



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPARTAMENTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA
MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS DE DESARROLLO

Tesis para la obtención del grado de Máster en Gerencia de Proyectos de Desarrollo

Estudio de Prefactibilidad para la Instalación de un Sistema
Fotovoltaico de Autoconsumo para viviendas de la Urbanización Valle
Santa Rosa,
en Mateare, Managua

Autores:

Ing. Yalmer Mauricio Calero González

Lic. Yader Antonio Hernández

Tutor:

Ing. Roberto Carlos Jirón, M.Sc.

Managua, Nicaragua,

Diciembre, 2025

ÍNDICE GENERAL

SECCIÓN

PÁG

Contenido

ÍNDICE GENERAL.....	2
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO SITUACIONAL	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Planteamiento del problema.....	10
1.3. Objetivos.....	12
1.3.1. Objetivo General.....	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Justificación	13
1.4.1. Limitantes y Riegos	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1. Sistema fotovoltaico	15
2.1.1. Generalidades de la electrificación solar fotovoltaica.....	16
2.1.2. Funciones y operatividad.....	17
2.1.3. Alcances de obras.....	18
2.2. Características de estudio de prefactibilidad	19
2.2.1. Diseño de un estudio de prefactibilidad	19
2.2.2. Análisis socioambientales.....	20
2.2.3. Análisis financiero y económico.....	20
2.2.4. Implementación de un estudio de prefactibilidad	21
2.3. Generalidades sobre energías renovables.....	21
2.3.1. Normativas y calidad de servicio.....	21
2.3.2. Ampliación de proyectos urbanos de energía renovable y su regulación	22
2.3.3 Caracterización y comercialización del servicio	24
2.4. Referencias sobre mejoras en el uso de la energía fotovoltaica.....	25
2.4.1. Reducción de emisiones de Dióxido de Carbono (CO2)	25
2.4.2. Ahorro energético y eficiencia energética.....	26
2.4.3. Situación sobre energía renovable sostenible en la región	26
2.5. Factores que determinan las instalaciones de un sistema fotovoltaico	28
2.5.1. Factores climáticos para instalación de sistemas fotovoltaicos	28

2.5.2. Instalaciones de sistemas fotovoltaicos en viviendas.....	30
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	32
3.1 Área de localización del estudio.....	32
3.2 Tipo de estudio según el enfoque, amplitud o período.....	32
3.3 Población y muestra	32
3.3.1 Tipo de muestra y muestreo.....	32
3.3.2 Técnicas e instrumentos de la investigación	33
3.4 Diseño.....	33
3.4.1 Recolección de datos.....	33
3.4.2 Criterios de calidad: credibilidad, confiabilidad	34
3.5 Operacionalización de variables	34
3.6 Análisis de datos	35
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO	36
4.1. Estudio de Mercado.....	36
4.1.1 Contexto energético nacional y regional	36
4.1.2 Demanda potencial en la Urbanización Valle Santa Rosa	36
4.1.3 Oferta de mercado y proveedores locales.....	37
4.1.4 Barreras y oportunidades	37
4.2. Estudio Técnico.....	39
4.2.1. Condiciones climatológicas y radiación solar en la zona.....	39
4.2.2. Estimación del consumo eléctrico residencial	39
4.2.3. Dimensionamiento preliminar del sistema fotovoltaico	40
4.2.4. Selección de equipos principales.....	40
4.2.5. Factibilidad de instalación en la Urbanización Valle Santa Rosa	41
4.2.6. Operación y mantenimiento	41
4.3. Estudio Ambiental.....	43
4.3.1 Características ambientales del área de estudio.....	43
4.3.2 Identificación de impactos ambientales.....	44
4.3.3 Medidas de mitigación ambiental	44
4.4. Estudio Financiero.....	45
4.4.1. Parámetros utilizados	48
4.4.2. Cálculos básicos (resultado por vivienda).....	1
4.4.3. Criterios de análisis	1

4.4.4.	Análisis de sensibilidad (escenarios)	3
4.4.5.	Consideraciones de financiamiento y políticas	3
4.5.	Estudio Social	4
4.5.1.	Perfil sociodemográfico de los residentes	4
4.5.2.	Hábitos y consumo eléctrico residencial	4
4.5.3.	Percepción sobre energías renovables	5
4.5.4.	Factores sociales que favorecen la implementación del proyecto.....	5
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES HALLAZGOS		6
5.1.	Hallazgos del Estudio de Mercado y Contexto Energético	6
5.2.	Hallazgos del Estudio Técnico	6
5.3.	Hallazgos del Estudio Financiero	7
5.4.	Hallazgos de los Estudios Social y Ambiental	7
CAPÍTULO VI: PROPUESTA DE SOLUCIÓN		9
4.1.	Visión y Alcance del Proyecto	9
4.2.	Diseño Técnico y Estándares de Calidad	9
4.3.	Modelo de Ejecución y Gobernanza del Proyecto.....	11
4.4.	Estrategia Financiera Reforzada: Abordando la Inversión Inicial	11
4.5.	Plan de Operación, Mantenimiento (O&M) y Control de Calidad.....	12
4.6.	Estrategia de Capacitación y Sensibilización.....	13
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES		14
CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES		15
CAPÍTULO X: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		16
CAPÍTULO XI: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS		19
11.1.	Presupuesto.....	19
11.2.	Cronograma	20
CAPÍTULO XII: ANEXOS		22

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO SITUACIONAL

1.1. Antecedentes

El presente trabajo tiene como fin realizar un estudio de prefactibilidad para la instalación de un sistema fotovoltaico de autoconsumo en viviendas de la Urbanización Valle Santa Rosa ubicada en el municipio de Mateare, Departamento de Managua. Su implementación ayudará a incentivar el uso de energía limpias e independizar parcialmente su demanda energética.

De esta manera se realizará un análisis de consumo de energía eléctrica en las viviendas del proyecto habitacional para categorizar el nivel de demanda máxima del sistema y así establecer criterios que definan la optimización de un sistema solar adecuado al usuario final.

La Urbanización Valle Santa Rosa, ubicada del empalme de la Cuesta El Plomo tres kilómetros hacia el oeste, municipio de Mateare, se desarrolló con la finalidad de dotar viviendas a población de clase media, las que incluyen tres modelos típicos que cumplen con las condiciones requeridas para la instalación de proyectos fotovoltaicos que les proporcionen energía limpia.

La prefactibilidad del sistema fotovoltaico se desarrollará en la Urbanización citada para tener un precedente de la efectividad que tienen las fuentes de energía renovable en el consumo eléctrico residencial. De esta manera, se analizarán los factores que apoyan en la eficiencia de una fuente energética limpia, de menor daño ambiental, con una inversión recuperable y con una vida útil que permita dar respuesta a la demanda de la población de esta urbanización o de nuevas urbanizaciones que están en la confluencia de Ciudad Sandino y Mateare, zona que en la actualidad es un lugar de alto crecimiento poblacional.

El sistema fotovoltaico tiene una inversión de instalación y operación que permite recuperarse a corto o mediano plazo, también aportará a mantener estabilidad en el consumo eléctrico y optar a una tarifa interna a fines de generación solar, en comparación con la tarifa actual establecida de la distribuidora de energía DISNORTE - DISSUR.

La energía solar aportará una reducción significativa para los consumidores en las tarifas de energía eléctrica, previo a un estudio de cargas y demanda a realizar a viviendas, por medio de un estudio de mercado a partir de encuestas y discriminación del consumo real

por medio de la obtención de datos de todos los Números de Identificador de Servicio (NIS) asociados a cada transformador dentro de la urbanización se analizará.

La zona de estudio es un lugar apto y con buenas condiciones climatológicas, ya que permite buena radiación solar, las horas sol nominales están en el rango de los 4 a 7 kW/m^2 de irradiancia que permite la disponibilidad de una fuente de energía natural y potencialmente disponible todo el año.

El funcionamiento de un sistema fotovoltaico residencial no requiere una compleja instalación, y por ello es que resulta poco compleja la puesta en marcha del proyecto de manera tecnológica, lo que constituye una ventaja para lograr un uso más amplio en el hogar, permitiendo así una gran capacidad eléctrica según la demanda de consumo para las familias que habitan en una vivienda con un consumo regular, o bien para cubrir nuevas necesidades con electrodomésticos y demás equipos eléctricos que requieren mayor gasto.

En la actualidad la energía renovable es un modelo de gran alcance, los sistemas fotovoltaicos se van desarrollando a nivel mundial; según Desun Energy, "las ventajas que este tiene se basan en que su instalación tiene un costo elevado, pero ayuda a reducir de forma sustancial el importe de la factura energética, por lo que la inversión realizada se puede amortizar en pocos años y después consumir energía amigable con el medioambiente".

La energía fotovoltaica proporciona estabilidad en su consumo, las fluctuaciones eléctricas se reducen y esto contribuye a que las viviendas cuenten con menos riesgos de problemas de transmisión que según el Instituto Nicaragüense de Energía "la Frecuencia Media de Interrupción (FMIK): Para un período determinado, representa la cantidad de veces que el kilovoltioamperio (KVA) promedio sufrió una interrupción de servicio. Y en las zonas urbanas es mayor a 4.1 veces por semestre y Tiempo total de interrupción (TTIK): Para un período determinado, representa el tiempo total en que el KVA promedio no tuvo servicio, el cual es mayor a 7 horas por semestre en las zonas urbanas".

En Centroamérica, la energía solar fotovoltaica ha trascendido los grandes parques solares centrales para llegar al sector residencial, ofreciendo soluciones de autoconsumo energético a hogares y pequeñas comunidades que buscan reducir sus costos eléctricos y aumentar su independencia energética. Empresas regionales especializadas en diseño, instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos han desarrollado proyectos adaptados al consumo de residencias unifamiliares, integrando paneles solares en techos

y estructuras domésticas que permiten generar y consumir energía directamente en el hogar. Estos proyectos, además de contribuir a la sostenibilidad ambiental, responden a la creciente demanda de soluciones energéticas eficientes en países como Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, donde la radiación solar es un recurso abundante y subutilizado.

En muchos casos, el enfoque de los proyectos fotovoltaicos residenciales se orienta hacia el autoconsumo conectado a la red eléctrica, que combina la energía generada por paneles solares con el suministro tradicional cuando sea necesario, así como instalaciones aisladas con sistemas de almacenamiento en baterías para zonas rurales o lugares con acceso limitado a la red. Estos sistemas permiten cubrir las necesidades básicas de electricidad de una vivienda —como iluminación, refrigeración y uso de electrodomésticos— con energía limpia, reduciendo significativamente las facturas de luz y fortaleciendo la resiliencia energética familiar.

Además, el crecimiento de proyectos residenciales en Centroamérica se enmarca dentro de una tendencia regional más amplia de expansión de la energía solar que incluye tanto instalaciones a gran escala como soluciones distribuidas y personalizadas para pequeños consumidores. Esta expansión es impulsada por el descenso de los costos de los paneles solares, el aumento de la capacitación técnica en el sector y la adopción de marcos normativos que facilitan la inversión en energías renovables. Aunque los datos específicos de cada proyecto residencial varían según el país y la localidad, el impulso hacia instalaciones fotovoltaicas en hogares refleja un compromiso creciente con la transición energética sostenible en toda la región.

Los sistemas fotovoltaicos residenciales en Centroamérica se han convertido en una alternativa viable para mejorar el acceso a la energía eléctrica y reducir la dependencia de fuentes convencionales. Gracias a la alta radiación solar presente durante la mayor parte del año, los hogares pueden aprovechar este recurso natural para generar electricidad limpia y renovable. Estos sistemas suelen estar compuestos por paneles solares, inversores, estructuras de soporte y, en algunos casos, baterías, lo que permite adaptar la instalación a las condiciones técnicas y económicas de cada vivienda.

En el ámbito residencial, los sistemas fotovoltaicos pueden operar bajo esquemas conectados a la red o aislados, dependiendo de la ubicación y disponibilidad del servicio eléctrico. En zonas urbanas, la conexión a la red permite a los usuarios consumir la energía

generada y complementar su demanda con el suministro convencional, optimizando el uso de la electricidad solar. En áreas rurales o de difícil acceso, los sistemas aislados representan una solución clave para garantizar servicios básicos como iluminación, refrigeración y comunicación, mejorando significativamente la calidad de vida de las familias.

