh (ej. enero). Este nivel de demanda es relevante, sobre todo si se tiene en cuenta que Arequipa presenta una fuerte dependencia energética, consumiendo cerca de cinco veces más electricidad de la que genera (Diario El Pueblo, 2024).

Respecto al agua, el uso medio anual por hogar en la urbanización se encuentra en torno a los 559 m³ (Tablas 03–04), con picos mensuales de hasta 77 m³ (ej. mayo). Este volumen, que equivale a un consumo diario por persona muy superior a los 120 litros señalados como promedio en estudios anteriores sobre Arequipa (Diario Correo, 2019),

resulta crítico, especialmente considerando el contexto regional. Reportes técnicos ratifican que Arequipa atraviesa un creciente nivel de estrés hídrico, empeorado por el cambio

climático, los vertimientos sin tratamiento y una infraestructura limitada para responder a la demanda existente (Cooperación Suiza, n.d.), lo que ha motivado incluso declaratorias de emergencia en algunas provincias del departamento (ANA, n.d.; INDECI, 2023).

Estos valores de consumo, tanto en energía como en agua, dentro de la Urbanización Quinta Samay, enmarcados en un escenario de dependencia energética y vulnerabilidad hídrica comprobada, refuerzan la urgencia de aplicar soluciones autosuficientes, como las que plantea este trabajo, para fomentar una urbanización más resistente y consciente.

El entendimiento de estos comportamientos de uso se enriquece mediante la revisión de estudios académicos. Diversas investigaciones han demostrado que existe una relación equilibrada a largo plazo (cointegración) entre el uso de electricidad, el nivel de urbanización y el crecimiento económico. Por ejemplo, He y Gao (2021) hallaron mediante técnicas de cointegración ARDL y Johansen que el consumo de energía, el proceso de urbanización y el desarrollo económico metropolitano en Guangzhou, China, están relacionados de forma estable en el tiempo. Igualmente, otros estudios han señalado que la urbanización y los ingresos influyen significativamente sobre la demanda energética a largo plazo (Karanfil & Li, 2015; Jamil & Ahmad, 2010).

Aplicando este enfoque al contexto local, en Quinta Samay, el estudio de facturas y gráficos mensuales muestra fluctuaciones estacionales marcadas. En el ámbito eléctrico, se detectan altos

consumos en enero y julio, que en regiones con climas extremos se asocian a refrigeración o calefacción (IEA, 2024), pero que en Arequipa podrían deberse a vacaciones, mayor presencia en el hogar, o uso intensivo de electrodomésticos. Los meses intermedios

(marzo–mayo, septiembre–noviembre) registran niveles moderados, lo que concuerda con patrones descritos en estudios internacionales sobre cómo la temperatura y el costo afectan el uso eléctrico en viviendas (Borenstein, 2020).

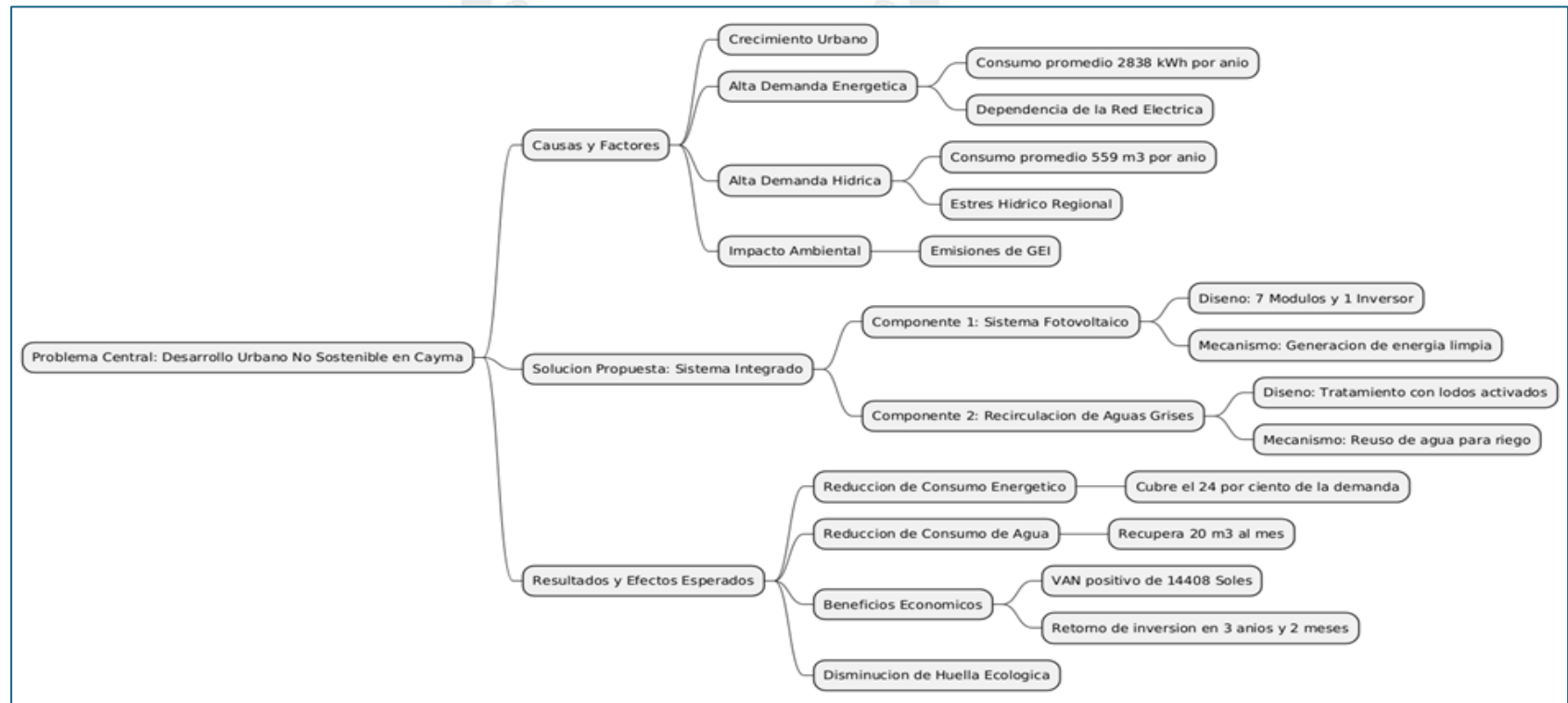
Respecto al uso de agua doméstico, se observan altos registros en mayo, junio y noviembre, con descensos en los meses transicionales. Esta tendencia se asemeja a hallazgos en contextos rurales como el de Biniak-Pieróg et al. (2017), que reflejan variaciones significativas durante primavera y verano, a menudo por riego y actividades al aire libre. Aunque estudios globales señalan que mejoras en eficiencia y campañas informativas han reducido el consumo de agua en las ciudades (Shahbaz & Feridun, 2012; Ozturk & Al-Mulali, 2015), la persistencia de picos en esta urbanización representa una oportunidad de mejora.

Cabe resaltar que, durante los tres años analizados en Quinta Samay, se identifica una ligera disminución tanto en el uso eléctrico como en el hídrico. Esta observación coincide en líneas generales con estudios internacionales que muestran una estabilización del consumo per cápita de electricidad después de 2015 (IEA, 2024) y con proyecciones de reducción en el uso de agua gracias a avances tecnológicos y mejor gestión global (He & Fullerton, 2020).

Finalmente, son estos patrones de uso local, con sus variaciones estacionales y tendencias detectadas, los que sustentan técnicamente la necesidad y tamaño de los sistemas autosuficientes propuestos para Quinta Samay (paneles solares y sistema de reutilización de aguas grises). La determinación de los meses críticos de más alto requerimiento energético de agua sin potabilizar hará posible aumentar el beneficio del proyecto en términos económicos para los habitantes, principalmente en la disminución del impacto en el suministro de agua y electricidad, un factor fundamental dentro del contexto de alta demanda hídrica que caracteriza a la ciudad de Arequipa.

Figura 1.

Diagrama Causa-Efecto del Problema y Solución Propuesta



Nota. Elaboración Propia

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación ambiental

En los últimos tiempos, el cambio de urbanización se ha intensificado debido al aumento demográfico y la necesidad de un mayor territorio para el progreso. El recurso hídrico y la energía eléctrica son dos elementos relevantes dentro de las residencias, ya que constituyen servicios esenciales indispensables.

La liberación de gases de efecto invernadero (GEI) para la producción energética a partir de combustibles no renovables y la reducción del agua disponible en la zona de Arequipa implica la exploración de alternativas desde la perspectiva sostenible. El sistema solar fotovoltaico en combinación con la reutilización de aguas se plantea como una opción factible para el aprovechamiento racional del agua y la obtención de electricidad desde fuentes limpias.

Dentro de los beneficios ecológicos es que estos mecanismos contribuyen de forma directa a la disminución de emisiones contaminantes y a la preservación del recurso hídrico, coincidiendo con los propósitos universales de crecimiento sustentable y reducción de cambios en el clima.

1.2.2. Justificación económica

La escasez de agua provoca el aumento del costo por metro cúbico y suspensiones del suministro planificadas, mientras que la producción de electricidad a partir de derivados del petróleo implica estructuras de gran escala que requieren altos volúmenes de insumos para su ejecución.

El sistema solar fotovoltaico combinado con la reutilización de aguas surge como una solución integrada, factible, sustentable y accesible, que resulta eficiente en la purificación, la obtención de energía y la reducción del uso de agua.

Un beneficio financiero es la disminución en la dependencia del suministro eléctrico convencional, y el ahorro en el uso de agua tratada, lo cual puede reducir notablemente los gastos a futuro para los habitantes de Cayma. La adopción de estas soluciones tecnológicas también puede captar capital en proyectos ecológicos, impulsando el crecimiento económico del área.

1.2.3. Justificación social

La producción de electricidad mediante fuentes fósiles libera elevadas proporciones de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales poseen influencia directa en la condición humana, ya que pueden provocar afecciones cardíacas y respiratorias, reacciones alérgicas y el aumento de microorganismos nocivos. Por otro lado, una menor accesibilidad al recurso hídrico compromete la higiene personal, la limpieza de los alimentos y la eliminación de agentes patógenos. En este contexto, el sistema solar fotovoltaico junto con la reutilización de aguas tiene la capacidad de reducir la liberación de GEI y mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico, disminuyendo los efectos perjudiciales sobre la sociedad. Uno de los aportes sociales consiste en asegurar la disponibilidad de bienes básicos como la energía y el agua de forma sustentable, elevando el nivel de vida y fortaleciendo la capacidad de respuesta comunitaria ante retos climáticos. Asimismo, estas iniciativas impulsan la implicancia social y el compromiso ecológico.

1.2.4. Justificación tecnológica

La producción de electricidad puede originarse mediante diversas fuentes, las cuales dependen de la accesibilidad de insumos y de factores geográficos, resultando de compleja instalación y ocupando amplias superficies de terreno. Por otro lado, el uso excesivo del recurso hídrico en acciones diarias, como la higiene personal, el aseo de estructuras, el enjuague de alimentos y el lavado de ropa, ocasiona escasez de agua. En este contexto, el sistema solar fotovoltaico junto con la recirculación de líquidos ofrece una configuración

reducida, eficiente, asequible, factible y de sencilla aplicación para el reaprovechamiento del agua y la producción energética, llegando a ser sostenible por sí mismo.

1.2.5. Justificación Normativa y de Políticas Públicas

La actual iniciativa de diseño autosostenible no solo atiende a requerimientos locales evidentes de administración eficaz de electricidad y agua en Cayma, sino que además se vincula de manera estratégica con las políticas y normativas nacionales actuales, evidenciando su relevancia y aporte a metas nacionales de mayor envergadura. El módulo fotovoltaico del plan aporta directamente a los objetivos fijados en la Estrategia Energética Nacional del Perú 2010-2040 y el Programa Energético Nacional 2014-2025. Estos documentos priorizan la diversificación de la estructura energética, el incremento en el uso de Recursos Energéticos Renovables (RER) – como la energía solar – y el impulso a la optimización energética. La adopción de sistemas fotovoltaicos a escala domiciliaria, como el contemplado, representa una medida específica hacia la producción distribuida y la disminución en la dependencia de fuentes fósiles, metas respaldadas por la Ley N.º 27345 (Ley para el Fomento del Uso Racional de la Energía) y la Ley N.º 30282 (Norma que Incentiva la Inversión en la Generación Eléctrica mediante Energías Renovables). Al producir electricidad limpia en el mismo sitio, el plan minimiza las pérdidas por transporte y distribución y refuerza la estabilidad energética en el ámbito local. La incorporación de un mecanismo de recirculación y depuración de aguas grises responde a los criterios de la Política y Estrategia Nacional de Gestión del Agua. Dicha política resalta la importancia de una Administración Integral de los Recursos Hídricos (AIRH), promoviendo el uso racional, la reutilización del agua tratada y la preparación ante la escasez hídrica, una condición crítica en la zona de Arequipa. El estudio concreta el principio de cierre de ciclos hídricos a nivel domiciliario, utilizando un recurso (aguas grises) para cubrir necesidades no potables (como el riego), reservando el agua potable para el consumo humano, en conformidad con el

Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM que fija los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua reusada. De forma transversal, el proyecto colabora con los compromisos nacionales sobre cambio climático, establecidos en la Ley N.º 30754 (Ley Marco de Cambio Climático) y sus normativas complementarias, al disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) derivadas del uso de energía convencional y fomentar la adaptación frente al estrés hídrico, uno de los efectos más significativos del cambio climático en esta región.

2. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

2.1. Objetivo Principal

Diseñar un sistema autosustentable mediante la integración de sistemas fotovoltaicos y recirculación de aguas en la urbanización de Cayma

2.2. Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico detallado del consumo actual de energía y agua en la urbanización de Cayma para identificar áreas críticas de intervención y establecer una línea base para futuras comparaciones.
2. Diseñar un sistema integrado que combine la tecnología fotovoltaica con la recirculación de aguas, específicamente adaptado a las necesidades y características de la urbanización de Cayma.
3. Evaluar la eficacia y eficiencia del sistema propuesto en términos de reducción de consumo de energía y agua, y analizar su impacto ambiental y aceptación comunitaria.

3. HIPÓTESIS

Dado que las urbanizaciones son una de las fuentes principales del consumo energético y el requerimiento de agua para las actividades cotidianas; es probable que mediante el diseño y la implementación de un sistema integrado de paneles fotovoltaicos y

de recirculación de aguas se pueda hacer el uso eficiente de los recursos naturales y lograr formar una urbanización autosustentable.



CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El plan denominado "Corredores Verdes" en Medellín ha incorporado dispositivos fotovoltaicos en infraestructuras metropolitanas, abarcando paradas de transporte y áreas comunes, aportando a la disminución de la huella ecológica de la localidad. Esta estrategia ha sido reforzada mediante mecanismos de reutilización de aguas lluvias en sectores urbanos con alta densidad poblacional, optimizando el manejo del recurso hídrico durante épocas de desabastecimiento y minimizando la polución causada por el escurrimiento superficial (Gómez, 2019).

Como respuesta ante la emergencia hídrica, Ciudad del Cabo adoptó un sistema sofisticado de reutilización de aguas grises en complejos habitacionales urbanos, el cual también incorpora paneles solares para suministrar energía a los equipos de bombeo y depuración. Esta iniciativa ha evidenciado cómo la combinación de innovaciones tecnológicas puede resultar rentable y ecológicamente eficaz en entornos urbanos vulnerables a la sequía (Van Zyl, 2021).

Ortiz-Fernández et al. (2023) afirma que la urbe de Cuenca, en Ecuador, al igual que múltiples ciudades latinoamericanas, no escapan al incremento poblacional acelerado, ya que esto genera dispersión en las zonas periféricas y una expansión del entorno construido. Por ello, propone integrar un grupo de métricas pertenecientes a los instrumentos de Evaluación de Sustentabilidad Barrial mediante el estudio geográfico de SIG, con el propósito de extender la valoración sustentable a escala urbana y convertirla en una herramienta útil en la gestión territorial de Cuenca. Para este fin, se planteó un método de tres fases: primero, la elección de indicadores sostenibles; segundo, la valoración del rendimiento ecológico; y tercero, la elaboración de un esquema que una SIG con NSA. Esto

facilitó la inclusión del análisis territorial en la evaluación sostenible de vecindarios, mediante un modelo ajustado a las características de Cuenca. El modelo contempló 15 variables, 12 indicadores y 4 dimensiones de evaluación, logrando diagnosticar el rendimiento sustentable de 149 unidades de planificación. Este sistema diseñado permitió automatizar los procedimientos analíticos y generar un complemento para las funciones de geoprocesamiento de ArcGIS, sirviendo como apoyo a urbanistas y responsables de decisiones en las planificaciones urbanas.

Por otra parte, en la indagación de Khodakarami et al. (2023), se efectuó un análisis de sustentabilidad a nivel vecinal en la Metrópoli de Isfahan, ubicada en Irán. En una primera etapa, se utilizó una estructura combinada de modelado espacial junto con un estudio de decisiones con múltiples criterios (MCDA). Luego, se expuso la disposición territorial de un conjunto de métricas distribuidas en tres grupos: servicios del ecosistema, riesgos ambientales y configuración urbana, mediante técnicas de simulación espacial. Posteriormente, se asignaron valores ponderados a cada métrica usando modelos de decisión multicriterio para fusionar las capas de datos. Los hallazgos revelaron que menos del 3% del espacio total del vecindario analizado fue catalogado como casi sustentable, mientras que el 36,1% y el 59,4% fueron evaluados como áreas deficientes y medianamente sostenibles, respectivamente. Ningún sector fue clasificado como altamente sostenible, y el 1,73% fue considerado no sustentable. También se identificó que la estructura urbana era la más resiliente, mientras que la dimensión asociada a amenazas ambientales mostró el menor nivel de sustentabilidad, con un 71,98% perteneciente a la categoría deficiente e insustentable. Esta evaluación territorial evidenció que las zonas centrales eran más sostenibles en comparación con las áreas periféricas. La investigación representa un recurso valioso para los planificadores del territorio, ayudándoles a adoptar medidas estratégicas en el diseño de comunidades y entornos urbanos.

En la investigación de Quan (2019), se planteó una propuesta más eficiente y óptima mediante el método Diseño Inteligente, el cual funciona como una herramienta para apoyar la elección de alternativas en la planificación de zonas residenciales sostenibles con múltiples metas. En esta estrategia de diseño, se utilizan algoritmos de mejora para hallar soluciones óptimas dentro del espacio proyectual, combinando el razonamiento creativo, la simulación computacional del rendimiento y técnicas de optimización, lo que permite acercarse de una forma más precisa y selectiva a los diseños ideales.

Este procedimiento se implementó en una comunidad habitacional ficticia, considerando tres finalidades sostenibles: incrementar la reutilización de aguas domésticas residuales, reducir el consumo energético de los edificios y disminuir la incomodidad humana en espacios al aire libre. Se empleó el algoritmo genético de clasificación no dominada II (NSGA-II) para dirigir la evolución del diseño vecinal a lo largo de 80 iteraciones, usando herramientas de simulación de desempeño urbano. Mediante el enfoque Smart Design, se detectaron 38 alternativas representativas de soluciones óptimas de Pareto, las cuales son igualmente eficaces. Estas opciones sirven como base para debates y acuerdos entre los actores involucrados en la decisión.

En cambio, Nematchoua et al. (2021) llevaron a cabo un estudio de sensibilidad para brindar claridad sobre el alcance de los efectos ecológicos frente a la transformación climática futura en tres tipologías de barrios (urbanos, rurales y sostenibles), ubicados y adaptados para todos los territorios del mundo. Primero, se examinaron los factores determinantes que influyen en las emisiones de gases de carbono y en el uso energético, como la matriz energética nacional, los materiales constructivos locales, las condiciones climáticas, las tecnologías aplicadas, los espacios ocupados y la movilidad cotidiana.

Los hallazgos mostraron que los niveles más elevados de emisión de CO₂ se dan en naciones con economías avanzadas, tales como China, Estados Unidos, India, Alemania y Polonia, por las altas proporciones de carbón en sus fuentes energéticas. Mediante la modernización urbana y la construcción de zonas ecológicas nuevas, se puede incrementar la implementación de nuevas tecnologías para la renovación profunda de edificaciones antiguas a nivel mundial, logrando reducir los gases de efecto invernadero entre un 53% y un 97% hacia el 2050. Adicionalmente, al combinar estas renovaciones integrales con la instalación de paneles solares en los techos, la meta de neutralidad de carbono a escala barrial podría alcanzarse en pocos años, especialmente en áreas rurales. Las modificaciones más relevantes se enfocan en la elección adecuada de materiales de construcción y el aprovechamiento de fuentes de energía limpia.

En el trabajo de Meng et al. (2019), se presentan modelos matemáticos para analizar los efectos térmicos y la viabilidad a largo plazo del uso geotérmico constante en barrios residenciales. El modelo de transferencia de calor subterráneo fue configurado con parámetros específicos del sitio y verificado con registros reales de una zona urbana común en Alemania. A partir del perfil térmico del suelo simulado, se estimó el rendimiento de la bomba térmica. También se analizó la influencia del flujo de agua subterránea sobre la interacción térmica y la rentabilidad de los sistemas geotérmicos superficiales. Los resultados mostraron impactos térmicos reducidos, ya que la temperatura del acuífero se mantendría por encima de los 3,2 °C, y el área con enfriamiento considerable representa menos del 1% del tamaño total del vecindario.

Con coeficientes de desempeño estacional (SCOP) superiores a 3,8, se confirma la sostenibilidad económica de las aplicaciones geotérmicas someras. No obstante, se evidenciaron desventajas financieras de hasta 92 euros por año. Se anticipan problemas

relacionados con la disminución progresiva de la eficiencia de las bombas de calor, lo cual perjudica a los usuarios futuros. Además, se evaluaron las incertidumbres en el caudal del agua subterránea. Las simulaciones indican que algunos sistemas podrían funcionar de forma sostenible únicamente durante ocho años.

Martins et al. (2021) expuso y examinó la percepción de los habitantes respecto a asuntos relacionados con la sustentabilidad urbana, enfocándose en el ámbito vecinal. El estudio, de carácter exploratorio-descriptivo, incluyó 42 ítems fundamentados en herramientas de valoración, los cuales fueron presentados a los participantes para identificar su nivel de acuerdo o desacuerdo con cada enunciado mediante una escala Likert de cinco niveles. El conjunto de información fue sometido a un examen mediante análisis de componentes principales, con el propósito de identificar qué indicadores aportan con mayor fuerza a la sostenibilidad desde la óptica comunitaria. Los hallazgos revelaron una interacción positiva entre las problemáticas urbanas detectadas y las apreciaciones favorables de los encuestados, destacando aspectos como la infraestructura urbana, el bienestar colectivo, la formación educativa, la seguridad ciudadana y el entorno físico. Los datos recolectados en esta indagación colaboran con la formulación de una estructura de valoración aplicable a zonas residenciales periféricas ya existentes en ciudades medianas de países en proceso de desarrollo.

En cuanto a la Evaluación de Sostenibilidad a Nivel de Barrio (NSA, por sus siglas en inglés), Sauí et al. (2022) llevó a cabo un estudio comparativo entre tres instrumentos de evaluación: LEED, BREEAM e ITACA, los cuales evidenciaron sus diferencias y puntos de convergencia respecto a varias metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los hallazgos de esta investigación indican que las áreas prioritarias de estas metodologías se relacionan principalmente con temas urbanos integrales (ODS 11), medidas contra el

cambio climático (ODS 13), producción sustentable e innovación (ODS 9 y 12), y en parte también con metas de bienestar social (ODS 3, 8 y 9); mientras que otros ODS se encuentran menos reflejados. No obstante, es importante mencionar que diversos indicadores incluidos en estas herramientas podrían contribuir de manera indirecta al seguimiento del avance hacia dichas metas. Además de proporcionar un esquema de análisis para evaluar la alineación y correspondencia de estas metodologías con los ODS, el método aplicado permitió identificar concordancias y diferencias entre las distintas herramientas, señalando sus fortalezas y limitaciones. Por otro lado, Pedro et al. (2021) utilizó un plan de regeneración urbana en un vecindario de Lisboa, Portugal, para plantear una evaluación financiera de diversas soluciones sostenibles, abarcando desde intervenciones individuales en edificaciones hasta enfoques integrados a escala comunitaria. Para ello, calculó y contrastó el valor presente neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación de tres propuestas alternativas de renovación, que comprendían: la implementación de áreas verdes para huertos urbanos, la colocación de paneles solares y la incorporación de sistemas de recolección de agua. Los resultados evidenciaron que las estrategias colectivas optimizan los beneficios económicos a largo plazo, aprovechando economías de escala y las sinergias entre edificaciones. Asimismo, el estudio subrayó los beneficios económicos potenciales al combinar diferentes estrategias de renovación. Finalmente, se abordaron aspectos normativos y políticos, y se brindaron recomendaciones para futuras actualizaciones de los sistemas de valoración de sostenibilidad urbana.

Tomando como base el enfoque del desarrollo sostenible en zonas urbanizadas, la investigación de Ojeda y Ormeño (2021) implementó un sistema conformado por paneles fotovoltaicos con el objetivo de disminuir el consumo de electricidad durante el periodo de pandemia en la Urbanización Virgen de Chapi, ubicada en la región Ica. El estudio se

desarrolló sobre una población de 230 hogares, seleccionando aleatoriamente una muestra de 30 viviendas. La investigación fue de tipo explicativa con diseño cuasiexperimental, ya que demuestra cómo la utilización de paneles solares incide en la reducción del gasto eléctrico. Los resultados indicaron hasta un 71% de ahorro económico con el uso de un panel monocristalino de 370w y, paralelamente, una disminución del 86.5% en la huella de carbono. No obstante, se resaltó que, según el análisis, los insumos adecuados y la orientación de los paneles son factores clave para garantizar el suministro a la urbanización con un costo de mantenimiento inferior al de los sistemas eléctricos tradicionales. En conclusión, se determinó que los datos obtenidos reflejan una propuesta aplicable, beneficiosa tanto para la comunidad como para el entorno ecológico.

Por su parte, el estudio efectuado por Espinal et al. (2021) examinó la factibilidad y las ventajas de aplicar sistemas de reutilización de aguas grises en edificaciones multifamiliares, considerando el contexto peruano. Se concluyó que dichos sistemas representan alternativas eficaces para el ahorro hídrico, con alta viabilidad ambiental y económica en el largo plazo, y que incrementan el valor ambiental de los proyectos habitacionales. Además, se llevó a cabo una comparación entre los principales tipos de tratamiento de aguas grises en función de su rentabilidad y facilidad de implementación, incluyendo métodos biológicos con reactores secuenciales, reactores con membrana, y técnicas de desinfección como cloración, ozonización y radiación UV. Estas opciones fueron evaluadas según la inversión inicial necesaria, el gasto operativo, la capacidad de tratamiento, la calidad del agua obtenida y su impacto ambiental. Se concluyó que los reactores secuenciales junto con la cloración son las soluciones más convenientes para edificaciones residenciales de tamaño medio en Perú.

Asimismo, Meza & Sulca (2022) llevaron a cabo la instalación de un sistema de biorreactores con membrana en complejos residenciales multifamiliares localizados en distintos sectores de Lima Metropolitana, con el propósito de maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico potable mediante la reutilización de aguas grises en los sistemas de descarga de los baños. Para ello, se eligieron siete edificaciones multifamiliares situadas en los distritos de Chorrillos, Miraflores, Barranco y Pueblo Libre. Estos fueron seleccionados por ser las zonas con mayor implicancia en el rubro constructivo y con un incremento notable en la migración hacia viviendas multifamiliares. Respecto al procedimiento metodológico, se estimó el volumen de aguas grises a partir de los recibos de consumo hídrico correspondientes a cada conjunto residencial durante un intervalo de cuatro meses, identificándose el número de puntos de consumo por cada elemento sanitario, como duchas, lavatorios y fregaderos. Para la puesta en marcha del sistema de biorreactores con membrana, se contactó a las compañías Bioazul y Agua Sigma, ambas de carácter internacional y especializadas en técnicas de reutilización de aguas grises mediante distintos mecanismos de tratamiento.

Adicionalmente, se establecieron y reconocieron los parámetros físicos y químicos del agua, así como las particularidades estructurales de cada edificio, con el fin de cotizar los diversos modelos ofertados por las empresas mencionadas. En relación con la disminución del uso de agua potable, se realizaron los cálculos necesarios para medir el ahorro generado con la implementación del sistema de biorreactores en cada complejo multifamiliar, comparándolo con el consumo de un edificio convencional frente a uno ecológico.

Por otro lado, para estimar el gasto inicial asociado a la incorporación del sistema de biorreactores, se calculó el costo por metro cuadrado de un departamento sostenible dotado con el sistema de aprovechamiento de aguas grises y se evaluó su rendimiento. A través del

análisis desarrollado, se obtuvo como resultado que con la incorporación del sistema MBR en los inmuebles multifamiliares, se logró un ahorro de hasta 37.5% en el uso de agua potable.

No obstante, el distrito de Miraflores destacó entre los cuatro distritos evaluados por presentar mayor rentabilidad en la aplicación del sistema MBR, esto debido al nivel de consumo diario y a las condiciones socioeconómicas de sus habitantes. En otro enfoque, Rivera & Tovar (2023) propusieron un sistema de recirculación del agua proveniente de lavadoras para abastecer el funcionamiento de inodoros, a través de un proceso que involucra la captación, purificación y distribución de aguas grises. Ellos realizaron proyecciones basadas en datos estadísticos y económicos, demostrando que la implementación de este mecanismo permitiría una reducción del 31.83% en el gasto actual de agua potable dentro de la edificación, y que tendría un costo aproximado de S/. 196,817.88, con un periodo de recuperación de la inversión cercano a los 30 años, lo cual valida su factibilidad.

Es importante destacar que, de manera preferente, la instalación del sistema debe ejecutarse en la etapa de construcción de los proyectos habitacionales, ya que en la actualidad parte del presupuesto se destina a ajustes estructurales y no al sistema propiamente dicho. Por último, Vidal & Canales (2023) presentaron una propuesta basada en el uso de paneles solares para elevar la calidad de vida en el Centro Poblado Pararín, en Áncash, Perú. La investigación surgió ante el insuficiente suministro de energía eléctrica para los residentes. El análisis se centró en 118 hogares y se estimó la demanda energética a través de entrevistas aleatorias y encuestas aplicadas a cada familia. Como resultado, se optó por instalar paneles solares monocristalinos de 500W y 48V, fabricados con vidrio antirreflectante, lo que incrementa la transmisión de luz en un 2%; Para evaluar el

funcionamiento del sistema, se utilizó el software PVsyst 7.2 y se proyectó la demanda energética durante un año, considerando los meses de mayor consumo (febrero y marzo por celebraciones), obteniendo valores mínimos, promedios y máximos. Se concluyó que el sistema fotovoltaico tenía la capacidad de suplir hasta el 41.21% de las demandas eléctricas en total y contribuir a mejorar el bienestar de la comunidad.



2. MARCO TEÓRICO

2.1. Energía

2.1.1. Energía No Renovable

Hace referencia a la electricidad generada a partir de recursos limitados o sostenibles en un plazo extremadamente extenso. Se encuentra conformada, en su mayoría, por hidrocarburos fósiles y energía atómica, constituyendo una de las principales causas de la liberación de gases de efecto invernadero y del incremento del calentamiento global (Lee et al., 2024).

2.1.2. Energía Renovable

Producción de electricidad mediante recursos sostenibles o “inagotables”, como la solar, hidráulica, del viento, geotérmica, mareomotriz y de biomasa. Son fuentes puras que disminuyen la generación de gases de efecto invernadero y utilizan los elementos naturales; no obstante, presentan la limitación de ser menos productivas que la energía proveniente de derivados fósiles, requerir amplias áreas de superficie, modificar el entorno visual y poseer una duración operativa limitada (Marquéz et al., 2020).

2.2. Sistemas Fotovoltaicos

Grupo de tecnología solar fotovoltaica que permite la generación de electricidad por medio de celdas solares, las cuales están formadas por elementos semiconductores que se transforman en conductores al recibir calor. Principalmente están fabricadas de silicio, alcanzando una eficacia de conversión de hasta un 31%. Incluye tanto sistemas autónomos como enlazados a la red eléctrica, y su funcionamiento se ve influido por la temperatura, la suciedad, la eficiencia de transformación, el diseño y el dimensionamiento, el circuito de control y los reguladores de carga, junto con el sistema de administración de baterías (Vázquez & Vázquez, 2024).

2.2.1. Células fotovoltaicas

Constituye el elemento esencial de los paneles fotovoltaicos y se distingue por el rendimiento de transformación energética (η), el coeficiente de forma (FF), la intensidad de cortocircuito (ISc), las variables de corriente-tensión (I-V) y el voltaje en vacío (Voc), (Louwen et al., 2022), este último está definido por:

$$\eta = \frac{P_{max}}{AG_{in}} = \frac{V_{mpp}I_{mpp}}{AG_{in}} = \frac{V_{oc}I_{sc}FF}{AG_{in}}$$

(Vázquez & Vázquez, 2024)

Donde:

I_{mpp} : Corriente en el sitio de máxima potencia

V_{mpp} : Voltaje en el sitio de máxima potencia

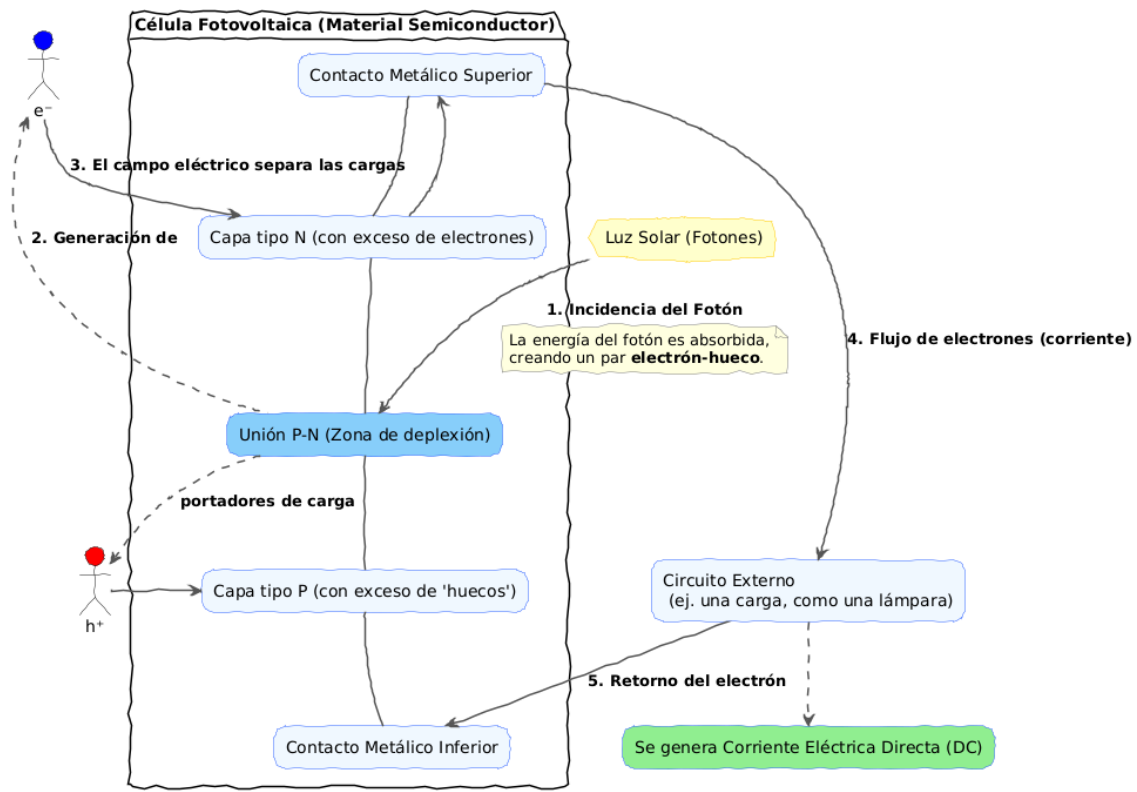
G_{in} : Irradiación incidente (W/m^2)

P_{max} : Potencia más alta generada en la zona

Así también, los rayos que inciden sobre la unidad fotovoltaica influyen en el procedimiento de transformación de energía. A radiación solar máxima e intensidad luminosa elevada, la temperatura del panel se incrementa muy por encima de la temperatura ideal ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$), llegando a niveles entre $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que disminuye la eficacia, ya que la tensión de circuito abierto y, en menor proporción, el coeficiente de llenado, dependen considerablemente de la temperatura. Por ello, se debe considerar los parámetros térmicos (dV_{oc}/dT y dFF/dT), los cuales varían según los componentes de las celdas fotovoltaicas. Otro elemento a tener presente son las bajas intensidades de radiación, que no solo disminuyen la capacidad de salida de la célula solar, sino que también modifican la eficiencia en función de la resistencia en serie (oscila entre $100\text{ }W/m^2$ y $500\text{ }W/m^2$) (Reich et al., 2011).

Figura 2.