Además del beneficio ambiental asociado a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, los sistemas fotovoltaicos residenciales generan impactos positivos a nivel económico y social. A largo plazo, la inversión inicial se compensa con el ahorro en el pago de la energía eléctrica y con una mayor estabilidad frente a incrementos tarifarios. Asimismo, el crecimiento de este tipo de proyectos impulsa la capacitación técnica local y fomenta una cultura de uso responsable de la energía, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región centroamericana.

Dado que Nicaragua es un país que ha invertido en el cambio de su matriz de generación eléctrica, un sistema fotovoltaico residencial, que pudiera replicarse, es de apoyo para incentivar el consumo de energía renovable que conlleve a disminuir la emisión de gases, mejorar los problemas de distribución y brindar ahorros económicos para los usuarios, según publicación en la página web de la Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica (ENATREL) “en Nicaragua el cambio en la matriz energética ha sido sustancial en sólo 12 años, pasando de un 72% de dependencia de los derivados del petróleo en el 2006 a un 20% para 2024”.

Según la Empresa Nicaragüense de Electricidad, “actualmente, el país cuenta con 4 plantas solares: Planta Solar La Trinidad en Diriamba (1.5 MW), Solaris en Puerto Sandino (12 MW), San Juan de Nicaragua (300 kW) y Corn Island con 2.5 (MW)” este es un referente a gran escala que deja entrever la necesidad de un funcionamiento de energía solar en el país con generación renovable, asequible y limpia de contaminantes fósiles.

Estos ejemplos de proyectos de gran escala propician a que se desarrollen proyectos de menor escala a nivel residencial o bien en una comunidad, para ir cambiando el sistema en la matriz de consumo energético. De esta manera, se aporta al desarrollo y funcionamiento de electricidad a través de fuentes de energía renovables y alternas, en un país que va ampliando sus horizontes en materia medioambiental y social. Por ello los sistemas fotovoltaicos residenciales son fuentes de energía renovables que aportan en la

disminución de las facturas de energía y el desarrollo de una matriz eléctrica cada vez más diversificada

El uso de energía solar resulta ser hasta 80% (ochenta por ciento) más barata que la energía generada por vía térmica de búnker; pese a esa ventaja, en Nicaragua solo el 2 por ciento de la demanda energética es solventada con ese tipo de fuente renovable, según estadísticas del Ministerio de Energía y Minas (MEM), pero va en aumento progresivo dado a que en la actualidad en el país se están llevando a cabo esfuerzos para que la generación de energía sea más diversificada, y en dirección al uso de las fuentes de energía renovable.

1.2. Planteamiento del problema

A nivel de usuario, los habitantes de la Urbanización Valle Santa Rosa perciben una tarifa eléctrica alta, lo que les conlleva restringirse las horas de utilización de energía eléctrica para la satisfacción de sus necesidades básicas que dependen de su uso. Adicional a ello, el riesgo por fluctuaciones y pérdidas de líneas eléctricas ante el aumento de la demanda en la zona ha llevado a que el servicio que reciben se vea afectado (Continuidad, Calidad, Cantidad y Costo) y que derive en una percepción de un servicio de mala calidad, con alto y variable costo tarifario, así como pérdidas económicas.

El poco interés por el consumo de energía limpia por parte de los usuarios se debe a la percepción de que costo de instalación de un sistema fotovoltaico es alto, lo que lleva a que la población luego pague tarifas de energía de forma elevada, que de alguna manera resulta menos económico. Por ello se pretende mediante la prefactibilidad, comprobar la rentabilidad y así clasificar el consumo eléctrico entre los rangos mínimos, promedios y máximos; para conocer el alcance de este tipo de proyectos en zonas como de la Urbanización Valle Santa Rosa, dado que la inversión siempre es recuperada.

Con lo anterior, aunque existe un interés de instalar un sistema de generación fotovoltaica a nivel de vivienda, éstos tienen desconocimiento de las implicaciones técnico- económicas que le permitan tomar la decisión de inversión. Lo que puede percibirse es que desean tener acceso a un mejor servicio, liberar recursos por pago de tarifas altas, y aumentar el consumo.

A nivel de país, todavía existen generador de energía eléctrica no renovable, a través de generadores con emisiones altas de dióxido de carbono, así como dificultades en cuanto disponer de un sistema de generación-transmisión-distribución eficiente y confiable que se traduzca en optimización en la entrega del servicio de energía eléctrica al usuario final. También, la expansión habitacional implica un reto en cuanto a suministro del servicio, puesto que se proyectan en zonas donde requerirían nuevas infraestructuras eléctricas.

Tomando como referencia lo anterior, se pretende desarrollar un estudio de prefactibilidad para la instalación de un sistema fotovoltaico en la Urbanización Valle Santa Rosa, ubicado en el municipio de Mateare, Departamento de Managua, para conocer la efectividad que tiene el contar con disponibilidad de energía continua a través fuentes renovables en nuevos proyectos habitacionales, dado a que está ubicado en una de las zonas de alto crecimiento poblacional, por la expansión de la necesidad habitacional de la Capital,

Managua. La población del Residencial es superior a los cuatro mil habitantes, con novecientas cincuenta y una viviendas.

El propósito principal de este trabajo es presentar la viabilidad que tiene el contar con un sistema de energía que se genere de manera autónoma y pueda contribuir a que haya un beneficio inmediato para los habitantes de la Urbanización Valle Santa Rosa. El contar con una fuente fotovoltaica contribuirá a que se disponga de mayor estabilidad eléctrica, en comparación a la suministrada a través de la empresa Disnorte - Dissur.

Al contar con un proyecto fotovoltaico en los hogares permite que se cuente con electricidad limpia, haciendo una inversión técnico-económica que permita recuperarse en pocos años. Por ello se realizará un estudio de prefactibilidad en las viviendas equivalente a una muestra específica que contribuya a obtener mayor información para definir parámetros y criterios técnicos para el dimensionamiento de energía fotovoltaica en la Urbanización Valle Santa Rosa.

El sistema fotovoltaico para uso residencial consta de configuraciones de paneles solares ubicados en el techo de los hogares, un inversor que convierte niveles de tensión en corriente directa a corriente alterna eficiente y con excelentes estándares de calidad, una batería de ciclo profundo que almacena la energía producida por el sistema solar y puede proporcionar energía estable en los momentos que se requiera.

En Nicaragua se ha incrementado el uso de energía renovable, por ello es de importancia un estudio de prefactibilidad que permita entender que en los proyectos urbanizadores se puede llevar a cabo un plan de desarrollo en la temática social, económica y sobre todo medioambiental, al reducirse la cantidad de emisión de Dióxido de Carbono, CO₂, por el alto consumo eléctrico que en la actualidad se está teniendo por el aumento de población.

Los proyectos eléctricos en Nicaragua han tenido un rápido alcance, que, según el Ministerio de Energía y Minas, el país tiene un sistema de cobertura del 99.575% de cobertura hasta noviembre del año 2024, y en este caso, aunque la producción de energía renovable en materia solar todavía es baja, consta de proyectos que apoyan la matriz en todas las zonas del país.

Tal es el caso del proyecto desarrollado en Corn Island donde, según el Ministerio de Energía y Minas, "La instalación presenta diversos beneficios medioambientales, como la reducción de 3,3 millones de toneladas de emisiones de CO₂ anuales. También permitirá

reducir el costo de generación de energía, aproximadamente un 67 por ciento de reducción de consumo de diésel. Además, reducirá el riesgo de derrames de combustible”.

Los proyectos fotovoltaicos aportan y mejoran la matriz eléctrica que contribuya al medioambiente, así como disminuir la factura de consumo en las viviendas, y a su vez para que de esta manera se apoye en mantener disponibilidad eléctrica en los hogares por diferentes horas, sin complicaciones a que esta llegue a faltar, o tener fluctuaciones en ningún momento.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Realizar un Estudio de Prefactibilidad para determinar la conveniencia de Instalación de un Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo para Viviendas en la Urbanización Valle Santa Rosa, Mateare, Managua.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el historial de consumo de energía eléctrica de las viviendas de la zona de la Urbanización Valle Santa Rosa.
- Clasificar el consumo de energía eléctrica con sus rangos mínimos, promedios y máximos de las viviendas de la zona de la Urbanización Valle Santa Rosa.
- Definir parámetros y criterios técnicos para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico en las viviendas de la Urbanización Valle Santa Rosa en correspondencia a los diversos rangos de consumo real preestablecidos.
- Evaluar la rentabilidad de la inversión en correspondencia al rango de consumo en viviendas de la Urbanización Valle Santa Rosa.

1.4. Justificación

El presente trabajo tiene como objetivo general elaborar prefactibilidad para la instalación de un sistema fotovoltaico de autoconsumo para viviendas de la Urbanización Valle Santa Rosa, ubicado en el municipio Mateare, Departamento de Managua. Por ello, es que este trabajo será base de futuro análisis teórico y práctico sobre el desarrollo de alternativas para la identificación de fuentes renovables de generación eléctrica en zonas residenciales, en este caso de energía fotovoltaica.

La realización de este estudio de prefactibilidad será de utilidad para cualquier estudiante que desee tener como referencia un proyecto fotovoltaico; así como también, para un negocio, ya que le permitirá conocer información relevante sobre la adecuada instalación, ventajas y distribución de un sistema de energía renovable en una urbanización con características similares a las de Valle Santa Rosa o bien tomarlo como referencia para ser replicado en otra zona habitacional. Así se logra tener una visión para conocer la rentabilidad y beneficios medioambientales en la instalación de proyectos de generación eléctrica limpia para sectores residenciales.

Este estudio es importante porque, mediante la aplicación de instrumentos se podrá conocer el consumo eléctrico en la Urbanización Valle Santa Rosa y así definir parámetros y criterios técnicos que ayuden a dimensionar la viabilidad de la instalación de un sistema fotovoltaico independiente en viviendas, y de esta manera se evidenciará la relevancia que tiene el uso de fuentes de energía limpia.

La utilidad de este proyecto se enfoca en generar un ahorro en la tarifa eléctrica de los habitantes de la Urbanización Valle Santa Rosa, además que se propone el uso de energía proveniente de fuentes renovables que apoyará a la estabilidad del consumo de energía, sustituyendo así la que se puede producir de fuentes fósiles, y también contribuirá en un futuro cercano a la reducción del riesgo por fluctuaciones y pérdidas de líneas eléctricas ante el aumento de la demanda en la zona.

Los beneficios que traerá este estudio de prefactibilidad son que apoyará a ser un referente para que los proyectos habitacionales mejoren su calidad y fuentes de obtención de la energía eléctrica, y así las personas que compren sus viviendas, tengan estabilidad en su facturación mensual. La población percibirá mayor ahorro en su consumo y la disminución de cualquier incidente, como el provocado por bajas en el servicio que dañan sus

electrodomésticos y que los residentes de la zona se interesen por contar con una fuente de autoconsumo y así se aporte a bajar las emisiones de dióxido de carbono, con una inversión que se recuperará a corto y mediano plazo.

1.4.1. Limitantes y Riesgos

Entre las que podrían enfrentar el proyecto se encuentran:

- **Costos iniciales elevados:** Aunque se amortizan a mediano plazo, los costos de adquisición e instalación de sistemas fotovoltaicos pueden representar una barrera inicial para la toma de decisiones en los hogares.
- **Resistencia cultural o desconocimiento** de los usuarios respecto a las tecnologías solares y su mantenimiento básico.
- **Variabilidad climática:** Eventos meteorológicos extremos o prolongados períodos de nubosidad pueden afectar el rendimiento de los paneles.
- **Falta de financiamiento accesible** o limitado interés de bancos locales en financiar proyectos residenciales de energía solar.

A pesar de estas limitantes, el estudio busca identificar mecanismos de mitigación y propuestas que maximicen el impacto positivo del sistema fotovoltaico en contextos similares.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos son una fuente de generación de energía solar para producir este recurso que apoyará a resolver el consumo eléctrico a nivel residencial, industrial o comercial.

Según Pep (2007). “Energía solar fotovoltaica, la obtención directa de electricidad a partir de la luz se conoce con el nombre de efecto fotovoltaico. La existencia de este fenómeno fue puesta de manifiesto por el físico Antoine Becquerel, en el año 1839. Para conseguirlo, se requiere un material que absorba la luz del Sol y sea capaz de transformar la energía radiante absorbida en energía eléctrica, justo lo que son capaces de hacer las células fotovoltaicas”.

De esta manera la energía solar es un recurso que se encuentra en nuestro día a día, que se puede aprovechar al máximo en la generación de energía renovable de bajo costo. Se produce de forma natural por los rayos del sol, y puede aportar que nuestro desarrollo social y medioambiental se mantengan adecuados sin generar más contaminación en nuestra actualidad.

Según Perpiñán (2013) “Los sistemas domésticos habitualmente con potencias de 100 W o 200 W, están asociados a una vivienda familiar y en algunos casos a centros comunales o centros de salud”.

Las centrales híbridas, compuestas por un generador fotovoltaico, un acumulador electroquímico y un grupo electrógeno o turbina eólica, proveen una red eléctrica para un poblado rural. El tamaño de estas centrales depende del tamaño de la población asociada, con potencias que van desde los 10KW hasta los 100 KW.

De esta manera se evidencia, que la energía fotovoltaica, puede generarse de manera sencilla utilizando turbinas pequeñas que pueden aportar al abastecimiento energético de

una casa, o de una comunidad residencial con una central eléctrica independiente que puede funcionar a grandes escalas.

2.1.1. Generalidades de la electrificación solar fotovoltaica

Flor, J (2012), expone las generalidades sobre la energía solar, a través de un sistema fotovoltaico, las cual tiene las siguientes características:

a). Sustentable

El aprovechamiento de la energía solar como fuente de energía, por sí ya es sustentable, porque usa como fuente de energía los rayos solares y protege entonces al medio ambiente, pero la sostenibilidad también debe incluir un bajo costo de operación y la garantía que el sistema funciona a largo plazo sin mayores costos o dependencias.

b). Fácil

El manejo de un sistema solar fotovoltaico es tan fácil como conectarse a la red pública. El mantenimiento normal consiste en limpiar de vez en cuando los vidrios de los paneles. Se puede aprender cómo mantener las baterías (secas o de gel) y controlar el buen estado del sistema. La mayoría de los equipos, como reguladores o inversores, tienen indicadores del estado o del funcionamiento.

No se tiene que pagar planillas de consumo de luz o comprar y transportar combustible. No tiene que preocuparse de problemas de aumento de consumo, porque los sistemas son modulares. Tampoco hay que preocuparse de aumentos del precio de la energía eléctrica o peor de fallas o apagones de la red pública eléctrica.

c). Funcionamiento general

Se capta y transforma los rayos del sol (fotones) con los paneles solares a energía eléctrica continua, que se acumula en el banco de baterías o acumuladores. Con el inversor se transforma la corriente continua de 12 o 24 voltios en corriente alterna de 110 voltios, la cual se distribuye a través de la red de cables a la(s) casa(s), donde están conectados los consumidores como: lámparas fluorescentes, televisores, licuadoras, ventiladores, refrigeradoras, bomba de agua, etc.

Este tipo de sistema de energía eléctrica fotovoltaica reúne como todos los sistemas solares las siguientes características importantes:

- Sustentable

Se dice Sustentable porque la fuente de energía es el sol, no contamina el ambiente, ni consume combustibles, tiene larga vida útil (los paneles más de 25 años) y es aumentable por módulos, no requiere mayor mantenimiento.

- Independiente

Se dice Independiente en referencia a las fuentes contaminantes o perecibles como la conexión a la red pública eléctrica y combustibles que contaminan, sólo depende del sol que es una fuente no contaminante.

2.1.2. Funciones y operatividad

Según Pep (2007). “Una corriente eléctrica es un flujo de electrones que se produce al establecerse una diferencia de potencial eléctrico. Todos los materiales están repletos de electrones. Los átomos de los materiales están formados por núcleos con carga eléctrica positiva rodeados por nubes de electrones con carga eléctrica negativa. En algunos materiales es muy fácil hacer circular una corriente eléctrica.

En otros es más difícil, por no decir imposible. Por ejemplo, en el caso del cobre o de otros metales, los electrones se pueden desplazar libremente y permiten establecer circuitos por donde pasa una corriente eléctrica. Estos materiales se denominan conductores. Sus electrones tienen unas energías particularmente elevadas y pertenecen a una banda energética denominada banda de conducción. En cambio, existe otro tipo de materiales en los cuales no puede circular corriente eléctrica alguna, debido a que sus electrones no tienen ninguna posibilidad de desplazamiento.”

Se trata de los materiales aislantes, en los que sus electrones pertenecen a una banda denominada de valencia. También existen materiales semiconductores, que no son ni conductores, ni aislantes, pues en ellos las cargas en las dos bandas de energía antes citadas, la de conducción y la de valencia, se encuentran separadas por una banda de energía denominada prohibida, porque en ella no hay ninguna carga eléctrica que tenga la energía correspondiente.

2.1.3. Alcances de obras

Los alcances en materia de energía solar son muy alentadores, porque esta energía se produce con la instalación de paneles solares, que convierten la captación de los rayos emitidos en electricidad disponible para el consumo general en todas las actividades generales de consumo humano, industrial o comercial.

Según (Méndez & Cuervo) Energía Solar Fotovoltaica. “La energía solar tiene escaso impacto ambiental, no produce residuos perjudiciales para el medio ambiente, además que es distribuida por todo el mundo gracias a los rayos directos del sol, no tiene más costes una vez instalada que el mantenimiento lo cual es sencillo y no hay dependencia de las compañías suministradoras”.

Los sistemas eléctricos fotovoltaicos solo necesitan del sol para funcionar. Por ello es que resultan con una sola inversión en todo su desarrollo de la capacidad, luego sus costos de mantenimiento disminuyen y no son tan frecuentes.

Para Marín (1983). La energía solar fotovoltaica en España. “La energía solar se puede aprovechar activamente mediante dos vías: la térmica, que transforma la energía procedente del sol en energía calorífica, y la fotovoltaica, que convierte directamente la energía solar en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico.

Los sistemas de aprovechamiento de la energía solar basados en la vía térmica pueden ser de baja, media y alta temperatura. Los de baja temperatura se emplean sobre todo para calefacción, climatización de locales, producción de agua caliente sanitaria, etc. Los de media y alta temperatura pueden ser aprovechados para la producción de energía eléctrica, mediante las llamadas centrales de torre, a través de colectores cilindro-parabólicos. En estas instalaciones se calienta el fluido que transporta el calor y genera electricidad mediante una turbina y un alternador”.

Es por ello que la energía solar se puede aprovechar en su máximo nivel para todo tipo de tarea, y su función dependerá del uso al que se le pretenda dar, basada en baja, media y alta intensidad. La energía solar con temperatura media es la óptima para desarrollar un sistema solar fotovoltaico para una zona residencial y en especial para producir energía de forma independiente en un hogar.

La implementación de un sistema fotovoltaico ayuda de gran manera a tener una capacidad de producción de energía propia y apropiada para realizar todas las necesidades que

queramos. Se tiene que ver como una inversión a corto plazo que producirá beneficios medioambientales, económicos, sociales y familiares desde la producción en el mismo hogar.

2.2. Características de estudio de prefactibilidad

Un estudio de prefactibilidad debe de llevar una serie de criterios y análisis para comprobar que el proyecto que se realiza es el adecuado y tendrá un impacto en el sector donde se realice. De manera teórica, los aspectos que conlleva un estudio de prefactibilidad son:

2.2.1. Diseño de un estudio de prefactibilidad

Para Santos, T (2008) el estudio de prefactibilidad de cierta manera es un proceso de aproximaciones sucesivas, donde se define el problema por resolver. Para ello se parte de supuestos, pronósticos y estimaciones, por lo que el grado de preparación de la información y su confiabilidad depende de la profundidad con que se realicen tanto los estudios técnicos, como los económicos, financieros y de mercado, y otros que se requieran.

La formulación de Proyectos de Inversión constituye un objeto de estudio bastante amplio y sumamente complejo, que demanda la participación de diversos especialistas, es decir, requiere de un enfoque multivariado e interdisciplinario.

Dentro de este proceso de formulación se debe considerar en primer lugar las etapas que conforman un proyecto de inversión, ya que estas constituyen un orden cronológico de desarrollo del proyecto en las cuales se avanza sobre la formulación, ejecución y evaluación de este. Y, en segundo lugar, los documentos proyectados que brindarán la información primaria básica que se necesita para que el proyecto pueda ser evaluado, proveniente de la estimación de los principales estados financieros.

Un proyecto de Inversión se puede entender como: “un paquete discreto de inversiones, insumos y actividades, diseñados con el fin de eliminar o reducir varias restricciones al desarrollo, para lograr uno o más productos o beneficios, en términos del aumento de la productividad y del mejoramiento de la calidad de vida de un grupo de beneficiarios dentro de un determinado período de tiempo.” (Colin F. Bruce, 1982).

2.2.2. Análisis socioambientales

Según Corona, N, et al, el espacio geográfico se encuentra mediado por una serie de representaciones sistemáticas que justifican el uso y ocupación del mundo biofísico. Este sistema de representaciones, al ser mediado por la cultura, tiene configuraciones distintas para diferentes sociedades. Con ello, la diversidad cultural resulta en un amplio rango de estrategias para representar y explotar los materiales provistos por el medio biofísico. La consecuencia lógica de este planteamiento invita a pensar que el medio ambiente no existe por sí mismo, ni que los seres humanos pueden concebirse como entidades ajenas al medio ambiente, dando como resultado el foco de estudio de esta línea de investigación: el socioambiente.

El socioambiente se entiende como una entidad espacial dinámica y sensible a fuerzas sociales, económicas, culturales y políticas que inciden en el espacio simultáneamente con procesos ecológicos y físicos. Estas fuerzas no solo generan y transforman al socioambiente material y simbólicamente, pues también son capaces de generar riesgo, vulnerabilidad y conflictos económico-distributivos cuando dos o más modos de concebir al medio biofísico (etnoecológicos) divergen y compiten por apropiarse, modificar y usufructuar el espacio biofísico.

2.2.3. Análisis financiero y económico

Para Pérez, A & Gallardo, J (2009), el análisis económico y financiero se centra en la estimación por un lado de la capacidad de generación de fondos y por otro de las necesidades financieras de cualquier proyecto. Su objetivo es analizar el resultado (beneficio o pérdida) generado en el desarrollo de las actividades realizadas. El resultado se calcula como la diferencia entre los ingresos de un período y los gastos necesarios para el desarrollo de las actividades.

Los recursos financieros se pueden obtener mediante el endeudamiento, es decir solicitando un dinero a un tercero para devolverlo en un plazo y con unos intereses determinados o mediante la incorporación de nuevos socios al importe del capital necesario a cambio de una rentabilidad a futuro. Entre los agentes externos que pueden financiar el proyecto se pueden distinguir bancos, acreedores, proveedores o fondos propios que se recuperarán con el tiempo.

2.2.4. Implementación de un estudio de prefactibilidad

La alta cantidad de horas en las que se percibe el sol a su máxima irradiancia se debe principalmente a dos factores. El primer factor es la poca presencia de terreno montañoso y escarpado lo cual le permite a las corrientes de viento provenientes del mar caribe fluir libremente a través de las planicies que conforman esta zona. Este fenómeno genera una baja probabilidad de percibir altas concentraciones de nubosidad durante el año. El segundo factor es la aridez de la zona. Al tener una baja vegetación en comparación con otras zonas del país, la humedad relativa que se percibe es menor y por lo tanto la probabilidad de observar precipitaciones durante el año se reduce considerablemente.

La generación eléctrica por medio de la energía solar ha evolucionado positivamente durante los últimos 50 años. Desde la época de la carrera espacial entre Estados Unidos y Rusia, el desarrollo se ha concentrado en el mejoramiento de la eficiencia de conversión energética el cual se encuentra en promedio de un 16% para las células solares de tipo policristalino y un 18% para las células de tipo monocristalino (Dunlop, 2009).