Funcionamiento Célula FV



Nota. Elaboración Propia

2.2.1.1. Rendimiento de células solares dependiendo de la irradiancia

Se efectúan las mediciones conforme a las propiedades de I-V, pero tomadas con niveles de irradiación en diferentes configuraciones de las celdas. El desempeño está definido por:

$$\eta(G) = a1 + a2G + a3 \ln(G)$$

(Louwen et al., 2022)

Donde:

G : Energía conseguida

$a3$: Factor de irradiación en celda

$a2$: Factor de turbidez linke

$a1$: Factor de temperatura

En cambio, si se desea calcular la influencia de la radiación solar en el rendimiento, se utiliza la fórmula simplificada de relación entre voltaje y corriente:

$$FFo = \frac{Voc - \ln(Voc + 0.72)}{Voc + 1}$$

Asimismo, la disminución del coeficiente de llenado está definida por la resistencia conectada en serie ($R_{s_{se}}$)

$$FF = FFo(1 - rs)$$

(Louwen et al., 2022)

Donde:

R_{CH} : Resistencia característica (Voc/Isc)

rs : Resistencia serie normalizada (R_s/R_{CH})

2.2.2. Módulos fotovoltaicos

Las células previamente mencionadas se ensamblan entre ellas para suministrar la corriente y el voltaje requeridos. Las celdas se interconectan a través de un procedimiento automatizado utilizando cintas de cobre recubiertas con estaño, donde el polo positivo de una célula se enlaza con el polo negativo de la siguiente. Estos polos están ubicados en lados opuestos de la célula. Generalmente, las células se enlazan en serie, aunque están organizadas en secciones con diodos de derivación. En situaciones de una salida de corriente disminuida, el paso de corriente atravesará el diodo de derivación en lugar de circular por el conjunto de células oscurecidas, evitando así la aparición de un punto caliente en ese grupo y permitiendo reducir la pérdida de energía producida, a costa de un menor voltaje operativo, ya que las demás cadenas continúan entregando las corrientes máximas (Vieira et al., 2020).

2.2.3. Inversores

Los convertidores de corriente son elaborados para efectuar el rastreo del punto de potencia máxima y transformar la energía de corriente continua (CC) en corriente alterna

(CA). Estos dispositivos deben asegurar que el rastreador MPP logre el aprovechamiento óptimo mediante circuitos electrónicos de potencia, en los cuales se aplican técnicas de modulación por ancho de pulso junto con un lazo de retroalimentación para identificar la potencia generada por el sistema fotovoltaico frente a las variaciones del voltaje en el panel o en el sistema mismo, hasta alcanzar el nivel máximo de potencia (Messenger y Ventre, 2010).

También pueden incorporarse transformadores de corriente continua (DC-DC), como los tipos buck-boost y boost-buck, los cuales incluyen inversores de baja capacidad que utilizan interruptores de tipo tiristor o transistores de efecto de campo basados en óxidos metálicos semiconductores, en contextos de alta demanda energética. Esta transformación puede efectuarse a través de la conversión DC-AC con inversores de forma cuadrada, sinusoidal o sinusoidal modificada, alcanzando potencias entre 500 vatios y 1 megavatio, y proporcionando una salida de corriente alterna con una forma de onda muy próxima a 50 o 60 hertzios (Messenger y Ventre, 2010). Por otra parte, según Demoulias (2010), la efectividad del inversor se evalúa con base en su capacidad funcional proyectada bajo cargas parciales, mostrando un rendimiento elevado y estable dentro de un intervalo de operación con carga reducida, donde:

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} = \frac{P_{DC} - P_{loss}}{P_{DC}}$$

(Verma et al., 2021)

Donde:

P_{loss} : Merma de potencia

P_{AC} : Potencia de CA

P_{DC} : Potencia de CC inmediata

Respecto a las disminuciones de energía en un inversor fotovoltaico, una fracción permanece fija y otra está condicionada por la carga. Asimismo, la eficiencia de los

inversores resulta crucial para establecer el desempeño global del sistema, por lo cual se utiliza la eficacia del inversor europeo (η_{EURO}), la cual fue ajustada considerando el clima de Europa Central y en la que se considera el rendimiento en función de porcentajes y coeficientes de corrección.

2.2.3.1. Inversores centrales y de cadena

Corresponden a los de mayor tamaño y únicamente se utilizan en instalaciones fotovoltaicas y proyectos de gran escala; estos poseen capacidades superiores a 1 MW de corriente alterna, y por lo tanto, agrupan la producción de miles de paneles solares. El precio por unidad de los inversores centrales es inferior en comparación con los inversores tipo string, principalmente por distintas características asociadas a su montaje. Su potencia nominal está relacionada con el nivel de detalle en el rastreo del punto de máxima potencia (MPP), y por consiguiente, su eficiencia de instalación mejora considerablemente cuando hay diferencias de irradiación entre distintas zonas de la planta, como en terrenos irregulares donde la pendiente y la orientación varían en el espacio (Louwen et al., 2022).

2.2.3.2. Microinversores y optimizadores de potencia

Se identifican como optimizadores de energía DC-DC acoplados a inversores tipo string; en este caso, el rastreo del punto de máxima potencia (MPP) se efectúa a través de cada módulo individual. Este tipo de inversores evita las pérdidas energéticas que comúnmente ocurren en todas las cadenas. La entrega máxima de corriente continua (DC) de cada panel se transforma directamente en corriente alterna (AC) mediante los optimizadores DC-DC, la electrónica de potencia aplicada a nivel de módulo, y la conversión DC a AC en cada microinversor (Louwen et al., 2022).

2.2.4. Baterías

La energía eléctrica generada por sistemas fotovoltaicos puede ser acumulada en baterías recargables, donde las funciones de carga y descarga son controladas por un

regulador de carga. En el mercado existe una amplia gama de acumuladores eléctricos, siendo los más frecuentes los de plomo-ácido y los de ion de litio. Su desempeño se ve influenciado por la rapidez en los ciclos de carga y descarga, así como por la temperatura operativa. Respecto a la descarga, cuando esta ocurre lentamente, se prolonga la vida útil del dispositivo; mientras que, en ambientes fríos, la velocidad de descarga se reduce notablemente y se mantiene mejor el estado del sistema. Un controlador de carga o sistema de gestión de baterías puede utilizarse si se busca maximizar la velocidad de carga, aumentar la capacidad total de almacenamiento y minimizar, en la mayor medida posible, la degradación permanente de las baterías (Messenger y Ventre, 2010).

Inicialmente, el uso de baterías estaba restringido a sistemas aislados de pequeña escala; sin embargo, en la actualidad, su implementación se extiende a instalaciones domésticas y proyectos de gran envergadura, ya que permite incrementar la cantidad de energía disponible para el consumo del usuario. (SolarPower Europe, 2020).

2.2.5. Reguladores de carga

Los controladores de carga son indispensables en sistemas independientes para gestionar el paso de electricidad entre los paneles solares, la batería y las cargas conectadas. Están diseñados para identificar el nivel de carga del acumulador y resguardarlo frente a sobrecargas o descargas profundas. Estos controladores también pueden incorporar un seguidor del punto de máxima potencia (MPP) y utilizar convertidores DC-DC para sostener un voltaje promedio determinado, aunque esto puede representar una desventaja en términos económicos (Louwen et al., 2022).

2.2.6. Acimut y ángulo de inclinación

Involucra el control de la ubicación y el alineamiento de los módulos solares según el ángulo formado entre el eje sur/norte y la superficie receptora. Asimismo, el ángulo de

inclinación posibilita alcanzar el máximo rendimiento dependiendo de las horas de luz solar y la intensidad de la radiación ultravioleta que incide (Guo et al., 2023).

2.3. Diseño del sistema fotovoltaico

2.3.1. Diseño técnico

Respecto al diseño técnico de sistemas aislados de la red, estos suelen estar enfocados en cubrir requerimientos eléctricos muy particulares; en la mayoría de los casos, se integran con otras clases de fuentes de energía y también disponen de una solución de almacenamiento eléctrico. En contraste, los sistemas interconectados a la red intentan dimensionarse de manera que la escala de instalación coincida con el consumo energético de los usuarios, aunque la producción puede variar según los factores financieros del entorno local. En el ámbito empresarial, no solo se busca cubrir la demanda de electricidad, sino también aprovechar zonas infrautilizadas para así generar ingresos adicionales.

Por consiguiente, el sistema solar fotovoltaico debe diseñarse conforme a la elección y análisis del lugar más adecuado para su implementación, así como a la factibilidad del proyecto desde los aspectos social, técnico, ambiental y energético. Además, deben efectuarse cálculos de ingeniería que no solo se enfoquen en la instalación del sistema, sino también contemplen las adquisiciones, los dispositivos necesarios y el método constructivo. Finalmente, se deben realizar los ensayos de puesta en marcha y validación del sistema (Moser et al., 2017).

Adicionalmente, el diseño técnico debe incorporar el modularidad, que considera la facilidad de ensamblaje de una planta fotovoltaica a gran escala sobre terreno; la adaptabilidad, donde el sistema debe permitir ajustes para optimización; la solidez, que garantiza la resistencia del conjunto frente a condiciones climáticas propias del entorno; y también deben tenerse en cuenta aspectos de protección y costos mínimos de ejecución (Golroodbari et al., 2021).

2.3.2. Rendimiento

2.3.2.1. Refrigeración

Las celdas solares de los paneles fotovoltaicos experimentan una reducción en su rendimiento cuando se encuentran sometidas a elevadas temperaturas, ya que se incrementan las pérdidas por recombinación intrínseca a altas temperaturas. La potencia máxima de un panel está vinculada de forma lineal con la temperatura y la radiación solar, por lo cual se ha investigado el enfriamiento activo como método para reducir la temperatura operativa del módulo (Verma et al., 2021).

$$E_{usual} = P_{ref} \times \frac{E_{hourly}}{E_{ref}} \times [1 + \beta(T_{panel} - T_{ref})] \times t$$

(Verma et al., 2021)

Donde:

B : Coeficiente de temperatura (según la clase del panel)

T_{ref} : T° de referencia (°C)

T_{panel} : T° del panel (°C)

E_{ref} : Irradiación de referencia (V/m^2)

E_{hourly} : Potencia de referencia en irradiación actual

P_{ref} : Potencia de referencia del panel (V)

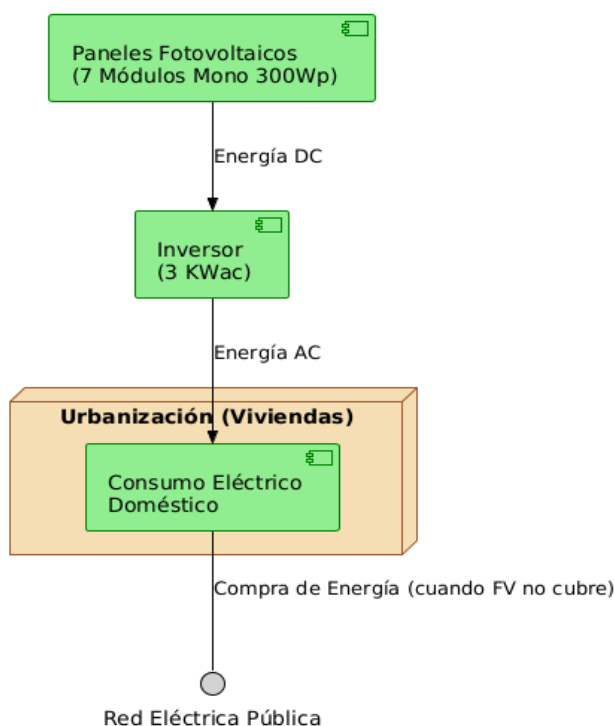
2.3.2.2. Enfriamiento por inmersión

Consiste en sumergir los módulos solares en niveles superficiales de agua, alcanzando un alto rendimiento mediante este método. Esta estrategia presenta un impacto ambiental reducido; sin embargo, su instalación resulta compleja debido a las exigencias de impermeabilización que debe cumplir todo el sistema. Asimismo, según los ensayos realizados, las temperaturas pueden alcanzar hasta 40 °C, dependiendo de la profundidad a la que se encuentren los paneles (Golrobari et al., 2021).

2.3.2.3. Circulación forzada de agua

Consiste en la incorporación de conductos térmicos con fluido refrigerante instalados en la parte trasera de los módulos solares. El rendimiento de este sistema depende de las características de conducción térmica del material que conforma la tubería. La desventaja principal de esta técnica se encuentra en el elevado costo tanto de instalación como de los materiales, lo cual la hace poco adecuada para aplicaciones a gran escala. No obstante, permite disminuir la temperatura del sistema entre 20 °C y 30 °C (Golrobari et al., 2021).

Figura 3. Componentes Sistema FV Conectado
Componentes Sistema FV Conectado



Nota. Elaboración Propia

2.4. Sostenibilidad

La sostenibilidad se define como un tipo de desarrollo que atiende las necesidades actuales sin poner en riesgo las capacidades de las próximas generaciones. Se fundamenta en la relación entre los efectos sociales, el entorno natural y la economía. Incluye enfoques

destinados a disminuir la pobreza y el hambre a nivel global; impulsa la salud y el bienestar, la enseñanza de calidad, el acceso al agua segura, servicios de saneamiento y fuentes de energía renovable, empleo digno y el fortalecimiento del sector industrial. Por último, pone énfasis en la innovación en el diseño de infraestructuras, la disminución de las desigualdades y la transición hacia ciudades autosostenibles, con patrones de consumo responsables y acciones frente al cambio climático (Elaouzy & El Fadar, 2023).

2.4.1. Indicadores de Sostenibilidad en Energía

Se lleva a cabo con base en indicadores, donde se relacionan la energía integrada, el período de retorno energético y una visión desde el enfoque energético. La energía integrada corresponde a la cantidad total de energía utilizada a lo largo de las fases de producción, transporte, instalación, mantenimiento, funcionamiento y disposición final del sistema; mientras que el período de retorno se refiere al tiempo, expresado en años, que se requiere para generar la misma cantidad de energía consumida a lo largo del ciclo de vida completo del sistema (Elaouzy & Fadar, 2023), lo cual se analiza por medio de:

$$EE = EEm + EEt + EEi + EEom + EEd$$

$$EPBT = \frac{EE}{Ep}$$

(Elaouzy & Fadar, 2023)

Donde:

Ep: Producción de energía anual

EEd: Energía de disposición final

EEom: Energía de mantenimiento y *operación*

EEi: Energía de instalación

EEt: Energía de transporte

EEm: Energía en la fabricación

EPBT: Tiempo de recuperación de la energía

EE: Energía añadida

Por otra parte, en cuanto al ámbito ambiental, se calcula el carbono integrado (CE) y los beneficios de emisiones a lo largo del ciclo de vida (LCEB), los cuales se utilizan para analizar la sostenibilidad ecológica de un sistema solar. El CE hace referencia a la cantidad de carbono liberado durante todas las etapas de su vida útil, mientras que el LCEB representa la totalidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) evitadas gracias a la instalación de los módulos solares.

En cuanto al componente económico, se analiza la rentabilidad del sistema mediante el período de retorno ajustado (DPP), el costo del ciclo de vida (LCC), la proporción entre el ahorro generado y la inversión realizada (SIR), y el costo nivelado de la energía (LCOE), considerando también el costo nivelado para calefacción (LCOH) y para refrigeración (LCOC).

$$DPP = \frac{\ln\left(\frac{I_0 \times (r - d)}{E_p E_c} + 1\right)}{\ln\left(\frac{r + 1}{d + 1}\right)}$$

$$LCC = \sum_{t=0}^N \frac{Ct}{(1 + d)^t}$$

$$SIR = \frac{\sum_{t=0}^N \frac{st}{(1 + d)^t}}{\sum_{t=0}^N \frac{it}{(1 + d)^t}}$$

$$LCOE = \frac{LCC}{H_p + C_p}$$

$$LCOH = \frac{LCC}{H_p}$$

$$LCOC = \frac{LCC}{C_p}$$

(Elaouzy & Fadar, 2023)

Donde:

Io: *Cp*: Energía para refrigeración

Hp: Energía para calefacción

It: Inversión anual

St: Ahorro anual

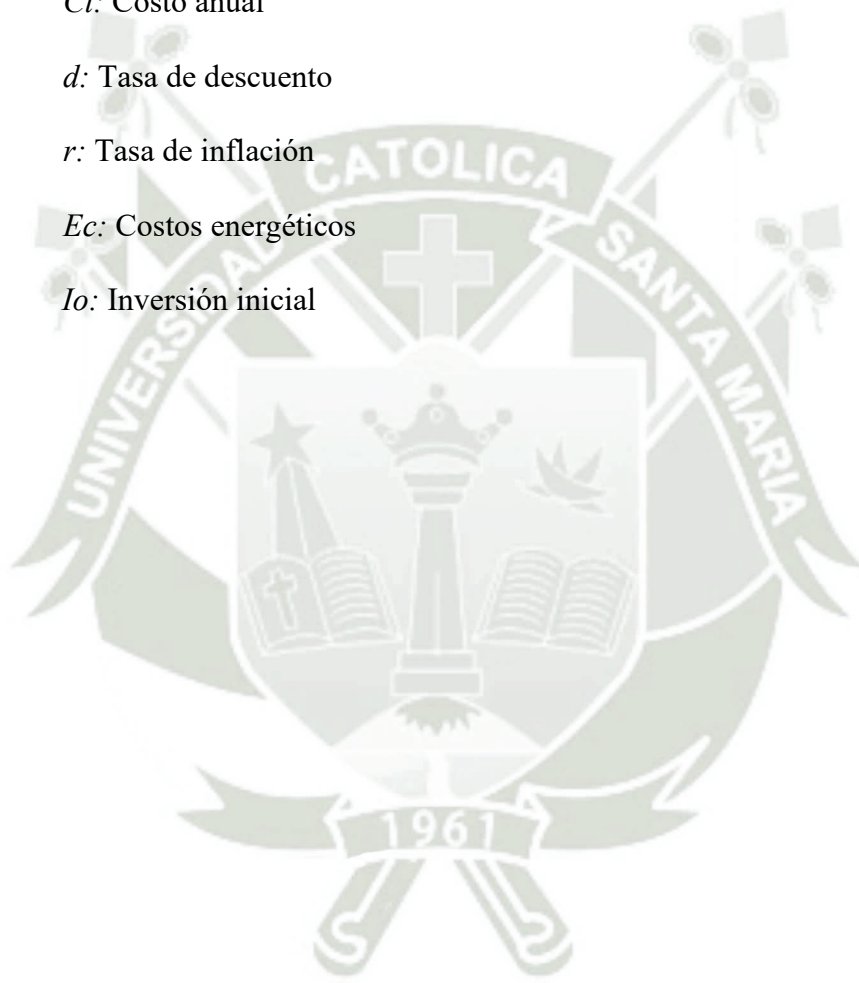
Ct: Costo anual

d: Tasa de descuento

r: Tasa de inflación

Ec: Costos energéticos

Io: Inversión inicial



2.4.2. Huella Ecológica

Número de personas que pueden mantenerse utilizando una cantidad restringida de recursos dentro de una zona determinada sin afectar negativamente el ambiente natural, social, cultural y económico tanto del presente como de las generaciones venideras. Se reconoce como una métrica de sostenibilidad, ya que define los márgenes de uso de recursos en términos de insumos y energía con base en las áreas naturales analizadas (Roca & Herva, 2015).

2.4.3. Huella Hídrica

Hace referencia al uso parcial o completo del recurso hídrico a lo largo de la cadena de abastecimiento de productos y procedimientos dentro de ciertos límites geográficos y temporales. Ofrece datos mediante la medición en volumen del consumo de agua y su contaminación por los bienes o servicios que utilizamos, incluyendo un estudio que integra tanto la cantidad como la calidad del agua empleada (Muratoglu, 2022).

2.4.4. Huella de Carbono

Brinda datos a los usuarios o receptores de los productos y prestaciones acerca del compromiso por sus efectos en relación con la generación de gases de efecto invernadero (GEI), teniendo en cuenta las emanaciones inmediatas que se hallan dentro del ámbito del usuario o que derivan del consumo de electricidad; y las mediatas, que provienen de acciones que están fuera de su control (Caro, 2019).

2.4.5. Estrés Hídrico

Escasez hídrica ocasionada por las alteraciones del clima, la polución de los cuerpos de agua, la carencia de equipamiento para su depuración y la deficiente administración para su uso eficiente, perjudicando la funcionalidad del ciclo del agua para ofrecer un recurso adecuado (Ray & Shaw, 2016).

2.4.6. Urbanización

Acumulación proporcional de habitantes en zonas urbanizadas dentro de una región específica. Representa el cambio de comunidades rurales a comunidades urbanas como resultado de la modernización, industrialización y optimización. Provoca transformaciones económicas, sociales y ecológicas, ofreciendo la posibilidad de una gestión sustentable del aprovechamiento del territorio, los insumos naturales y la conservación de la diversidad biológica (Gu, 2020).

2.4.7. Urbanización Sostenible

Es un grupo de edificaciones residenciales que incorpora acciones para reducir sus efectos sobre el medio ambiente y los bienes naturales. Se fundamenta en la aplicación de fuentes energéticas sostenibles y esquemas integrados de administración (Zhang et al., 2022).

2.4.8. Compacidad

Aspecto de la configuración tangible del espacio que responde a las alternativas estructurales adoptadas considerando la concentración constructiva, la organización de funciones territoriales, el índice de áreas verdes o de circulación (Wang et al., 2022).

2.4.9. Eficiencia

Administración de los bienes naturales según los movimientos de materiales, agua y energía, que constituyen el fundamento para sostener la estructura de las áreas urbanas y prevenir la degradación ambiental a través de acciones diarias (Bonilla & Ríos, 2014).

2.4.10. Cierre de ciclos de agua, energía

Se refiere al aprovechamiento óptimo del recurso hídrico y energético mediante la aplicación de estrategias autosustentables. En cuanto al agua, propone la captación de lluvias y su tratamiento para recargar el acuífero, disminuyendo así el uso de energía en la extracción desde pozos a través de bombas de succión. Empleo del agua depurada para el riego de áreas verdes. En lo que respecta a la electricidad, esta proviene de fuentes limpias, considerando las características geográficas y las condiciones climáticas del entorno (Butera, 2018).

2.4.11. Aguas Grises

El líquido residual originado en lavaplatos, servicios higiénicos, máquinas de lavar ropa y lavamanos, se conoce como aguas grises y representa entre el 80% y 85% de los efluentes domésticos. En su mayoría, están conformadas por compuestos provenientes de productos de aseo, con presencia de agentes tensoactivos y microorganismos nocivos. Su depuración resulta generalmente más viable debido a su menor nivel de contaminación, y puede ser reutilizada en descargas sanitarias, riego de áreas verdes y limpieza de automóviles (Karahana et al., 2023).

2.5. Tratamiento y recirculación de aguas grises

El procesamiento de las aguas grises debe fundamentarse en un movimiento constante del líquido, ya que, al permanecer retenido por más de 24 horas, comienza a manifestar inconvenientes relacionados con olores desagradables y cambios en su tonalidad. Por tal motivo, se proponen métodos de depuración natural, humedales artificiales optimizados, filtración primaria de tipo grueso, y mecanismos fisicoquímicos, siendo estos

últimos los más implementados por su factibilidad técnica y económica (Hernández-Leal et al., 2011).

La reutilización de aguas grises, entendidas como aquellas originadas en duchas, lavatorios y equipos de lavado, constituye una táctica esencial para el manejo sostenible del recurso hídrico en espacios urbanos, y su aplicabilidad e influencia están estrechamente asociadas al volumen de agua que puede ser recuperada y acondicionada. En el ámbito doméstico, esta clase de efluentes representa una proporción muy relevante del uso total de agua potable, estimada entre el 80% y el 85% del total de aguas residuales producidas en viviendas.

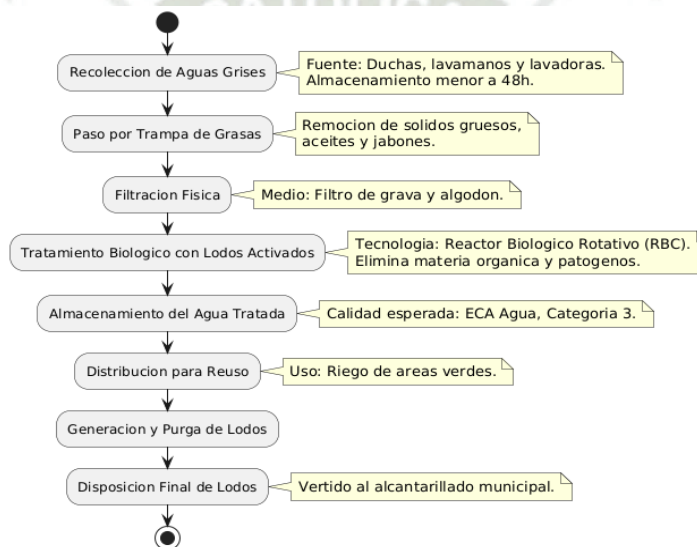
Tomando en cuenta los hábitos de consumo de agua documentados para la Urbanización Quinta Samay (Capítulo IV, Tablas 03, 04 y 15), los cuales reflejan un uso mensual promedio que varía entre 30 y 77 m³ por unidad habitacional en el primer año de evaluación, el caudal potencial de aguas grises generadas diariamente resulta considerable. La puesta en marcha de un sistema específico de captación, a través de redes separadas de tuberías, permitiría recolectar una fracción significativa de este caudal directamente desde su punto de origen, evitando su mezcla con aguas negras (provenientes de sanitarios) y facilitando su posterior procesamiento.

El poder del sistema de tratamiento diseñado, simulado mediante el software STOAT 5.0, ha sido calculada para manejar un caudal específico, permitiendo tratar hasta 20 m³ por mes. Este volumen depurado no es insignificante; representa una cantidad de agua que, cumpliendo con los parámetros de calidad exigidos para aplicaciones no potables (como el riego de áreas verdes), puede reemplazar directamente un volumen equivalente de agua potable que, de otra forma, se extraería del sistema público. De hecho, el volumen recuperado es suficiente para cubrir el requerimiento mensual de agua estimado para el riego del Parque Almudena (18 m³), e incluso presenta un pequeño excedente, evidenciando cómo

el manejo eficiente del volumen de aguas grises se convierte en una disminución concreta de la presión sobre los recursos hídricos locales y contribuye de manera significativa a la autosuficiencia y capacidad de adaptación hídrica de la urbanización ante el escenario de escasez hídrica advertido en la ciudad de Arequipa.

Figura 4.

Proceso Tratamiento Aguas Grises



Nota. Elaboración Propia

2.5.1. Pretratamiento

En primera instancia, se lleva a cabo la decantación, con el propósito de retirar las partículas de mayor tamaño, evitando que interfieran en los tratamientos siguientes. Se reconoce que estos elementos pueden provocar deterioro en las estructuras y reducir la capacidad del proceso de depuración. La decantación se efectúa mediante un depósito donde el agua permanece inmóvil durante un período de aproximadamente 4 a 6 horas, permitiendo que, al concluir, el líquido se separe del sedimento (Wurochekke et al., 2016).

2.5.2. Tratamiento primario

En las etapas iniciales de tratamiento predominan las técnicas físicas, que comprenden diversos procesos basados en la aplicación de fuerza, tales como cribado, agitación, separación por flotación, intercambio gaseoso y filtrado. Los mecanismos físicos se clasifican en sistemas con lechos de arena o con membranas; en cuanto a los filtros de arena, generalmente se utiliza arena con distintas granulometrías, acompañada en la parte inferior por carbón activado, ya que permiten una eliminación más eficaz de microorganismos patógenos y partículas pequeñas (Oh et al., 2017).

2.5.3. Tratamiento secundario

El proceso biológico se encarga de degradar compuestos orgánicos biodegradables, transformándolos en gases que se liberan a la atmósfera o en biomasa celular, la cual será eliminada en una etapa posterior de decantación. Este tratamiento incluye sistemas como los biorreactores de lecho fijo, discos biológicos rotatorios, filtros anaerobios, reactores secuenciales por lotes y filtros aireados de tipo biológico. Estos métodos permiten alcanzar una remoción cercana al 100% de sólidos suspendidos y materia orgánica (Wurochekke et al., 2016).

2.5.4. Desinfección

La purificación final puede llevarse a cabo mediante la incorporación de sustancias químicas, como el cloro en una relación de 1/10, o mediante la exposición del agua depurada a intervalos de entre 16 y 24 horas de luz solar, ya que la radiación UV tiene la capacidad de eliminar microorganismos nocivos (Oh et al., 2017).

2.6. Marco Legal Vigente

2.6.1. Normativa para Agua

Dado que el agua tratada será utilizada en tareas domésticas, como el riego de plantas y hortalizas en áreas verdes y viviendas, así como para el consumo de animales, el estudio se fundamenta en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, el cual define los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el recurso hídrico. Dicha norma indica que el agua clasificada como Categoría 3, destinada al riego de cultivos y al abastecimiento de agua para animales, debe cumplir con los criterios fisicoquímicos, inorgánicos, orgánicos, relacionados a plaguicidas, además de los parámetros parasitológicos y microbiológicos.

2.6.2. Normativa para Sistemas Fotovoltaicos

Según la normativa DGE (2015) sobre los lineamientos técnicos del sistema solar fotovoltaico y sus elementos, la estructura fotovoltaica debe ajustarse a las condiciones ambientales requeridas, como la altitud sobre el nivel del mar, la humedad relativa, la temperatura del entorno, la cantidad de lluvia, la radiación solar máxima y la velocidad del viento. Asimismo, establece determinadas especificaciones, mecanismos de protección y criterios de operación que deben cumplir el generador solar, el conjunto de baterías, la unidad controladora, las luminarias de corriente directa, las estructuras de soporte, el panel generador y el sistema de distribución de todas las energías eléctricas.

2.6.3. Ley de Concesiones Eléctricas (Ley N° 25844)

Define el marco normativo para la producción, transporte y reparto de energía eléctrica, incluyendo la generación mediante fuentes sostenibles.

2.6.4. Ley de Uso Eficiente de la Energía (Ley N° 27345).

Donde se declara de interés nacional la el uso raconal y eficiente de la energía

2.6.5. Ley de Inversión para la Generación de Electricidad (Ley N° 30282)

Esta norma y su regulación fomentan el financiamiento en iniciativas de generación con fuentes energéticas sostenibles.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Tipo

Se trata de un estudio de carácter aplicado con orientación cuantitativa, cuyo propósito es desarrollar un sistema integrado que combine un equipo solar fotovoltaico con un mecanismo de reutilización de aguas.

1.2. Nivel

La actual investigación corresponde a un nivel aplicado y se fundamenta en la apremiante necesidad de formular alternativas sostenibles para el manejo de recursos en el distrito de Cayma, Arequipa, una zona que enfrenta retos importantes vinculados con la disponibilidad de agua y energía. La iniciativa de un diseño autosostenible mediante la incorporación de sistemas solares fotovoltaicos y la reutilización de aguas tiene como objetivo enfrentar de forma integral dichos retos, incentivando un uso más racional y eficiente de los bienes naturales.

2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 1.

Cuadro de operacionalización de variables

Variable	Tipo	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Unidad de Medida	Instrumento de Medición
Consumo energético	Independiente	Cantidad de energía eléctrica consumida por las viviendas en la urbanización durante un período determinado.	kWh consumidos por mes antes y después de la implementación del sistema fotovoltaico.	kWh/mes	kWh	Recibos de energía, medidores de energía
Consumo Hídrico	Independiente	Volumen de agua consumido por las viviendas en la urbanización durante un período determinado	m ³ de agua consumidos Por mes antes y después de la implementación del sistema de recirculación de aguas	m ³ /mes	m ³	Recibos de agua Medidores de flujo de agua
Eficiencia de los sistemas fotovoltaicos	Dependiente	Porcentaje de conversión de energía solar en energía eléctrica por los sistemas fotovoltaicos instalados.	Eficiencia calculada mediante la relación entre la energía eléctrica generada y la energía solar recibida	Porcentaje	%	Medidores de flujo solar, instrumentos de medición de producción energética
Eficiencia de recirculación de aguas	Dependiente	Porcentaje de agua recirculada que es reutilizada para otros fines.	Eficiencia calculada mediante la relación entre el volumen de agua recirculada y reutilizada y el volumen total de aguas grises generadas.	Porcentaje	%	Medidores de flujo de agua, análisis de calidad del agua

Nota. Elaboración Propia

Tabla 2.*Cuadro de matriz de consistencia*

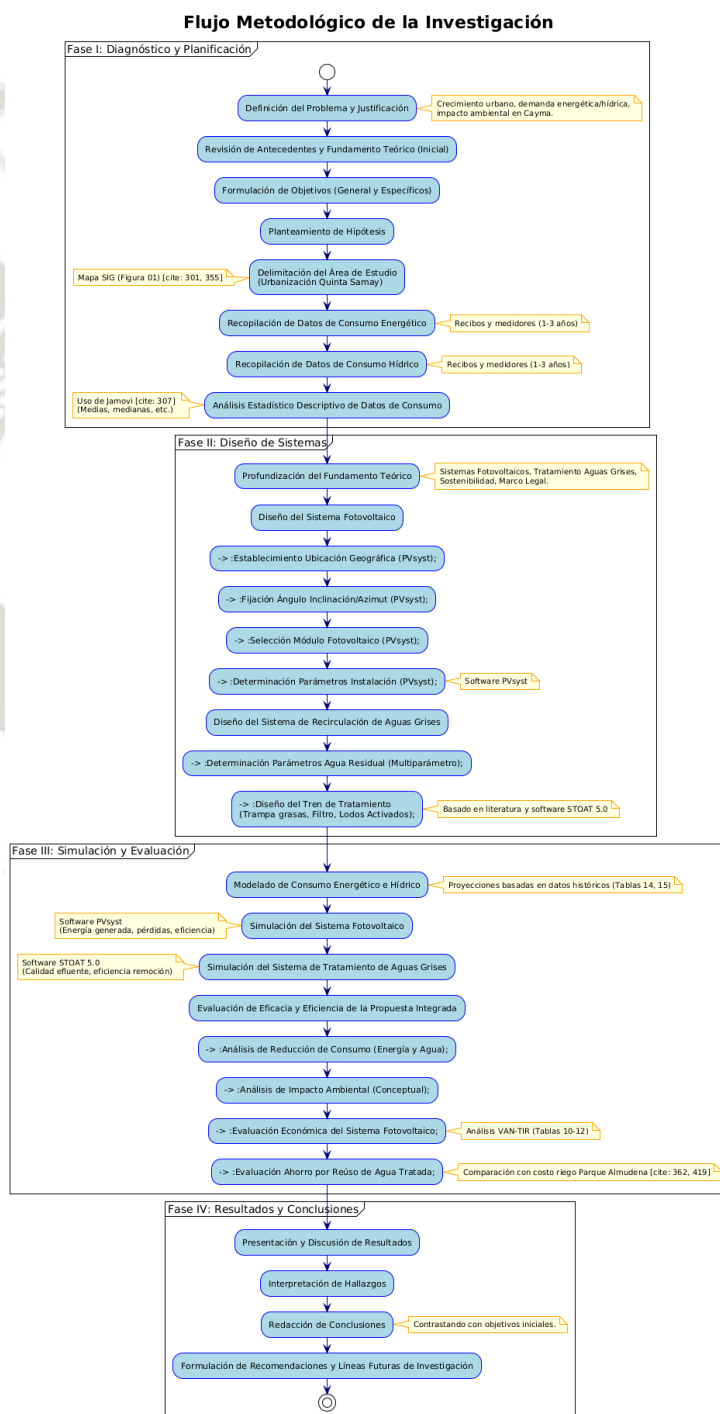
Problema de investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Hipótesis	Variables	Diseño metodológico
El aumento de la urbanización en Arequipa ha generado una mayor demanda de energía y agua, exacerbando el estrés hídrico y las emisiones de GEI debido al uso de combustibles fósiles.	Diseñar un sistema autosustentable mediante la integración de sistemas fotovoltaicos y recirculación de aguas en la urbanización de Cayma.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar un diagnóstico del consumo actual de energía y agua en la urbanización de Cayma. 2. Diseñar un sistema integrado adaptado a las necesidades de la urbanización. 3. Evaluar la eficacia y eficiencia del sistema propuesto en términos de reducción de consumo y análisis económico. 	La implementación de un sistema integrado de paneles fotovoltaicos y recirculación de aguas puede hacer uso eficiente de los recursos naturales y formar una urbanización autosustentable.	<p>Bienestar emocional, relación interpersonal, bienestar material, desarrollo personal, bienestar físico, autodeterminación, inclusión social, derechos.</p> <p>V2: Autosustentabilidad: Reducción del consumo energético, aprovechamiento de aguas grises.</p>	<p>Tipo de Estudio: Aplicativa con enfoque cuantitativo.</p> <p>Diseño: Recopilación de datos de consumo, modelado con software PVsyst y STOAT 5.0, análisis económico con VAN-TIR. Ámbito de Estudio: Urbanización Quinta Samay, Cayma, Arequipa. Población Muestra: Urbanización Quinta Samay en Cayma.</p>

Nota. Elaboración Propia

2.1. METODOLOGÍA

Figura 5.

Diagrama de Flujo Metodológico de la Investigación



Nota. Elaboración Propia

2.1.1. Delimitación del área de estudio

El área de análisis será definida mediante una selección básica de viviendas, considerando las zonas con mayor concentración de habitantes dentro de la Urbanización Quinta Samay. Se elaborará un plano utilizando herramientas de Sistemas de Informativas de Geografía.