Los avances en los procesos de manufactura de paneles solares se encuentran reduciendo progresivamente su costo de venta al público lo cual incentivará a inversionistas del sector público y el sector privado el implementar proyectos de esta índole en Nicaragua.

2.3. Generalidades sobre energías renovables

Para entender de una forma más específica el uso de las energías renovables, se deriva el siguiente apartado en el que se amplía el uso de la energía renovable, en especial en proyectos de energía fotovoltaica.

2.3.1. Normativas y calidad de servicio

Según la ley No. 532 de Nicaragua (2005). Son aquellas fuentes o recursos renovables que existen en la naturaleza, y se pueden extraer, de forma sostenible y que son capaces de producir energía eléctrica mediante el aprovechamiento de estos e incluyen los siguientes: Hidráulicos, eólicos, solares, geotérmicos, biomasa (según definición abajo indicada) y otros. En el caso de la Biomasa se entenderán todos los recursos orgánicos que pueden ser empleados para la producción de energía y son producidos autónomamente y en forma sostenible. En el concepto de biomasa se incluye una amplia variedad de fuentes tales como:

- a) Residuos de la actividad agrícola tales como caña de azúcar, remolacha azucarera, maíz y sorgo.
- b) Cultivos energéticos: Cultivos de crecimientos rápidos y específicamente desarrollados para el uso como fuente energética, incluyendo tanto plantas herbáceas (sorgo, cardo, patata azucarera, etc.), como árboles (sauce, chopo híbrido, etc.).
- c) Restos forestales: Incluyendo madera residual no utilizada, residuos de explotaciones forestales, árboles con imperfecciones que no pueden ser comercializados o árboles no comerciales, podas, etc., que cuenten con autorización de INAFOR y MARENA.
- d) Restos industriales: Considerando aquellas industrias cuyos residuos son de naturaleza orgánica, tales como la industria de las bebidas, industria alimentaria, etc.
- e) Residuos sólidos de basuras municipales o de otros: Los residuos sólidos urbanos pueden aprovecharse una vez que cumplan con los requisitos de las leyes ambientales respectivas.
- f) Biogás producido por cualquiera de estas fuentes.

La Comisión Nacional de Energía (CNE) bajo los términos de la Ley de Industria Eléctrica y su Reglamento y por el imperio y aplicación de esta Ley, deberá estimular y promover las inversiones y desarrollo de proyectos de generación de electricidad con fuentes renovables promoviendo de forma prioritaria la inserción de energía renovable en la generación eléctrica del país. La Intendencia de Energía, el Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC), el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), y los Concejos Municipales y Regionales del país, en su caso, deben apoyar el desarrollo efectivo de estos proyectos.

Los agentes económicos con Proyectos de Generación de Energía Eléctrica con Fuentes Renovables en operación y que deseen realizar ampliaciones en su capacidad instalada que estén acordes con los requisitos de esta Ley, podrán optar a los beneficios de esta Ley, solicitándolo para su aprobación a la Intendencia de Energía.

2.3.2. Ampliación de proyectos urbanos de energía renovable y su regulación

Según la ley No. 532 de Nicaragua (2005), se describe en los siguientes artículos la ampliación de proyectos de energía renovable:

Artículo 12.- Priorización de las energías renovables en las contrataciones por las Distribuidoras: Será obligación de las Distribuidoras incluir dentro de sus procesos de licitación la contratación de energía y/o potencia eléctrica proveniente de centrales eléctricas con energía renovable, prioritariamente hidroeléctricas, geotérmicas, eólicas, biomasa, tomando en cuenta los plazos de construcción necesarios para la entrada en operación de cada tipo de estos proyectos para establecer la fecha de inicio de la licitación.

Artículo 13.- Los contratos surgidos de estas licitaciones serán por un plazo mínimo de 10 años.

Artículo 14.- El Ente Regulador garantizará que, en los documentos de licitación para la compra de energía y potencia por las distribuidoras, se especifique el requisito de contratar un porcentaje de energía renovable tomando en cuenta las políticas y estrategias dictadas por la CNE. El Consejo Directivo de la Superintendencia de Servicios Públicos aprobará la Normativa para determinar los precios a los cuales se podrá contratar el porcentaje de energía renovable establecida.

El porcentaje adicional de la energía a contratarse por las Distribuidoras podrá ser licitado sin especificar el tipo de fuente.

Artículo 15.- El Ente Regulador garantizará, además, que en los documentos para la licitación de cualquier energía eléctrica que lleve a cabo un Distribuidor se establezca que, para los efectos de comparación de los precios de las ofertas térmicas versus los precios de las ofertas con energía renovable y su resultante adjudicación, se incluya en las ofertas de energía térmica, el efecto de los costos de los combustibles a utilizarse sin considerar las exoneraciones a sus impuestos.

Artículo 16.- La energía producida por empresas que se acogen a los incentivos otorgados por la presente Ley y no tengan contratos con el Distribuidor u otros agentes, deberán vender esta energía en el mercado de ocasión interno de acuerdo con sus precios promedios diarios, manteniéndose dentro de una banda de precios no menor de 5.5 centavos de dólar por Kwh ni mayor de 6.5 centavos de dólar por Kwh.

La Intendencia de Energía establecerá los procedimientos para otorgar los permisos de exportación de energía cuando esté satisfecha la demanda interna, los permisos de exportación deberán distribuir de manera proporcional entre todos los Proyectos de Generación de Energía con Fuentes Renovables (PGEFR) la capacidad de exportar.

La Intendencia de Energía establecerá el procedimiento para actualizar esta banda de precios debidamente justificada por los índices económicos nacionales e internacionales, considerando las políticas dictadas en este campo por la Comisión Nacional de Energía.

El Consejo Directivo de la Superintendencia de Servicios Públicos autorizará las resoluciones de actualización.

Artículo 17.- Requerimientos de Reserva Rodante y otros servicios auxiliares: Los requerimientos de reserva rodante asignada a los generadores de energías renovables, podrán ser cubiertos por sus propias plantas o mediante contratación con otros generadores. La normativa determinará la forma de utilización de estas reservas.

2.3.3 Caracterización y comercialización del servicio

Según la ley No. 532 de Nicaragua (2005). Los nuevos proyectos y las ampliaciones que clasifican como PGEFR de acuerdo con esta Ley, realizados por personas naturales y jurídicas, privadas, públicas o mixtas gozarán de los siguientes incentivos:

1. Exoneración del pago de los Derechos Arancelarios de Importación (DAI), de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para las labores de pre inversión y las labores de la construcción de las obras incluyendo la construcción de la línea de subtransmisión necesaria para transportar la energía desde la central de generación hasta el Sistema Interconectado Nacional (SIN).
2. En el caso de los proyectos denominados Sistemas Aislados con generación propia, esta exoneración cubre sus labores de pre inversión, las labores de construcción de las obras para generación con fuentes renovables y las de la construcción de las líneas de subtransmisión y todas las inversiones en distribución asociadas al proyecto, los paneles y baterías solares para generación de energía solar.
3. Exoneración del pago del Impuesto al Valor Agregado (IVA) sobre la maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para las labores de pre inversión y la construcción de las obras incluyendo la construcción de la línea de subtransmisión necesaria para transportar la energía desde la central de generación hasta el Sistema Interconectado Nacional (SIN).
4. En el caso de los proyectos denominados Sistemas Aislados con generación propia, esta exoneración cubre sus labores de pre inversión, las de construcción de las obras para generación con fuentes renovables y las de la construcción de las líneas

de subtransmisión y todas las inversiones en distribución asociadas al proyecto, la compra de paneles y baterías solares.

5. Exoneración del pago del Impuesto sobre la Renta (IR) y del pago mínimo definido del IR establecido en la Ley No. 453, Ley de Equidad Fiscal, por un período máximo de 7 años a partir de la entrada de operación comercial o mercantil del Proyecto. Igualmente, durante este mismo período estarán exentos del pago del IR los ingresos derivados por venta de bonos de dióxido de carbono.
6. Exoneración de todos los Impuestos Municipales vigentes sobre bienes inmuebles, ventas, matrículas durante la construcción del Proyecto, por un período de 10 años a partir de la entrada en operación comercial del Proyecto, la que se aplicará de la forma siguiente: exoneración del 75% en los tres primeros años; del 50% en los siguientes cinco años y el 25% en los dos últimos años. Las inversiones fijas en maquinaria, equipos y presas hidroeléctricas estarán exentas de todo tipo de impuestos, gravámenes, tasas municipales, por un periodo de 10 años a partir de su entrada en operación comercial.
7. Exoneración de todos los impuestos que pudieran existir por explotación de riquezas naturales por un período máximo de 5 años después del inicio de operación.
8. Exoneración del Impuesto de Timbres Fiscales (ITF) que pueda causar la construcción u operación del proyecto o ampliación por un período de 10 años.

2.4. Referencias sobre mejoras en el uso de la energía fotovoltaica

En este apartado se explicará el contexto de proyectos de energía fotovoltaica para la reducción de dióxido de carbono, el ahorro energético y los demás beneficios que pueden obtener a través del uso de esta.

2.4.1. Reducción de emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂)

Según Jaramillo, F (2016). Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) producida durante la manufactura de los paneles solares de silicio policristalino se compensan en el tiempo aproximado de dos (2) años, y como la vida útil de una central fotovoltaica es de treinta (30) años, entonces tendremos veinte y ocho (28) años de generación libre de emisiones, es decir generación eléctrica limpia.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) producida durante la manufactura de los paneles solares de silicio policristalino se reducirán conforme se diversifique la matriz energética y la participación de las energías alternativas se incremente, lo mismo sucederá

durante el reciclaje de los paneles. Al no utilizar acumuladores de energía y generar durante el día, se estima que las emisiones en el proceso de reciclado se reducen hasta en un 45 %.

2.4.2. Ahorro energético y eficiencia energética

La energía solar es la principal fuente de energía del planeta. En condiciones de sol despejado, la radiación solar promedio a nivel del mar es de aproximadamente 1000w/m^2 (Next City Labs, 2018). Existen diferentes formas de aprovechar este tipo de energía. Por un lado, está la energía fotovoltaica y por el otro la energía solar térmica. Se creería que los países ecuatoriales tienen una ubicación estratégica para la producción de este tipo de energía, pero la nubosidad constante afecta el índice de radiación anual. Por el contrario, las zonas áridas sin importar su ubicación son zonas claves para la explotación de este tipo de energía.

Según Restrepo, A. (2021). Los paneles solares son elementos que transforman la energía de radiación de la luz en energía eléctrica. Este efecto consiste en utilizar la energía de los fotones (energía solar) para generar un campo eléctrico que atraviesa la unión P-N. De esta forma se genera un campo de corriente continua. Los paneles solares se dividen en tres grandes grupos: monocristalinos, policristalinos y amorfos.

El funcionamiento de los módulos fotovoltaicos está relacionado de forma estrecha con la temperatura. Una temperatura elevada puede significar pérdidas de potencia, por el contrario, una baja temperatura genera ganancias. Los módulos fotovoltaicos se caracterizan bajo dos condiciones controladas. Los colectores híbridos o también conocidos como PVT, aprovechan los dos flujos de energía, reduciendo las pérdidas de energía por calor y aumentando la eficiencia eléctrica de los paneles fotovoltaicos.

2.4.3. Situación sobre energía renovable sostenible en la región

Según Snyder, V (2021). En América Latina y el Caribe, por ejemplo, aproximadamente el 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen de la generación de electricidad. Sin lugar a duda, el sector de energía es muy relevante para el cambio climático, así como también el sector de transporte, agricultura, industria y manufactura.

Al mismo tiempo, el sector de energía, fundamental y crítico para el desarrollo de los países, contribuye y se ve afectado por el cambio climático. Hay una relación intrínseca entre

ambos. Es decir, el sector afecta al cambio climático si no se avanza hacia una transición energética limpia, pero también es gran parte de la solución al problema del cambio climático.

En este sentido, las acciones del sector de energía son esenciales para mejorar la capacidad de generación de energía, reforzar y expandir las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica. Asimismo, son relevantes para mejorar y hacer posible el comercio regional mediante la interconexión de electricidad, mejorar el acceso a la electricidad y promover energía renovable y la introducción de nuevas tecnologías en la generación de electricidad. Estas acciones y decisiones se ven reflejadas en las políticas energéticas, planes de expansión y planificación eléctrica.

En muchos casos aún hay un desacople entre las políticas o planes de expansión y los objetivos del Acuerdo de París, ya sea en contenido o en el tiempo. A pesar de que los planes de expansión de generación eléctrica se han utilizado como insumos en la preparación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés, documento que indica los objetivos que cada país se estableció para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y adoptar medidas de mitigación), es común encontrar que el horizonte temporal de estas y el de los planes de expansión son completamente diferentes.

Y si se va más allá, adicionalmente el Acuerdo de París, invita a los países a formular y comunicar Estrategias de Desarrollo a Largo Plazo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (Long Term Strategies, o LTS por sus siglas en inglés). Es decir, se espera que cada país tenga una estrategia de cero emisiones de carbono y resiliente al clima. En el caso de la región, hasta el momento solo dos países han enviado su LTS, pero unos cuantos están trabajando en su preparación.

2.5. Factores que determinan las instalaciones de un sistema fotovoltaico

Para la instalación de un sistema fotovoltaico independiente, y para tener una buena captación de energía eléctrica mediante la matriz solar, se tienen que tomar en cuenta varios factores climatológicos y generales, que se expondrán en este apartado:

2.5.1. Factores climáticos para instalación de sistemas fotovoltaicos

La climatología de una zona puede afectar de manera significativa a la decisión de llevar a cabo una instalación fotovoltaica para el autoconsumo. Esto se debe a que las condiciones meteorológicas influyen directamente en la producción de energía solar y, por tanto, en la eficiencia de la instalación.

De acuerdo con Factor Energía (2023). Es necesario tener en cuenta los diferentes factores climáticos a la hora de elegir un lugar para la instalación de un sistema fotovoltaico. Estos factores, que influyen directamente en la capacidad de producción de la instalación, incluyen; la cantidad de horas de luz solar, la cantidad de nubes, el índice de humedad, la cantidad de precipitaciones y la temperatura media.

a). Selección de paneles solares según la zona

Según la climatología de la zona en la que se va a realizar la instalación fotovoltaica se puede recomendar el uso de un panel solar monocristalino o policristalino.

Para climas fríos se recomienda la instalación del panel solar monocristalino, ya que este tipo de placas solares tienden a absorber mejor la radiación solar.

Para climas cálidos se recomienda la instalación del panel solar policristalino, ya que absorbe el calor a una mayor velocidad y le afecta menos el sobrecalentamiento.

b). Análisis de sombras en la zona

Asimismo, es importante asegurarse de que la zona tenga un número suficiente de horas de luz solar durante todo el año. Esto es especialmente importante en áreas que experimentan largos períodos de oscuridad durante el invierno, ya que esto puede afectar la producción de energía. Además, es importante tener en cuenta que las sombras afectan directamente a la producción y llegan a los paneles fotovoltaicos disminuyendo la producción de energía y la eficiencia del sistema.

c). Impacto de la humedad y la lluvia

Otro factor a considerar es la cantidad de precipitaciones y humedad en la zona. Aunque las lluvias son necesarias para refrescar los paneles y mejorar su rendimiento, las tormentas pueden dañar seriamente la instalación y reducir su eficiencia.

Por su parte la humedad puede afectar a los paneles solares de varias maneras. Causando acumulación de agua en los paneles que puede llevar a daños en los componentes electrónicos, algo que en ambos casos desencadena en fallos graves que reducen la cantidad de energía que se puede producir, su eficiencia y durabilidad.

d). Análisis de radiación solar en la zona

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas

La importancia de la radiación solar directa e indirecta para los sistemas de energía solar fotovoltaica es clara. La radiación solar directa es la principal fuente de energía para los sistemas fotovoltaicos y se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Mientras que la radiación solar indirecta puede aumentar la eficiencia de los sistemas. Por lo tanto, es importante que los sistemas fotovoltaicos se ubiquen en áreas con una gran cantidad de radiación solar directa e indirecta. Al mismo tiempo, es importante tener en cuenta que los sistemas fotovoltaicos ubicados en áreas con mucha radiación solar indirecta tendrán una menor eficiencia.

e). Ventajas de la energía solar en zonas con altas temperaturas

La temperatura también es un factor clave para tener en cuenta. Aquellas zonas que cuentan con una temperatura media de entre los 20 y los 25 grados son óptimas para el funcionamiento eficiente de la energía solar, mediante el uso de paneles solares.

f). Eficiencia de los paneles solares a altas temperaturas

Los paneles fotovoltaicos funcionan mejor a temperaturas más bajas. Se calcula que las temperaturas altas de más de 30 grados pueden llegar a reducir la eficiencia de las placas solares en un 10%.

De ese modo, para controlar la temperatura de las placas y optimizar la producción de energía eléctrica será necesario instalar los paneles por encima del techo, dejando un espacio entre ambos y conseguir un efecto de enfriamiento.

2.5.2. Instalaciones de sistemas fotovoltaicos en viviendas

Según Hernández, R. (2017). Los sistemas fotovoltaicos se refieren a una amplia variedad de sistemas de energía solar que usan paneles hechos de celdas de silicio policristalino o monocristalino, las cuales son empleadas para convertir energía solar en electricidad. En la conferencia internacional de energía limpias en el 2009, Carbone mencionó que la eficiencia de estos sistemas estaba entre un 20% y un 40%.

Estos sistemas han sido investigados ampliamente a nivel mundial debido a su impacto ambiental. Estos sistemas emplean electrónica de potencia e inversores dc-ac y convertidores dc-dc son requeridos para integrar el sistema sistemas fotovoltaicos con la red de distribución.

Varios módulos ensamblados mecánicamente entre ellos forman el panel, por lo que un sistema fotovoltaico está formado por el conjunto de paneles fotovoltaicos, componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, en energía eléctrica utilizable.

Los sistemas fotovoltaicos generan electricidad a partir de la intensidad de la radiación solar, no del calor; por lo que el frío no representa ningún problema para el aprovechamiento. Los paneles fotovoltaicos pueden ser conectados en serie, en paralelo o la combinación adecuada para obtener la corriente y tensión eléctrica necesaria para una determinada aplicación.

Para cada aplicación, el sistema fotovoltaico tendrá que ser dimensionado teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Carga eléctrica.
- ✓ Potencia pico.
- ✓ Latitud del lugar y radiación solar media anual del mismo.
- ✓ Características arquitectónicas específicas del edificio.
- ✓ Características eléctricas específicas de la carga.
- ✓ Posibilidad de conexión a la red eléctrica.

La integración de módulos fotovoltaicos (FV) en la edificación siempre debería tener en cuenta adicionalmente los criterios de la arquitectura bioclimática y atender a las características particulares de cada climatología de manera que se asegure que la

temperatura de los módulos no se incrementa sustancialmente ya que disminuiría su eficacia.

Además, ayudaría a evitar que se produzcan acumulaciones de calor en el edificio que pudieran forzar un aumento significativo del consumo de energía para el acondicionamiento de aire. La superficie que ocupa este tipo de instalación depende de la potencia a instalar y del tipo de módulos utilizados.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Área de localización del estudio

El estudio se desarrollará en la Urbanización Valle Santa Rosa, ubicada a tres kilómetros al oeste del empalme de la Cuesta El Plomo, en el municipio de Mateare, Managua. Esta urbanización fue concebida para viviendas de clase media, con tres modelos arquitectónicos predominantes que presentan condiciones óptimas para la instalación de sistemas fotovoltaicos residenciales de autoconsumo. La elección de esta área responde a la necesidad de evaluar la viabilidad técnica, económica y social de implementar tecnologías de energía limpia en contextos urbanos emergentes, contribuyendo así a la sostenibilidad energética y reducción de emisiones de carbono.

3.2 Tipo de estudio según el enfoque, amplitud o período

El presente estudio adopta un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para obtener una visión integral. En el aspecto cuantitativo se aplicarán encuestas estructuradas para recolectar datos objetivos sobre consumo energético, aceptación y características técnicas de las viviendas. En el enfoque cualitativo se realizarán entrevistas semiestructuradas con actores clave (residentes, técnicos, autoridades locales) para profundizar en percepciones, expectativas y barreras.

Respecto a la amplitud, el estudio es exploratorio-descriptivo, pues busca conocer y describir las condiciones actuales, potencialidades y limitaciones para la implementación del sistema fotovoltaico. Se realizará en un período transversal, recolectando datos en un único momento, lo que permite evaluar el estado actual y la predisposición de los usuarios para adoptar la tecnología.

3.3 Población y muestra

La población objetivo está conformada por los residentes de la Urbanización Valle Santa Rosa, específicamente propietarios o habitantes de viviendas de los tres modelos típicos disponibles, quienes constituyen la unidad de análisis para el estudio.

3.3.1 Tipo de muestra y muestreo

Se aplicará un muestreo probabilístico estratificado, considerando los tres modelos de viviendas como estratos para garantizar la representatividad de cada tipo. Se seleccionará una muestra aleatoria simple, calculada con un nivel de confianza del 95% y un margen de

error del 5%, donde la población es de 950 casas en el que utilizará la fórmula de muestreo para poblaciones finitas.

$$\text{Tamaño de Muestra} = Z^2 * (p) * (1-p) / c^2$$

Donde:

Z = Nivel de confianza (95% o 99%)

p = .5

c = Margen de error (.04 = ±4)

3.3.2 Técnicas e instrumentos de la investigación

Para la recolección de datos se emplearán:

Encuestas estructuradas: Aplicadas a los residentes seleccionados, con preguntas cerradas y escalas Likert, para medir consumo eléctrico, conocimiento sobre energía solar, disposición a invertir y percepción sobre beneficios ambientales y económicos.

Entrevistas semiestructuradas: Dirigidas a líderes comunitarios, técnicos en energía y autoridades locales, con el fin de explorar aspectos cualitativos como barreras, oportunidades, políticas locales y experiencias previas.

Los instrumentos serán validados mediante juicio de expertos y un piloto previo para asegurar su claridad, pertinencia y confiabilidad.

3.4 Diseño

Se empleará un diseño no experimental, transversal y mixto, que combina la descripción cuantitativa con el análisis cualitativo para obtener un panorama completo y fundamentado de la viabilidad del proyecto fotovoltaico.

3.4.1 Recolección de datos

La recolección se realizará con visitas programadas a las viviendas y entrevistas concertadas con anticipación. Se garantizará la confidencialidad y el consentimiento informado de los participantes, siguiendo los protocolos éticos establecidos.

3.4.2 Criterios de calidad: credibilidad, confiabilidad

Credibilidad: Se aplicará triangulación metodológica combinando datos cuantitativos y cualitativos, y validación de resultados con actores claves para fortalecer la veracidad de los hallazgos (Lincoln & Guba, 1985).

Confiabilidad: Los instrumentos cuantitativos serán sometidos a análisis de consistencia interna (alfa de Cronbach), y las entrevistas se espera sean grabadas y transcritas para garantizar la precisión en el análisis (Polit & Beck, 2017).

3.5 Operacionalización de variables

A continuación, se presentan las variables que han sido definidas para dar respuesta a los objetivos específicos de esta investigación. Cada una de ellas ha sido operacionalizada considerando dimensiones, indicadores e instrumentos de recolección de datos que permitan su medición de manera válida y confiable:

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Consumo energético	Cantidad de energía eléctrica utilizada por la vivienda	Consumo mensual (kWh)	Factura eléctrica, autoinforme	Encuesta
Conocimiento sobre energía solar	Nivel de información que poseen los usuarios sobre tecnología fotovoltaica	Fuentes de información, comprensión técnica	Preguntas sobre conceptos básicos y beneficios	Encuesta
Disposición a invertir	Voluntad y capacidad de los residentes para adoptar el sistema	Interés, capacidad económica, motivación	Preguntas Likert sobre intención y presupuesto	Encuesta
Beneficios percibidos	Percepción de ventajas ambientales, económicas y sociales	Ahorro, sostenibilidad, imagen social	Escalas de valoración de beneficios	Encuesta

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Barreras y limitaciones	Obstáculos identificados para la implementación	Técnicas, económicas, sociales, regulatorias	Opiniones y experiencias relatadas	Encuesta

3.6 Análisis de datos

Los datos cuantitativos serán analizados mediante estadística descriptiva (medias, frecuencias) para identificar patrones de consumo y tendencias en la percepción y disposición. Además, se utilizarán pruebas de correlación para explorar relaciones entre variables.