2.1.2. Recopilación de datos

Datos de Consumo Energético y Hídrico

Se recopilarán los comprobantes de consumo de electricidad y agua de los hogares ubicados en Cayma correspondientes a los 12 últimos meses. Esta información servirá como fundamento numérico para analizar el uso actual de dichos servicios.

Medidores de Consumo

Se examinará y comparará la información obtenida mediante los dispositivos de medición. Estos instrumentos permitirán registrar datos de consumo en tiempo real y reconocer hábitos de uso que no son perceptibles en los comprobantes mensuales (Kumar & Samadder, 2017).

2.1.3. Procesamiento y análisis de datos

Análisis Estadístico Descriptivo

Se empleará un programa estadístico Jamovi para efectuar un estudio descriptivo de la información reunida, abarcando promedios, valores centrales y desviaciones estándar del uso de electricidad y agua (Field, 2013).

Modelado de Consumo

Se utilizarán métodos de regresión para detectar variables clave que influyen en el consumo y anticipar tendencias futuras de utilización (Heinrich & Lynn, 2018).

Tabla 3.

Cuadro de Selección de Parámetros de Simulación para PVsyst y STOAT 5.0

Software	Categoría de Parámetro	Parámetro(s) Específico(s)	Fuente / Razón de Selección
PVsyst	Ubicación y Meteorología	Ubicación Geográfica	Cayma, Arequipa (Área de estudio).
		Datos Meteorológicos (Irradiancia, Temperatura, etc.)	Base de datos integrada en PVsyst (PVGIS TMY 5.2) para la ubicación seleccionada.
	Orientación y Diseño	Ángulo de Inclinación y Acimut	Optimización mediante comparación en PVsyst (24° vs 30°) para minimizar pérdidas globales y maximizar rendimiento anual.
		Número de Módulos en Serie	7 módulos, determinado en función de la demanda energética estimada y la potencia nominal del módulo seleccionado para cubrirla.
	Componentes	Módulo Fotovoltaico Específico (Si-Mono 300 Wp)	Selección basada en características técnicas (eficiencia, voltaje), disponibilidad en el mercado y compatibilidad con el inversor, usando base de datos PVsyst.
		Inversor Específico (3 KWac)	Selección basada en capacidad (KWac), rango de voltaje de operación, eficiencia y compatibilidad con la potencia total del arreglo de módulos.
STOAT 5.0	Agua Gris Afluyente	Características Físico-Químicas (OD, SS, CE, pH, Temp.)	Medición directa del agua gris generada en la zona mediante multiparámetro HANNA HI9829.
		Caudal de Agua Gris	Estimado a partir de los datos históricos de consumo hídrico de la urbanización (Tablas 03, 04, 15) y el porcentaje típico de generación de aguas grises.
	Tren de Tratamiento	Configuración del Tren (Trampa de grasas, Filtro, Lodos Act.)	Selección basada en tecnologías comunes y efectivas para tratamiento de aguas grises a escala doméstica/comunitaria.
		Parámetros de Diseño de Unidades (TRH, Carga Orgánica, etc.)	Dimensionamiento y parámetros operativos definidos según recomendaciones de la literatura técnica para cada proceso unitario y ajustados en STOAT para cumplir objetivos de calidad del efluente.
	Objetivos de Calidad	Calidad del Efluente Deseada	Cumplimiento con estándares para reúso en riego (ECA Agua, Categoría 3 - Riego de vegetales y bebida de animales).

Nota. Elaboración Propia

2.1.4. Diseño de un sistema integrado que combine la tecnología fotovoltaica con la recirculación de aguas, específicamente adaptado a las necesidades y características de la urbanización de Cayma.

Para la configuración del módulo de suministro solar dentro del sistema autosostenible y el análisis de su desempeño energético estimado, se empleó el programa especializado PVsyst. Esta herramienta, ampliamente reconocida en el ámbito técnico, permite representar con precisión sistemas fotovoltaicos y simular su generación eléctrica bajo condiciones determinadas. El procedimiento metodológico aplicado en PVsyst, fundamentado en las directrices de Shrivastava et al. (2023) y ajustado a los requerimientos de esta investigación, junto con la selección de los parámetros esenciales, se describen como sigue:

2.1.5. Establecimiento de la ubicación geográfica

El paso inicial esencial fue establecer con exactitud la posición geográfica del proyecto dentro del software PVsyst, correspondiente a la Urbanización Quinta Samay, ubicada en el distrito de Cayma, Arequipa. Esta ubicación define elementos clave como el recorrido del sol y los patrones de radiación solar recibida. Para recopilar la información climática requerida para la simulación (radiación solar global en plano horizontal, radiación difusa, temperatura ambiental promedio mensual, entre otros), se utilizó la base de datos meteorológica integrada en la herramienta, seleccionando como fuente a PVGIS TMY 5.2 (ver Tabla 6). Esta base proporciona un Año Meteorológico Típico (TMY), compuesto por registros horarios o mensuales estadísticamente representativos y verificados, reflejando las condiciones climáticas medias de largo plazo en el área de estudio, lo cual resulta fundamental para una estimación confiable del desempeño energético anual del sistema solar fotovoltaico. La información obtenida y aplicada incluye la radiación global y horizontal recibida, la temperatura ambiental, y coeficientes de eficiencia relacionados con el ángulo de incidencia (IAM) y las pérdidas por sombreamiento. Se seleccionará el punto

geográfico en el cual se instalará el sistema fotovoltaico, el cual será vinculado a alguna fuente de datos satelitales disponibles en el programa. Se generará un documento que incluya:

- Energía incorporada (MWh)
- Irradiancia horizontal global (kWh/m²)
- Eficiencia Global para IAM y sombreados (kWh/m²)
- T°(°C)
- Irradiancia incidente global (kWh/m²)

2.1.6. Fijación del ángulo de inclinación de acimut

La disposición de los módulos solares, determinada por su ángulo de inclinación respecto al plano horizontal y su orientación acimutal (referida al norte o sur geográfico), es un factor clave para optimizar la captación anual de energía solar. En vez de limitarse a medir el rendimiento dentro de un intervalo restringido (como se menciona de forma general en la metodología original), se llevó a cabo un estudio comparativo y de optimización utilizando la herramienta PVsyst. Se analizó el desempeño energético anual del sistema simulado bajo distintas configuraciones de inclinación y orientación, contrastando específicamente un ángulo de 24° con otro de 30° para ambos parámetros (ver comparativo en Tabla 7). La elección final de 24° tanto para la inclinación como para el acimut respondió a la configuración que reducía al mínimo las pérdidas totales del sistema (incluidas aquellas debidas al ángulo de incidencia y a la temperatura), y que a su vez maximizaba la generación anual estimada de energía, logrando un balance óptimo acorde a la latitud de Arequipa durante todas las cuatro estaciones.

2.1.7. Selección de módulo fotovoltaico adecuado

La selección de los equipos principales se llevó a cabo utilizando la amplia base de datos de dispositivos comerciales incorporada en el software PVsyst.

- **Panel Fotovoltaico:** Se eligió un panel solar del tipo Si-Mono (Silicio Monocristalino) con una potencia nominal de 300 Wp, conformado por 60 celdas (ver Tabla 8). La decisión se basó en criterios como la eficiencia de conversión, la resistencia estructural (adecuada para las condiciones climáticas de Arequipa), las propiedades eléctricas (tensión y corriente nominales, coeficientes térmicos) y la disponibilidad estimada en el mercado regional.
- **Convertidor (Inversor):** Se seleccionó un inversor con una capacidad nominal de 3 kWac (ver Tabla 8). La elección se fundamentó en su compatibilidad eléctrica con el conjunto fotovoltaico diseñado, asegurando que los valores de tensión y corriente del sistema se encuentren dentro del rango operativo del inversor, en particular en el intervalo de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT - Maximum Power Point Tracking). También se evaluó el índice de dimensionamiento (proporción entre la potencia pico del generador fotovoltaico y la potencia nominal en corriente alterna del inversor), con el fin de optimizar la transformación energética y reducir pérdidas por limitación (clipping) o por funcionamiento en condiciones de carga baja.

2.1.8. Determinación de parámetros de instalación

A partir de los elementos escogidos y el requerimiento energético previsto, se establecieron las características técnicas particulares para la instalación del sistema fotovoltaico (ver Tabla 09):

- Se definió una configuración formada por 7 paneles conectados en serie con el fin de obtener una tensión de funcionamiento compatible con el inversor elegido.
- Se estableció una sola línea (string) de paneles enlazada directamente al inversor.
- Se definió la superficie total necesaria para los paneles, estimada en cerca de 11 m².
- Se comprobó que la potencia máxima total del sistema (2.1 kWp) fuera compatible con la capacidad del inversor (3 kWac), obteniéndose un coeficiente de dimensionamiento de 0.7. Esto indica que el inversor está sobredimensionado en relación con el generador, lo que previene pérdidas por limitación (*clipping*) y permite un desempeño eficiente incluso en condiciones de baja radiación, aunque esta configuración podría no ser la más conveniente desde el punto de vista del costo inicial del equipo.

2.1.9. Evaluación Económica

Se analizará la disminución del consumo eléctrico mediante la comparación de los recibos de energía previos y posteriores a la instalación del sistema solar fotovoltaico.

2.1.10. Determinación de parámetros del agua residual

Antes del diseño del sistema de depuración, se efectuó una caracterización preliminar del agua gris representativa del área de estudio. Utilizando un medidor multiparamétrico HANNA HI9829, se registraron variables fisicoquímicas esenciales como oxígeno disuelto (OD), sólidos en suspensión (SS) y conductividad eléctrica (CE), además de pH y temperatura. Los datos obtenidos en esta evaluación (ver Tabla 13) se utilizaron como referencia para establecer las condiciones del tributario al sistema de tratamiento.

2.1.11. Diseño del sistema

A partir de la evaluación del influente y los fines previstos para su reutilización, se estructuró una línea de tratamiento conformada por las siguientes etapas consecutivas:

- **Recolección de aguas grises:** Se planifica una red de conducciones exclusiva para recolectar de forma eficiente las aguas residuales grises producidas por la higiene personal (baños con ducha), lavabos y máquinas lavadoras en los hogares, separándolas de las aguas servidas negras.
- **Trampa de grasas:** Como tratamiento preliminar, se incorpora un separador de grasas ideado para la extracción primaria de residuos sólidos de mayor tamaño, cabellos y la separación de aceites, lípidos y sustancias jabonosas que podrían obstaculizar las etapas siguientes del proceso.
- **Almacenamiento previo:** Se considera un depósito de acumulación preliminar para estabilizar el caudal hacia el tratamiento biológico. Será estructurado con un periodo de retención hidráulica inferior a 48 horas, con el fin de evitar la aparición de olores desagradables por procesos sépticos. Este contenedor integrará un mecanismo de desborde enlazado al sistema de alcantarillado para manejar volúmenes excedentes.

- **Burbujeo:** Estará integrado por depósitos, impulsor de aire, conductos flexibles, cal viva y una bomba hidráulica. El líquido residual procedente de la lavadora doméstica será incorporado directamente al contenedor de aireación, donde se aplicará cal viva, y mediante un tubo sumergido junto con un compresor de aire se generarán burbujas en la zona inferior. Luego, el fluido será retirado desde la parte baja del recipiente con el propósito de evitar la extracción de la espuma acumulada en la superficie.
 - **Filtración:** Después del pretratamiento, se incorpora un mecanismo de separación física. Se plantea un dispositivo de filtrado constituido por estratos de piedra triturada con tamaños de grano variados y algodón (o un tejido semejante), escogido por ser una alternativa de bajo costo, fácil de manejar y efectiva para eliminar partículas suspendidas pequeñas que aún permanecen.
- Sistema de lodos activados (Reactor Biológico Rotativo - RBC):** Como fase de depuración secundaria destinada a suprimir la materia orgánica soluble y degradable, así como microorganismos patógenos potenciales, se plantea la aplicación de un esquema de lodos aireados a través de Biorreactores Rotatorios (RBC). Se selecciona esta alternativa por su reconocida simplicidad de instalación y manejo en redes no centralizadas, su elevada eficacia en la eliminación de carga biológica y su menor generación de residuos en comparación con otros métodos tradicionales de lodos activados.
- **Almacenamiento final:** Se proyectará un depósito para contener el líquido previamente depurado antes de su redistribución para aprovechamiento. Dicho depósito poseerá una capacidad estimada para garantizar una

independencia cercana a cinco jornadas de requerimiento de irrigación y dispondrá también de un mecanismo de desborde de protección.

- **Depuración de lodos:** Los residuos biológicos producidos en el RBC necesitarán una descarga regular. Considerando que, conforme a la legislación peruana actual, dichos residuos domésticos no se consideran comúnmente como peligrosos, se prevé su evacuación regulada hacia la red de desagüe sanitaria para su procesamiento conjunto en la estación de tratamiento municipal.

2.1.12. Descripción del Modelo de Simulación del Sistema de Tratamiento de Aguas Grises (STOAT 5.0)

Con el propósito de analizar la efectividad del esquema diseñado para el procesamiento y reutilización de aguas grises, se utilizó el software técnico STOAT 5.0. Esta aplicación constituye una herramienta de simulación dinámica creada para representar el funcionamiento de instalaciones de tratamiento de aguas residuales, permitiendo anticipar la calidad del agua tratada y mejorar los procedimientos implicados. El esquema de simulación generado en STOAT 5.0 para esta investigación reprodujo el sistema de tratamiento detallado en la metodología (Capítulo III, apartado 2.1.13), el cual incluye una unidad de retención de grasas, un sistema de filtrado y un reactor biológico basado en lodos activados (estructurado como RBC).

El fundamento esencial del modelo en STOAT 5.0 se basa en la utilización de balances de masa para los distintos elementos y contaminantes presentes en el agua gris en cada fase del tratamiento. El programa incorpora las propiedades del agua de entrada, previamente caracterizada (Tabla 13), como los sólidos suspendidos totales, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la cantidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo), y el flujo estimado. A medida que el agua avanza de forma virtual a lo largo de cada componente

modelado, STOAT 5.0 emplea fórmulas matemáticas que representan los mecanismos físicos, químicos y biológicos que se desarrollan.

- **Modelado de Unidades Fisicoquímicas:** En el caso de componentes como la unidad de retención de grasas y el sistema de filtrado, el modelo representa la eliminación de partículas sólidas y material suspendido en función de parámetros de diseño como el tiempo de permanencia hidráulica (TRH), la rapidez de sedimentación (en el caso de la trampa de grasas), así como las propiedades del material filtrante y la velocidad de paso del flujo (en el caso del filtro). Se considera una eficacia estimada de eliminación para determinados contaminantes, tomando como base los principios operativos de dichas unidades.
- **Modelado de Procesos Biológicos:** El componente principal del sistema, el reactor biológico de lodos activados (RBC), es representado mediante fundamentos de cinética microbiana. El software STOAT 5.0 incorpora esquemas que describen el comportamiento de los organismos microscópicos encargados de la descomposición de la materia orgánica y la conversión de nutrientes. Aunque el trabajo no detalla el tipo de modelo cinético específico utilizado (por ejemplo, ASM1, ASM2, etc.), dichos modelos, por lo general, cuantifican las velocidades de proliferación de la biomasa, el consumo del sustrato (agentes contaminantes), la respiración endógena y, en configuraciones más avanzadas, fenómenos como la nitrificación y la desnitrificación. Los factores fundamentales para esta unidad incluyen la carga de materia orgánica suministrada, el tiempo de permanencia de los sólidos (TRS), el nivel de oxígeno disuelto dentro del reactor y las propiedades de la película biológica en el caso de los RBC. La simulación facilita prever la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la eliminación de nitrógeno y fósforo, así como la generación de lodos (ver Figuras 09-13)

2.1.13. Evaluación económica

Se evaluará la diferencia en el consumo hídrico previo y posterior a la puesta en marcha del mecanismo de reutilización del agua residual gris doméstica.

2.1.14. Simulación y evaluación de la eficacia y eficiencia del sistema propuesto en términos de reducción de consumo de energía y agua, y analizar su impacto ambiental y aceptación comunitaria.

Esta etapa metodológica se enfoca en analizar, a través de instrumentos de simulación, la efectividad y el rendimiento del diseño combinado (sistema solar fotovoltaico y reutilización de aguas grises) en cuanto a su aptitud para disminuir el uso de electricidad de la red y el consumo de agua tratada. Además, se pretende examinar su posible efecto ecológico y tomar en cuenta factores importantes para una eventual valoración de la aprobación por parte de la comunidad.

2.1.15. Modelado de Consumo Basado en Datos Históricos

Como etapa anterior al análisis del efecto de los sistemas planteados, se emplearon los registros previos de uso de electricidad y agua recolectados (Tablas 01-04) con el fin de establecer una base de referencia sólida y elaborar esquemas anticipados del consumo proyectado en la urbanización (Tablas 14, 15). Este estudio se sustentó en programas estadísticos como Jamovi (Law, 2014) para reconocer patrones y comportamientos que permitieron orientar el cálculo y la valoración de las ventajas de los sistemas planteados.

2.1.16. Integración del Sistema de Paneles Fotovoltaicos y Recirculación de Aguas

Se representó el efecto estimado de la puesta en marcha conjunta de los sistemas solares y de reutilización hídrica utilizando programas de simulación específicos para cada componente. Se utilizó PVsyst para examinar el desempeño detallado del sistema solar fotovoltaico (producción eléctrica, mermas, rendimiento) y el software STOAT 5.0 para reproducir el procedimiento de depuración y establecer la calidad del agua tratada

proveniente del sistema de reutilización de aguas grises (Liggett & Chen, 1994; Lambert et al., 2006).

2.1.17. Simulación y Selección de Parámetros para el Sistema de Tratamiento de Aguas Grises (STOAT 5.0)

Con el fin de analizar la factibilidad y anticipar el desempeño del esquema de depuración de aguas grises descrito previamente (Sección 2.1.12), se aplicó el programa especializado STOAT 5.0. La determinación de las variables iniciales para esta simulación constituyó una etapa fundamental, fundamentada en el análisis del líquido a tratar, las características del sistema de tratamiento propuesto y las metas de calidad del agua depurada para su posterior aprovechamiento:

- **Caracterización del Agua Gris Afluyente para la Simulación:** La composición del agua que entra al entorno simulado en STOAT 5.0 fue establecida empleando los registros obtenidos de la evaluación fisicoquímica real (Tabla 13). Indicadores esenciales como el oxígeno disuelto, los sólidos en suspensión, la conductividad eléctrica, la temperatura y el nivel de pH medidos directamente en el lugar fueron ingresados como las condiciones iniciales del líquido entrante. Esto brindó un punto de partida fiel a la realidad respecto a la constitución del agua gris generada en la zona residencial. Asimismo, el volumen de agua gris a ser tratado se calculó con base en el estudio de los recibos de uso de agua potable (Tablas 03, 04 y 15), utilizando un coeficiente representativo para estimar la proporción que correspondería a aguas grises que aportaran el sistema modelado.
- **Definición del Tren de Tratamiento y Parámetros de Diseño en STOAT 5.0:** La línea de tratamiento proyectada (separador de grasas, medio filtrante, y RBC) fue representada en el software STOAT 5.0 utilizando sus módulos

correspondientes de operación. Para cada componente simulado, se ingresaron los valores de diseño y funcionamiento previamente definidos (capacidad de los depósitos - tiempo de retención hidráulica, especificaciones del medio filtrante, tasas de aplicación del RBC, y rendimientos esperados de remoción física). En cuanto al biorreactor (RBC), se ajustaron los parámetros de cinética microbiológica tomando como base referencias estándar de estudios previos sobre tratamiento de aguas grises mediante sistemas de lodos activados o RBC, adaptándolos conforme al esquema proyectado.

- **Establecimiento de los Objetivos de Calidad del Efluente en la Simulación:** El objetivo de la modelación fue comprobar si el diseño era capaz de lograr una calidad del agua depurada adecuada para su reutilización en riego (Parque Almudena), tomando como meta el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3 (D.S. N.º 004-2017-MINAM). La simulación facilitó el análisis de la concentración estimada de contaminantes fundamentales (DBO, SS, N, P) en el vertido final (Figuras 09-14) y su comparación con los estándares mencionados.

2.1.18. Campo de verificación

2.1.18.1. Ubicación espacial

El presente estudio relacionado con la implementación de un sistema integrado conformado por un módulo fotovoltaico y la reutilización de agua residencial será desarrollado en la ciudad de Arequipa, específicamente en el distrito de Cayma. Los datos para el análisis de la eficiencia del sistema serán obtenidos en la Urbanización Quinta Samay, situada en dicho distrito, comprendiendo un total de 80 hogares unifamiliares.

2.1.18.2. Población muestra

Se considerará como universo de estudio al distrito de Cayma, y se seleccionará como muestra una urbanización específica dentro del mismo, empleando un enfoque de muestreo no probabilístico basado únicamente en la evaluación de dicha zona residencial. La población de estudio se define por las 80 viviendas unifamiliares de la Urbanización Quinta Samay.

2.1.19. Procesamiento de datos

Se comenzará con la recolección de información detallada relevante para el presente análisis. Esto abarcará registros de radiación solar específicos de la ciudad de Arequipa, datos sobre el consumo vigente de electricidad y agua en la zona residencial, características técnicas y niveles de eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y de reutilización planteados, así como la estructura de gastos correspondiente. Toda la información será digitalizada y estandarizada para garantizar la consistencia en cuanto a unidades de medida y escalas. Se emplearán programas estadísticos especializados, como SPSS o R, para el ingreso de estos datos, lo cual permitirá su procesamiento y evaluación posterior de manera más eficaz.

2.1.20. Análisis de datos

El estudio dará inicio con un análisis descriptivo para sintetizar las propiedades principales de nuestras bases de datos, tales como medias, desviaciones estándar y rangos. Más adelante, se llevarán a cabo evaluaciones inferenciales para investigar los vínculos entre el uso de electricidad y agua y la puesta en marcha de los sistemas solares fotovoltaicos y de reutilización. Esto podría abarcar la ejecución de pruebas t para contrastar promedios o modelos de regresión para analizar cómo variables como la radiación solar influyen en el desempeño de los paneles fotovoltaicos. Igualmente, se analizarán modelos de predicción con el fin de calcular los beneficios a largo plazo de la iniciativa en lo relacionado con el ahorro energético, la eficiencia hídrica y la disminución de gases de efecto invernadero.

2.1.21. Interpretación de resultados

Los hallazgos de nuestro estudio serán analizados en función del conocimiento previo disponible sobre desarrollo urbano sostenible y tecnologías de energía limpia. Se examinará cómo los resultados obtenidos concuerdan o se diferencian de investigaciones anteriores, considerando posibles causas de dichas discrepancias. La explicación de los resultados buscará resaltar la factibilidad y los efectos positivos de implementar sistemas de paneles solares y de reutilización de aguas en la urbanización, valorando factores como la disminución de gastos, avances en sostenibilidad, y aportes al logro de metas de desarrollo sostenible, uso eficiente del recurso hídrico y mitigación de gases contaminantes.

2.1.22. Visualización de datos

El resultado obtenido del presente proyecto será analizado a partir del marco teórico disponible sobre desarrollo urbano sostenible y soluciones de energía renovable. Se debatirá cómo nuestros hallazgos se comparan o difieren con investigaciones anteriores, explorando posibles motivos para estas discrepancias. La interpretación se centrará en resaltar la factibilidad y los beneficios de implementar sistemas fotovoltaicos y de recirculación de aguas en la urbanización, evaluando factores como la reducción de costos, la mejora de la sostenibilidad y el aporte al logro de los objetivos de desarrollo.

2.1.23. Diseño del Estudio de Percepción y Aceptación Comunitaria

Para analizar la aceptación comunitaria (Objetivo Específico 3), se diseñó un estudio de mercado descriptivo con enfoque cuantitativo

A. Finalidad del estudio

El estudio de percepción tuvo como finalidad identificar, analizar y comprender el nivel de preocupación, aceptación y disposición de los residentes de la Urbanización Quinta Samay frente al problema hídrico energético actual y a la propuesta de implementación de un sistema autosustentable basado en energía fotovoltaica y recirculación de aguas grises.

Este estudio buscó obtener información sobre las actitudes y expectativas de la comunidad, reconociendo que toda propuesta tecnológica, por más eficiente que sea desde el punto de vista técnico, requiere de viabilidad social para su futura adopción, sostenibilidad y gestión comunitaria.

Asimismo, el estudio tuvo como propósito:

- Evaluar el nivel de conciencia y preocupación de los residentes respecto al costo creciente de los recursos (agua y energía) y la percepción del riesgo asociado a la escasez futura.
- Explorar el grado de aceptación hacia las tecnologías propuestas, considerando tanto los beneficios percibidos como las barreras o temores asociados a su implementación.
- Medir la disposición económica de los residentes, tanto individual como comunitaria, como elemento clave para la toma de decisiones y la factibilidad del proyecto.
- Aportar evidencia social complementaria al análisis técnico y económico, permitiendo valorar no solo la eficiencia del sistema, sino también su pertinencia y legitimidad dentro del contexto urbano y comunitario.

En ese sentido, este estudio permitió integrar la dimensión social al proyecto, proporcionando insumos necesarios para:

- Validar la pertinencia de la propuesta, considerando expectativas y preocupaciones reales de los usuarios.
- Identificar posibles resistencias, riesgos sociales y factores críticos de aceptación.
- Generar recomendaciones para la comunicación, implementación y gestión futura del sistema.
- Sustentar la toma de decisiones, considerando la percepción y participación de la comunidad como actores clave.

Es así que, la finalidad del estudio no solo fue medir opiniones, sino comprender la disposición colectiva al cambio, entendiendo que la sostenibilidad urbana depende

tanto de la tecnología como del nivel de involucramiento social y voluntad comunitaria para adoptar y sostener soluciones innovadoras a largo plazo.

B. Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por la totalidad de las 80 viviendas habitadas de la Urbanización Quinta Samay, ubicada en el distrito de Cayma, Arequipa. Esta población se definió en función de la naturaleza del proyecto, ya que cada vivienda constituye una unidad potencial de impacto del sistema autosustentable propuesto, tanto en términos de consumo de recursos como de participación en su implementación y sostenibilidad futura.

Dado que el objetivo del estudio fue analizar la percepción comunitaria respecto a la propuesta tecnológica, la población se delimitó considerando a los residentes como actores sociales directamente involucrados en la toma de decisiones, aceptación, uso y eventual financiamiento del sistema. Por lo tanto, la población no se restringió a individuos, sino a viviendas, entendidas como unidades sociales que comparten patrones de consumo y decisiones familiares respecto a infraestructura domiciliaria.

La muestra quedó constituida por 49 viviendas, correspondientes a aquellas que respondieron efectivamente el cuestionario aplicado. La diferencia entre la población total (80) y la muestra alcanzada (49) se explica por la disponibilidad de los residentes al momento de la aplicación y por la naturaleza voluntaria del proceso de participación.

Dado que la selección de participantes dependió de la accesibilidad y respuesta de los residentes, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia. Este tipo de muestreo es pertinente cuando:

- La unidad de estudio es específica y delimitada geográficamente.
- La participación está condicionada a la presencia o disposición del encuestado.
- El objetivo es obtener información directa y contextualizada de actores clave.
- Se busca priorizar la validez interna y el conocimiento situado de la comunidad.

Si bien este tipo de muestreo no permite la inferencia estadística a poblaciones mayores o extrapolaciones probabilísticas, sí resulta adecuado para estudios aplicados donde el interés principal es comprender patrones reales de percepción dentro del entorno específico de intervención. En este caso, la muestra recogida constituye un porcentaje significativo de la población (61.25%), lo cual otorga un nivel de representatividad empírica suficiente para el análisis descriptivo planteado.

Finalmente, se estableció como unidad de análisis cada vivienda encuestada, dado que las decisiones sobre adopción tecnológica y disposición económica suelen ser tomadas a nivel familiar y no individual, lo que refuerza la pertinencia metodológica de este enfoque.

C. Unidad de análisis

La unidad de análisis del estudio fueron cada una de las viviendas de la Urbanización Quinta Samay encuestadas. La vivienda se entendió como la unidad social y funcional donde se tomaban decisiones domésticas relacionadas con el consumo de agua y energía, así como con la eventual adopción o financiamiento de soluciones tecnológicas. Esta elección metodológica respondió a la necesidad de vincular las percepciones y decisiones con la escala real de implementación y con los registros técnicos y económicos por hogar.

En los casos en que se presentaron respuestas múltiples por vivienda, se privilegió la respuesta del propietario o del responsable declarado del pago de servicios; cuando no se identificó un responsable único, se seleccionó a la persona mayor de edad con mayor conocimiento declarado del consumo. Cada vivienda fue codificada con un identificador alfanumérico para preservar el anonimato y facilitar la vinculación con datos técnicos cuando correspondió.

Finalmente, la elección de la vivienda como unidad de análisis fortaleció la validez ecológica del estudio y permitió evaluar la aplicabilidad de las propuestas técnicas a la realidad doméstica de la urbanización.

D. Técnicas e instrumentos de recolección

Para la obtención de la información del presente estudio se empleó la técnica de encuesta, aplicada de manera estandarizada mediante un cuestionario estructurado.

Dicho instrumento fue sometido a un proceso de validación por juicio de experto, a fin de asegurar la suficiencia, relevancia, coherencia, claridad y precisión y redacción de sus ítems respecto a la variable de estudio; la constancia correspondiente se incluyó en los anexos.

El cuestionario (Anexo 6) estuvo conformado por secciones directamente vinculadas con la medición de la percepción de los residentes respecto al sistema autosustentable propuesto:

- Sección B: Percepción del contexto.
- Sección C1: Aceptación del sistema fotovoltaico.
- Sección C2: Disposición al pago del sistema fotovoltaico.
- Sección D1: Aceptación del sistema de aguas grises.
- Sección D2: Disposición a contribuir económicamente al sistema de aguas grises.

Estas secciones permitieron evaluar dimensiones asociadas al nivel de preocupación, aceptación tecnológica y disposición económica frente a las propuestas presentadas.

Las secciones A (perfil del residente) y E (pregunta abierta de cierre) no fueron consideradas para la medición de la variable principal, debido a que cumplieron funciones complementarias: la primera, de carácter descriptivo para la caracterización sociodemográfica de la muestra; y la segunda, de naturaleza cualitativa, orientada a recoger comentarios adicionales no estructurados.

El instrumento utilizó una escala tipo Likert de cinco puntos en las secciones B, C1 y D1, lo que permitió cuantificar el nivel de acuerdo o preocupación del residente; mientras que las secciones C2 y D2 emplearon preguntas de selección única para identificar la disposición económica en escenarios concretos de implementación.

La encuesta fue administrada de manera virtual mediante la plataforma Google Forms, lo que permitió asegurar el acceso remoto de los participantes, el registro automático de las respuestas y la sistematización digital de la base de datos. El enlace del formulario fue enviado a los residentes a través de los canales de comunicación internos de la urbanización. La participación fue voluntaria, y antes de iniciar el

cuestionario se presentó una declaración informativa sobre los objetivos del estudio, el uso académico de la información y la confidencialidad de los datos.

E. Escala de medición

Las secciones B, C1 y D1 del cuestionario emplearon una escala de tipo Likert de cinco puntos, lo que permitió cuantificar de manera ordinal el nivel de percepción y grado de aceptación de los residentes frente a las propuestas evaluadas. La escala se interpretó de la siguiente forma:

- 1: Nivel mínimo de acuerdo o preocupación (Nada)
- 2: Nivel bajo
- 3: Nivel moderado
- 4: Nivel alto
- 5: Nivel máximo de acuerdo o preocupación (Mucho)

El uso de esta escala permitió transformar opiniones subjetivas en valores numéricos comparables, facilitando el análisis estadístico mediante medidas de tendencia central, distribución de frecuencias y agrupación por dimensiones.

Por su parte, las secciones C2 y D2 utilizaron preguntas de elección única con alternativas cerradas, diseñadas para identificar la disposición económica del residente frente a dos escenarios específicos:

- Financiamiento del sistema fotovoltaico individual (C2), y
- Aporte económico para la implementación del sistema comunitario de aguas grises (D2)

Estas preguntas permitieron clasificar la respuesta en categorías mutuamente excluyentes (por ejemplo: aceptación total, aceptación condicionada, indecisión o rechazo), sin asignación de valores numéricos en escala continua, dado que su finalidad fue establecer niveles de decisión y no medir intensidad perceptual.

Finalmente, las categorías resultantes fueron procesadas mediante estadística descriptiva (frecuencias y porcentajes), lo que permitió identificar tendencias de aceptación y barreras económicas asociadas a cada propuesta tecnológica.

F. Variable y dimensiones evaluadas

La variable evaluada en el estudio fue la Percepción del usuario sobre la implementación del sistema autosustentable en la Urbanización Quinta Samay, entendida como el conjunto de opiniones, actitudes y niveles de disposición manifestados por los residentes frente a las propuestas de energía fotovoltaica y recirculación de aguas grises. Esta variable fue operacionalizada en cinco dimensiones, derivadas directamente de la estructura del cuestionario aplicado:

1. Percepción del contexto:

Corresponde al nivel de preocupación del residente respecto a factores externos asociados al problema, tales como el costo de los servicios básicos y la escasez de agua en la ciudad. Se evaluó mediante ítems de la Sección B, en escala Likert.

2. Aceptación del sistema fotovoltaico:

Reflejó el nivel de acuerdo del residente respecto a la viabilidad, confianza tecnológica y beneficios percibidos del sistema fotovoltaico domiciliario. Se midió mediante la Sección C1.

3. Disposición económica hacia el sistema fotovoltaico:

Indicó la intención declarada del residente de asumir un financiamiento o inversión inicial para la instalación del sistema solar. Se registró a través de la pregunta de respuesta única de la Sección C2.

4. Aceptación del sistema de aguas grises:

Expresó el nivel de acuerdo respecto a la implementación comunitaria del sistema de tratamiento y reutilización de aguas para riego, considerando beneficios y posibles preocupaciones. Se evaluó mediante la Sección D1.

5. Disposición económica hacia el sistema de aguas grises:

Representó la intención del residente de contribuir económicamente al financiamiento colectivo del sistema propuesto. Se obtuvo a partir de la pregunta cerrada de la Sección D2.

La selección de estas dimensiones permitió analizar la percepción de manera integral, diferenciando entre valoración del problema, aceptación tecnológica y disposición financiera, lo cual resultó fundamental para estimar la viabilidad social del proyecto.

La correspondiente matriz de operacionalización de la variable se presentó en Anexo 09 del documento, detallando dimensiones, indicadores, ítems e instrumentos empleados.

G. Procedimiento de aplicación

La aplicación del instrumento se realizó de manera virtual mediante la plataforma Google Forms, debido a la mayor accesibilidad de los residentes y a la facilidad de distribución y registro digital de las respuestas. El enlace del formulario fue enviado a los participantes a través de los canales de comunicación interna de la urbanización, principalmente mediante grupos de mensajería vecinal y contacto directo con los representantes de manzana.

Antes de acceder al cuestionario, los residentes recibieron una presentación introductoria incluida en la primera sección del formulario, en la cual se informó sobre:

- Los objetivos del estudio,
- El carácter académico de la investigación,
- La voluntariedad de la participación,
- La confidencialidad de la información proporcionada, y
- El uso exclusivo de los datos con fines analíticos.

Solo aquellos participantes que aceptaron continuar procedieron a responder el cuestionario, asegurando así el consentimiento informado implícito.

El tiempo estimado de respuesta fue de aproximadamente 10 minutos por participante, dado que el cuestionario se estructuró con preguntas cerradas de rápida selección. La plataforma permitió registrar automáticamente las respuestas, evitando errores de transcripción y garantizando la integridad de los datos.

Al cierre del periodo de aplicación, las respuestas fueron descargadas en formato digital para su procesamiento estadístico. No se registraron incentivos ni presiones para la participación, y la tasa final de respuesta correspondió a 49 viviendas de las 80 que conforman la urbanización.

H. Procesamiento y análisis de datos

Las respuestas obtenidas mediante Google Forms fueron exportadas a una base de datos digital para su depuración y análisis. En primera instancia, se realizó un proceso de revisión y limpieza de datos, que incluyó la verificación de duplicados, la identificación de encuestas incompletas y la validación de la consistencia de las respuestas registradas.

Posteriormente, las variables correspondientes a las secciones B, C1 y D1 fueron codificadas numéricamente según la escala Likert de cinco puntos, lo que permitió su procesamiento estadístico. Las preguntas de selección única de las secciones C2 y D2 fueron categorizadas en función de los niveles de aceptación o rechazo económico, manteniendo su naturaleza nominal.

El análisis estadístico se desarrolló mediante:

- Estadística descriptiva, utilizando frecuencias absolutas y relativas.
- Agrupación por dimensiones, consolidando los ítems asociados a cada una de las cinco dimensiones de la variable, lo que permitió interpretar los resultados a nivel global y no únicamente por pregunta individual.
- Representación gráfica, mediante tablas con el fin de facilitar la visualización de patrones y contrastes entre los sistemas evaluados y los niveles de disposición económica.

Las respuestas abiertas correspondientes a la Sección E fueron analizadas únicamente como insumo cualitativo complementario. Dichas opiniones se

organizaron mediante categorización simple para identificar temas recurrentes (por ejemplo, dudas técnicas, interés ambiental o preocupación por costos), sin formar parte del análisis cuantitativo de la variable principal.

I. Resultados del Estudio de Percepción y Aceptación Comunitaria

El análisis de las 49 encuestas aplicadas a las viviendas de la Urbanización Quinta Samay permitió obtener un panorama general de la percepción, aceptación y disposición económica de los residentes frente a la propuesta de implementación de un sistema autosustentable basado en energía fotovoltaica y recirculación de aguas grises.

a. Perfil de los encuestados

La mayoría de los participantes eran propietarios de las viviendas, mientras que el resto correspondió a inquilinos o residentes con otra relación con la vivienda.

Relación con la vivienda	Frecuencia	Porcentaje
Propietario	39	80%
Inquilino	9	18%
Otro	1	2%

En cuanto al tamaño de los hogares, la mayor parte de las viviendas contaba con 3 a 4 personas viviendo permanentemente, seguido por 1-2 personas y, en menor medida, 5 o más personas. Esto evidencia que las decisiones sobre adopción tecnológica reflejan patrones familiares típicos en la urbanización.

Tamaño del hogar	Frecuencia	Porcentaje
1-2 personas	12	24%
3-4 personas	25	51%
5 o más personas	12	25%

b. Percepción del contexto (Sección B)

Tema	Nivel de preocupación alto/ muy alto
Costo del recibo de luz	85%

Tema	Nivel de preocupación alto/ muy alto
Costo del recibo de agua	80%
Escasez de agua y futuros cortes	82%

Los residentes mostraron alto nivel de preocupación frente a los problemas relacionados con el consumo de recursos:

- Costo del recibo de luz: 85% de los encuestados indicó un nivel de preocupación alto o muy alto.
- Costo del recibo de agua: 80% manifestó preocupación alta o muy alta.
- Escasez de agua y futuros cortes: 82% expresó un nivel de preocupación alto o muy alto.

Estos resultados reflejan que la comunidad es consciente de la problemática hídrico-energética local y reconoce la relevancia de soluciones sostenibles.

c. Aceptación del sistema fotovoltaico individual (Sección C1)

Afirmación	Nivel de acuerdo alto/ muy alto
Confío en que la tecnología solar funciona	88%
Beneficio económico (recuperación inversión)	85%
Preocupación por durabilidad/mantenimiento	30%
Inversión inicial como barrera	35%

Respecto al sistema solar, los resultados mostraron:

- Confianza tecnológica: la mayoría, el 88% confía en la funcionalidad de los paneles solares en Arequipa.
- Percepción de beneficio económico: el 85% considera atractivo el ahorro proyectado y la recuperación de inversión en poco más de 3 años.
- Preocupaciones: alrededor de 30% manifestó inquietudes sobre mantenimiento o durabilidad de los equipos, y un 35% señaló la inversión inicial como barrera.

En términos generales, se observa una aceptación favorable, destacando que el beneficio económico es un factor motivador decisivo.

d. Disposición económica hacia el sistema fotovoltaico (Sección C2)

Respuesta	Porcentaje
Sí, ahorro casi cubre la cuota	45%
Probablemente sí, analizar financiamiento	40%
No estoy seguro / No	15%

Cuando se planteó la opción de financiar el sistema mediante un “Crédito Verde”:

- El 45% manifestó que sí lo consideraría, dado que el ahorro casi cubre la cuota.
- El 40% indicó que probablemente lo haría, necesitando analizar las condiciones del financiamiento.
- Solo un 15% expresó indecisión o rechazo, principalmente por el costo inicial.

Esto evidencia disposición real a asumir parte de la inversión, lo que respalda la factibilidad de implementación individual del sistema solar.

e. Aceptación del sistema de aguas grises comunitario (Sección D1)

Afirmación	Nivel de acuerdo alto/ muy alto
Excelente idea para conservar agua	85%
Urbanización pionera en ecología	85%
Preocupación por obras y tuberías	25%
Preocupación por olores o gestión	30%

Los residentes evaluaron positivamente la propuesta comunitaria:

- Más del 85% está de acuerdo en que es una excelente idea para conservar agua y que la urbanización sea pionera en ecología.
- Las preocupaciones se centraron en posibles molestias durante la obra (zanjas), olores y gestión del sistema, mencionadas por un 25-30% de los encuestados.

En general, existe fuerte aceptación social, destacando el interés por la conservación del recurso hídrico y la sostenibilidad ambiental.

f. Disposición económica hacia el sistema de aguas grises (Sección D2)

Respuesta	Porcentaje
Sí, dispuesto a aportar	60%
Sí, pero preferiría que municipalidad cubra	25%
No seguro / No interesado	15%

Sobre la contribución al financiamiento del sistema comunitario:

- 60% manifestó disposición a aportar económicamente, considerando razonable la inversión.
- 25% preferiría que la municipalidad asumiera el costo, aunque apoyan la propuesta.
- 15% expresó dudas o rechazo por falta de garantías sobre la ejecución y mantenimiento.

Esto refleja una disposición positiva mayoritaria, indicando que la comunidad valora los beneficios ambientales y sociales de la propuesta.

g. Interpretación general

El estudio demuestra que la comunidad de Quinta Samay tiene alta conciencia sobre los problemas de agua y energía, y muestra una aceptación significativa hacia las soluciones propuestas. Tanto el sistema fotovoltaico individual como el sistema de aguas grises comunitario son percibidos como viables y beneficiosos, con leves preocupaciones asociadas principalmente a costos, mantenimiento y gestión.

En consecuencia, los resultados del estudio de percepción respaldan la implementación del diseño autosustentable propuesto en esta tesis, mostrando que la solución técnica proyectada es socialmente aceptable, económicamente viable para la mayoría y alineada con las expectativas y preocupaciones de los residentes.

CAPÍTULO IV

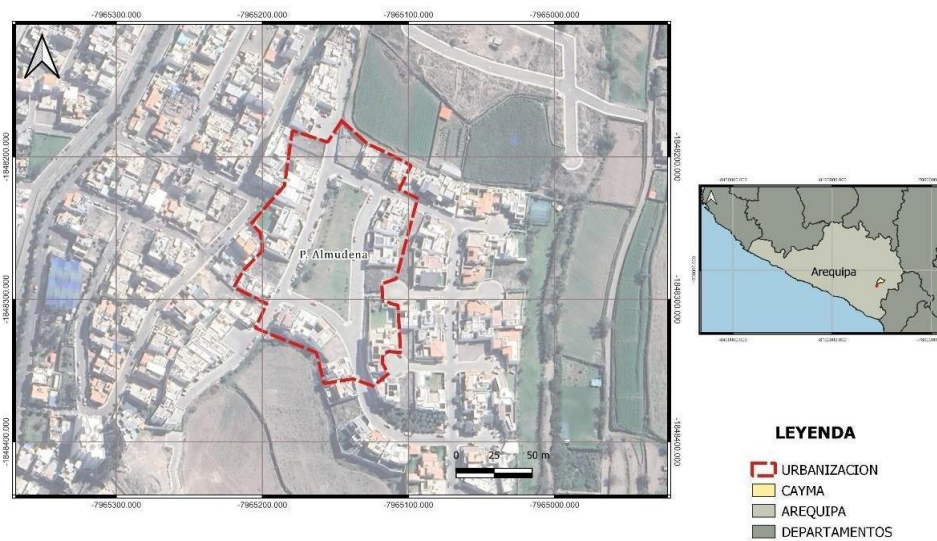
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. RESULTADOS

2.1.1. Delimitación del área de estudio

Figura 6.

Mapa de ubicación de la Urbanización



Nota. Elaboración Propia.

2.1.2. Recopilación de datos

Tabla 4.

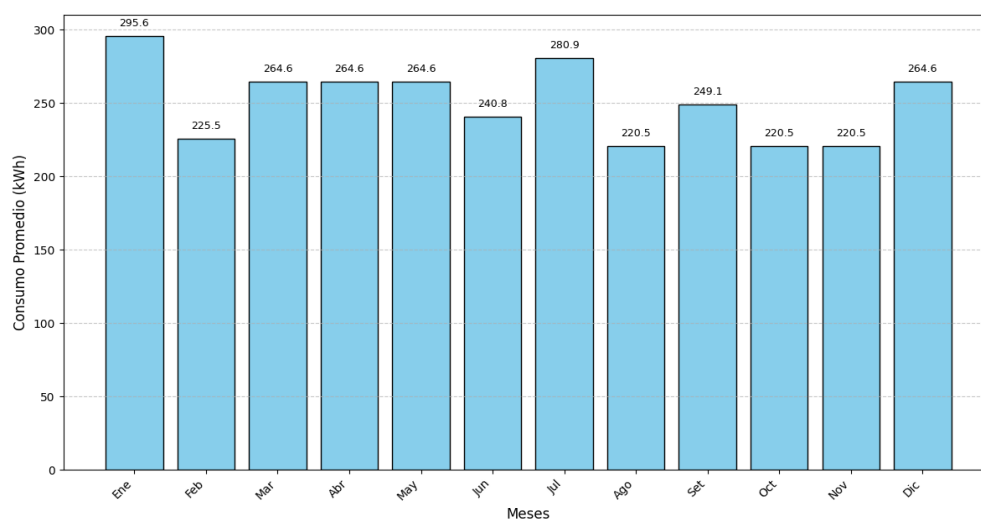
Consumo Energético Mensual Promedio y Costo para una Vivienda (Año de Referencia)

Mes	Consumo (kWh)	Pago (S/.)
Enero	295.6	236
Febrero	225.5	180.03
Marzo	264.6	211.25
Abril	264.6	211.25
Mayo	264.6	211.25
Junio	240.8	192.25
Julio	280.9	224.27
Agosto	220.5	176.04
Setiembre	249.1	198.88
Octubre	220.5	176.04
Noviembre	220.5	176.04
Diciembre	264.6	211.25

Nota. Recibos de consumo y simulación en PVGIS TMY 5.2.

Figura 7.

Consumo Energético Mensual Promedio (kWh)



Nota. Elaboración Propia

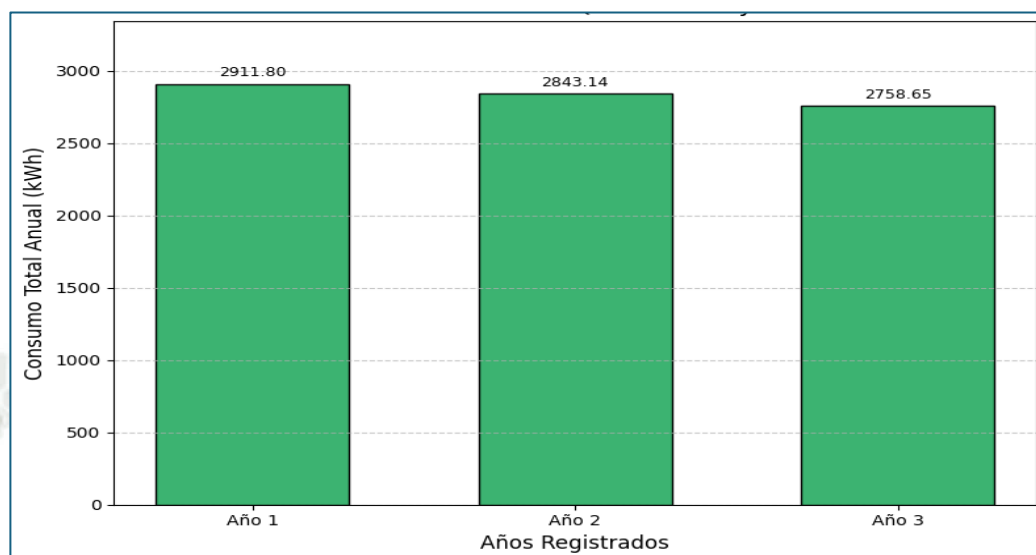
La figura 7 ilustra la variabilidad del consumo energético promedio a lo largo de un año de referencia. Se destacan picos de consumo en los meses de enero (295.6 kWh) y julio (280.9 kWh). Estos incrementos podrían atribuirse a factores como un mayor uso de electrodomésticos durante periodos vacacionales o un posible aumento en la necesidad de iluminación artificial en meses con menor luz natural o mayor nubosidad. Por el contrario, se observa una disminución del consumo en meses como agosto, octubre y noviembre, donde el promedio se sitúa alrededor de los 220.5 kWh. Esta fluctuación mensual es un factor clave para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, ya que su capacidad de generación también variará estacionalmente con la irradiación solar, y deberá ser capaz de cubrir estas demandas variables o indicar la necesidad de recurrir a la red.

Tabla 5.

Consumo Energético Mensual Durante Tres Años de Registro

Año	Mes	Consumo (kWh)	Pago (S/.)
1	Enero	295.6	236
	Febrero	225.5	180.03
	Marzo	264.6	211.25
	Abril	264.6	211.25
	Mayo	264.6	211.25
	Junio	240.8	192.25
	Julio	280.9	224.27
	Agosto	220.5	176.04
	Setiembre	249.1	198.88
	Octubre	220.5	176.04
	Noviembre	220.5	176.04
	Diciembre	264.6	211.25
2	Enero	254	202.79
	Febrero	223.54	178.47
	Marzo	213.51	170.46
	Abril	321.3	256.52
	Mayo	233.4	186.34
	Junio	212.31	169.5
	Julio	290.87	232.23
	Agosto	245.56	196.05
	Setiembre	231.14	184.54
	Octubre	223.41	178.37
	Noviembre	245.12	195.73
	Diciembre	248.98	198.78
3	Enero	256.12	204.48
	Febrero	220.5	176.04
	Marzo	220.5	176.04
	Abril	264.6	211.25
	Mayo	245.12	195.7
	Junio	234.12	186.92
	Julio	256.43	204.73
	Agosto	245.67	196.14
	Setiembre	256.67	204.92
	Octubre	213.12	170.15
	Noviembre	220.98	176.43
	Diciembre	22.67	176.18

Nota. Elaboración propia - Datos históricos de consumo y costo para una vivienda típica en el área de estudio.

Figura 8.*Consumo Energético Anual Comparativo (kWh)*

Nota. Elaboración Propia

La comparación del consumo energético total durante los tres años de registro (Año 1: 2911.8 kWh; Año 2: 2843.14 kWh; Año 3: 2758.65 kWh), como se muestra en la figura 8, indica una ligera pero constante tendencia a la baja. Si bien esta disminución es positiva, el nivel general de consumo anual sigue siendo considerable, lo que subraya el potencial de ahorro económico y ambiental que ofrece la implementación de un sistema de generación fotovoltaica. Esta tendencia podría responder a una mayor concienciación sobre el ahorro energético o a la paulatina incorporación de equipos más eficientes en los hogares, aunque se requerirían estudios más detallados para confirmar estas hipótesis.

Tabla 6.

Consumo Hídrico Mensual Promedio y Costo (Año de Referencia)

Mes	Consumo (m³)	Pago (S/.)
Enero	40	255.2
Febrero	32	204.16
Marzo	40	255.2
Abril	42	267.96
Mayo	77	491.26
Junio	69	440.22
Julio	46	293.48
Agosto	52	331.76
Setiembre	30	191.4
Octubre	40	255.2
Noviembre	66	421.08
Diciembre	45	287.1
Total		3694.02

Nota. Elaboración propia - Recibos de consumo de agua.

Figura 9. Consumo Hídrico Mensual Promedio

Consumo Hídrico Mensual Promedio



Nota. Elaboración Propia

La figura 9 revela una marcada estacionalidad en el consumo hídrico mensual. Los meses de mayo (77 m³), junio (69 m³) y noviembre (66 m³) presentan los consumos más elevados. Este comportamiento podría estar influenciado por un incremento en el riego de

áreas verdes y jardines durante las temporadas secas o en preparación para cambios estacionales, así como por variaciones en las rutinas domésticas. El mes con el consumo más bajo registrado es septiembre (30 m³). La existencia de estos picos de demanda hídrica refuerza la pertinencia de un sistema de recirculación de aguas grises, cuyo volumen tratado (estimado en 20 m³ mensuales) podría aliviar significativamente la presión sobre el suministro de agua potable, especialmente para usos no consuntivos como el riego, durante estos periodos de alta demanda.

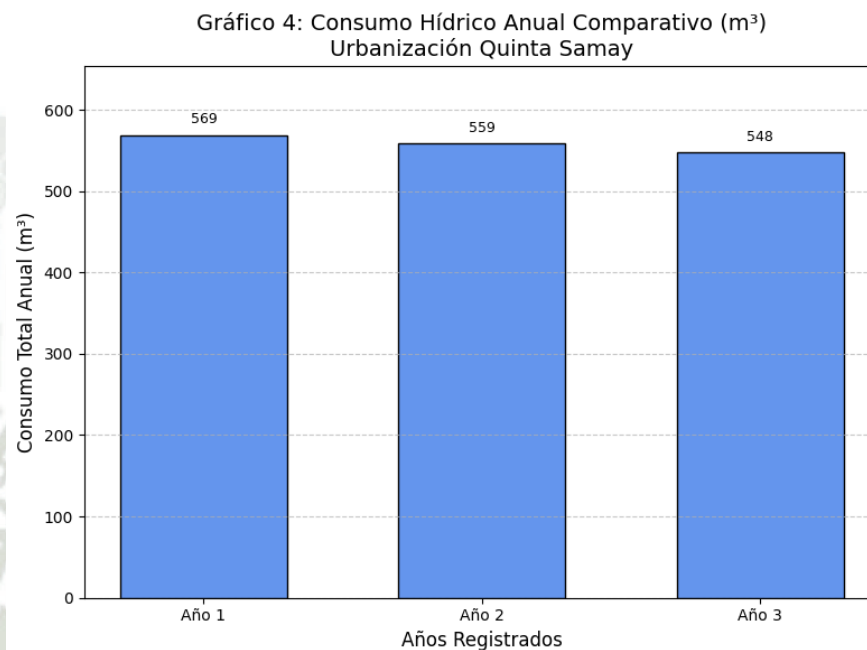
Tabla 7. Consumo Hídrico Mensual Durante Tres Años de Registro

Año	Mes	Consumo (m ³)	Pago (S/.)
1	enero	40	255.2
	febrero	32	204.16
	marzo	40	255.2
	abril	42	267.96
	mayo	77	491.26
	junio	69	440.22
	julio	46	293.48
	agosto	52	331.76
	setiembre	30	191.4
	octubre	40	255.4
	noviembre	66	421.08
	diciembre	45	287.1
2	enero	38	242.44
	febrero	39	248.22
	marzo	41	261.58
	abril	46	293.48
	mayo	67	427.46
	junio	56	357.28
	julio	45	287.1
	agosto	41	261.58
	setiembre	35	223.3
	octubre	33	210.54
	noviembre	68	433.84
	diciembre	50	319
3	enero	39	248.82
	febrero	36	229.68
	marzo	45	287.1
	abril	39	248.82
	mayo	59	376.42
	junio	67	427.46
	julio	40	255.2
	agosto	45	287.1
	setiembre	32	204.16
	octubre	43	274.34
	noviembre	69	440.22
	diciembre	43	274.34

Nota. Elaboración Propia

Figura 10.

Consumo Hídrico Anual Comparativo (m³)



Nota. Elaboración Propia

La figura 10, que compara el consumo hídrico anual (Año 1: 569 m³; Año 2: 559 m³; Año 3: 548 m³), también refleja una tendencia decreciente, aunque modesta, a lo largo del periodo analizado. En un contexto como el de Arequipa, caracterizado por el estrés hídrico, cualquier reducción en el consumo de agua potable es valiosa. No obstante, el volumen absoluto de agua consumida anualmente sigue siendo elevado, lo que enfatiza la necesidad crítica de implementar soluciones como el sistema de tratamiento y recirculación de aguas grises propuesto para optimizar el uso del recurso y disminuir la vulnerabilidad ante la escasez. De acuerdo a datos de la Municipalidad Distrital de Cayma, el regadío del parque Almudena requiere de 18 m³ mensuales, debido a que presenta diferentes especies arbóreas y césped natural, por lo que requiere grandes cantidades de agua. En tal sentido el gasto mensual de la municipalidad es de S/.114.84 y anual de S/.1378.08.

2.1.3. Procesamiento y análisis de datos

Tabla 8.

Análisis Estadístico Descriptivo del Consumo Energético Mensual (kWh) Durante Tres Años

	1	2	3	4	5	6	7						
Media	268.5733333	Media	223.18	Media	232.87	Media	283.5	Media	247.706667	Media	229.076667	Media	276.066667
Error típico	13.52718415	Error típico	1.45455606	Error típico	15.9928078	Error típico	18.9	Error típico	9.09905001	Error típico	8.60225616	Error típico	10.2314749
Mediana	256.12	Mediana	223.54	Mediana	220.5	Mediana	264.6	Mediana	245.12	Mediana	234.12	Mediana	280.9
Desviación estándar	23.42977024	Desviación estándar	2.519365	Desviación estándar	27.7003556	Desviación estándar	32.7357603	Desviación estándar	15.7600169	Desviación estándar	14.8995447	Desviación estándar	17.7214343
Varianza de la muestra	548.9541333	Varianza de la muestra	6.3472	Varianza de la muestra	767.3097	Varianza de la muestra	1071.63	Varianza de la muestra	248.378133	Varianza de la muestra	221.996433	Varianza de la muestra	3140.49233
Coefficiente de asimetría	1.716111183	Coefficiente de asimetría	-0.62988972	Coefficiente de asimetría	1.60879833	Coefficiente de asimetría	1.73205081	Coefficiente de asimetría	0.71868197	Coefficiente de asimetría	-1.34868037	Coefficiente de asimetría	-1.13603037
Rango	41.6	Rango	5	Rango	51.09	Rango	56.7	Rango	31.2	Rango	28.49	Rango	34.44
Mínimo	254	Mínimo	220.5	Mínimo	213.51	Mínimo	264.6	Mínimo	233.4	Mínimo	212.31	Mínimo	256.43
Máximo	295.6	Máximo	225.5	Máximo	264.6	Máximo	321.3	Máximo	264.6	Máximo	240.8	Máximo	290.87
Suma	805.72	Suma	669.54	Suma	698.61	Suma	850.5	Suma	743.12	Suma	687.23	Suma	828.2
Cuenta	3	Cuenta	3	Cuenta	3	Cuenta	3	Cuenta	3	Cuenta	3	Cuenta	3

	8		9		10		11		12
Media	237.243333	Media	245.636667	Media	219.01	Media	228.866667	Media	244.75
Error típico	8.37172689	Error típico	7.57058415	Error típico	3.06246633	Error típico	8.12784788	Error típico	12.8566572
Mediana	245.56	Mediana	249.1	Mediana	220.5	Mediana	220.98	Mediana	248.98
Desviación estándar	14.5002563	Desviación estándar	13.1126364	Desviación estándar	5.30434727	Desviación estándar	14.0778455	Desviación estándar	22.2683834
Varianza de la muestra	210.257433	Varianza de la muestra	171.941233	Varianza de la muestra	28.1361	Varianza de la muestra	198.185733	Varianza de la muestra	495.8809
Coefficiente de asimetría	-1.73193867	Coefficiente de asimetría	-1.10563465	Coefficiente de asimetría	-1.16431611	Coefficiente de asimetría	1.72978579	Coefficiente de asimetría	-0.82395559
Rango	25.17	Rango	25.53	Rango	10.29	Rango	24.62	Rango	43.93
Mínimo	220.5	Mínimo	231.14	Mínimo	213.12	Mínimo	220.5	Mínimo	220.67
Máximo	245.67	Máximo	256.367	Máximo	223.41	Máximo	245.12	Máximo	264.6
Suma	711.73	Suma	736.91	Suma	657.03	Suma	686.6	Suma	734.25
Cuenta	3	Cuenta	3	Cuenta	3	Cuenta	3	Cuenta	3

Nota. Elaboración Propia

DISCUSIÓN PRIMERA

El análisis del consumo de recursos en zonas urbanas, como el eléctrico y el hídrico, ofrece perspectivas valiosas sobre los patrones de sostenibilidad y el estado económico, tal como lo respaldan estudios como el de He (2020), que establece una relación de equilibrio a largo plazo entre el consumo eléctrico, la urbanización y el desempeño económico, información crucial para la formulación de políticas metropolitanas. En el caso particular de la Urbanización Quinta Samay, el estudio detallado de los recibos y los gráficos de consumo revela una notable variabilidad estacional tanto en la demanda energética como en la hídrica, con meses específicos que presentan picos significativos –enero y julio para energía; mayo, junio y noviembre para agua– y otros con consumos considerablemente menores. A nivel anual, durante el periodo de tres años analizado, se observa una ligera tendencia a la baja en ambos consumos, aunque los niveles absolutos se mantienen en rangos que subrayan una demanda constante y considerable de estos recursos vitales por parte de la población residente.

Estos patrones de consumo específicos de la Urbanización Quinta Samay son fundamentales: no solo establecen una línea base cuantitativa que justifica la necesidad y el dimensionamiento de los sistemas autosustentables propuestos (fotovoltaico y de recirculación de aguas grises), sino que también reflejan, a una microescala, la dinámica entre desarrollo urbano y uso de recursos. La estacionalidad y los picos de demanda observados informan sobre los momentos críticos donde los sistemas propuestos ofrecerían el mayor beneficio, tanto en términos de ahorro económico para los usuarios como en la mitigación de la presión sobre los suministros externos de energía y agua potable, este último especialmente relevante en el contexto de estrés hídrico de Arequipa. Por lo tanto, la información detallada del consumo local es indispensable para diseñar intervenciones

efectivas y para orientar futuras políticas locales hacia una mayor sostenibilidad urbana en distritos como Cayma.

2.1.4. Establecimiento de la ubicación geográfica (información en tabla de PVsyst)

Tabla 9.

Condiciones Meteorológicas Anuales para la Ubicación del Proyecto

Mes	Irradiación difusa horizontal (kwh/m ² /mes)	Temperatura (°C)	Velocidad del viento (m/s)	Turbidez Linke (-)	Humedad Relativa (%)
Enero	233.3	74.0	2.7	4.25	62.6
Febrero	198.1	62.7	2.6	4.14	72.0
Marzo	229.3	50.5	2.6	3.918	66.7
Abril	211.7	35.2	2.69	4.217	53.0
Mayo	200.2	33.3	3.0	4.423	30.6
Junio	183.1	32.7	3.1	3.324	23.8
Julio	196.5	34.6	3.2	3.192	22.6
Agosto	200.8	37.9	3.2	3.334	21.3
Setiembre	221.0	41.5	3.11	3.467	24.6
Octubre	255.9	47.6	3.0	3.519	27.3
Noviembre	263.6	48.6	2.99	3.682	34.5
Diciembre	273.0	46.4	2.9	3.983	46.7

Nota. PVGIS TMY 5.2 - Datos meteorológicos para Cayma, Arequipa, obtenidos de la base de datos de simulación.

2.1.5. Fijación del ángulo de inclinación y acimut

Se comparó ángulos de inclinación y acimut de 24° y 30° y se verificó cual de los dos presenta menos pérdidas en todo el sistema por medio de la Tabla 10

Tabla 10.

Comparación de Parámetros de Rendimiento según Ángulo de Inclinación y Acimut

Acimut de 24°		Acimut de 30°	
Ganancia/ Pérdida	%	Ganancia/ Pérdida	%
Irradiación horizontal global	+4.5	Irradiación horizontal global	+4.7
Factor IAM global	-2.5	Factor IAM global	-2.7
Conversión FV	15.46	Conversión FV	15.56
Pérdida FV debido al nivel de irradiancia	-0.3	Pérdida FV debido al nivel de irradiancia	-0.3
Pérdida FV por temperatura	-9.7	Pérdida FV por temperatura	-9.4
Pérdidas de desajuste, módulos y cadenas	-2.0	Pérdidas de desajuste, módulos y cadenas	-2.0
Calidad del módulo	+0.8	Calidad del módulo	+0.8
Pérdida óhmica del cableado	-1.3	Pérdida óhmica del cableado	-1.3
Pérdida del convertidor durante la operación	-3,6	Pérdida del convertidor durante la operación	-3.6
Pérdida del convertidor durante el umbral de transferencia	0	Pérdida del convertidor durante el umbral de transferencia	0
Pérdida del convertidor durante voltaje nominal	0	Pérdida del convertidor durante voltaje nominal	0
Energía no utilizada	-21.1	Energía no utilizada	-18.7
Pérdida de presión de reducción	-0.7	Pérdida de presión de reducción	+4.7
Pérdida de presión por fricción	+4.5	Pérdida de presión por fricción	-2.7

Nota. Elaboración Propia - Comparativa de simulación realizada en PVsyst para optimizar la orientación de los paneles.

En tal sentido, se eligió el ángulo de inclinación y acimut de 24°.

2.1.6. Selección del módulo fotovoltaico adecuado y Determinación de parámetros de instalación

De acuerdo a las necesidades de la población, el software PVsyst brinda una gama de opciones para la elección de los módulos fotovoltaicos.

De acuerdo a las características presentadas, la opción elegida fue un Módulo fotovoltaico Mono 300 Wp de 60 celdas con un inversor de 3 KWac.

Tabla 11. Especificaciones Técnicas del Módulo Fotovoltaico e Inversor Seleccionados

Módulo Fotovoltaico		Inversor	
Tipo	Si-Mono 300 Wp-60 Celdas	Tipo	50/60 Hz 3 KWac inverter
Filtro	Vol. 1500 V	Voltaje de funcionamiento	125-440 V
Voltaje de funcionamiento	27.1 V	Voltaje máximo de entrada	550 V
Voltaje máximo de entrada	42.3 V	Poder global inversor	3 KWca
Temperatura máxima	60°C	Número de inversores	1
Temperatura mínima	-10°C	Frecuencia	60 Hz

Nota. Elaboración Propia - Componentes seleccionados de la base de datos de PVsyst para cumplir con los requerimientos del diseño.

Por otro lado, para las condiciones de operación, se diseñó un sistema en conjunto.

Tabla 12.

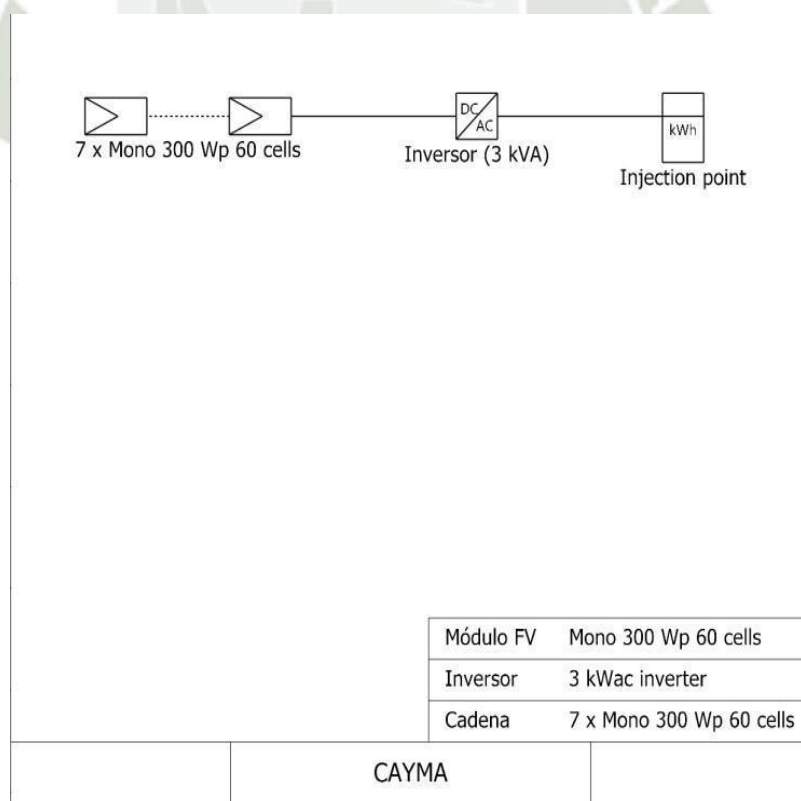
Parámetros de Diseño y Operación del Arreglo Fotovoltaico

Módulo		Condiciones de Operación	
Característica	Valor	Característica	Valor
Módulo en serie	7	Voltaje máximo	190 V
Número de cadenas	1	Voltaje medio	227 V
Pérdida de sobrecarga	0%	Voltaje mínimo	296 V
Proporción	0.7	Irradiación del plano	1000 W/m ²
Número de módulo	7	Potencia de funcionamiento máxima	2.1 kW
Área	11 m ²	Potencia en conjunto	2.1 kWp

Nota. Elaboración Propia - Configuración final del sistema fotovoltaico diseñado en PVsyst.

Figura 11. Sistema lineal fotovoltaico

Sistema lineal fotovoltaico



Nota. PVsyst

2.1.7. Evaluación económica (PVsyst)

Se realizó el cálculo en base a los datos económicos requeridos por el sistema actual y el sistema solar fotovoltaico a través de la fórmula del Valor Actual Neto (VAN), que descuenta los flujos de caja futuros a su valor presente para determinar la rentabilidad de una inversión inicial:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} - I_0$$

(Pedro et al., 2021)

Donde:

FC_t: Flujo de caja en el periodo t.

I₀: Inversión inicial.

k: Tasa de descuento.

n: Número de periodos.

Tabla 13 Relación entre Consumo Energético y Costo para el Año de Referencia

Relación entre Consumo Energético y Costo para el Año de Referencia

Consumo energético	Costo (S/.)
295.6	236.00
225.5	180.03
264.6	211.25
264.6	211.25
264.6	211.25
240.8	192.25
280.9	224.27
220.5	176.04
249.1	198.88
220.5	176.04
220.5	176.04
264.6	211.25
Total	2404.6211
	2

Nota. Elaboración Propia – PVsyst.

Tabla 14.

Costos de inversión

Item	Unidad	Costo unitario	Costo total
Si-Mono 300 Wp-60 Celdas 50/60 Hz 3 KWac inverter	7	755.77	5570.39
	1	492.62	492.62
TOTAL			6063.01

Nota. Elaboración Propia – PVsyst.

Se realizó el cálculo en base a los datos económicos requeridos por el sistema actual y el sistema solar fotovoltaico a través de la siguiente formula:

$$VAN = -Inversión\ inicial + \sum_{t=1}^{20} \frac{Consumo\ energético}{(1 + 0.10)^t}$$

(Pedro et al., 2021)

Tabla 15. Proyección del Flujo de Caja Descontado para el Sistema Actual

Proyección del Flujo de Caja Descontado para el Sistema Actual (20 Años)

Año	Flujo de caja
1	2186.0192
2	1987.290182
3	1806.627438
4	1642.38858
5	1493.080527
6	1357.345934
7	1233.950849
8	1121.773499
9	1019.79409
10	927.0855364
11	842.8050331
12	766.1863937
13	696.5330852
14	633.2118957
15	575.6471779
16	523.3156162
17	475.7414693
18	432.4922448
19	393.174768
20	357.4316073

Total 20471.89513

Nota. Elaboración Propia – PVsyst.

El flujo de caja se restó menos la inversión inicial para hallar el VAN

$$VAN = 20471.89513 - 6063.01$$

$$VAN = 14408.8851$$

El ahorro determinado con el flujo de caja a través del VAN es de 14408.8851, lo que evidencia que el sistema solar fotovoltaico es viable económicamente reflejando un ahorro considerable en el tiempo requerido de 20 años.

DISCUSIÓN SEGUNDA

La inversión inicial podrá ser recuperada en 3 años con 2 meses y después se experimentará un periodo de ganancias por la instalación del sistema fotovoltaico. Prueba de esto, diversos estudios evalúan cómo es que un sistema de energía solar ayuda a reducir los gastos familiares en zonas urbanas, Guzmán-Henao et al., (2024), menciona que el tiempo promedio de recuperación del gasto inicial en las energías renovables es de 5 años, además de que la tendencia de ganancia económica por la exclusión de pagos de energía eléctrica asciende hasta \$12000 en periodos de 15 a 20 años. En el sistema que se plantea, la recuperación se obtendrá en un menor tiempo, pero las ganancias no serán tan elevadas.

Por otro lado, Pan et al. (2022) presenta un estudio que concuerda con nuestros resultados, ya que evalúa que tipo de panel solar es el indicado para la implementación en áreas urbanas, en tal sentido, plantea un análisis VANTIR sobre las diferentes alternativas disponibles en el mercado y concluye que los paneles Mono-Si con una inclinación de 20° son los que generan una mayor cantidad de energía y por los que se obtienen un mayor beneficio económico.

2.1.8. Elaboración de un sistema para la recirculación de aguas grises y su reaprovechamiento

Implica la recolección, el tratamiento y la reutilización de las aguas residuales de fuentes como lavamanos duchas y lavadoras no potables así como de inodoros

2.1.9. Determinación de parámetros del agua residual

En la siguiente tabla se determina la caracterización fisicoquímica de las aguas grises residuales.