Los datos cualitativos se analizarán por medio de codificación temática para identificar categorías recurrentes relacionadas con barreras, oportunidades y factores contextuales.

Los resultados se integrarán derivados de los resultados de análisis de los datos, para para patrones en las viviendas que respalden la prefactibilidad técnica, económica.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. Estudio de Mercado

El estudio de mercado constituye una fase fundamental en la elaboración de proyectos de inversión, ya que permite analizar las condiciones actuales y proyectadas de la oferta y la demanda, así como las percepciones de los potenciales usuarios frente al bien o servicio propuesto. En este caso, el objetivo es determinar la viabilidad de la instalación de sistemas fotovoltaicos de autoconsumo en las viviendas de la Urbanización Valle Santa Rosa, ubicada en el municipio de Mateare, Managua.

4.1.1 Contexto energético nacional y regional

Nicaragua ha experimentado una transformación significativa en su matriz energética en las últimas dos décadas, pasando de una alta dependencia de combustibles fósiles (72 % en 2006) a que, en 2024, más del 80 % de la generación eléctrica provenga de fuentes renovables, principalmente hidroeléctrica, geotérmica, eólica y solar (ENATREL, 2024). Sin embargo, pese a estos avances, las tarifas eléctricas residenciales se mantienen entre las más altas de Centroamérica, con un promedio que oscila entre 0.176 y 0.22 USD/kWh (GlobalPetrolPrices, 2024; OLADE, 2023).

En cuanto al recurso solar, la región de Managua y sus alrededores dispone de altos niveles de radiación solar (horas-sol/día promedio), lo cual favorece la productividad de sistemas fotovoltaicos y reduce los periodos de recuperación de la inversión. Estudios de recurso (PVKnowhow, 2023) confirman que los niveles de insolación en la zona permiten una rentabilidad técnica adecuada para proyectos residenciales de autoconsumo.

4.1.2 Demanda potencial en la Urbanización Valle Santa Rosa

La Urbanización Valle Santa Rosa está conformada por 951 viviendas y una población estimada superior a 4,000 habitantes. El consumo promedio de los hogares de clase media en Nicaragua se encuentra entre 150 y 350 kWh mensuales, lo que genera facturas eléctricas de aproximadamente 35 a 75 USD. Para el análisis financiero del presente estudio, se adopta como referencia un consumo de 250 kWh/mes (3,000 kWh/año) por vivienda representativa.

Las principales motivaciones detectadas para la adopción de sistemas fotovoltaicos son:

- Reducción de la factura eléctrica y protección ante aumentos tarifarios.
- Mejora en la continuidad y calidad del servicio, reduciendo el impacto de fluctuaciones.
- Interés ambiental creciente y preferencia por energías limpias.

La demanda potencial en Valle Santa Rosa puede estimarse de manera progresiva: si al menos el 20 % de las viviendas adoptaran sistemas de autoconsumo en los próximos cinco años, se instalaría una capacidad aproximada de 950 kW en la urbanización, con un impacto directo en la reducción de la dependencia de la red y en el gasto energético de los hogares.

4.1.3 Oferta de mercado y proveedores locales

En Nicaragua existen empresas con experiencia consolidada en el suministro e instalación de sistemas fotovoltaicos residenciales. Entre ellas destacan **Tecnosol**, **Solar Power Nicaragua** y **Green Energy**, que ofrecen soluciones “llave en mano” con paneles solares, inversores, instalación y servicios de mantenimiento.

Los costos de instalación varían en función de la capacidad y la tecnología:

- Para sistemas residenciales on-grid (sin baterías), el costo promedio oscila entre **1,500 y 2,500 USD por kW instalado**.
- Para un hogar promedio (3–5 kW), la inversión inicial se ubica entre **4,500 y 12,500 USD** (MEM, 2024).

Las garantías ofrecidas para equipos principales, como paneles solares e inversores, suelen estar en el rango de 10 a 25 años, lo que otorga confianza al usuario respecto a la durabilidad de la inversión.

4.1.4 Barreras y oportunidades

Barreras:

- Alto costo inicial de inversión y limitada disponibilidad de financiamiento especializado.

- Escaso conocimiento técnico de los usuarios residenciales sobre la tecnología solar.
- Ausencia de incentivos fiscales directos o subsidios para hogares.

Oportunidades:

- Tarifas eléctricas relativamente altas que favorecen la amortización (GlobalPetrolPrices, 2024).
- Abundante recurso solar que incrementa la rentabilidad técnica (PVKnowhow, 2023).
- Presencia de proveedores locales experimentados que facilitan la implementación (Tecnosol, 2024).
- Tendencia creciente hacia políticas públicas de sostenibilidad energética en la región.

4.2. Estudio Técnico

El estudio técnico tiene como objetivo analizar las condiciones técnicas necesarias para la instalación de un sistema fotovoltaico de autoconsumo en las viviendas de la Urbanización Valle Santa Rosa, Mateare. Esta etapa busca dimensionar la capacidad del sistema, identificar los equipos requeridos, evaluar la factibilidad de instalación y establecer los parámetros de operación para garantizar eficiencia, seguridad y sostenibilidad.

4.2.1. Condiciones climatológicas y radiación solar en la zona

La radiación solar disponible en Nicaragua se encuentra entre las más altas de Centroamérica, lo que constituye una ventaja competitiva para proyectos fotovoltaicos. Estudios de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2023) y del Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2024) indican que la irradiancia global promedio en la región de Mateare oscila entre **4.5 y 5.5 kWh/m²/día**. Este valor es suficiente para garantizar la producción estable de energía solar durante todo el año.

El municipio de Mateare se ubica a 12° norte de latitud y 86° oeste de longitud, con una altitud aproximada de 85 msnm, lo que le otorga condiciones favorables de insolación. La temperatura promedio anual es de 27 °C, con variaciones mínimas que no afectan significativamente el rendimiento de los módulos fotovoltaicos (NASA-POWER, 2023).

4.2.2. Estimación del consumo eléctrico residencial

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico requiere identificar la demanda energética promedio de los hogares de la urbanización.

De acuerdo con los datos obtenidos de los Números de Identificación de Servicio (NIS) y encuestas a los residentes:

- Consumo mínimo: **160 kWh/mes**
- Consumo promedio: **350 kWh/mes**
- Consumo máximo: **767 kWh/mes**

Considerando un hogar promedio de **250 kWh/mes**, el consumo diario se estima en:

$250 \text{ kWh/mes} \div 30 \text{ días} = 8.3 \text{ kWh/día}$
 $250 \text{ kWh/mes} \div 30 \text{ días} = 8.3 \text{ kWh/día}$

4.2.3. Dimensionamiento preliminar del sistema fotovoltaico

El dimensionamiento técnico se realiza tomando en cuenta la radiación solar disponible, las pérdidas del sistema y el consumo de los hogares.

1. **Demanda diaria por vivienda:**

8.3 kWh/día

2. **Radiación solar promedio en Mateare:**

$5.0 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$

3. **Eficiencia global del sistema (considerando pérdidas por temperatura, inversor, cableado, orientación y polvo):**

$75\% = 0.75$

4. **Producción necesaria del sistema fotovoltaico (kWp):**

$\frac{8.3}{5.0 \times 0.75} = 2.21 \text{ kWp}$

Por lo tanto, cada vivienda requiere un sistema de aproximadamente **2.5 kWp** para cubrir su consumo promedio.

4.2.4. Selección de equipos principales

- **Paneles solares fotovoltaicos:**

Se recomiendan módulos monocristalinos de 400 Wp, con eficiencia del 20 %. Para un sistema de 2.5 kWp se necesitarían:

$2.5 \text{ kWp} \div 0.4 \text{ kWp/panel} = 7 \text{ paneles}$

- **Inversor solar:**

Un inversor de 3 kW de onda senoidal pura, con eficiencia mínima del 95 %, adecuado para conexión a red (on-grid) o híbrido.

- **Baterías (opcional, según modalidad):**

Para sistemas híbridos o aislados se recomiendan baterías de litio de ciclo profundo de 5 kWh, capaces de almacenar energía para 12–24 horas de autonomía.

- **Estructura de soporte:**

Estructuras metálicas con inclinación de 12° (igual a la latitud local ajustada) orientadas al sur, con recubrimiento anticorrosivo para soportar condiciones tropicales.

- **Sistema de protección:**

Interruptores termomagnéticos, fusibles, regulador de carga, sistema de puesta a tierra y pararrayos, conforme a la normativa **NEC 2023** y la **Norma Técnica de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua (NTIN, 2022)**.

4.2.5. Factibilidad de instalación en la Urbanización Valle Santa Rosa

Las viviendas de la urbanización presentan techos de concreto y teja con superficie disponible promedio de **25 m²**, suficiente para instalar hasta 10 paneles solares. Dado que el requerimiento promedio es de 7 paneles, la factibilidad de espacio está garantizada.

Adicionalmente, la infraestructura eléctrica existente permite la conexión de sistemas on-grid mediante el esquema de medición neta (net metering), regulado por el Instituto Nicaragüense de Energía (INE), lo cual permite a los usuarios inyectar excedentes de energía a la red y recibir compensación en sus facturas.

4.2.6. Operación y mantenimiento

El sistema fotovoltaico requiere un mantenimiento preventivo mínimo, consistente en la limpieza de los paneles cada 2–3 meses para evitar pérdidas por polvo (que pueden llegar hasta un 10 % de la producción). Los inversores y baterías requieren revisión anual y

reemplazo cada 10 y 15 años respectivamente. La vida útil estimada de los paneles es de 25 años, lo cual garantiza la sostenibilidad del proyecto.

4.3. Estudio Ambiental

El Estudio Ambiental tiene como finalidad evaluar los impactos potenciales de la instalación de un sistema fotovoltaico de autoconsumo en las viviendas de la Urbanización Valle Santa Rosa, considerando aspectos físicos, ecológicos y sociales, así como las medidas de mitigación necesarias para garantizar un desarrollo sostenible del proyecto.

4.3.1 Características ambientales del área de estudio

La urbanización Valle Santa Rosa se encuentra en el municipio de Mateare, Departamento de Managua, en una zona urbana en expansión con clima tropical seco y estación lluviosa concentrada entre mayo y octubre. La región presenta:



- Radiación solar alta y constante durante el año (4–7 kWh/m²/día), lo que asegura disponibilidad energética para sistemas fotovoltaicos residenciales.
- Baja densidad de cobertura vegetal dentro de la urbanización, lo que facilita la instalación de paneles solares en techos y áreas comunes.
- Red de servicios básicos urbanizados, incluyendo acceso a energía, agua potable y saneamiento, minimizando impactos ambientales por la construcción del sistema.

4.3.2 Identificación de impactos ambientales

Impactos positivos:

- Reducción de emisiones de CO₂ y gases contaminantes asociados a generación eléctrica con combustibles fósiles. Cada vivienda equipada con 2.5 kWp de paneles solares evitaría aproximadamente 1.44 toneladas de CO₂ al año, o ~34 toneladas durante toda la vida útil del sistema, considerando pérdidas de degradación.
- Disminución de la dependencia de la red eléctrica convencional, contribuyendo a la estabilidad del suministro y disminuyendo pérdidas por transmisión.
- Promoción de educación ambiental y conciencia ecológica entre los residentes, incentivando el uso de energías renovables.