Tabla 16. Caracterización Fisicoquímica de
Caracterización Fisicoquímica del Agua Gris Residual

Parámetro	Valor
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4
Sólidos suspendidos (mg/L)	280
Conductividad eléctrica (S/cm)	534
Temperatura (°C)	15
pH	6.9

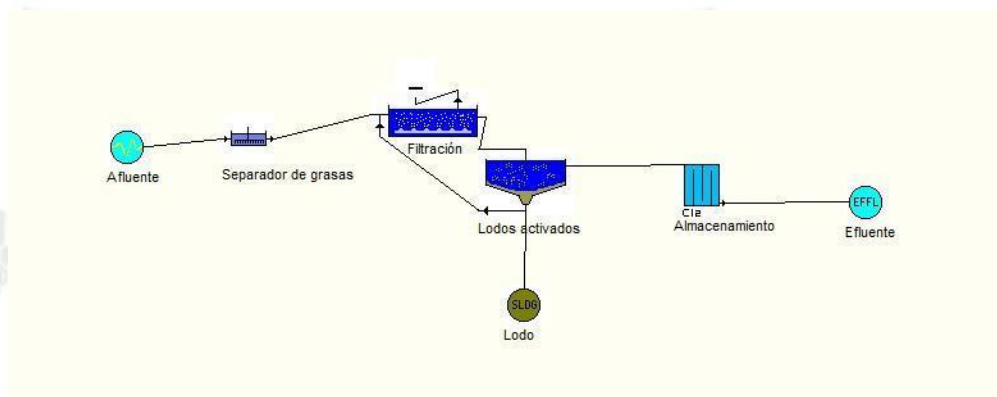
Nota. Elaboración Propia – PVsyst.

2.1.10. Diseño del sistema STOAT

Por medio del software STOAT 5.0 se generó un tren de tratamiento del agua para que pueda reutilizarse para el regadío de áreas verdes.

Figura 12.

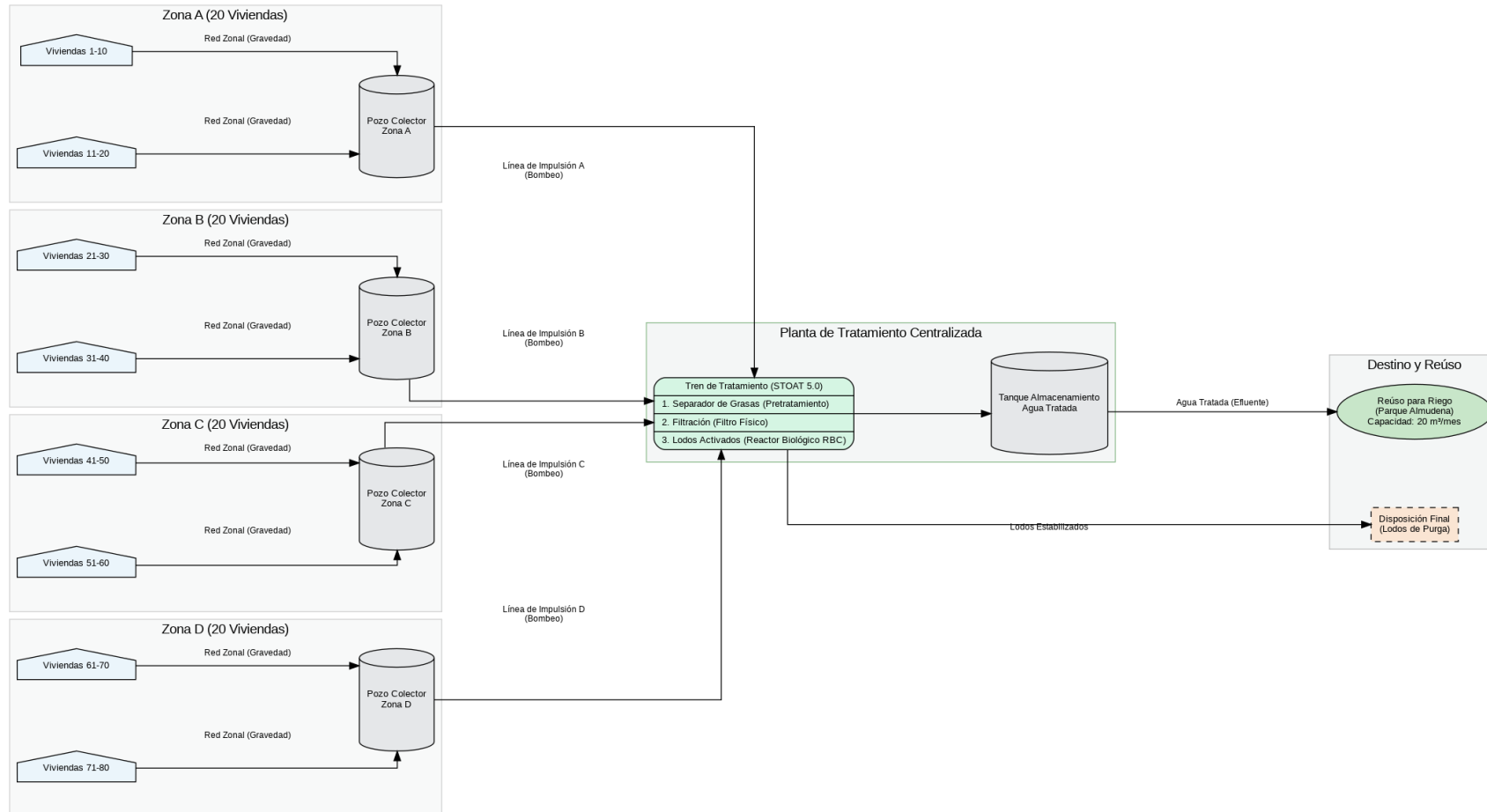
Tren de tratamiento



Nota. Elaboración Propia

Figura 13.

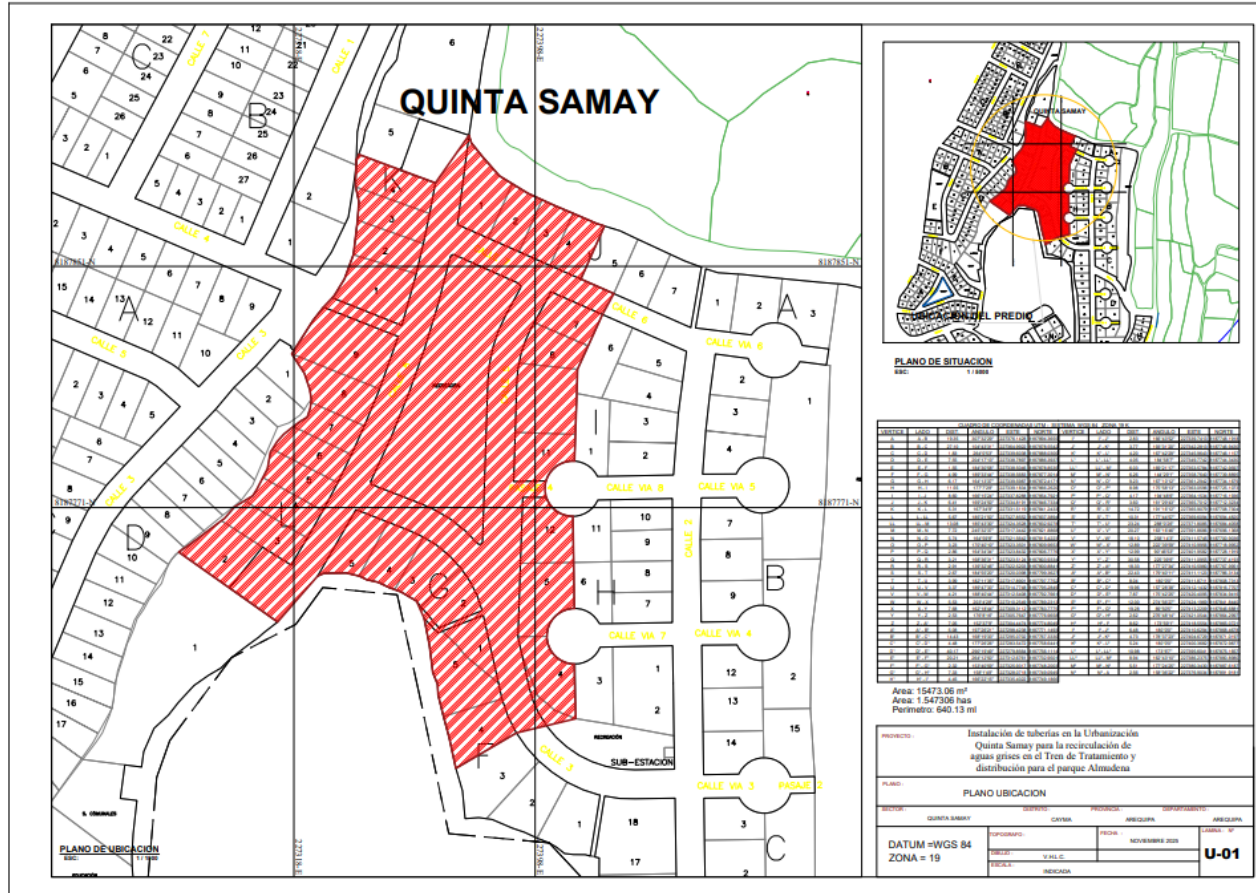
Diseño Técnico de la Red de Recolección (Propuesta)



Nota. Elaboración Propia.

Figura 13.1

Plano de Ubicación para la Instalación de tuberías en la Urbanización Quinta Samay para la recirculación de aguas grises en el Tren de Tratamiento y distribución para el parque Almudena (Anexo 11)



2.1.11. Modelado de consumo energético

Tabla 17.

Modelado de consumo energético mensual (kWh)

Año	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2022	295.60	225.50	264.60	264.60	264.60	240.80	280.90	220.50	249.10	220.50	220.50	264.60
2023	254.00	223.54	213.51	321.30	233.40	212.31	290.87	245.56	231.14	223.41	245.12	248.98
2024	256.12	220.50	220.50	264.60	245.12	234.12	256.43	245.67	256.67	213.12	220.98	220.67
2025	288.31	225.68	254.92	283.50	257.45	232.42	288.30	224.66	241.85	222.70	228.63	266.72
2026	268.57	223.18	232.87	283.50	247.71	229.08	276.07	237.24	245.64	219.01	228.87	244.75
2027	248.83	220.68	210.82	283.50	237.97	225.74	263.83	249.83	249.42	215.32	229.11	222.79
2028	271.70	222.80	237.44	270.27	251.74	234.61	269.66	235.59	251.09	217.10	223.20	241.07
2029	267.54	222.61	232.33	275.94	248.62	231.76	270.66	238.10	249.29	217.39	225.66	239.51
2030	263.38	222.41	227.22	281.61	245.50	228.91	271.66	240.60	247.50	217.68	228.13	237.95
2031	259.22	222.22	222.11	287.28	242.38	226.06	272.65	243.11	245.70	217.97	230.59	236.39

Nota. Elaboración propia.

2.1.12. Modelado de consumo hídrico

Tabla 18.

Modelado de consumo hídrico mensual (m³)

AÑO	MESES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2022	40	32	40	42	77	69	46	52	30	40	66	45
2023	38	39	41	46	67	56	45	41	35	33	68	50
2024	39	36	45	39	59	67	40	45	32	43	69	43
2025	40	34	40	44	77	65	47	50	31	37	66	47
2026	38	39	43	44	63	58	43	41	35	36	69	48
2027	39	35	44	40	64	68	42	47	31	42	68	43
2028	39	35	40	45	74	62	46	47	32	36	67	48
2029	38	38	43	43	61	61	42	42	34	38	69	47
2030	39	34	42	41	68	67	43	48	31	41	68	44
2031	39	36	41	44	71	61	45	45	33	36	67	48

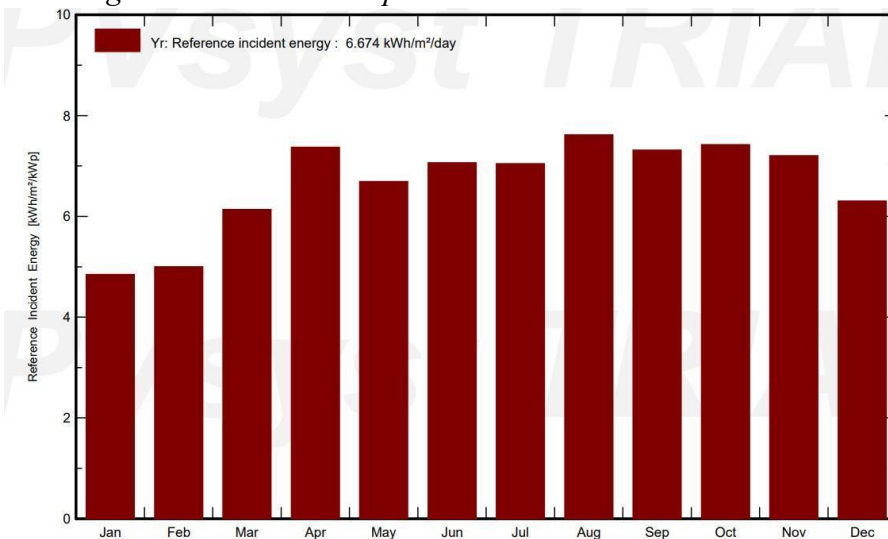
Nota. Elaboración Propia

2.1.13. Funcionamiento del sistema fotovoltaico

2.1.13.1. Energía recolectada en el plano colector

Figura 14.

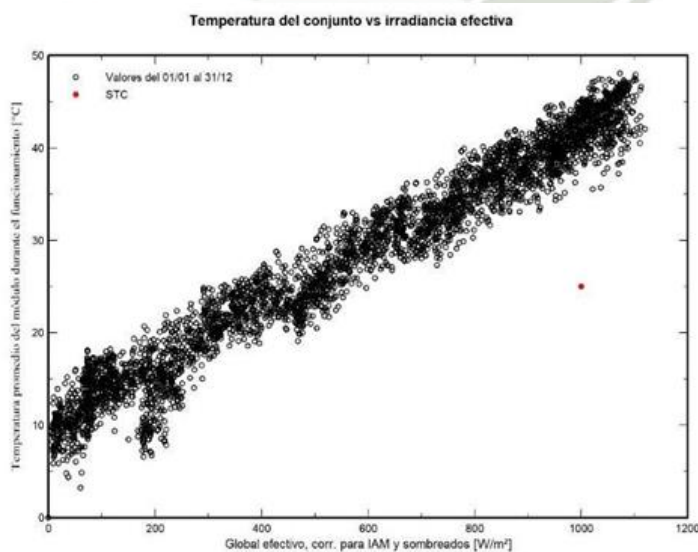
Energía recolectada en el plano recolector mensual



Nota. PVsyst.

2.1.13.2. Temperatura del conjunto en función a la irradiancia efectiva

Figura 15. Temperatura del conjunto en función a la irradiancia efectiva

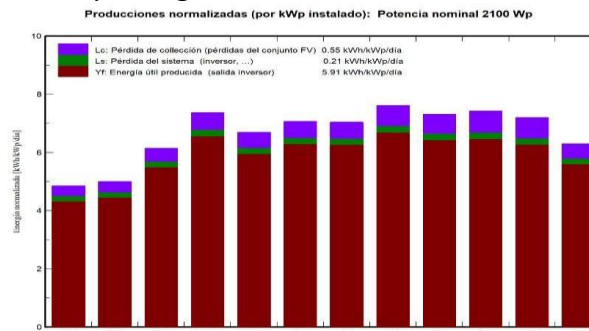


Nota. PVsyst.

2.1.13.3. Producción normalizada del sistema

Figura 16.

Pérdidas en el sistema y energía útil



Nota. PVsyst

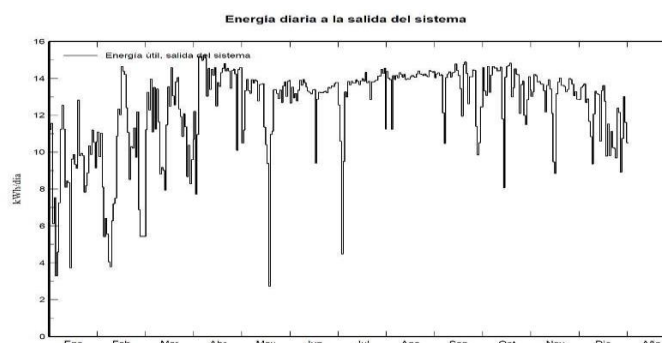
En la Figura 11 se observa que el sistema presenta pérdidas por la colección y por el funcionamiento del inversor, sin embargo, estas cifras son insignificativas con la energía útil obtenida durante todo el año.

El sistema llegará a generar 4 kWh/kWp/día en el mes más bajo (Enero) y 6.4 kWh/kWp/día, por lo que cubre al 100% la demanda energética y presenta un excedente del 24%. Los meses de enero y febrero son los que presentan una menor tasa de conversión energética debido a la nubosidad en la ciudad, lo que afecta sobre la turbidez Linke y la radiación incidente.

2.1.13.4. Energía diaria de salida del sistema

Figura 17.

Energía diaria de salida del sistema

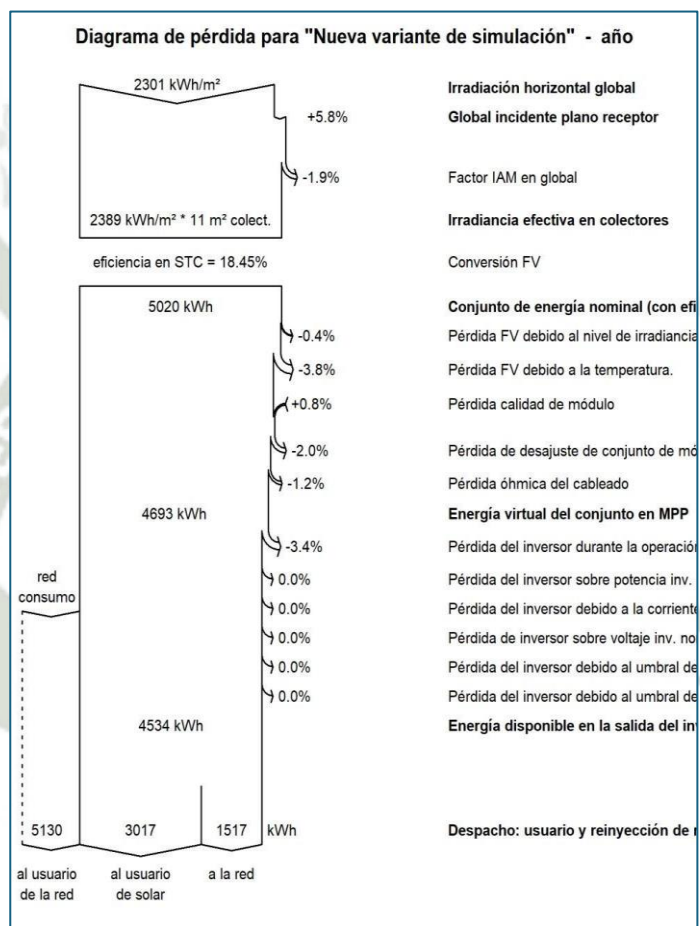


Nota. PVsyst

2.1.13.5. Diagrama de pérdidas

Figura 18.

Pérdida de energía en el sistema



Nota. PVsyst

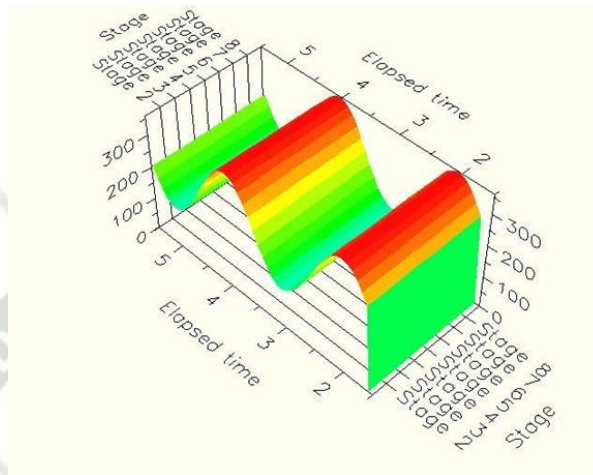
El sistema presenta mayores pérdidas por el Factor IAM global, por la temperatura (opera entre 15 a 30°C en óptimas condiciones), por la pérdida óhmica del cableado que es inevitable y por la pérdida del inversor durante la operación. Se puede asegurar este rendimiento siempre y cuando se del mantenimiento anual que requiere el sistema, especialmente el inversor, debido a que se tiene que calibrar el voltaje y su umbral de operación.

2.1.14. Funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas

2.1.14.1. Tratamiento de lodos activados

Figura 19.

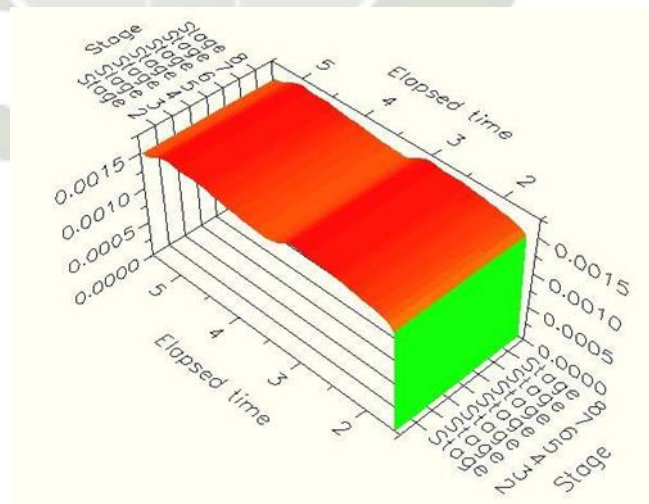
Remediación de DBO soluble



Nota. Elaboración Propia

Figura 13. Remediación de Nitratos

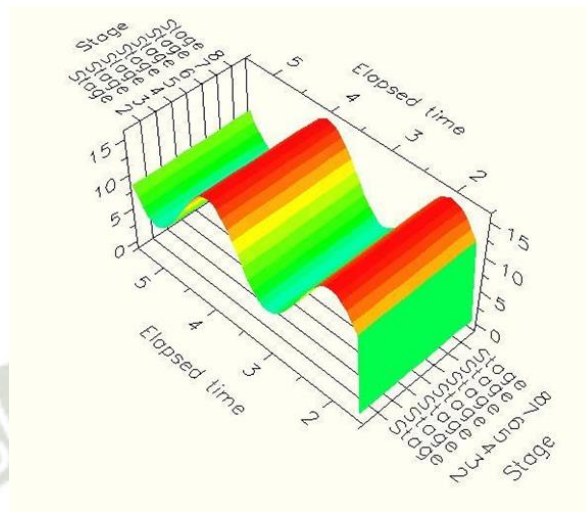
Remediación de Nitratos



Nota. Elaboración Propia

Figura 21.

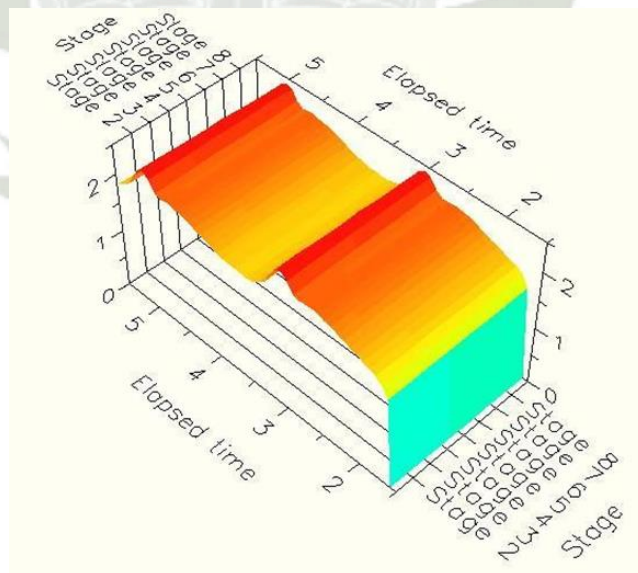
Remediación de fósforo soluble



Nota. Elaboración Propia

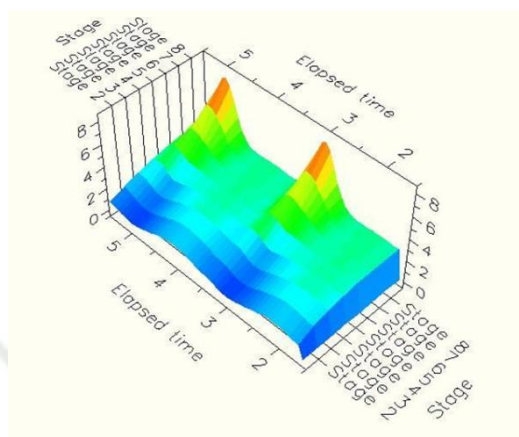
Figura 22. Variación de oxígeno disuelto

Variación de oxígeno disuelto



Nota. Elaboración Propia

Figura 23.
Remediación microbiológica

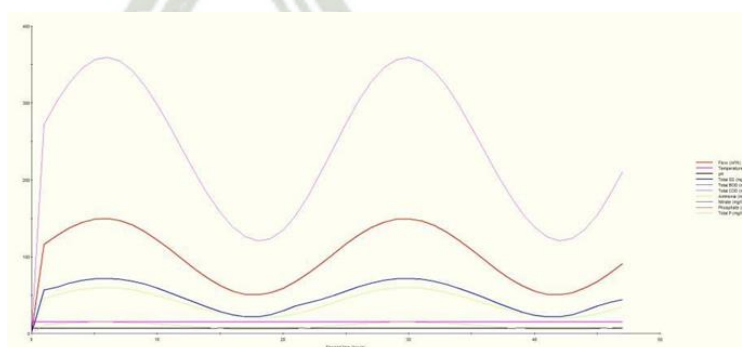


Nota. Elaboración Propia

En las Figuras 14, 15, 16, 17 y 18 se puede observar cómo es la actividad de remediación de los lodos activados para la DBO soluble, Nitratos, fósforo, OD y microorganismos. Asegurando la calidad del agua y el cumplimiento con estándares nacionales e internacionales.

2.1.14.2. Tratamiento global del sistema

Figura 24. Remediación global en el sistema
Remediación global en el sistema



Nota. Elaboración Propia

Con el tratamiento realizado se puede obtener hasta 20 m³ mensuales de agua disponible para el uso de riego en áreas verdes subyacentes al área urbana. Por lo que la municipalidad se vería beneficiada al omitir un gasto anual de S/1.378.08. Existiendo un excedente de 2 m², se pueden emplear o en vegetación presente en las viviendas o para su uso en otros establecimientos públicos e incluso para la limpieza pública.

3. Desglose de montos de inversión y costos según la propuesta

Tabla 19. Costo del Sistema Fotovoltaico (7 módulos + 1 inversor)

Componente	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Panel solar monocristalino 400 W	7	950	6,650
Inversor híbrido 5 kW (CC/CA)	1	4,200	4,200
Estructura de soporte (techo inclinado)	1 juego	1,000	1,000
Cableado solar y accesorios (DC/AC)	-	-	600
Protecciones eléctricas (fusibles, breakers, caja DC)	-	-	700
Mano de obra de instalación eléctrica	-	-	1,000
Subtotal Fotovoltaico			14,150

Nota. Elaboración Propia

Tabla 20.

Costo del Sistema de Recirculación y Tratamiento de Aguas Grises

Componente	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
A. Planta de Tratamiento Central (Base)			S/. 9,900.00
Trampa de grasas (comercial)	1	850.00	850.00
Filtro de arena + grava + carbón	1	1,200.00	1,200.00
Reactor biológico (lodos activados)	1	4,500.00	4,500.00
Tanque de almacenamiento (1,000 L)	1	1,000.00	1,000.00
Bomba de recirculación (planta)	1	750.00	750.00
Tuberías PVC y válvulas (en planta)	1	1,000.00	1,000.00
Tablero eléctrico y control (planta)	1	600.00	600.00
B. Red de Recolección Zonal (Nuevo)			S/. 23,300.00
Pozo colector zonal (Polietileno prefab.)	4	1,800.00	7,200.00
Bomba sumergible aguas grises (1 HP)	4	900.00	3,600.00
Tuberías PVC (Red zonal + Lote Impulsión)	Lote	7,500.00	7,500.00
Mano de obra (zanjas, instalación red)	Lote	5,000.00	5,000.00
COSTO TOTAL (A + B)			S/. 33,200.00

Nota. Elaboración propia.

Nota. Elaboración Propia

Tabla 21. Costos adicionales y complementarios

Costos adicionales y complementarios

Concepto	Costo (S/.)
Licencias municipales (si aplica)	500
Transporte de equipos e insumos	600
Supervisión técnica e instalación	750
Contingencias (5% del total aprox.)	1,250
Subtotal Adicionales	3,100

Nota. Elaboración Propia

Tabla 22.*Total de inversión proyectada*

Categoría	Costo total (S/.)
Sistema Fotovoltaico	14,150
Recirculación de Aguas	32,200
Costos Adicionales	3,100
Total General Aproximado	50,450

Nota. Elaboración Propia**2.1.14.3. Evaluación Económica del Sistema de Recirculación de Aguas Grises**

Para evaluar la viabilidad económica del componente de recirculación y tratamiento de aguas grises, se considera la inversión específica requerida para este sistema y los ahorros directos cuantificables identificados.

- **Inversión Inicial (I₀):** Según el desglose de costos, la inversión atribuible al sistema de aguas grises (Planta de Tratamiento + Red de Recolección) asciende a S/. 33,200.00. Sumando una porción proporcional de los costos adicionales y complementarios (aproximadamente S/. 2,173), la inversión inicial estimada para este componente es de **S/. 35,373.00**.
- **Flujo de Caja Anual (FC):** El principal ahorro económico directo identificado es la eliminación del costo municipal por el riego del Parque Almudena, estimado en S/. 1,378.08 anuales. Si bien existen otros beneficios ambientales y de reducción del consumo de agua potable en las viviendas,

estos no se traducen directamente en un flujo de caja monetario para este análisis preliminar.

- **Periodo de Recuperación Simple:** Dividiendo la inversión inicial entre el ahorro anual directo:

- $Payback\ Simple = I_0 / FC = S/. 35,373.00 / S/. 1,378.08/año \approx 25.67$
años

Análisis: El periodo de recuperación simple calculado, basado únicamente en el ahorro del costo de riego municipal, es considerablemente largo (superior a los 20 años de vida útil estimada para algunos componentes). Esto sugiere que, si se considera únicamente este ahorro directo, la inversión podría no ser financieramente atractiva desde una perspectiva puramente económica (probablemente resultando en un VAN negativo y una TIR inferior a la tasa de descuento esperada).

2.1.15. Resultados del Estudio de Percepción y Aceptación Comunitaria

Se aplicó el cuestionario (Anexo 5) a una muestra de 49 respuestas ($n = 49$), que representa el 61.25% de la población total ($N = 80$). Este tamaño muestral otorga a los resultados un nivel de confianza del 95% con un margen de error del 9%.

1. Percepción del Contexto

Los resultados evidencian una alta sensibilidad de los residentes frente a los problemas ambientales y de servicios básicos. La escasez de agua en Arequipa constituye la mayor fuente de preocupación (91.8%), seguida del costo del recibo de luz (89.8%) y del costo del recibo de agua (77.6%).

Tabla 23.

Nivel de Preocupación de los Residentes (N = 49)

Tema de Preocupación	N° Residentes (Puntaje 4 o 5)	% del Total
Escasez de agua en Arequipa	45	91.8%
Costo de recibo de luz	44	89.8%
Costo de recibo de agua	38	77.6%

Nota. Elaboración propia en base a Encuesta.

2. Aceptación de la Propuesta 1: Sistema Fotovoltaico Individual

La propuesta solar fotovoltaica obtuvo una evaluación positiva por parte de los encuestados, destacando la alta confianza en la tecnología (promedio 4.16/5) y el atractivo de su rentabilidad económica (promedio 4.29/5). No obstante, el costo inicial fue identificado como la principal barrera (promedio 3.65/5), mientras que las preocupaciones sobre mantenimiento y durabilidad fueron menores (promedio 2.59/5).

Tabla 24.

Percepción de la Propuesta Fotovoltaica (Promedio 1–5)

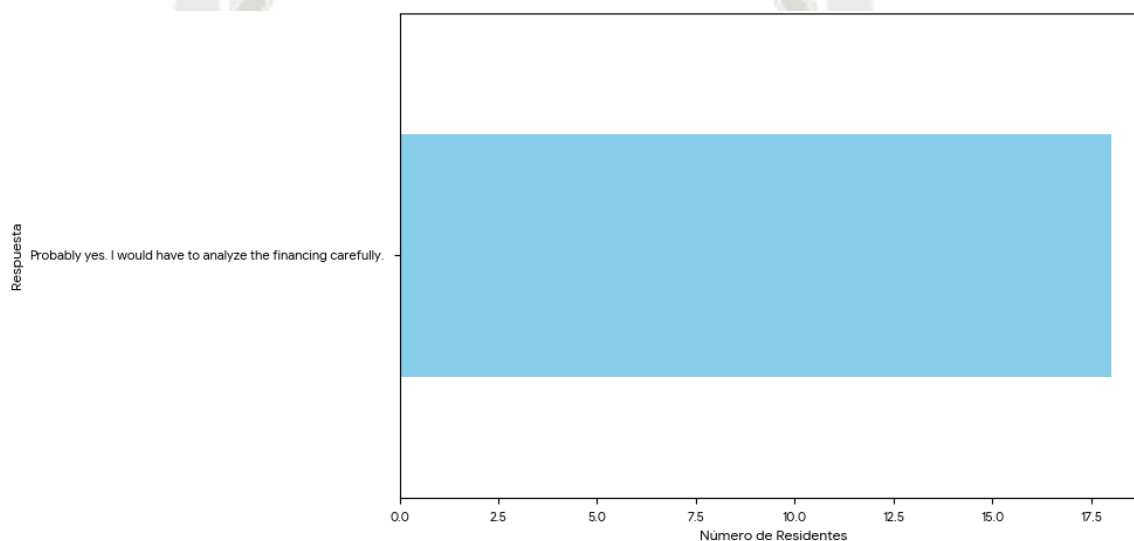
Afirmación (Propuesta Solar)	Promedio (1–5)	Interpretación
Beneficio económico (payback) es atractivo	4.29	Muy de acuerdo
Confianza en la tecnología en Arequipa	4.16	De acuerdo
Costo inicial es la principal barrera	3.65	Neutral / De acuerdo
Preocupación por mantenimiento/durabilidad	2.59	En desacuerdo

Nota. Elaboración propia en base a Encuesta.

En cuanto a la disposición a adoptar el sistema bajo un “Crédito Verde”, la mayoría de los residentes (75.5%) respondió “Probablemente sí” o manifestó inseguridad, lo cual evidencia la necesidad de un plan de financiamiento claro y accesible.

Figura 25.

Disposición a Adoptar el Sistema Fotovoltaico (N = 49)



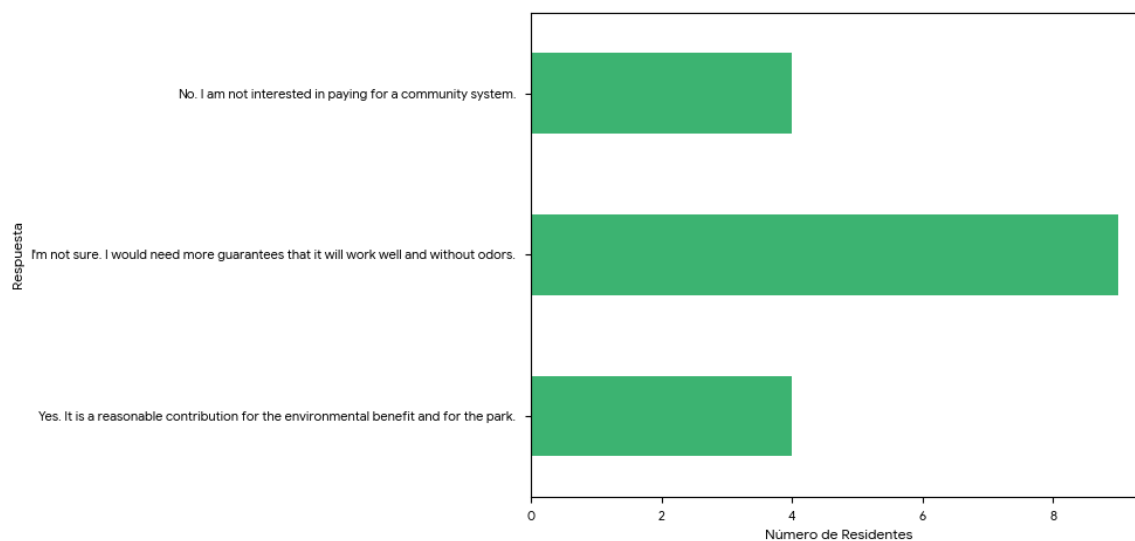
Nota. Elaboración propia en base a Encuesta.

3. Aceptación de la Propuesta 2: Sistema de Aguas Grises Comunitario

La propuesta del sistema comunitario de tratamiento de aguas grises fue recibida con una aceptación casi unánime (promedio 4.71/5), lo que refleja una alta valoración del concepto de reutilización del agua. Sin embargo, los encuestados identificaron como principales barreras la gestión y administración futura del sistema (promedio 4.08/5) y la posible generación de olores (promedio 3.86/5).

Figura 26.

Principales Barreras Percibidas (Propuesta de Aguas Grises)



Nota. Elaboración propia en base a Encuesta.

Esta preocupación por la gestión del sistema se refleja directamente en la disposición al pago: el 65.3% (32 residentes) condiciona su apoyo a que la Municipalidad de Cayma asuma el costo de implementación, lo que respalda la viabilidad de una Asociación Público-Privada (APP) para la ejecución del proyecto.

Tabla 25.

Disposición a Contribuir al Sistema de Aguas Grises (N = 49)

Respuesta (Aporte único de S/. 415)	Nº Respuestas	Porcentaje (%)
Sí, pero preferiría que la Municipalidad cubra el costo.	32	65.3%
No estoy seguro. Necesito más garantías.	9	18.4%
Sí. Es un aporte razonable.	4	8.2%
No. No estoy interesado.	4	8.2%
Total	49	100.0%

Nota. Elaboración propia en base a Encuesta.

DISCUSIÓN

El tratamiento de las aguas grises para su reutilización es importante en áreas donde se vive el estrés hídrico, las diferentes metodologías aplicadas pueden variar de acuerdo a la disposición final que se quiera dar a las aguas grises. En el caso de que se emplee un tratamiento biológico (lodos activados), se tiene que tener cuidado con el control de los microorganismos y con los lodos generados, debido a que estos tienen que ser estabilizados antes de su eliminación. Dhuman et al. (2022), menciona que en zonas urbanas, donde el espacio es limitante para la instalación de un sistema de tratamiento, los procesos fisicoquímicos presentan ciertas ventajas, debido a que se presentan en diseños compactos, se realizan en menor tiempo y se evitan problemas con los malos olores, sin embargo, se requiere personal calificado y control constante para la verificación de las reacciones, por lo que en ocasiones no se obtienen los mejores resultados y se tiene un efluente con reducciones de 12.56%, 15.98% y 13.45% en DBO, sólidos totales suspendidos y conductividad eléctrica respectivamente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. Se realizó exitosamente un diagnóstico exhaustivo del consumo energético e hídrico en la Urbanización Quinta Samay, identificándose un consumo energético promedio anual por vivienda entre 2 758.65 kWh y 2 911.8 kWh, así como un consumo hídrico promedio anual entre 548 m³ y 569 m³. Esta línea base cuantitativa evidenció una demanda constante y considerable, lo que sustenta la pertinencia de implementar sistemas autosustentables y permite dimensionar el potencial de optimización en el uso de los recursos disponibles.
2. Se desarrolló el diseño de un sistema integrado, ajustado a las condiciones particulares del distrito de Cayma, Arequipa. Este sistema comprende un conjunto fotovoltaico conformado por siete módulos Si-Mono de 300 Wp y un inversor de 3 KWac, optimizado con una inclinación y un acimut de 24°. Además, incluye un sistema de recirculación de aguas grises compuesto por una trampa de grasas, un sistema de filtración y un reactor biológico de contacto (RBC), dimensionado conforme al volumen de agua residual generado. Ambos subsistemas fueron diseñados considerando las condiciones climáticas, los patrones de consumo y las características espaciales específicas de la urbanización.
3. Los resultados obtenidos a través de la simulación validaron la elevada eficiencia técnica y la factibilidad económica del sistema integrado. El componente fotovoltaico demuestra la capacidad de abastecer el 100 % de la demanda energética promedio, generando un excedente anual del 24 %, y presenta un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 14 408.89, con un periodo de recuperación de la inversión estimado en 3 años y 2 meses. Por su parte, el sistema de tratamiento de aguas grises logra procesar 20 m³ mensuales, alcanzando una calidad adecuada para riego y

- contribuyendo a la reducción del consumo de agua potable, además de generar un impacto ambiental positivo al disminuir tanto la huella de carbono como la hídrica.
4. La investigación concluyó de manera satisfactoria con la formulación de un sistema autosustentable integral para la Urbanización Quinta Samay. A través del uso de software especializado y un análisis técnico-económico, se evidenció que la integración sinérgica de las tecnologías fotovoltaicas y de recirculación de aguas grises constituye una alternativa factible, eficiente y resiliente para el entorno urbano de Cayma, Arequipa, especialmente pertinente ante la vulnerabilidad de la zona frente al cambio climático y la escasez de recursos hídricos.
 5. La integración de los sistemas fotovoltaicos con los de recirculación de aguas grises representa una alternativa con beneficios sustanciales frente a su aplicación por separado. Este enfoque integral potencia la autosuficiencia energética e hídrica, disminuye de manera más notable la huella ecológica conjunta, mejora la resiliencia de las viviendas ante la escasez de recursos y las variaciones en los costos, y promueve una gestión más eficiente y articulada de los recursos tanto en el ámbito doméstico como comunitario.
 6. Aunque los resultados obtenidos son alentadores, el estudio se sustenta principalmente en simulaciones y datos históricos, por lo que reconoce ciertas limitaciones relacionadas con la variabilidad real del rendimiento, los supuestos económicos empleados y el alcance limitado en cuanto a factores socioculturales y de ciclo de vida. En consecuencia, se plantean futuras líneas de investigación orientadas a la validación empírica mediante proyectos piloto, la evaluación del ciclo de vida, estudios sobre la aceptación comunitaria, la optimización técnica avanzada y el análisis de la escalabilidad e integración con otras tecnologías sostenibles y

políticas públicas, con el fin de fortalecer y ampliar la implementación de estos sistemas en Arequipa..



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bekkering, J., & Nap, J. P. (2023). Energy self-sufficiency and sustainability in a defined neighbourhood: Bio-methanation to green gas can outperform green hydrogen. *Energy Conversion and Management*, 292, 117370. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117370>
- Biniak-Pieróg, P., Nieróbca, R., & Bugajski, M. (2017). Influence of a season on hourly and daily variations in water demand patterns in a rural water supply line – case study. *Journal of Water and Land Development*, 34(VII–IX), 63–71. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0058>
- Bonilla, W., & Ríos, C. (2014). *Propuesta de ecobarrio como modelo urbano para el desarrollo sostenible de las ciudades*. [Proyecto de investigación, Universidad Piloto de Colombia].
- Butera, F. (2018). Sustainable neighborhood design in tropical climates. En S. J. Wilkinson & T. Dixon (Eds.), *Future forms and design for sustainable cities* (pp. 51–73). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102074-6.00017-6>
- Caro, D. (2019). Carbon footprint. En B. Fath (Ed.), *Encyclopedia of ecology* (2.a ed., pp. 252–257). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10752-3>
- Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. (2017, 6 de junio). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Diario Oficial El Peruano.
- Demoulias, C. (2010). A new simple analytical method for calculating the optimum inverter size in grid-connected PV plants. *Electric Power Systems Research*, 80(10), 1197–1204. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2010.04.005>

- Dhiman, V. K., Singh, J., Kanoungo, A., Goyal, A., & Singh, Y. (2022). Reuse of grey water generated from high rise educational building. *Materials Today: Proceedings*, 69, 372–377. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.053>
- Elaouzy, Y., & Fadar, A. E. (2023). Solar and photovoltaics energy utilization and sustainability. En R. K. Singh, A. K. Shukla, A. K. Singh, A. Sharma & R. Dwivedi (Eds.), *Harnessing solar and photovoltaics for energy sustainability* (pp. 21–46). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-93940-9.00002-5>
- Espinal S., Gamarra, L., Ramos, R., Rodríguez, G., & Rosas, S. (2021). *Utilización de un sistema de reciclaje de aguas grises de un proyecto de edificación multifamiliar*. [Tesis de bachiller, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Golroodbari, S., Fthenakis, V., & Van Sark, W. G. (2022). Floating photovoltaic systems. En T. M. Letcher (Ed.), *Comprehensive renewable energy* (2.a ed., pp. 677–702). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819727-1.00174-6>
- Gu, C. (2020). Urbanization. En A. Kobayashi (Ed.), *International encyclopedia of human geography* (2.a ed., pp. 141–153). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102295-5.10355-5>
- Guo, T., Wei, C., Zhang, Y., Chen, W., Liu, X., & Chen, X. (2023). Azimuth calibration based on equal angle balance correction algorithm for measurement-while-drilling system. *Measurement*, 222, 113891. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113891>
- Guzmán-Henao, J. A., Cortés-Caicedo, B., Restrepo-Cuestas, B. J., Bolaños, R. I., & Grisales-Noreña, L. F. (2024). Optimal integration of photovoltaic generators into urban and rural power distribution systems. *Solar Energy*, 270, 112400. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112400>

- He, Y. (2020). Agricultural population urbanization, long-run economic growth, and metropolitan electricity consumption: An empirical dynamic general equilibrium model. *Energy Strategy Reviews*, 30, 100498. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100498>
- He, Y., & Fullerton, T. (2020). The economic analysis of instrumental variables estimation in dynamic optimal models with an application to the water consumption. *Agricultural Economics – Czech*, 66(9), 413–423. <https://doi.org/10.17221/270/2020-agricecon>
- He, Y., & Gao, S. (2021). Electricity–water consumption and metropolitan economic growth: Evidence from dynamic general equilibrium. *Frontiers in Energy Research*, 9, 795413. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.795413>
- Hernández-Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. (2011). Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon. *Water Research*, 45(9), 2887-2896. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.009>
- International Energy Agency. (2024). *Electricity 2024 – Analysis*. IEA. <https://www.iea.org/reports/electricity-2024/executive-summary>
- Jamil, F., & Ahmad, N. (2010). Dynamics of electricity consumption, oil price and economic growth: Global perspective. *Energy Policy*, 38(10), 6016–6025. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.048>
- Karahan, B. N., Akdag, Y., Fakıoğlu, M., Korkut, S., Güven, H., Erşahin, M. E., & Özgün, H. (2023). Coupling ozonation with hydrogen peroxide and chemically enhanced primary treatment for advanced treatment of grey water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 110116. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110116>

- Karanfil, F., & Li, Y. (2015). Electricity consumption and economic growth: Exploring panel-specific differences. *Energy Policy*, 82, 264–277. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.04.026>
- Khodakarami, L., Pourmanafi, S., Mokhtari, Z., Soffianian, A., & Lotfi, A. (2023). Urban sustainability assessment at the neighborhood scale: Integrating spatial modellings and multi-criteria decision making approaches. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104725. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104725>
- Kosmopoulos, P. (2024). The way forward for sustainable development. En P. Kosmopoulos, *Sustainable development* (pp. 173–189). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823390-0.00001-6>
- Lee, W. H., Husaini, D. H., & Lean, H. H. (2024). The renewable energy– environment nexus. En S. Boubaker, D. K. Nguyen, D. D. T. H. B. P. A. G. N. (Eds.), *Handbook of research on green finance* (pp. 177–203). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-13439-5.00007-7>
- Louwen, A., Moser, D., & Van Sark, W. G. (2022). Design and components of photovoltaic systems. En T. M. Letcher (Ed.), *Comprehensive renewable energy* (2.a ed., pp. 644–661). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819727-1.00100-x>
- Mamani, E. (2023, 23 de septiembre). Recomiendan reducir 30% de cultivos por déficit hídrico en Arequipa. *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/2023/09/23/arequipasequia-recomiendanreducir-30-de-cultivos-por-falta-de-agua-deficit-hidricocaraveli-fenomenoel-nino-lrmd-2085479>
- Márquez, F. P. G., Papaalias, M., & Karyotakis, A. (2020). Introduction to nondestructive testing and condition monitoring techniques for renewable energy industrial assets. En F. P. G. Márquez, M. Papaalias & A. Karyotakis (Eds.), *Non-destructive testing*

- and condition monitoring techniques for renewable energy industrial assets* (pp. xi–xvii). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101094-5.09990-1>
- Martins, M. S., Fundo, P., Kalil, R. M. L., & Rosa, F. D. (2021). Community participation in the identification of neighbourhood sustainability indicators in Brazil. *Habitat International*, 113, 102370. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2021.102370>
- Meng, B., Vienken, T., Kolditz, O., & Shao, H. (2019). Evaluating the thermal impacts and sustainability of intensive shallow geothermal utilization on a neighborhood scale: Lessons learned from a case study. *Energy Conversion and Management*, 199, 111913. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111913>
- Messenger, R. A., & Ventre, A. (2010). *Photovoltaic systems engineering*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315218397>
- Meza, G., & Sulca, A. (2022). *Propuesta de implementación del sistema de biorreactor de membrana para el tratamiento de las aguas grises y la reutilización en la descarga de inodoros para la optimización del consumo de agua potable en los distritos de Lima Metropolitana*. [Tesis de ingeniería civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Ministerio de Energía y Minas. (2015). *Especificación técnica del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural*. (Norma DGE).
- Moser, D., Del Buono, M., Jahn, U., Herz, M., Richter, M., & De Brabandere, K. (2017). Identification of technical risks in the photovoltaic value chain and quantification of the economic impact. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 25(7), 592–604. <https://doi.org/10.1002/pip.2857>
- Muratoğlu, A. (2022). Water footprint: Concept and methodology. En M. N. Alpaslan, M. E. A. K. M. G. S. (Eds.), *Water resources management* (pp. 351–359). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821139-7.00034-9>

- Oh, K. S., Leong, J. Y. C., Poh, P. E., Chong, M. N., & Von Lau, E. (2018). A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 171, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.267>
- Ojeda, A., & Ormeño, M. (2021). *Propuesta de uso de paneles solares para ahorro de energía eléctrica en tiempo de pandemia, Urbanización Virgen de Chapi– Ica, 2021*. [Tesis de ingeniería ambiental, Universidad César Vallejo].
- Ortiz, M. (2018). *Estudio de la viabilidad y beneficio económico sobre la instalación de un sistema de recirculación de aguas grises y aguas lluvias*. [Tesis de ingeniería civil y del ambiente, Universidad de los Andes].
- Ortiz-Fernández, J., Astudillo-Cordero, S., & Molina, J. F. Q. (2023). Spatial neighborhood sustainability assessment for urban planning, Cuenca, Ecuador. *Environmental and Sustainability Indicators*, 20, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100307>
- Ozturk, I., & Al-Mulali, U. (2015). Natural gas consumption and economic growth nexus: Panel data analysis for GCC countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 998–1003. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.060>
- Pan, D., Bai, Y., Chang, M., Wang, X., & Wang, W. (2022). The technical and economic potential of urban rooftop photovoltaic systems for power generation in Guangzhou, China. *Energy and Buildings*, 277, 112591. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112591>
- Quan, S. J. (2019). Smart design for sustainable neighborhood development. *Energy Procedia*, 158, 6515-6520. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.108>
- Ray, B., & Shaw, R. (2016). Water stress in the megacity of Kolkata, India, and its implications for urban resilience. En R. Shaw & A. Das (Eds.), *Urban resilience: A*

- transformative approach* (pp. 317–336). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802169-9.00020-3>
- Reich, N., Van Sark, W., & Turkenburg, W. (2011). Charge yield potential of indoor-operated solar cells incorporated into Product Integrated Photovoltaic (PIPV). *Renewable Energy*, 36(2), 642–647. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.018>
- Rivera, J., & Tovar, P. (2023). *Planteamiento de un sistema de reutilización de aguas de lavado en un Edificio Multifamiliar de 6 pisos en el distrito de Santiago de Surco, Lima – Perú*. [Tesis de ingeniería civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
- Roca, E., & Herva, D. (2015). Ecological footprints in the textile industry. En S. Muthu (Ed.), *Handbook of Life Cycle Assessment (LCA) of textiles and clothing* (pp. 37–53). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100169-1.00003-4>
- Saiu, V., Blečić, I., & Meloni, I. (2022). Making Sustainability Development Goals (SDGs) operational at suburban level: Potentials and limitations of Neighbourhood Sustainability Assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 96, 106845. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106845>
- Shahbaz, M., & Feridun, M. (2012). Electricity consumption and economic growth: Empirical evidence from Pakistan. *Quality & Quantity*, 46(5), 1583–1599. <https://doi.org/10.1007/s11135-011-9461-2>
- Shrivastava, A., Sharma, R., Saxena, M., Shanmugasundaram, V., Rinawa, M. L., & Ankit, A. (2023). Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYST. *Materials Today: Proceedings*, 80, 3385–3392. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.258>
- SolarPower Europe. (2020). *Global market outlook for solar power 2019–2023*. (Technical Report). Autor.

- Vázquez, N., & Vázquez, J. (2024). Photovoltaic system conversion. En M. A. El-Sharkawi (Ed.), *Power electronics for renewable energy systems* (2.a ed., pp. 781–795). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-99216-9.00023-8>
- Verma, S., Mohapatra, S., Chowdhury, S., & Dwivedi, G. (2021). Cooling techniques of the PV module: A review. *Materials Today: Proceedings*, 38, 253–258. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.130>
- Vidal, E., & Canales, J. (2023). *Uso de paneles solares para mejorar la calidad de la energía eléctrica del Centro Poblado Pararin – Departamento de Ancash – Perú – 2021*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Callao].
- Vieira, R., De Araújo, F., Dhimish, M., & Guerra, M. (2020). A comprehensive review on bypass diode application on photovoltaic modules. *Energies*, 13(10), 2472. <https://doi.org/10.3390/en13102472>
- Wang, Z., Yuan, H., Wu, M., Deng, X., Tang, Y., Shao, J., & Zeng, Q. (2022). Urban compactness: Applying a three-dimensional model to strategic region of metro station. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 113, 103541. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103541>
- Wood, L., & Liberman, L. (2020). How prices, income, and weather shape household electricity consumption: An international perspective. *Energy Economics*, 92, 104976. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104976>
- Wurochekke, A. A., Mohamed, R. M. S. R., Atiku, H., Amir, H. K., & Matias-Peralta, H. M. (2016). Household greywater treatment methods. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 1(3), 553–558. <https://doi.org/10.22161/ijeab/1.3.26>
- Zhang, X., Han, L., Wei, H., Tan, X., Zhou, W., Li, W., & Qian, Y. (2022). Linking urbanization and air quality together: A review and a perspective on the future

sustainable urban development. *Journal of Cleaner Production*, 346, 130988.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130988>



ANEXOS

Anexo 1 . Tablas de Procesamiento

1. Factores óptimos de transporte y sombreado en el sistema fotovoltaico

Nueva variant de simulación
Factores ópticos (Transp.,IAM,sombreados)

	GlobHor kWh/m ²	GlobInc kWh/m ²	Ftransp proporción	FIAMBm proporción	FIAMGI proporción	FIAMShd proporción
Enero	167.50	150.20	0.90	0.98	0.97	0.97
Febrero	147.90	139.90	0.95	0.98	0.98	0.98
Marzo	186.50	190.20	1.02	0.99	0.98	0.98
Abril	193.10	221.10	1.15	0.99	0.98	0.98
Mayo	166.90	207.30	1.24	0.99	0.99	0.99
Junio	161.20	211.80	1.31	0.99	0.99	0.99
Julio	170.50	218.30	1.28	0.99	0.99	0.99
Agosto	197.60	236.10	1.20	0.99	0.99	0.99
Setiembre	203.90	219.40	1.08	0.99	0.98	0.98
Octubre	237.90	230.10	0.97	0.98	0.98	0.98
Noviembre	242.80	216.00	0.89	0.98	0.97	0.97
Diciembre	225.50	195.30	0.87	0.98	0.97	0.97
AÑO	2301.30	2435.70	1.06	0.99	0.98	0.98

Nota. PVSyst (2024).

2. Pérdidas a detalle del sistema

Nueva variant de simulación
Perdidas detalladas del sistema

	ModQual kWh	MisLoss kWh	OhmLoss kWh	EArrMPP kWh	InvLoss kWh
Enero	-2.25	6.05	2.82	293.70	11.52
Febrero	-2.10	5.63	2.75	273.10	10.31
Marzo	-2.85	7.67	4.33	371.30	12.95
Abril	-3.29	8.84	5.63	427.50	14.00
Mayo	-3.09	8.29	5.04	401.00	13.11
Junio	-3.16	8.48	5.26	410.20	13.07
Julio	-3.25	8.73	5.36	422.20	13.87
Agosto	-3.47	9.32	6.10	450.70	14.62
Setiembre	-3.23	8.68	5.50	419.60	14.08
Octubre	-3.35	9.01	5.70	435.90	14.68
Noviembre	-3.15	8.46	5.10	409.60	13.77
Diciembre	-2.90	7.80	4.19	377.90	13.07
AÑO	-36.09	96.95	57.77	4692.70	159.03

Nota. PVSyst (2024).

3. Pérdidas detalladas del inversor

Nueva variante de simulación
Pérdidas detalladas del inversor

	EOutInv kWh	EffInvR %	InvLoss kWh	IL_Oper kWh	IL_Pmin kWh	IL_Pmax kWh	IL_Vmin kWh	IL_Vmax kWh	IL_Imax kWh
Enero	282.20	96.10	11.52	11.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Febrero	262.80	96.20	10.31	10.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marzo	358.30	96.50	12.95	12.91	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Abril	413.50	96.70	14.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mayo	387.90	96.70	13.11	13.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Junio	397.10	96.80	13.07	13.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Julio	408.40	96.70	13.87	13.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agosto	436.10	96.80	14.62	14.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Setiembre	405.50	96.60	14.08	14.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Octubre	421.20	96.60	14.68	14.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noviembre	395.80	96.60	13.77	13.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diciembre	364.90	96.50	13.07	13.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AÑO	4533.70	96.60	159.03	158.96	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota. PVSyst (2024).

4. Uso de energía y necesidades del usuario

Nueva variante de simulación
Uso de energía y necesidades del usuario

	E_Avail kWh	E_User kWh	E_Grid kWh	SolFrac proporción	PR proporción
Enero	282.20	691.90	65.80	0.31	0.90
Febrero	262.80	625.00	65.70	0.32	0.89
Marzo	358.30	691.90	111.70	0.36	0.90
Abril	413.50	669.60	154.40	0.39	0.89
Mayo	387.90	691.90	133.90	0.37	0.89
Junio	397.10	669.60	142.30	0.38	0.89
Julio	408.40	691.90	143.30	0.38	0.89
Agosto	436.10	691.90	162.50	0.40	0.88
Setiembre	405.50	669.60	146.20	0.39	0.88
Octubre	421.20	691.90	150.60	0.39	0.87
Noviembre	395.80	669.60	133.10	0.39	0.87
Diciembre	364.90	691.90	107.00	0.37	0.89
AÑO	4533.70	8146.80	1516.60	0.37	0.89

Nota. PVSyst (2024).

5. Coeficientes de rendimiento

Nueva variante de simulacion Coeficientes de rendimiento normalizados

	Yr	Lc	Ya	Ls	Yf	Lcr	Lsr	PR
	kWh/m ² /día	kWh/kWp/día	kWh/kWp/día	kWh/kWp/día	kWh/kWp/día	proporción	proporción	proporción
Enero	4.85	0.33	4.51	0.18	4.33	0.07	0.04	0.90
Febrero	5.00	0.35	4.64	0.18	4.47	0.07	0.04	0.89
Marzo	6.14	0.43	5.70	0.20	5.50	0.07	0.03	0.90
Abril	7.37	0.59	6.79	0.22	6.56	0.08	0.03	0.89
Mayo	6.69	0.53	6.16	0.20	5.96	0.08	0.03	0.89
Junio	7.06	0.55	6.51	0.21	6.30	0.08	0.03	0.89
Julio	7.04	0.56	6.49	0.21	6.27	0.08	0.03	0.89
Agosto	7.62	0.69	6.92	0.22	6.70	0.09	0.03	0.88
Setiembre	7.31	0.65	6.66	0.22	6.44	0.09	0.03	0.88
Octubre	7.42	0.73	6.70	0.23	6.47	0.10	0.03	0.87
Noviembre	7.20	0.70	6.50	0.22	6.28	0.10	0.03	0.87
Diciembre	6.30	0.50	5.81	0.20	5.60	0.08	0.03	0.89
AÑO	6.67	0.55	6.12	0.21	5.91	0.08	0.03	0.89

Nota. PVSyst (2024).

6. Sumas mensuales por hora

Nueva variante de simulacion Sumas mensuales por hora para E_Grid(kWh)

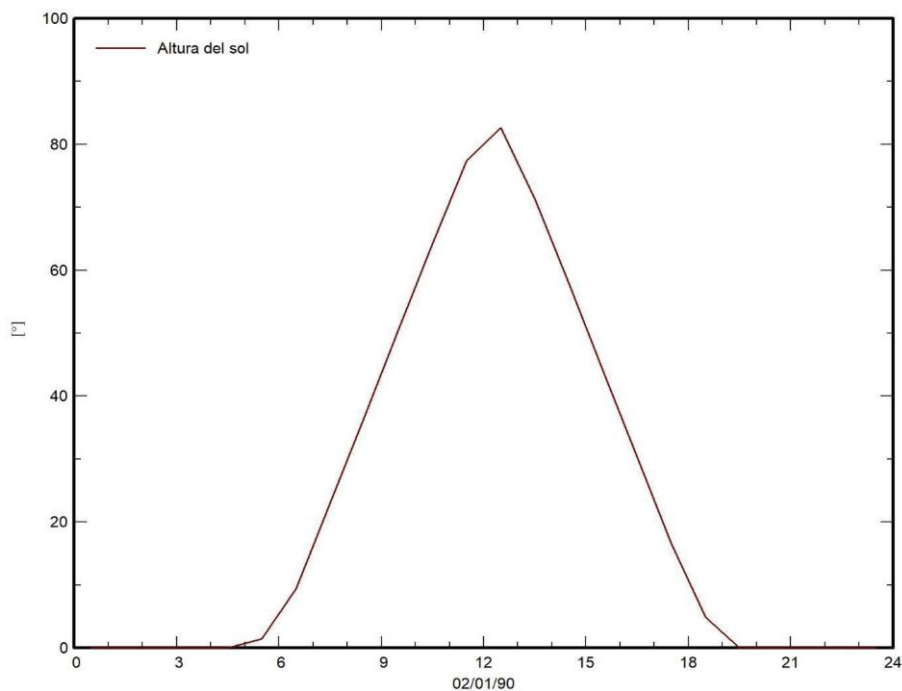
	0H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H	
Enero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.40	14.70	14.40	15.70	7.50	4.10	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70	14.40	14.80	12.80	9.00	5.20	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marzo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	15.10	24.00	25.00	22.30	14.30	7.80	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Abril	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	16.80	24.90	29.00	29.10	24.60	18.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mayo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	13.70	23.40	26.30	25.60	21.70	15.00	5.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Junio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	13.30	22.30	26.30	26.90	25.50	19.00	8.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Julio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	12.90	21.80	26.90	27.70	25.40	19.30	8.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agosto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	15.40	24.80	29.70	30.80	28.10	21.60	10.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Setiembre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	15.00	23.80	27.70	27.30	12.60	18.00	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Octubre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.60	17.90	25.30	27.50	26.90	24.70	17.40	5.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noviembre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	15.40	22.10	25.10	25.60	22.60	14.40	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diciembre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	12.80	20.30	25.60	21.20	14.60	9.40	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AÑO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.70	164.30	261.30	298.40	292.10	241.70	169.20	63.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota. PVSyst (2024).

Anexo 2. Figuras de funcionamiento y rendimiento

1. Altura del sol

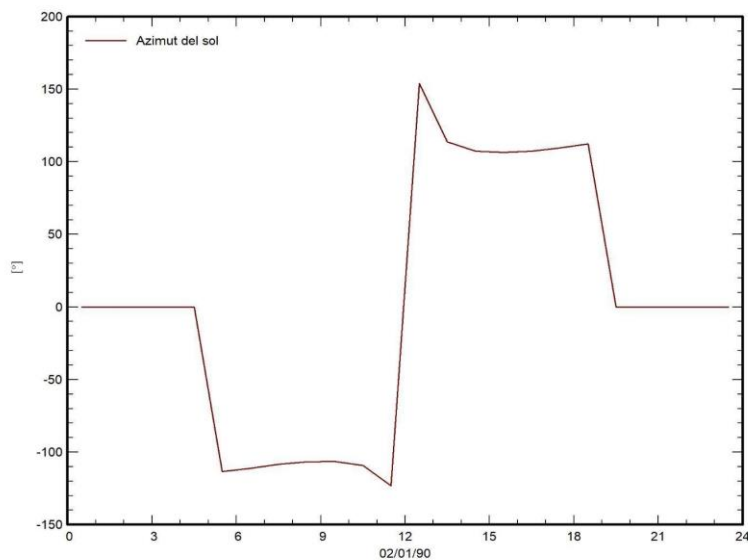
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

2. Acimut del Sol

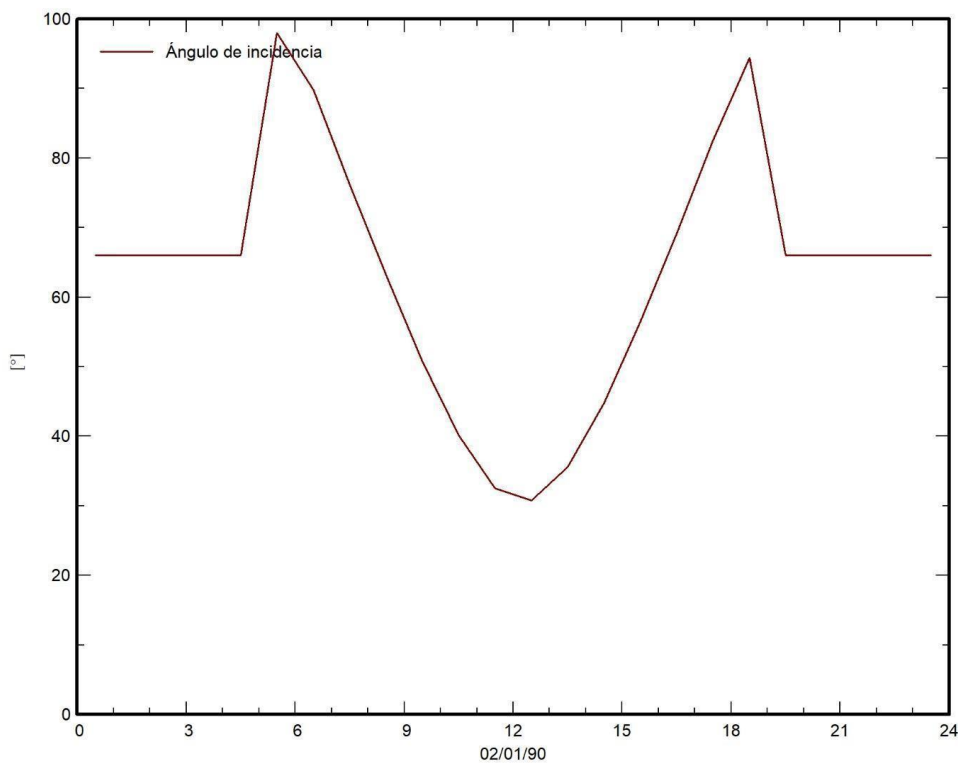
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

3. Ángulo de Incidencia

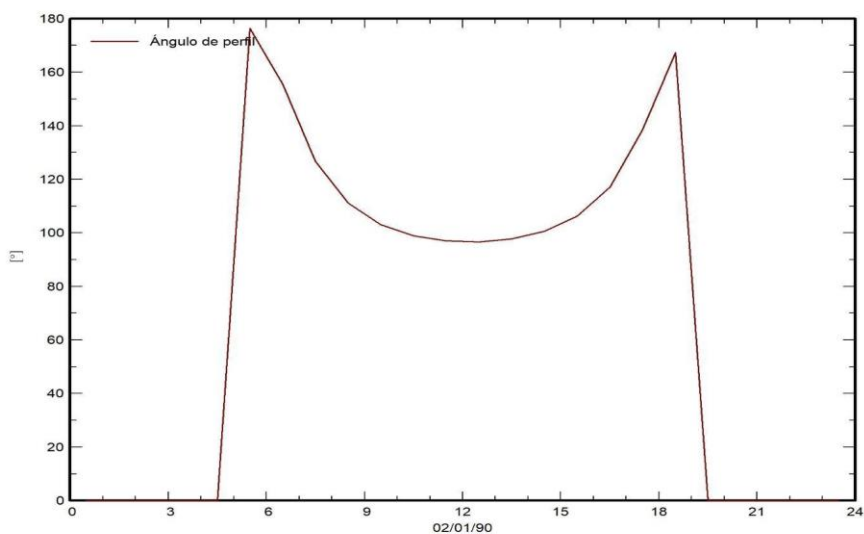
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

4. Ángulo del perfil

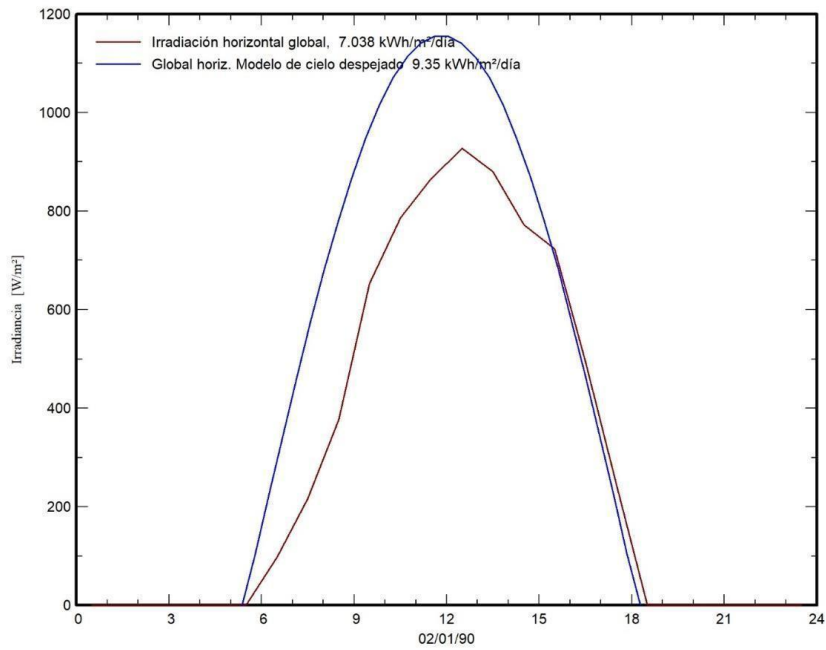
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

5. Irradiancia horizontal global

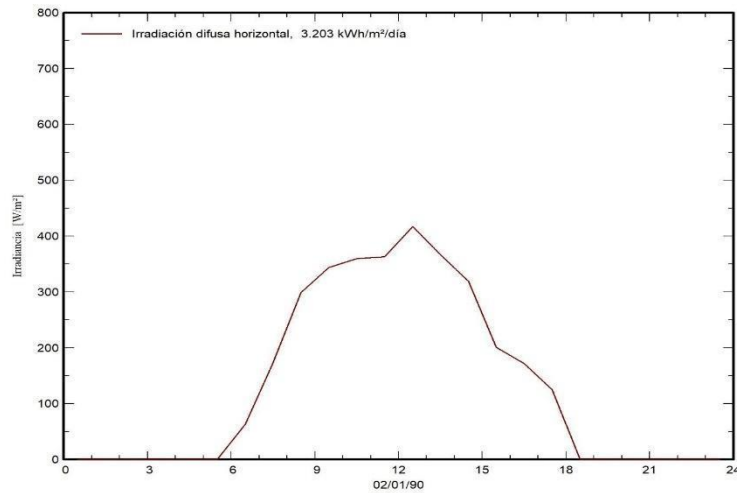
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

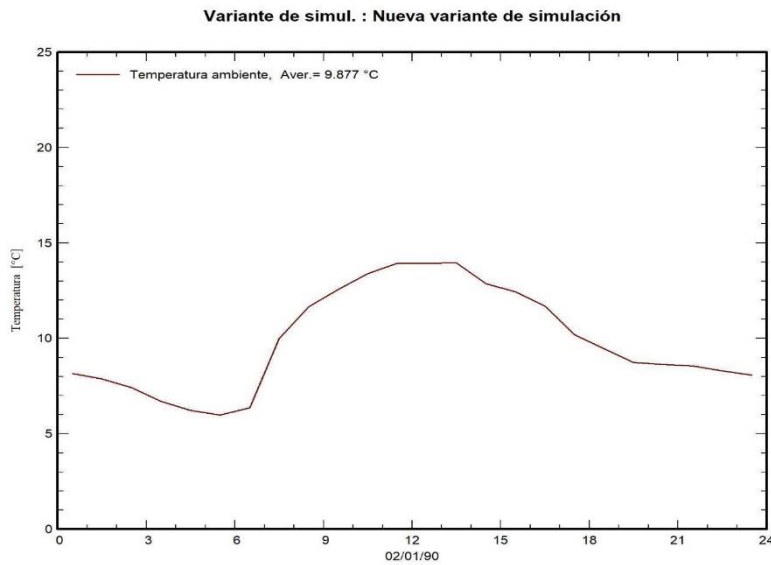
6. Irradiación difusa horizontal

Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

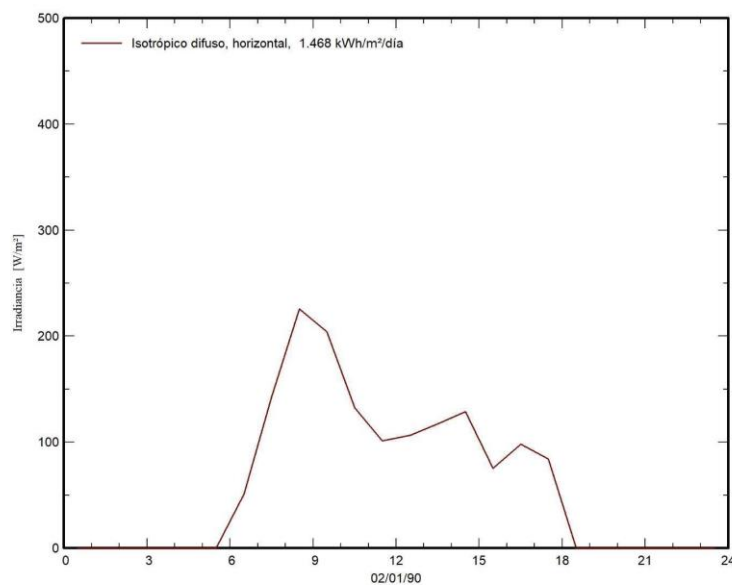
7. Temperatura ambiente



Nota. PVSyst (2024).