Impactos negativos potenciales (controlables):

- Generación de residuos de embalaje y materiales durante la instalación de los paneles e inversores.
- Riesgo mínimo de contaminación visual o acústica durante la instalación, principalmente por el manejo de equipos y herramientas.
- Necesidad de disposición final de paneles y baterías al final de su vida útil (aproximadamente 25 años), que requiere plan de reciclaje.
- Aunque ya dicen que es baja la densidad de cobertura, vale la pena mencionar si habrá poda de vegetación, principalmente árboles, y si es así luego pueden en las medidas de mitigación incluir una iniciativa de reforestación del parque de la urbanización como medida de compensación.

4.3.3 Medidas de mitigación ambiental

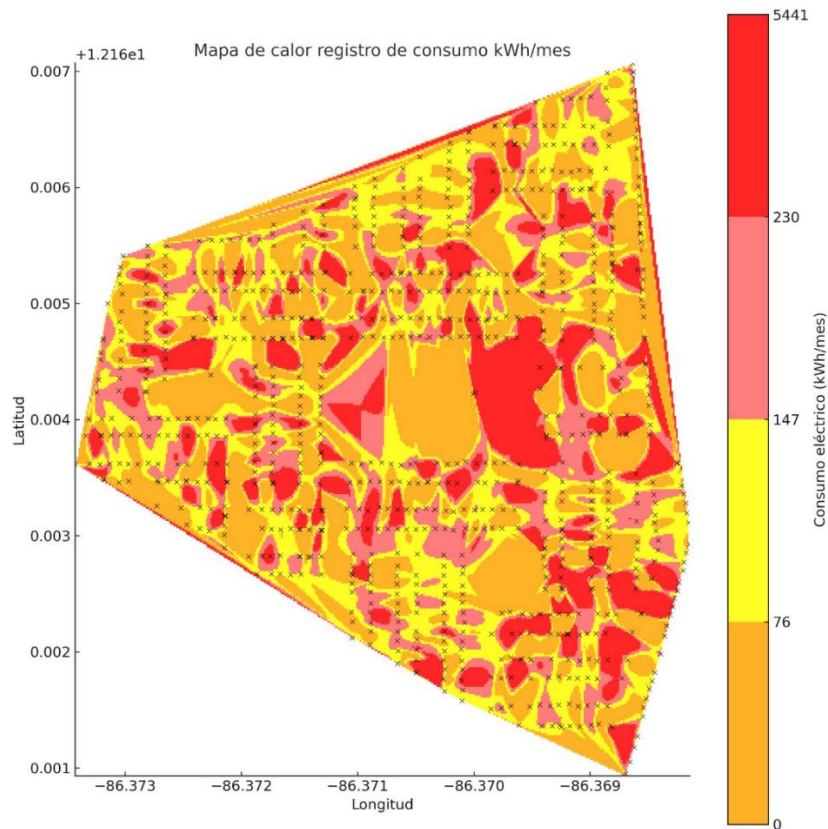
Para garantizar la sostenibilidad del proyecto, se proponen las siguientes medidas:

- Manejo adecuado de residuos de instalación, incluyendo reciclaje de embalajes y disposición responsable de baterías.
- Instalación siguiendo normas de seguridad y protección ambiental para evitar impactos sobre el vecindario durante los trabajos.
- Sensibilización de los usuarios sobre mantenimiento de equipos y disposición final de componentes al término de su vida útil.

4.4. Estudio Financiero

Se modelan tres sistemas **on-grid** por vivienda basados en un consumo mínimo de 160 kwh/mes, promedio de 350 kwh/mes y máximo de 767 kwh/mes, con un sistema fotovoltaico de **~2.5 kWp** por vivienda (cifra derivada del dimensionamiento técnico), coste referencial de instalación y parámetros económicos de mercado. Se calculan: inversión inicial (CAPEX), ahorros estimados anuales, tiempo de recuperación simple (PRI), Valor Actual Neto (VAN) a una tasa de descuento del 8 % y Tasa Interna de Retorno (TIR). También se presenta un análisis de sensibilidad.

Para la caracterización del consumo eléctrico fotovoltaico se presenta a continuación el mapa de calor, en donde se identifican las zonas de menor consumo, consumo medio y mayor consumo residencial en la Urbanización Valle Santa Rosa. Cabe destacar que la información de esta infografía, se basa en la información real del consumo según Disnorte – Dissur.



Cálculo de la Energía Generada por los Módulos

Como ya tenemos las horas sol del sitio, trasladaremos el consumo de energía previsto del proyecto, también se toma el criterio de diseño con una prevista por pérdidas técnicas y no técnicas del 20%.

Dimensionamiento de Módulos Fotovoltaicos.

A continuación, se describirá paso a paso la metodología de cálculo para la selección de los módulos fotovoltaico.

Evaluación del Consumo Energético.

La evaluación del consumo energético es un paso crucial en el diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. Esta evaluación permite determinar la cantidad de energía que necesita ser generada y almacenada para satisfacer la demanda energética.

Determinación del Potencial Solar.

Se procede con la determinación de las Horas solar Pico con la siguiente ecuación.

$$HPS: \frac{\text{Irradiacion minima (kWh/m}^2\text{)}}{\text{irradiancia solar constante de (1.0 kW/m}^2\text{)}}$$

Irradiación mínima (kWh/m²) = 4.34 kWh/m²

$$HPS: \frac{4.00 \text{ (kWh/m}^2\text{)}}{(1.00 \text{ kW/m}^2\text{)}} = 4.34 \text{ horas}$$

Determinación del Número de Módulos Fotovoltaicos.

Para el siguiente criterio se tomará las características propias del módulo fotovoltaico y considerando que en el mercado nacional y local se encuentra.

Marca	DAHAI SOLAR
Tipo	Monocristalino
Pruebas	STC
Modelo	DHM72T31-585/TP
Potencia	585 Wp
Voltaje Max	44.75 Vmp
Voltaje VOC	51.30 Voc
Corriente Falla	14.37 Isc
Corriente Nom	13.07 Imp
Eficiencia	22.64%

Con la información presentada de la ficha técnica del módulo, procedemos con el siguiente cálculo para establecer la cantidad de potencia requerida para alimentar las cargas eléctricas del proyecto.

$$Potencia\ Requerida\ (kW) = \frac{Consumo\ de\ energia\ (kWh/dia)}{HPS\ (horas)} \times factor\ de\ perdias$$

$$Numeros\ de\ modulos = \frac{Potencia\ requerida\ (W)}{Potencia\ nominal\ del\ panel\ FV\ (W)}$$

Los valores promedios de la data de suministros de la urbanización nos brindan las siguientes demandas de energía mensual descrita a continuación.

Mínimo	76 kW/h
Promedio	133 kW/h
Máximo	767 kWh

Teniendo el procedimiento de cálculo, podemos determinar el dimensionamiento de cada usuario según la clasificación definida.

Usuario	Sistema fotovoltaico
Demanda de energía 160 kwh/mes	<p>3 módulos de 585 Wp 1und inversor conexión a red 120/240V de 3kW</p> <p>A través de este primer cálculo de demanda de usuario, se pretende mostrar el consumo de una persona que consume 160 kwh/mes, para ellos se ha determinado el inversor y su capacidad instalada. Cabe destacar que este se ha determinado como rango de consumo mínimo al sobrepasar el valor máximo del subsidio eléctrico en Nicaragua.</p>
Demanda de energía 350 kwh/mes	<p>6 módulos de 585 Wp 1und inversor conexión a red 120/240V de 5kW</p> <p>A través de este segundo modelo de cálculo de demanda de usuario, se pretende mostrar el consumo de una persona que consume 350 kwh/mes, para ellos se ha determinado el inversor y su capacidad instalada. Este modelo se basa en el consumo de un cliente que tiene un consumo medio en su hogar.</p>
Demanda de energía 767 kwh/mes	<p>14 módulos de 585 Wp 1und inversor conexión a red 120/240V de 8kW</p> <p>A través de este tercer modelo de cálculo de demanda de usuario, se pretende mostrar el consumo de una persona que consume 767 kwh/mes, para ellos se ha determinado el inversor y su capacidad instalada. Este valor se basa en un alto consumo residencial, en este sentido no se han tomado valores mayores porque son de consumo comercial.</p>

4.4.1. Parámetros utilizados

4.4.1.1 Primer Modelo de Consumo

Tipo de demanda: 160 kWh/mes

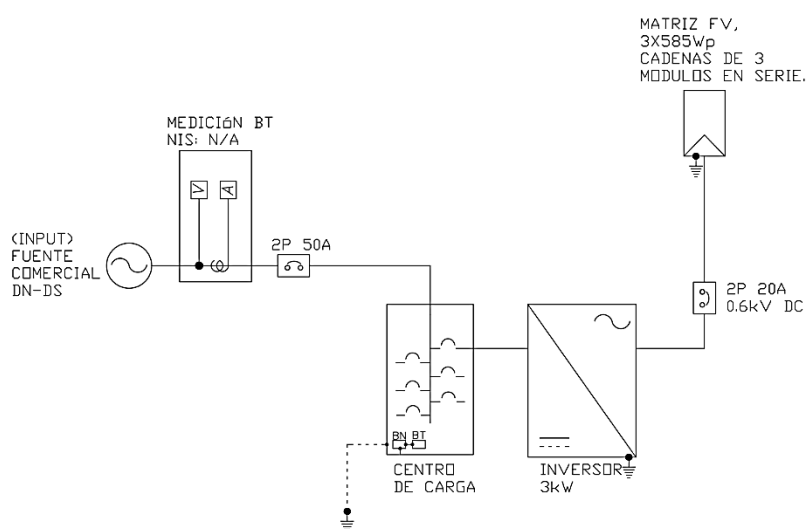
Ubicación: urbanización Valle santa Rosa.

Tipo de servicio: 120 / 240V, monofásico.

El proyecto está definido para un sistema compuesto por tres módulos de 585wp, estructura de aluminio situado en techo y debidamente impermeabilizado, fijación de un inversor con tecnología conexión a red con potencia de 3kW 240V, sistema de puesta a tierra y capaz de generar 6 kWh/día con una vida útil de 25 años por temas de generación.

Rubro principal	u.m	Costo (C\$)
Modulos FV 585 Wp.	Gbl	10,545.00
Estructuras de módulos en techo.	Gbl	3,885.00
Inversor conexión a red 3kW 240V.	Gbl	45,000.00
Materiales eléctricos, cableado, canalización, protecciones e insumos.	Gbl	24,050.00
Mano de obra por instalación y garantía.	Gbl	15,200.41
Total, neto C\$:		98,680.41

Anexo diagrama unificar de instalación.



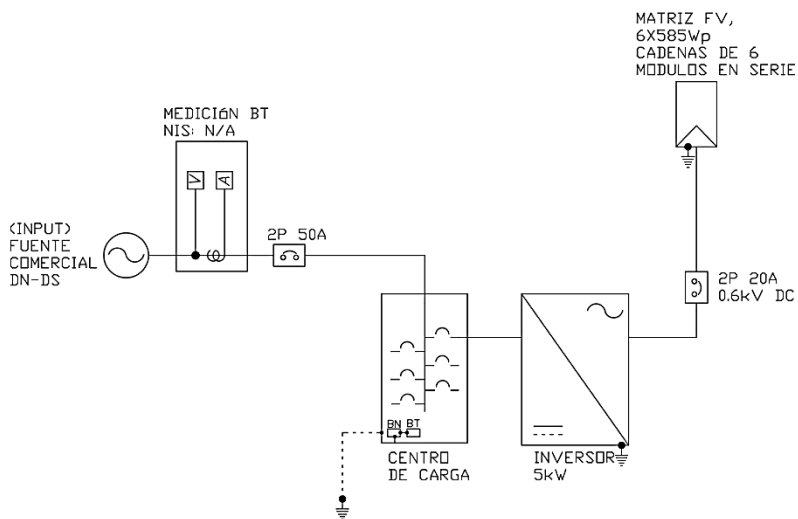
4.4.1.2 Segundo Modelo de Consumo

Tipo de demanda: 350 kWh/mes
Ubicación: urbanización Valle santa Rosa.
Tipo de servicio: 120 / 240V, monofásico.