8. Isotrópico difuso horizontal

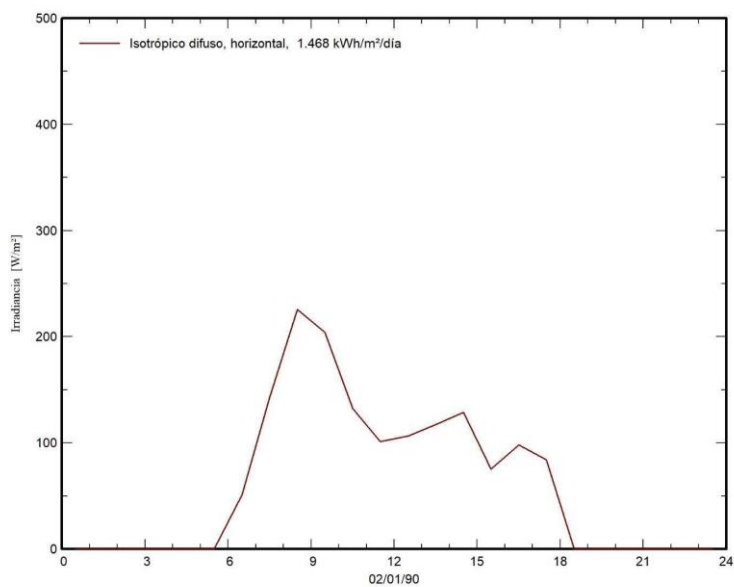
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

9. Isotrópico difuso horizontal

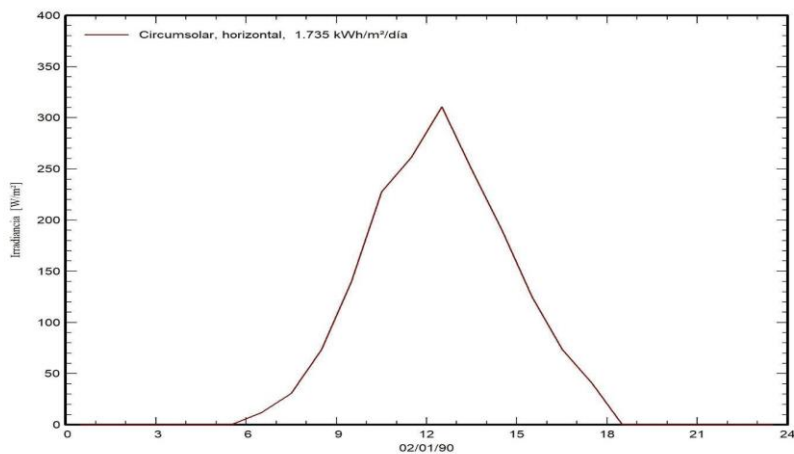
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

10. Circumsolar Horizontal

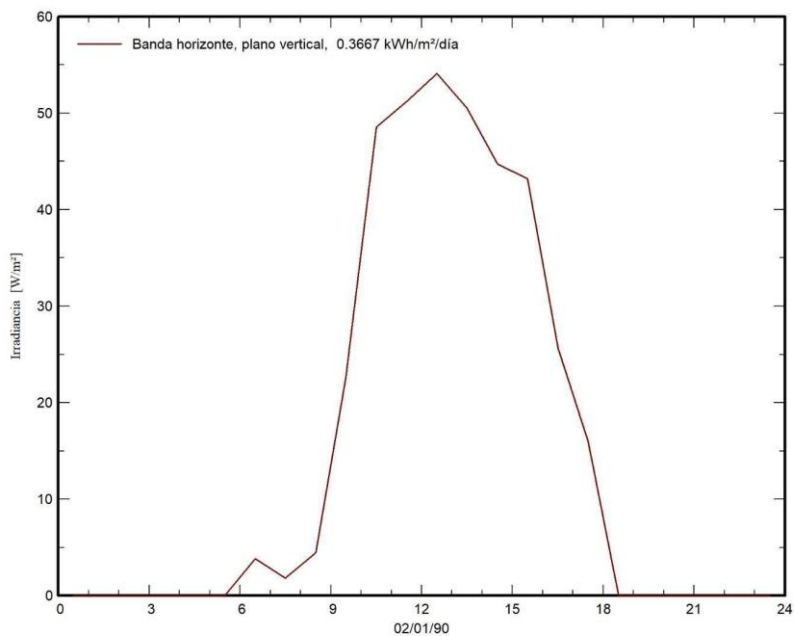
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

11. Banda horizontal en plano vertical

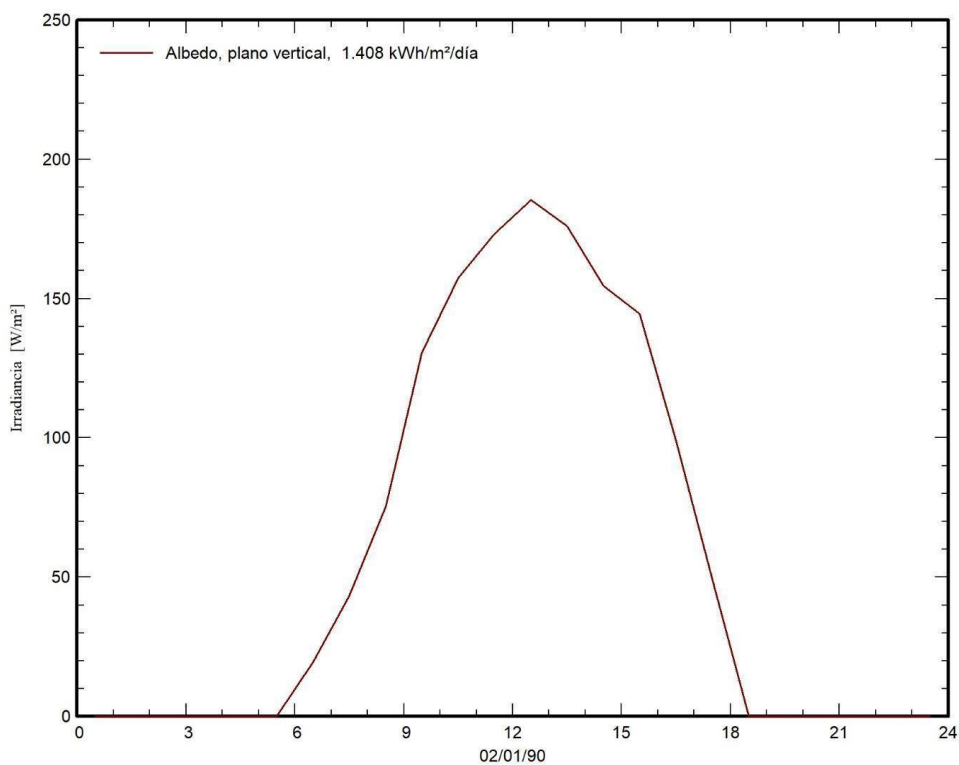
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

12. Albedo en pleno vertical

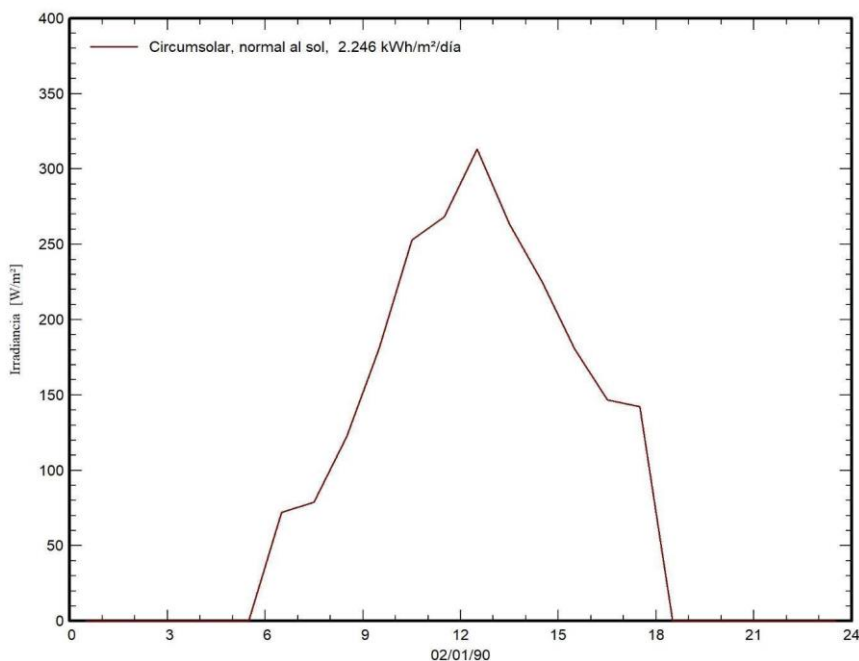
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

13. Circumsolar normal al sol

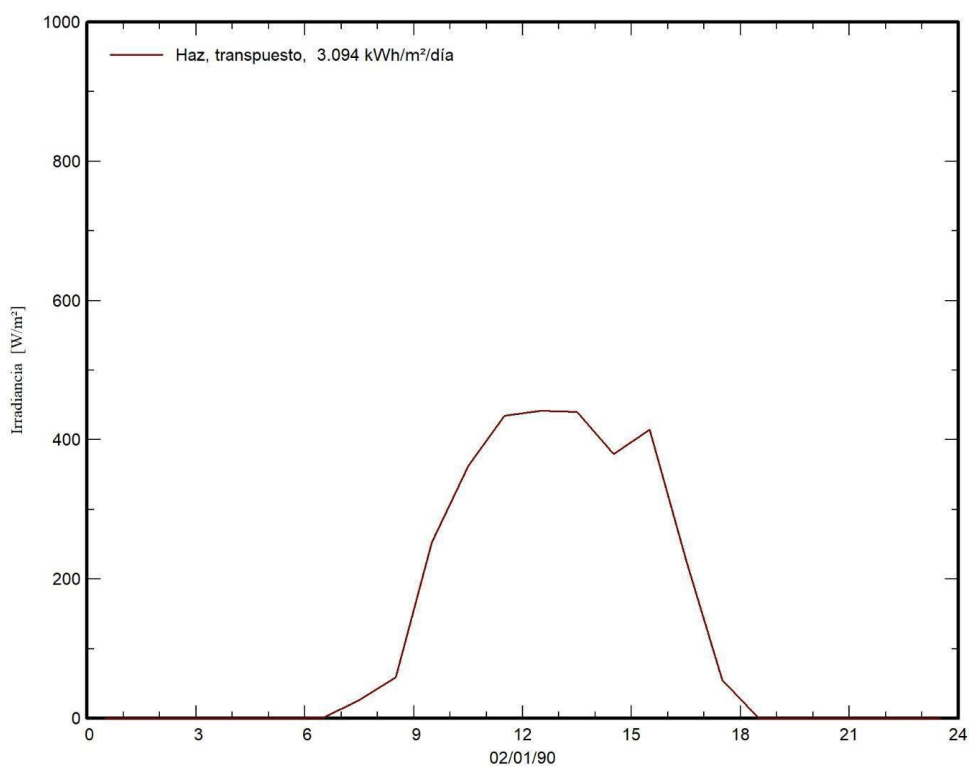
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

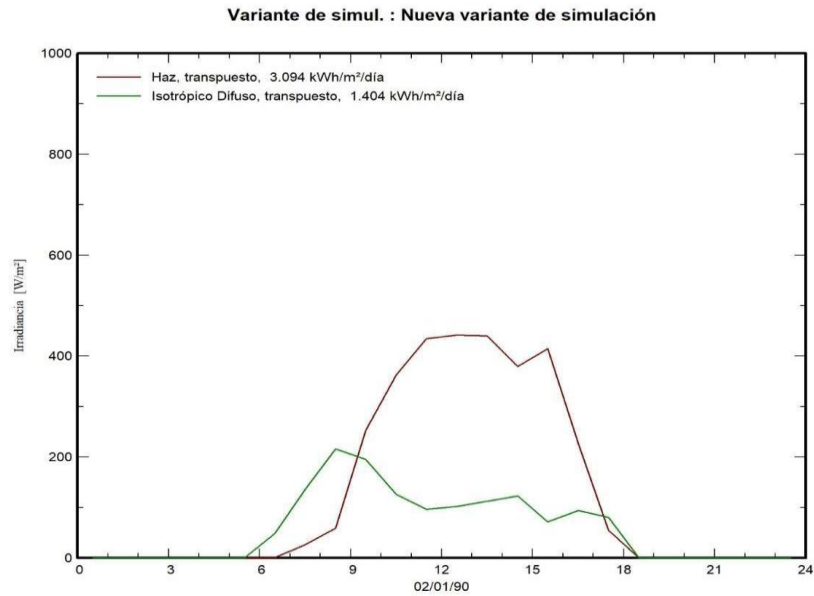
14. Haz transpuesto

Variante de simul. : Nueva variante de simulación



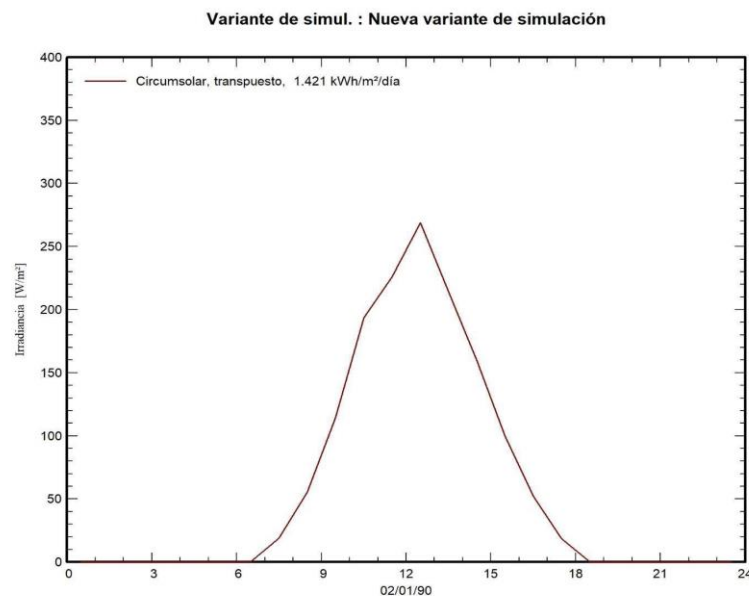
Nota. PVSyst (2024).

15. Isotrópico difuso traspuesto



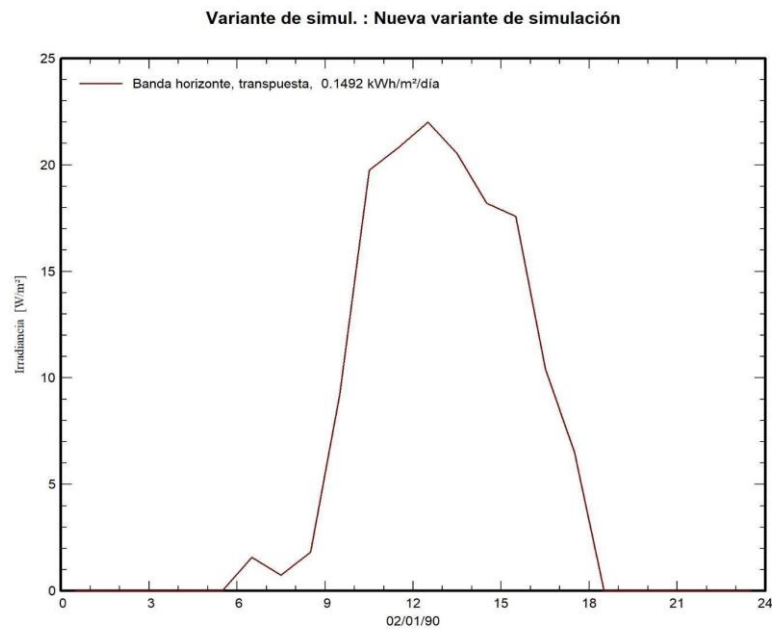
Nota. PVSyst (2024).

16. Circumsolar traspuesto



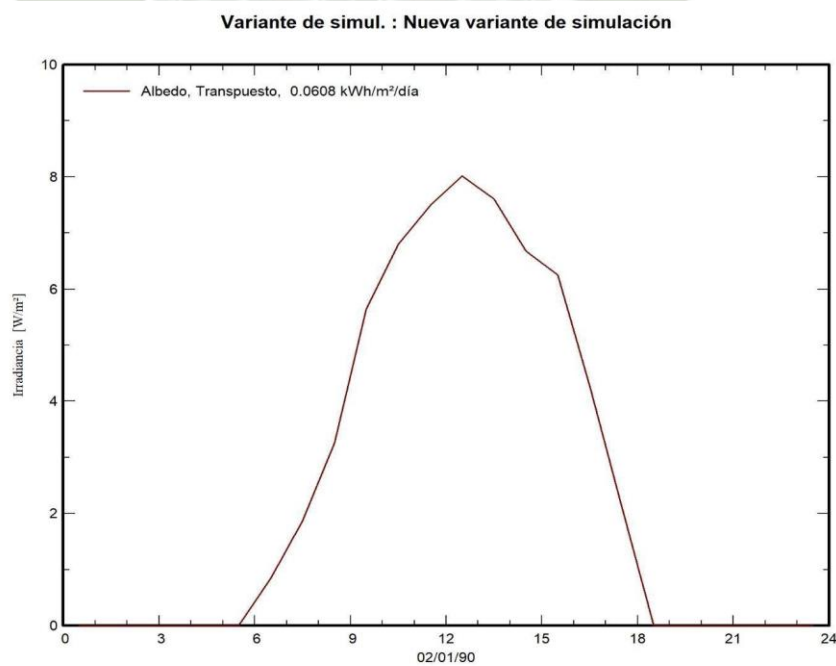
Nota. PVSyst (2024).

17. Banda horizontal transpuesta



Nota. PVSyst (2024).

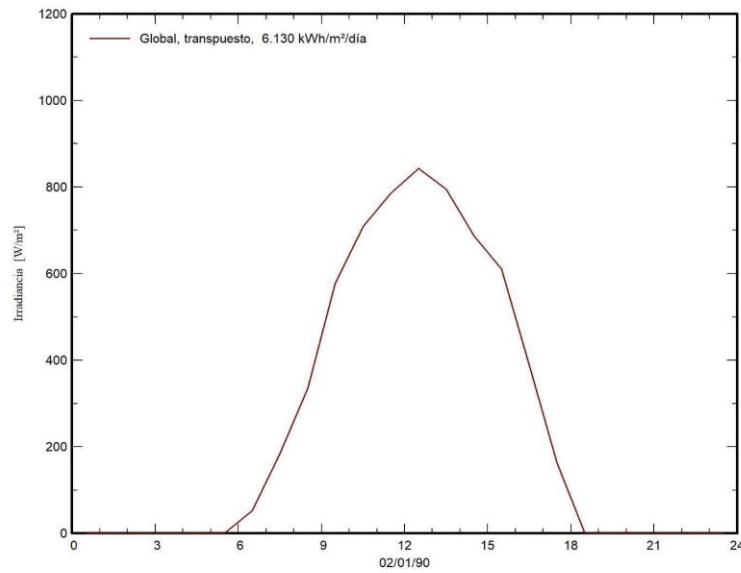
18. Albedo transpuesto



Fuente: PVSyst (2024).

19. Global

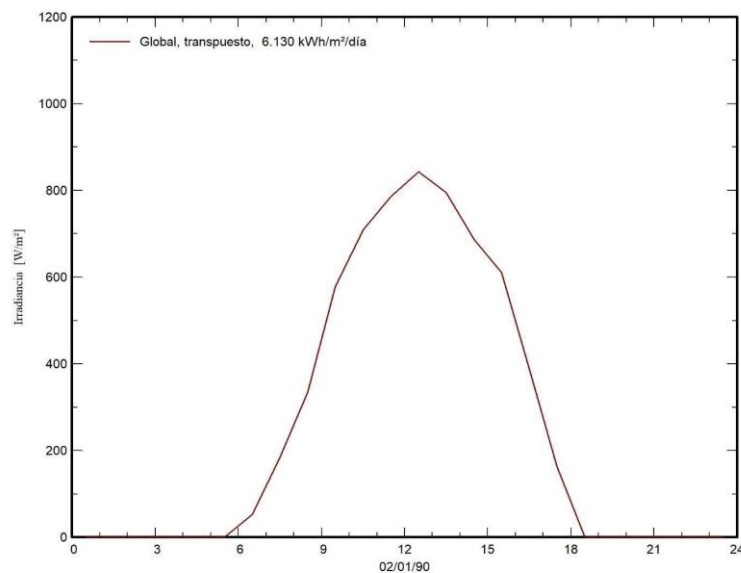
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

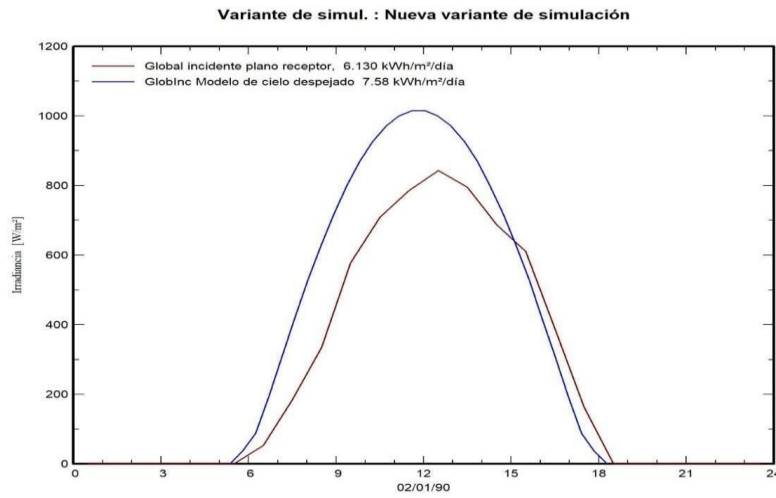
20. transpuesto

Variante de simul. : Nueva variante de simulación



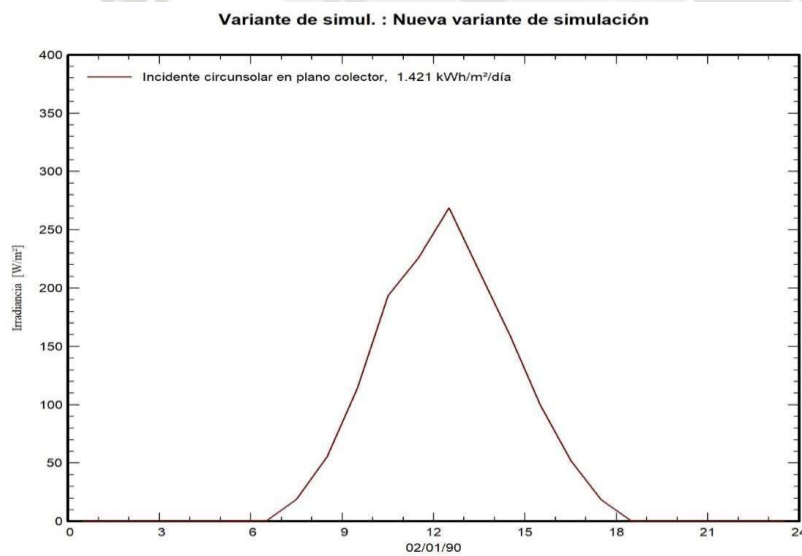
Nota. PVSyst (2024).

21. Global modelo del cielo despejado



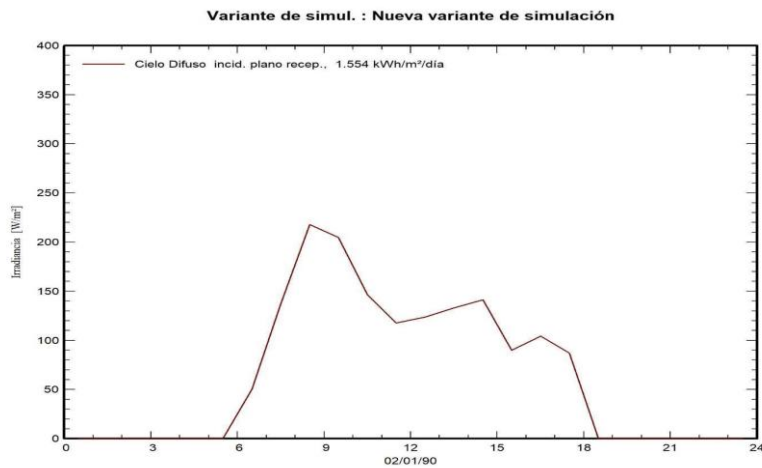
Nota. PVSyst

22. Incidente circunsolar en plano colector



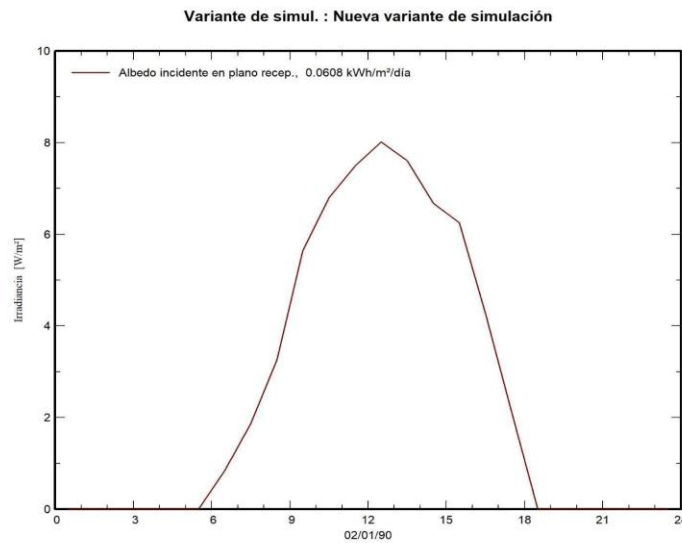
Nota. PVSyst (2024).

23. Cielo difuso incidencia en pleno receptor



Nota. PVSyst (2024).

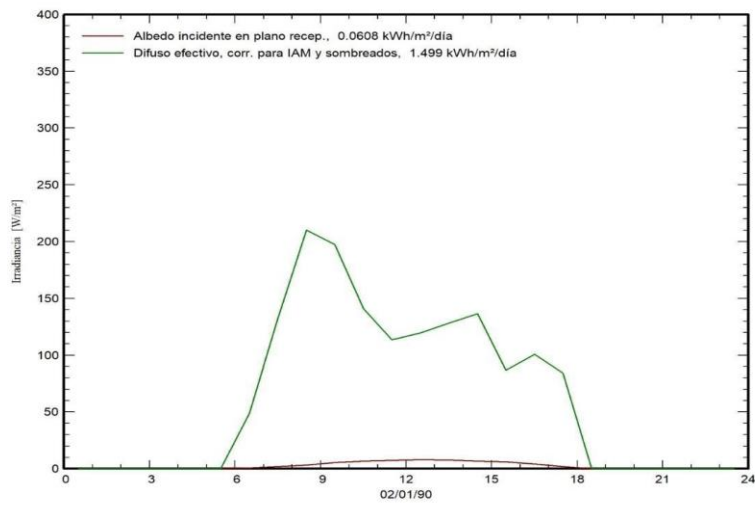
24. Albedo incidente en pleno receptor



Nota. PVSyst (2024).

25. Difuso efectivo para áreas sombreadas

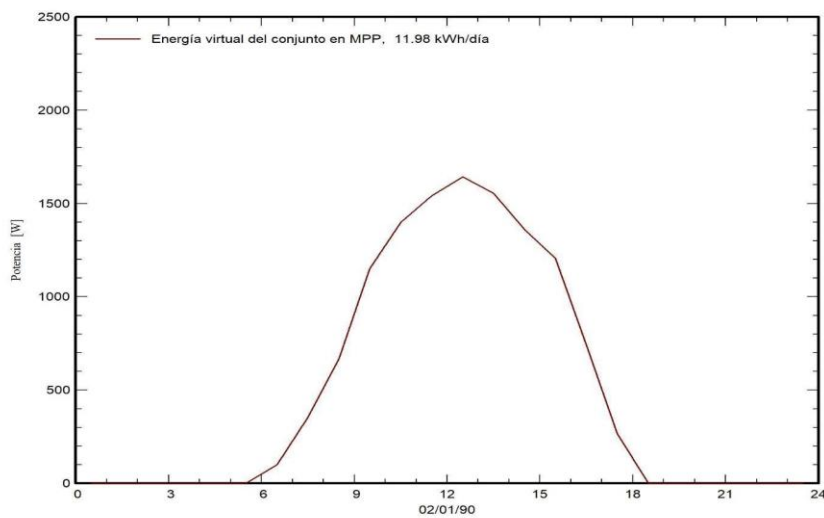
Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

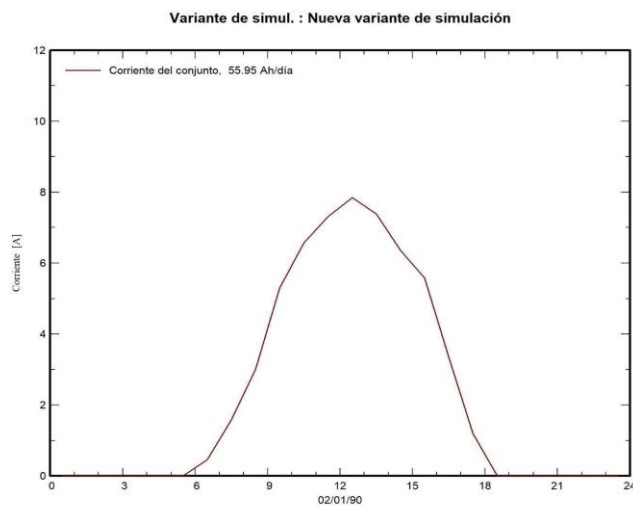
26. Energía virtual de conjunto en Máxima potencia

Variante de simul. : Nueva variante de simulación



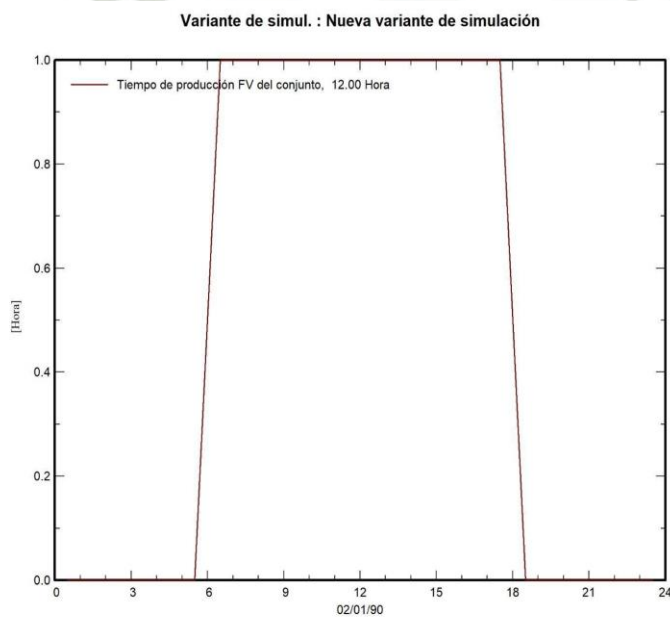
Nota. PVSyst (2024).

27. Corriente del conjunto



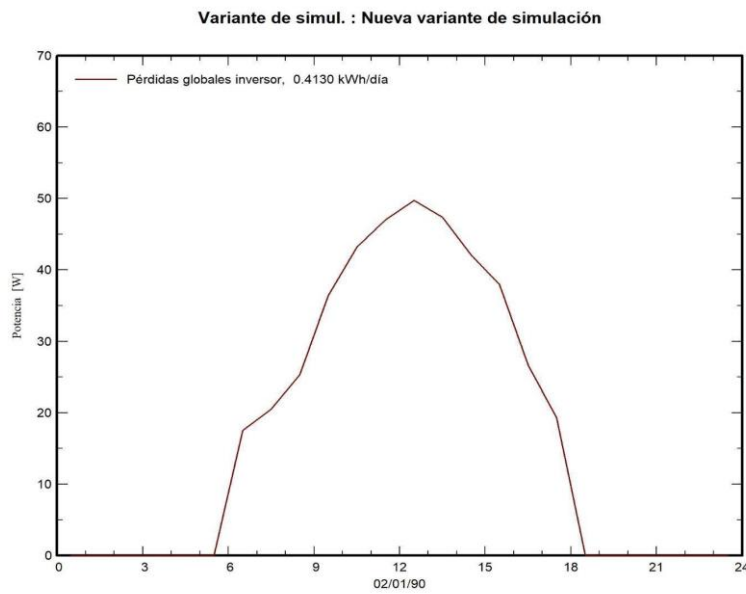
Nota. PVSyst (2024).

28. Tiempo de producción para el sistema fotovoltaico en conjunto



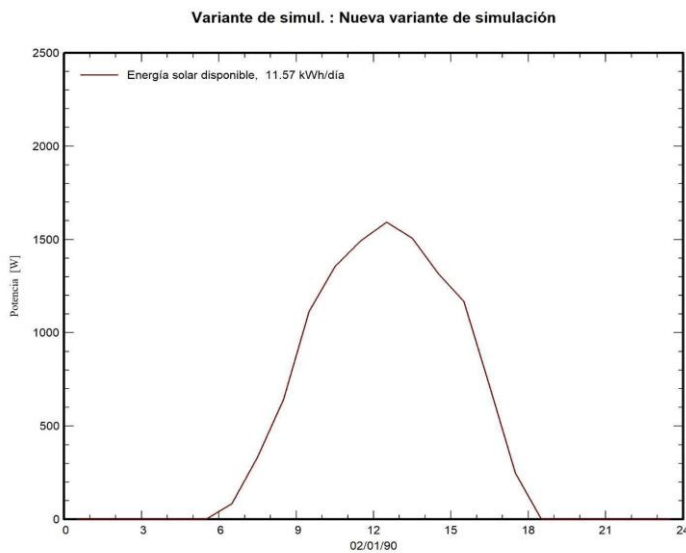
Nota. PVSyst (2024).

29. Pérdidas globales del inversor



Nota. PVSyst (2024).

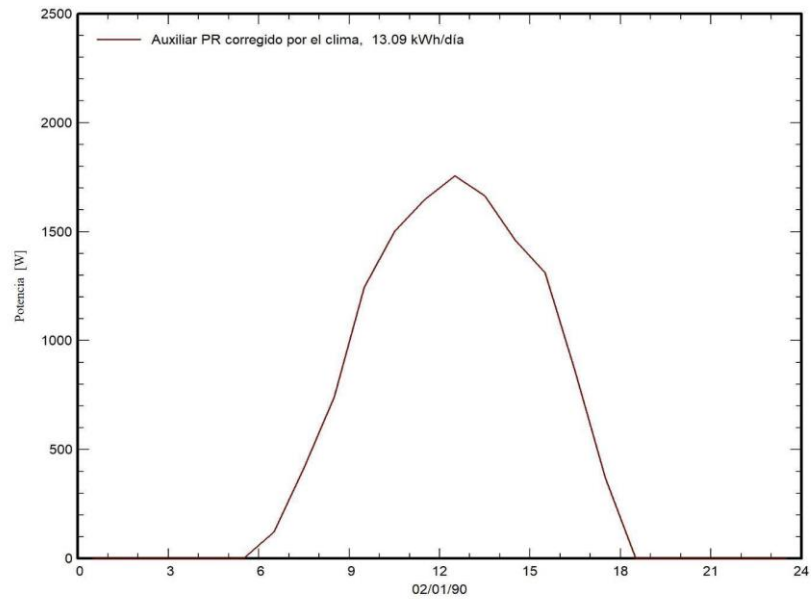
30. Energía solar disponible



Nota. PVSyst (2024).

31. Auxiliar PR corregido por el clima

Variante de simul. : Nueva variante de simulación



Nota. PVSyst (2024).

Anexo 3. Informe Final

1. Resumen del proyecto

Project summary			
Geographical Site Zamacola Perú	Situation Latitude Longitude Altitude Time zone	-16.32 °S -71.54 °W 2736 m UTC-5	Project settings Albedo 0.20
Weather data Zamacola PVGIS api TMY			
System summary			
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth	Near Shadings No Shadings		User's needs Fixed constant load 930 W Global 8147 kWh/Year
System information PV Array Nb. of modules Pnom total		7 units 2100 Wp	Inverters Nb. of units Pnom total Pnom ratio
			1 unit 3000 W 0.700
Results summary			
Produced Energy	4533.70 kWh/year	Specific production	2159 kWh/kWp/year
Used Energy	8146.80 kWh/year	Perf. Ratio PR	88.63 %
		Solar Fraction SF	37.03 %
Table of contents			
Project and results summary			2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses			3
Main results			4
Loss diagram			5
Predef. graphs			6
Single-line diagram			7

Nota. PVSyst (2024).

2. Parámetros y características del sistema

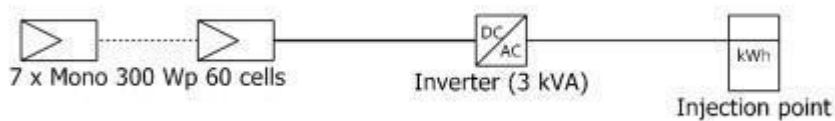
General parameters			
Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation		Sheds configuration	
Orientation		No 3D scene defined	
Fixed plane		Models used	
Tilt/Azimuth	24 / 0 °	Transposition	Perez
		Diffuse	Imported
		Circumsolar	separate
Horizon		User's needs	
Free Horizon		Fixed constant load	
		930 W	
		Global	
		8147 kWh/Year	

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	Mono 300 Wp 60 cells	Model	3 kWac inverter
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	300 Wp	Unit Nom. Power	3.00 kWac
Number of PV modules	7 units	Number of inverters	1 unit
Nominal (STC)	2100 Wp	Total power	3.0 kWac
Modules	1 strings x 7 in series	Operating voltage	125-440 V
At operating cond. (50°C)		Prom ratio (DC-AC)	0.70
Pmpp	1800 Wp		
U mpp	199 V		
I mpp	9.5 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	2.10 kWp	Total power	3 kWac
Total	7 modules	Number of inverters	1 unit
Module area	11.4 m²	Prom ratio	0.70
Cell area	10.0 m²		

Array losses			
Thermal Loss factor		DC wiring losses	
Module temperature according to irradiance		Global array res. 353 mΩ	
Uc (const)	23.0 W/m²K	Loss Fraction 1.5 % at STC	
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s		
Module mismatch losses		Module Quality Loss	
Loss Fraction 2.0 % at MPP		Loss Fraction -0.5 %	
IAM loss factor			
Incidence effect (IAM) Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AIR)=1.290			
0°	30°	50°	60°
70°	75°	80°	85°
90°			
1.000	0.999	0.987	0.962
0.892	0.816	0.681	0.440
0.000			

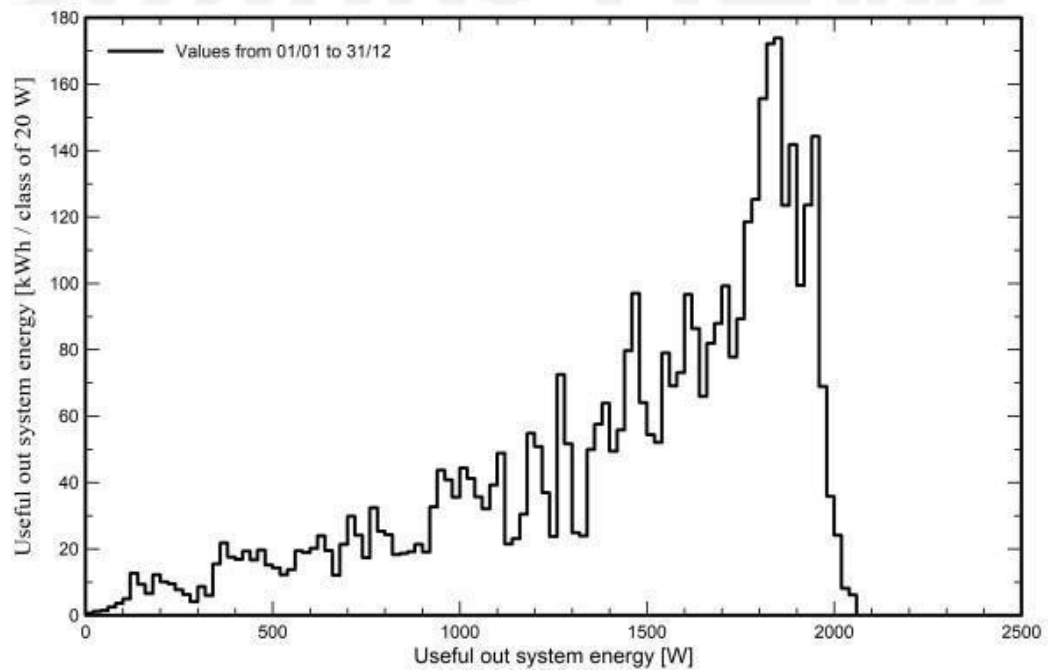
Nota. PVSyst (2024).

3. Diagrama lineal del sistema



Nota. PVSyst (2024).

4. Distribución de potencia de salida del sistema



Nota. PVSyst (2024).

Anexo 4. Evidencia fotográfica

1. Prototipo del sistema autosustentable para la gestión de energía y agua.



Nota. Elaboración Propia

2. Tren de tratamiento pre – experimental.



Nota. Elaboración Propia

3. Filtrado pre – experimental.



Nota. Elaboración Propia

4. Construcción del soporte.



Nota. Elaboración Propia

5. Armado del filtro multicapa.



Nota. Elaboración Propia

**Anexo 5. Tabla de Datos para Rendimiento de Simulación STOAT 5.0 para
Tratamiento de Aguas Grises**

Parámetro	Unidad	Afluente (Entrada)	Efluente (Salida Simulada)	% Remoción
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg/L	300 ⁽¹⁾	20	93.3%
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	280 ⁽²⁾	15	94.6%
Fósforo Total (P-Total)	mg/L	12 ⁽³⁾	2	83.3%
Nitrógeno Total (N- Total)	mg/L	40 ⁽⁴⁾	10	75.0%
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.0 x 10 ⁶ ⁽⁴⁾	1.0 x 10 ³	99.9%
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	4.0 ⁽²⁾	6.5	N/A (Mejora)
pH	ud.	6.9 ⁽²⁾	7.2	N/A (Estable)

Nota. Elaboración propia.

Anexo 6. Cuestionario del Estudio de Percepción

"Percepción y Aceptación Comunitaria del Sistema Autosustentable en la Urbanización Quinta Samay"

Introducción:

Buenos días, mi nombre es [Tu Nombre], soy tesista de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial. Estoy realizando un estudio para proponer un sistema de ahorro de energía y agua en su urbanización. Le agradecería me brinde 10 minutos para conocer su valiosa opinión. La información es anónima y será usada solo con fines académicos.

Sección A: Perfil del Residente

A1. ¿Cuál es su relación con la vivienda?

- Propietario(a)
 Inquilino(a)
 Otro: _____

A2. ¿Cuántas personas viven permanentemente en esta casa?

- 1-2 personas
 3-4 personas
 5 a más personas

Sección B: Percepción del Contexto (El Problema)

B1. En una escala del 1 (Nada) al 5 (Mucho), ¿qué tan preocupado(a) está usted por los siguientes temas?

Tema	Nada (1)	(2)	(3)	(4)	Mucho (5)
El costo mensual de su recibo de luz.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El costo mensual de su recibo de agua.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La escasez de agua y los futuros cortes en Arequipa.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Sección C: Propuesta 1 (Sistema Fotovoltaico Individual)

Le propongo un sistema de **paneles solares** instalado en *su* techo. La simulación muestra que este sistema cubre el 100% de su consumo promedio, con un **ahorro** que permite **recuperar la inversión en 3 años y 2 meses**.

C1. ¿Qué tan de acuerdo estaría con las siguientes afirmaciones sobre este sistema solar?

(1=Totalmente en desacuerdo, 5=Totalmente de acuerdo)

Afirmación	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
"Confío en que la tecnología solar funciona bien en Arequipa."	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
"El beneficio de ahorro económico (recupero en 3 años) es muy atractivo."	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
"Me preocupa la durabilidad o el mantenimiento de los equipos."	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
"La inversión inicial (costo) sería mi principal barrera."	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

C2. (Estudio de Mercado / Disposición al Pago)

La inversión para este sistema individual es de aprox. S/. 14,150. Si un banco le ofreciera un "Crédito Verde" para pagarlo en 5 años (aprox. S/. 310/mes), sabiendo que su ahorro en luz es de S/. 200/mes promedio, ¿usted consideraría tomarlo?

- Sí. El ahorro casi paga la cuota y luego todo es ganancia.
 Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.
 No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.

() No. Es demasiado dinero de inversión.

Sección D: Propuesta 2 (Sistema de Aguas Grises Comunitario)

Le propongo un sistema comunitario para recolectar el agua de duchas y lavadoras de las 80 casas, tratarla en una planta central (ubicada en un área común) y usarla para regar el Parque Almudena. El beneficio es ambiental (ahorrar 20 m³ de agua potable al mes) y reducir costos municipales de riego.

D1. ¿Qué tan de acuerdo estaría con las siguientes afirmaciones sobre este sistema de agua? (1=Totalmente en desacuerdo, 5=Totalmente de acuerdo)

Afirmación	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
"Es una excelente idea para cuidar el agua en Arequipa."	()	()	()	()	()
"Me parece bien que la urbanización sea pionera en ecología."	()	()	()	()	()
"Me preocupa que las obras de las tuberías (zanjas) sean molestas."	()	()	()	()	()
"Me preocupa que la planta de tratamiento pueda generar olores."	()	()	()	()	()
"Me preocupa quién administrará y mantendrá este sistema común."	()	()	()	()	()

D2. (Estudio de Mercado / Disposición a Contribuir)

Este sistema es un bien común. El costo de la red y la planta, dividido entre las 80 viviendas, es de aproximadamente S/. 415 por familia (pago único) para la construcción. ¿Estaría dispuesto(a) a aportar esta cuota para la implementación del sistema?

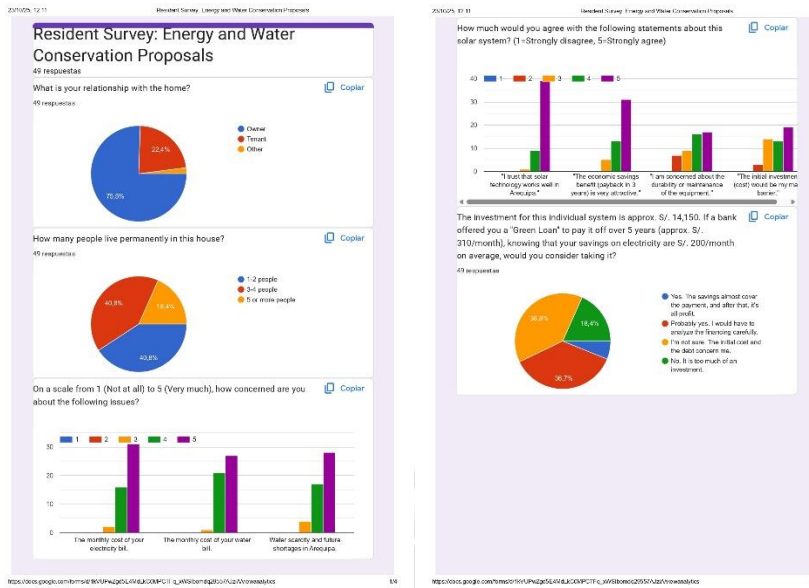
- () Sí. Es un aporte razonable por el beneficio ambiental y para el parque.
- () Sí, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.
- () No estoy seguro. Necesitaría más garantías de que funcionará bien y sin olores.
- () No. No estoy interesado(a) en pagar por un sistema comunitario.

Sección E: Cierre

E1. ¿Tiene alguna pregunta o comentario adicional sobre la propuesta?

¡Muchas gracias por su valioso tiempo!

Anexo 7. Gráficos de Respuestas al Cuestionario.



Anexo 8. Excel con Respuestas al Cuestionario

Timestamp	What is your relationship with the home?	How many people live permanently in this house?	On a scale from 1 (Not at all) to 5 (Very much), how concerned are you about the following issues? (Solar technology)	On a scale from 1 (Not at all) to 5 (Very much), how concerned are you about the following issues? (Economic savings)	On a scale from 1 (Not at all) to 5 (Very much), how concerned are you about the following issues? (Investment)
10/23/2025 11:09:25	Owner	3-4 people	4	4	4
10/23/2025 11:10:40	Owner	1-2 people	5	5	5
10/23/2025 11:11:51	Tenant	1-2 people	5	5	5
10/23/2025 11:12:44	Owner	3-4 people	5	5	5
10/23/2025 11:14:30	Owner	3-4 people	4	4	4
10/23/2025 11:14:32	Owner	3-4 people	4	4	4
10/23/2025 11:15:59	Owner	1-2 people	4	4	4
10/23/2025 11:17:10	Tenant	1-2 people	5	5	5
10/23/2025 11:17:47	Owner	5 or more people	5	5	5
10/23/2025 11:18:25	Owner	5 or more people	4	4	4
10/23/2025 11:18:57	Owner	1-2 people	5	5	5
10/23/2025 11:19:32	Owner	3-4 people	3	5	5
10/23/2025 11:20:27	Tenant	1-2 people	4	4	4
10/23/2025 11:21:06	Owner	3-4 people	4	5	5
10/23/2025 11:21:17	Owner	3-4 people	4	4	4
10/23/2025 11:22:03	Owner	1-2 people	4	5	5
10/23/2025 11:22:13	Tenant	1-2 people	4	4	4
10/23/2025 11:22:57	Owner	5 or more people	5	4	4
10/23/2025 11:23:53	Tenant	3-4 people	5	5	5
10/23/2025 11:23:58	Owner	1-2 people	4	4	4

Anexo 9. Operacionalización de la variable

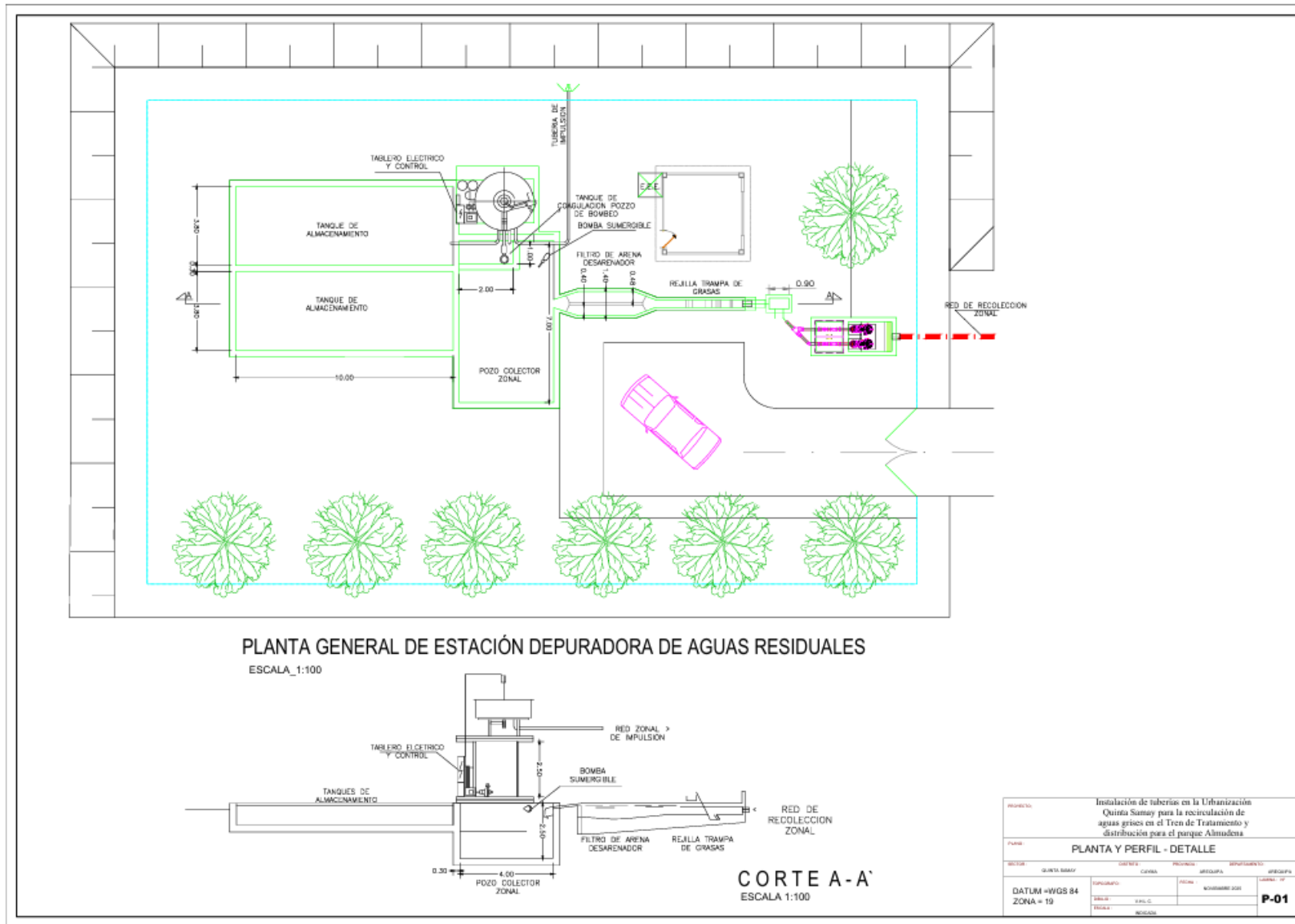
Matriz de Operacionalización de variables									
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Ítems/Preguntas	Escala	Técnica	Instrumento	Unidad de análisis
Percepción del usuario sobre el sistema autosustentable	Conjunto de creencias, actitudes y disposición de los residentes frente al problema hídrico energético y la propuesta de sistemas fotovoltaicos y de aguas grises	Puntaje obtenido de las respuestas del cuestionario aplicado a 49 viviendas, medido mediante ítems Likert y preguntas cerradas	1. Percepción del contexto	Nivel de preocupación del residente respecto a costos y escasez	B1. ¿Qué tan preocupado(a) está usted por los siguientes temas? - El costo mensual de su recibo de luz - El costo mensual de su recibo de agua - La escasez de agua y los futuros cortes en Arequipa	Likert 1-5	Encuesta	Cuestionario	Vivienda
			2. Aceptación del sistema fotovoltaico	Grado de acuerdo frente a beneficios y riesgos percibidos	C1. ¿Qué tan de acuerdo estaría con las siguientes afirmaciones sobre este sistema solar? - Confío en que la tecnología solar funciona bien en Arequipa - El beneficio de ahorro económico (recupero en 3 años) es muy atractivo - Me preocupa la durabilidad o el mantenimiento de los equipos - La inversión inicial (costo) sería mi principal barrera	Likert 1-5	Encuesta	Cuestionario	Vivienda
			3. Disposición económica hacia el sistema fotovoltaico	Nivel de intención de asumir financiamiento individual	C2. ¿Consideraría tomar un Crédito Verde para pagar el sistema fotovoltaico? - Sí. El ahorro casi paga la cuota y luego todo es ganancia - Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento - No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan - No. Es demasiado dinero de inversión	Respuesta cerrada de elección única	Encuesta	Cuestionario	Vivienda
			4. Aceptación del sistema de aguas grises comunitario	Grado de acuerdo con beneficios y preocupaciones sobre el sistema	D1. ¿Qué tan de acuerdo estaría con las siguientes afirmaciones sobre este sistema de agua? - Es una excelente idea para cuidar el agua en Arequipa - Me parece bien que la urbanización sea pionera en ecología - Me preocupa que las obras de las tuberías (zanjas) sean molestas - Me preocupa que la planta de tratamiento pueda generar olores - Me preocupa quién administrará y mantendrá este sistema común	Likert 1-5	Encuesta	Cuestionario	Vivienda
			5. Disposición económica hacia el sistema de aguas grises	Intención de contribuir económicamente al sistema comunitario	D2. ¿Estaría dispuesto(a) a aportar S/. 415 por familia para la construcción? - Sí. Es un aporte razonable - Sí, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo - No estoy seguro. Necesitaría más garantías - No. No estoy interesado(a)	Respuesta cerrada de elección única	Encuesta	Cuestionario	Vivienda

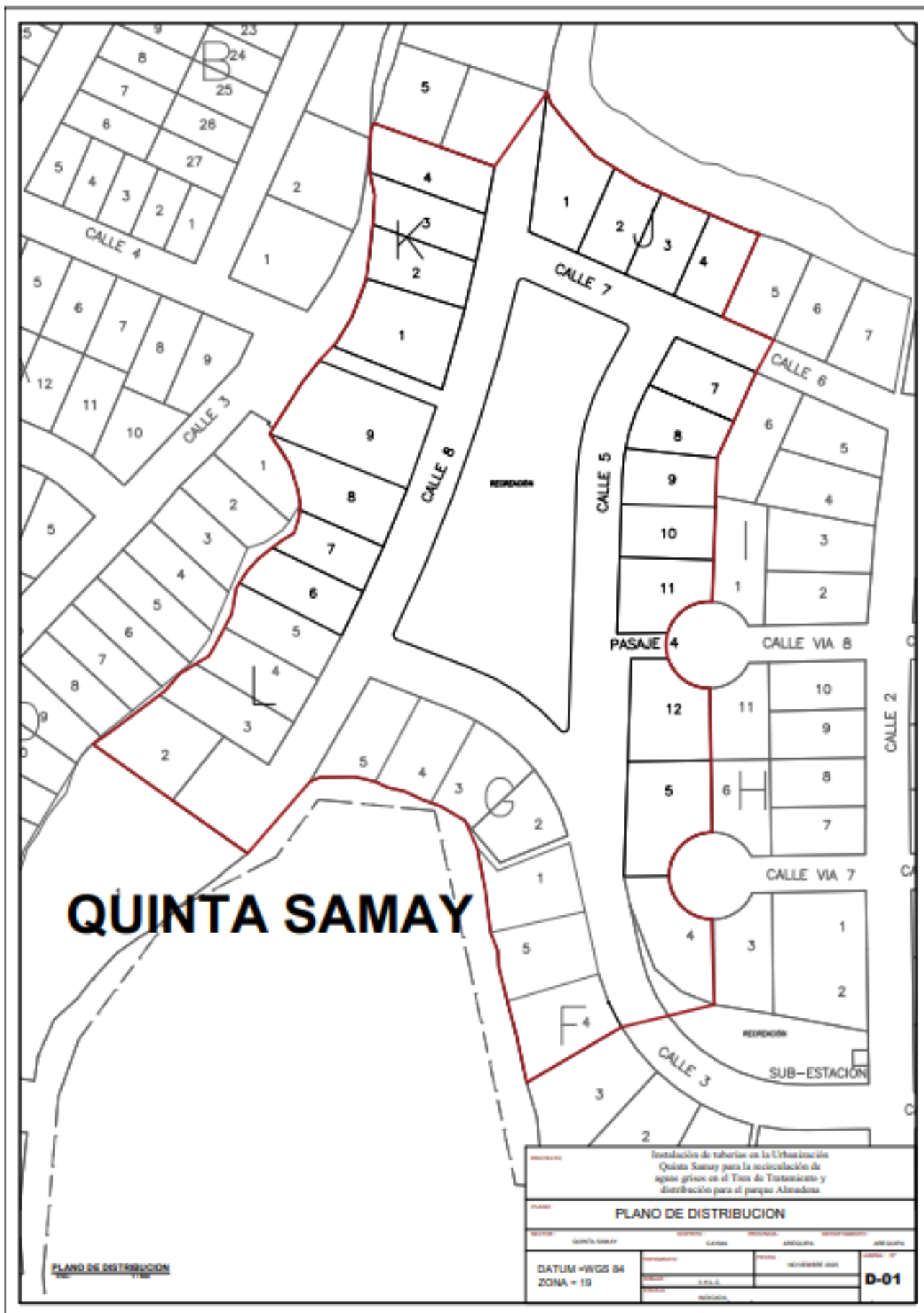
Nota:

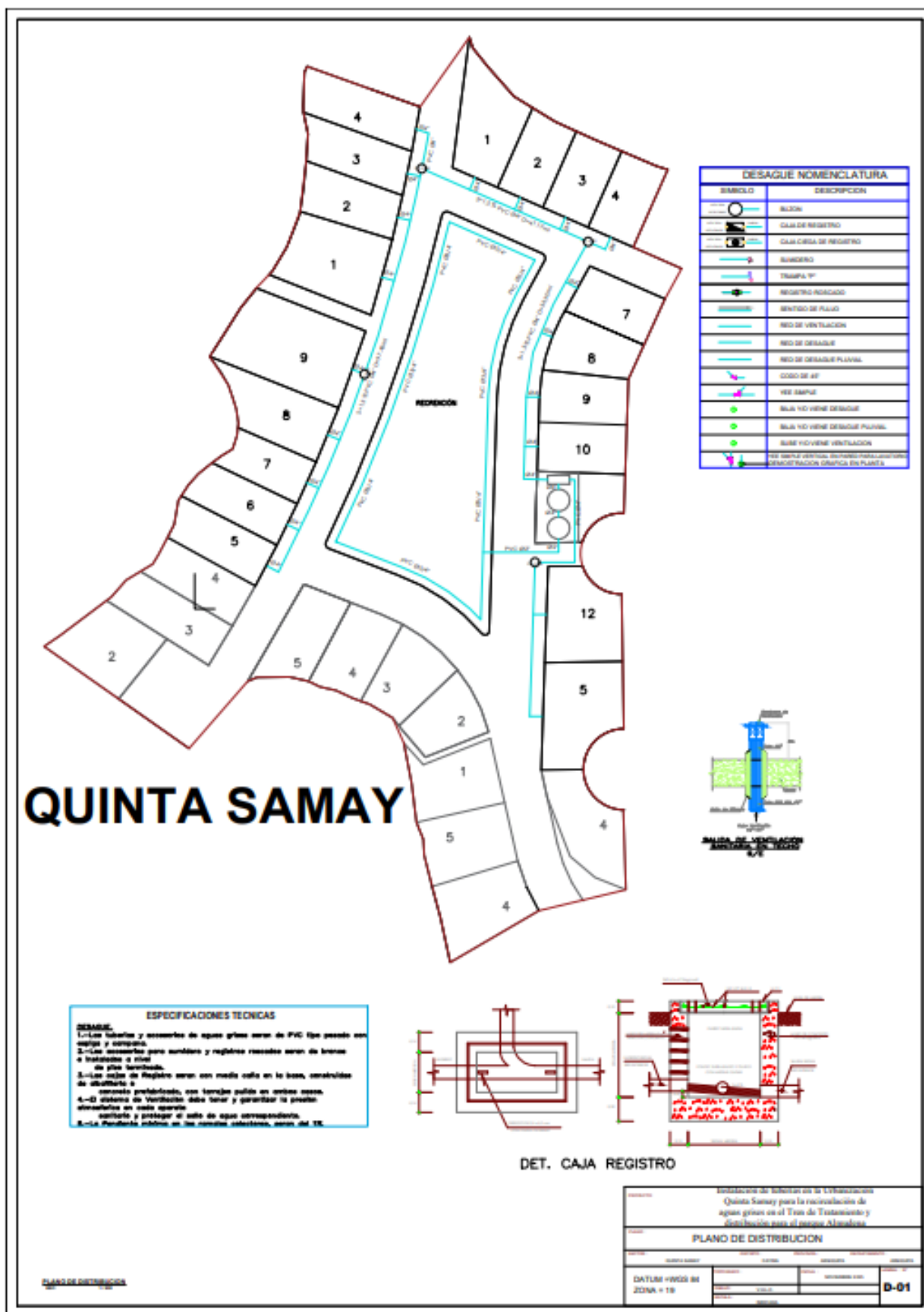
Sección A (Perfil): Recopila datos sociodemográficos
Sección E (Comentario abierto): No es cuantificable

Anexo 10. Base de datos

Encuesta	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17
1	Propietario	3-4 Personas	4	4	4	5	4	3	5	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
2	Propietario	1-2 Personas	5	5	5	5	5	5	5	Si. El ahorro casi paga la cuota y luego todo es ganancia.	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
3	Inquilino	1-2 Personas	5	5	3	5	5	4	4	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	4	4	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
4	Propietario	3-4 Personas	5	5	5	5	5	5	5	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	5	5	5	Si. Es un aporte razonable por el beneficio ambiental y para el parque.	
5	Propietario	3-4 Personas	4	4	5	5	5	5	5	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
6	Propietario	3-4 Personas	4	4	4	5	4	2	2	No. Es demasiado dinero de inversión	5	5	2	3	4	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
7	Propietario	1-2 Personas	4	4	4	5	5	5	5	No. Es demasiado dinero de inversión	4	4	4	4	4	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
8	Inquilino	1-2 Personas	5	5	5	5	5	5	5	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	4	4	5	5	5	No estoy seguro. Necesitaría más garantías de que funcionará bien y sin olores.	
9	Propietario	5 A más personas	5	5	5	5	5	5	5	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	3	5	5	5	5	No estoy seguro. Necesitaría más garantías de que funcionará bien y sin olores.	
10	Propietario	5 A más personas	4	4	4	5	5	5	5	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	4	4	5	4	4	No. No estoy interesado(a) en pagar por un sistema comunitario.	
11	Propietario	1-2 Personas	5	5	5	5	3	2	4	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	3	3	2	Si. Es un aporte razonable por el beneficio ambiental y para el parque.	
12	Propietario	3-4 Personas	3	5	5	3	3	3	3	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	3	3	5	5	5	No. No estoy interesado(a) en pagar por un sistema comunitario.	
13	Inquilino	1-2 Personas	4	4	3	4	4	4	4	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
14	Propietario	3-4 Personas	4	5	4	5	4	2	3	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	3	3	2	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
15	Propietario	3-4 Personas	4	4	4	5	5	5	5	No. Es demasiado dinero de inversión	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
16	Propietario	1-2 Personas	4	5	4	4	3	4	4	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	3	2	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
17	Inquilino	1-2 Personas	4	4	5	5	5	3	4	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
18	Propietario	5 A más personas	5	4	5	5	5	2	3	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	3	2	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
19	Inquilino	3-4 Personas	5	5	4	5	5	5	5	No. Es demasiado dinero de inversión	3	4	4	4	4	No. No estoy interesado(a) en pagar por un sistema comunitario.	
20	Propietario	1-2 Personas	4	4	5	5	5	2	2	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	4	4	3	3	3	No estoy seguro. Necesitaría más garantías de que funcionará bien y sin olores.	
21	Propietario	5 A más personas	5	5	5	5	5	5	5	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
22	Inquilino	3-4 Personas	5	4	5	5	5	2	3	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	3	2	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
23	Propietario	5 A más personas	4	5	4	5	5	3	3	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	3	3	4	3	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
24	Propietario	1-2 Personas	5	5	3	5	5	4	4	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	4	4	4	4	4	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
25	Inquilino	3-4 Personas	5	5	5	5	5	5	5	No. Es demasiado dinero de inversión	4	4	4	4	4	No. No estoy interesado(a) en pagar por un sistema comunitario.	
26	Propietario	3-4 Personas	5	4	5	5	5	4	3	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	3	3	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
27	Propietario	1-2 Personas	5	5	5	5	5	5	5	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	5	5	5	No estoy seguro. Necesitaría más garantías de que funcionará bien y sin olores.	
28	Propietario	3-4 Personas	5	5	5	5	5	5	5	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
29	Propietario	5 A más personas	5	4	5	5	5	3	3	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	4	4	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
30	Propietario	1-2 Personas	5	4	5	4	4	3	3	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	4	4	3	3	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
31	Inquilino	3-4 Personas	4	4	4	4	4	3	3	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	5	5	5	5	No estoy seguro. Necesitaría más garantías de que funcionará bien y sin olores.	
32	Propietario	5 A más personas	5	5	5	4	4	4	4	No. Es demasiado dinero de inversión	5	5	4	4	4	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
33	Propietario	1-2 Personas	5	4	5	5	4	4	3	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	4	4	3	3	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
34	Propietario	3-4 Personas	5	4	5	4	4	3	3	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	4	4	5	3	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
35	Inquilino	1-2 Personas	5	5	5	4	4	4	4	No. Es demasiado dinero de inversión	4	4	4	4	4	No estoy seguro. Necesitaría más garantías de que funcionará bien y sin olores.	
36	Inquilino	1-2 Personas	4	4	4	5	5	5	5	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
37	Inquilino	5 A más personas	4	4	4	4	3	4	4	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	4	4	4	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
38	Propietario	3-4 Personas	5	5	4	5	5	4	3	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	4	3	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
39	Propietario	3-4 Personas	5	5	5	5	5	5	5	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
40	Propietario	3-4 Personas	5	5	5	4	4	4	4	No. Es demasiado dinero de inversión	5	5	5	4	4	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
41	Otro	1-2 Personas	3	3	3	3	3	3	3	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	4	4	4	4	4	No estoy seguro. Necesitaría más garantías de que funcionará bien y sin olores.	
42	Propietario	1-2 Personas	5	5	4	5	5	4	3	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	3	2	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
43	Propietario	3-4 Personas	5	5	5	5	5	5	5	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	5	5	5	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
44	Propietario	3-4 Personas	5	4	5	5	5	4	4	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	5	5	4	4	3	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
45	Propietario	5 A más personas	4	4	4	4	4	4	4	No estoy seguro. El costo inicial y la deuda me preocupan.	4	4	4	4	4	No estoy seguro. Necesitaría más garantías de que funcionará bien y sin olores.	
46	Propietario	1-2 Personas	5	5	5	5	5	4	4	No. Es demasiado dinero de inversión	5	5	5	5	5	No estoy seguro. Necesitaría más garantías de que funcionará bien y sin olores.	
47	Propietario	1-2 Personas	5	5	4	5	4	2	2	Probablemente sí. Tendría que analizar bien el financiamiento.	5	4	5	3	2	Si, pero preferiría que la Municipalidad cubra ese costo.	
48	Propietario	3-4 Personas	5	5	4	5	5	5	5	Si. El ahorro casi paga la cuota y luego todo es ganancia.	5	5	5	5	5	Si. Es un aporte razonable por el beneficio ambiental y para el parque.	
49	Propietario	1-2 Personas	5	5	5	5	5	4	5	Si. El ahorro casi paga la cuota y luego todo es ganancia.	5	4	3	2	5	Si. Es un aporte razonable por el beneficio ambiental y para el parque.	







Anexo 12. Constancia De Validación.

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS

INSTRUMENTO

El que suscribe, Margaret Alarsha Callata Consa, identificado con DNI N° 70463610, de profesión Administradora, hago constar que he revisado y dado el juicio de experto al instrumento: Cuestionario "Percepción y Aceptación Comunitaria del Sistema Autosustentable en la Urbanización Quinta Samay" diseñado por la bachiller: Cano Vilca, David Ignacio, para su validación a fin de ser aplicado en la investigación titulada: "Propuesta de un diseño autosustentable a partir de la integración de sistemas fotovoltaicos y recirculación de aguas, Cayma-Arequipa 2023"

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puede evaluar según los criterios establecidos y formular algunas apreciaciones.

Criterios	Descripción	D	M	B	MB	Observaciones
1. Suficiencia	Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de esta				X	
2. Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir debe ser considerado.				X	
3. Coherencia	El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo				X	
4. Claridad y precisión	El ítem se comprende fácilmente, es claro para obtener la información requerida.				X	
5. Redacción	Si la ortografía es correcta y hace buen uso de la semántica y la sintaxis.				X	

Nota. D Deficiente, M Mejorar. B Bueno. MB Muy Bueno

Arequipa, 14 de noviembre del 2025



Margaret Callata

Anexo 13. Matriz De Validación.

Matriz de validación del Instrumento N° X:

Técnica: Encuesta

Instrumento: Cuestionario: Percepción y Aceptación Comunitaria del Sistema Autosostenible en la Urbanización Quinta Samay

N° ítem	PREGUNTAS	CRITERIOS					OBSERVACIONES
		S	RL	CH	CL	RD	
B1	En una escala del 1 (Nada) al 5 (Mucho), ¿qué tan preocupado(a) está usted por los siguientes temas?	5	5	5	5	5	-
C1	¿Qué tan de acuerdo estaría con las siguientes afirmaciones sobre este sistema solar?	5	5	5	5	5	-
C2	La inversión para este sistema individual es de aprox. S/. 14,150. Si un banco le ofreciera un "Crédito Verde" para pagarlo en 5 años (aprox. S/. 310/mes), sabiendo que su ahorro en luz es de S/. 200/mes promedio, ¿usted consideraría tomarlo?	5	5	5	5	5	-
D1	¿Qué tan de acuerdo estaría con las siguientes afirmaciones sobre este sistema de agua?	5	5	5	5	5	-
D2	Este sistema es un bien común. El costo de la red y la planta, dividido entre las 80 viviendas, es de aproximadamente S/. 415 por familia (pago único) para la construcción. ¿Estaría dispuesto(a) a aportar esta cuota para la implementación del sistema?	5	5	5	5	5	-

Nota. S Suficiencia, RL Relevancia, CH Coherencia, CL Claridad, RD Redacción

EVALUADO POR: Mg. Margaret Skivha Callata... DNI: 70463610... FECHA: 14.11.2023. FIRMA:

Mg. en Análisis y Validación de datos cuantitativos