El proyecto está definido para un sistema compuesto por seis módulos de 585wp, estructura de aluminio situado en techo y debidamente impermeabilizado, fijación de un inversor con tecnología conexión a red con potencia de 5kW 240V, sistema de puesta a tierra y capaz de generar 12 kWh/día con una vida útil de 25 años por temas de generación.

Rubro principal	u.m	Costo (C\$)
Modulos FV 585 Wp.	Gbl	21,090.00
Estructuras de módulos en techo.	Gbl	7,770.00
Inversor conexión a red 5kW 240V.	Gbl	46,250.00
Materiales eléctricos, cableado, canalización, protecciones e insumos.	Gbl	27,750.00
Mano de obra por instalación y garantía.	Gbl	18,240.00
Total, neto C\$:		130,610.00

Anexo diagrama unificar de instalación.



4.4.1.3 Tercer Modelo de Consumo

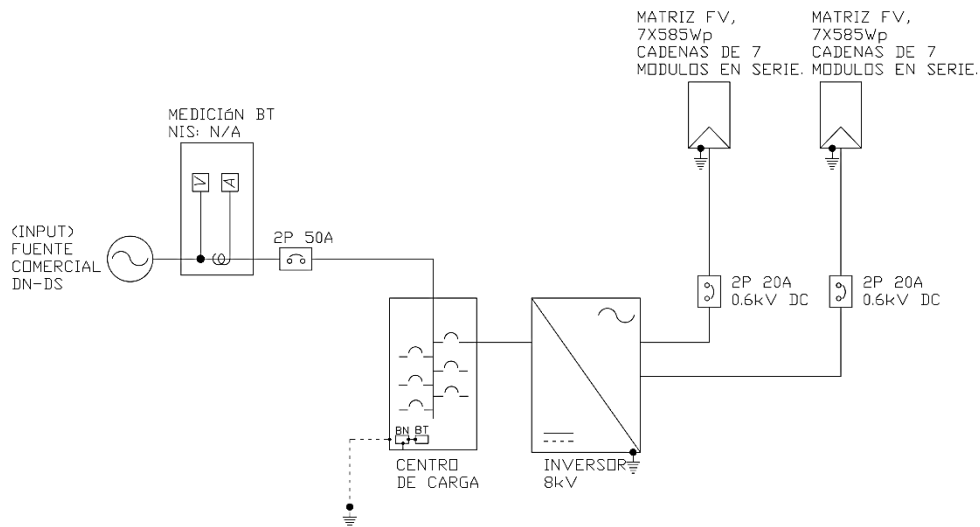
Tipo de demanda: 767 kWh/mes
Ubicación: urbanización Valle santa Rosa.

Tipo de servicio: 120 / 240V, monofásico.

El proyecto está definido para un sistema compuesto por catorce módulos de 585wp, estructura de aluminio situado en techo y debidamente impermeabilizado, fijación de un inversor con tecnología conexión a red con potencia de 8kW 240V, sistema de puesta a tierra y capaz de generar 27 kWh/día con una vida útil de 25 años por temas de generación.

Rubro principal	u.m	Costo (C\$)
Modulos FV 585 Wp.	Gbl	49,210.00
Estructuras de módulos en techo.	Gbl	18,130.00
Inversor conexión a red 5kW 240V.	Gbl	106,375.00
Materiales eléctricos, cableado, canalización, protecciones e insumos.	Gbl	36,624.30
Mano de obra por instalación y garantía.	Gbl	21,250.33
		Total, neto C\$:
		231,589.63

Anexo diagrama unificar de instalación.



4.4.2. Cálculos básicos (resultado por vivienda)

4.4.2.1 Costos primer Módulo de consumo

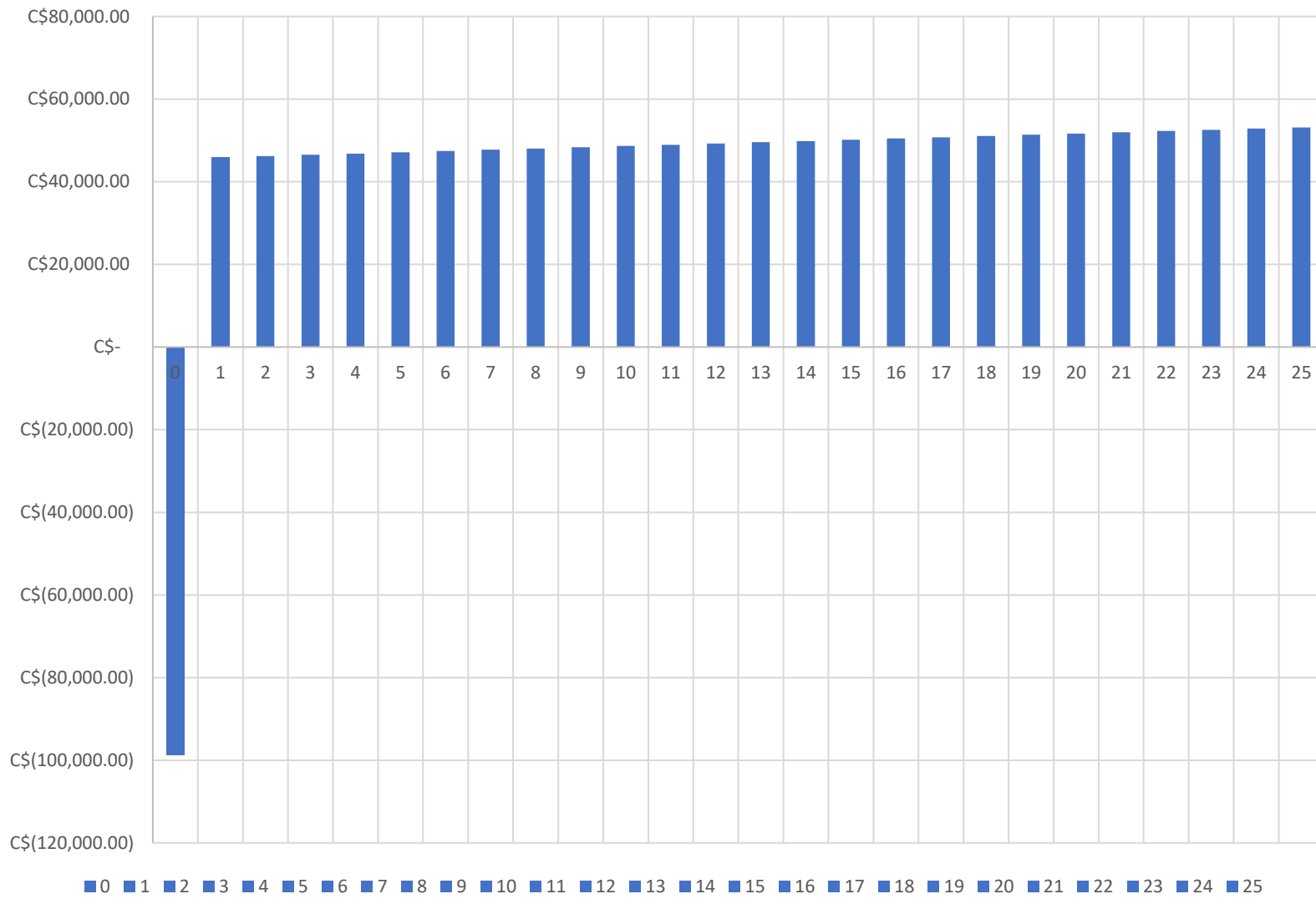
Años	kw	kwh/año	C\$/kwh	Ingresos	Costos mto	Pago kwh/año comercial DN-DS	Costos operativos	Flujo financiero
0								-C\$ 98,680.41
1	1.76	C\$7,644.62	8.00	C\$61,156.98	C\$2,960.41	C\$12,290.21	C\$15,250.62	C\$45,906.36
2	1.75	C\$7,602.58	8.12	C\$61,732.92	C\$2,960.41	C\$12,560.18	C\$15,520.59	C\$46,212.33
3	1.74	C\$7,560.76	8.24	C\$62,314.29	C\$2,960.41	C\$12,835.59	C\$15,796.00	C\$46,518.29
4	1.73	C\$7,519.18	8.37	C\$62,901.14	C\$2,960.41	C\$13,116.53	C\$16,076.94	C\$46,824.20
5	1.72	C\$7,477.82	8.49	C\$63,493.51	C\$2,960.41	C\$13,403.09	C\$16,363.50	C\$47,130.01
6	1.71	C\$7,436.69	8.62	C\$64,091.46	C\$2,960.41	C\$13,695.37	C\$16,655.78	C\$47,435.68
7	1.70	C\$7,395.79	8.75	C\$64,695.04	C\$2,960.41	C\$13,993.46	C\$16,953.87	C\$47,741.17
8	1.69	C\$7,355.12	8.88	C\$65,304.31	C\$2,960.41	C\$14,297.46	C\$17,257.87	C\$48,046.44
9	1.68	C\$7,314.66	9.01	C\$65,919.31	C\$2,960.41	C\$14,607.47	C\$17,567.88	C\$48,351.43
10	1.67	C\$7,274.43	9.15	C\$66,540.10	C\$2,960.41	C\$14,923.59	C\$17,884.00	C\$48,656.10
11	1.66	C\$7,234.42	9.28	C\$67,166.75	C\$2,960.41	C\$15,245.92	C\$18,206.33	C\$48,960.42
12	1.65	C\$7,194.63	9.42	C\$67,799.29	C\$2,960.41	C\$15,574.55	C\$18,534.97	C\$49,264.32
13	1.64	C\$7,155.06	9.56	C\$68,437.79	C\$2,960.41	C\$15,909.61	C\$18,870.02	C\$49,567.77
14	1.63	C\$7,115.71	9.71	C\$69,082.30	C\$2,960.41	C\$16,251.18	C\$19,211.59	C\$49,870.71
15	1.62	C\$7,076.57	9.85	C\$69,732.88	C\$2,960.41	C\$16,599.37	C\$19,559.78	C\$50,173.10
16	1.62	C\$7,037.65	10.00	C\$70,389.59	C\$2,960.41	C\$16,954.29	C\$19,914.70	C\$50,474.89
17	1.61	C\$6,998.95	10.15	C\$71,052.49	C\$2,960.41	C\$17,316.04	C\$20,276.45	C\$50,776.03
18	1.60	C\$6,960.45	10.30	C\$71,721.62	C\$2,960.41	C\$17,684.73	C\$20,645.15	C\$51,076.48
19	1.59	C\$6,922.17	10.46	C\$72,397.06	C\$2,960.41	C\$18,060.48	C\$21,020.89	C\$51,376.17
20	1.58	C\$6,884.10	10.62	C\$73,078.86	C\$2,960.41	C\$18,443.39	C\$21,403.80	C\$51,675.06
21	1.57	C\$6,846.23	10.77	C\$73,767.08	C\$2,960.41	C\$18,833.56	C\$21,793.98	C\$51,973.11
22	1.56	C\$6,808.58	10.94	C\$74,461.78	C\$2,960.41	C\$19,231.12	C\$22,191.54	C\$52,270.25
23	1.55	C\$6,771.13	11.10	C\$75,163.03	C\$2,960.41	C\$19,636.18	C\$22,596.59	C\$52,566.43
24	1.55	C\$6,733.89	11.27	C\$75,870.87	C\$2,960.41	C\$20,048.85	C\$23,009.26	C\$52,861.62

25	1.54	C\$6,696.86	11.44	C\$76,585.39	C\$2,960.41	C\$20,469.23	C\$23,429.65	C\$53,155.74
----	------	-------------	-------	--------------	-------------	--------------	--------------	--------------

Datos	Indicadores
Tasa de descuento (%)	8.0%
Vida util del proyecto (años)	25
Costo inicial del proyecto (c\$)	C\$ 98,680.41
Capacidad del sistema (kw)	1.76
Incremento tarifa c\$/año	1.5%
Factor de capacidad (%)/año	0.55%
Costo mantenimiento (%)/año	3.00%
Horas uso SFV /año	4380.00
Horas uso comercial /año	4380.00

Indicadores financieros	Resultado
VAN	C\$ 418,100.95
TIR	47%
PRI	2.14
B/C	1.15

Flujo financiero



4.4.2.2 Costos segundo Módulo de consumo

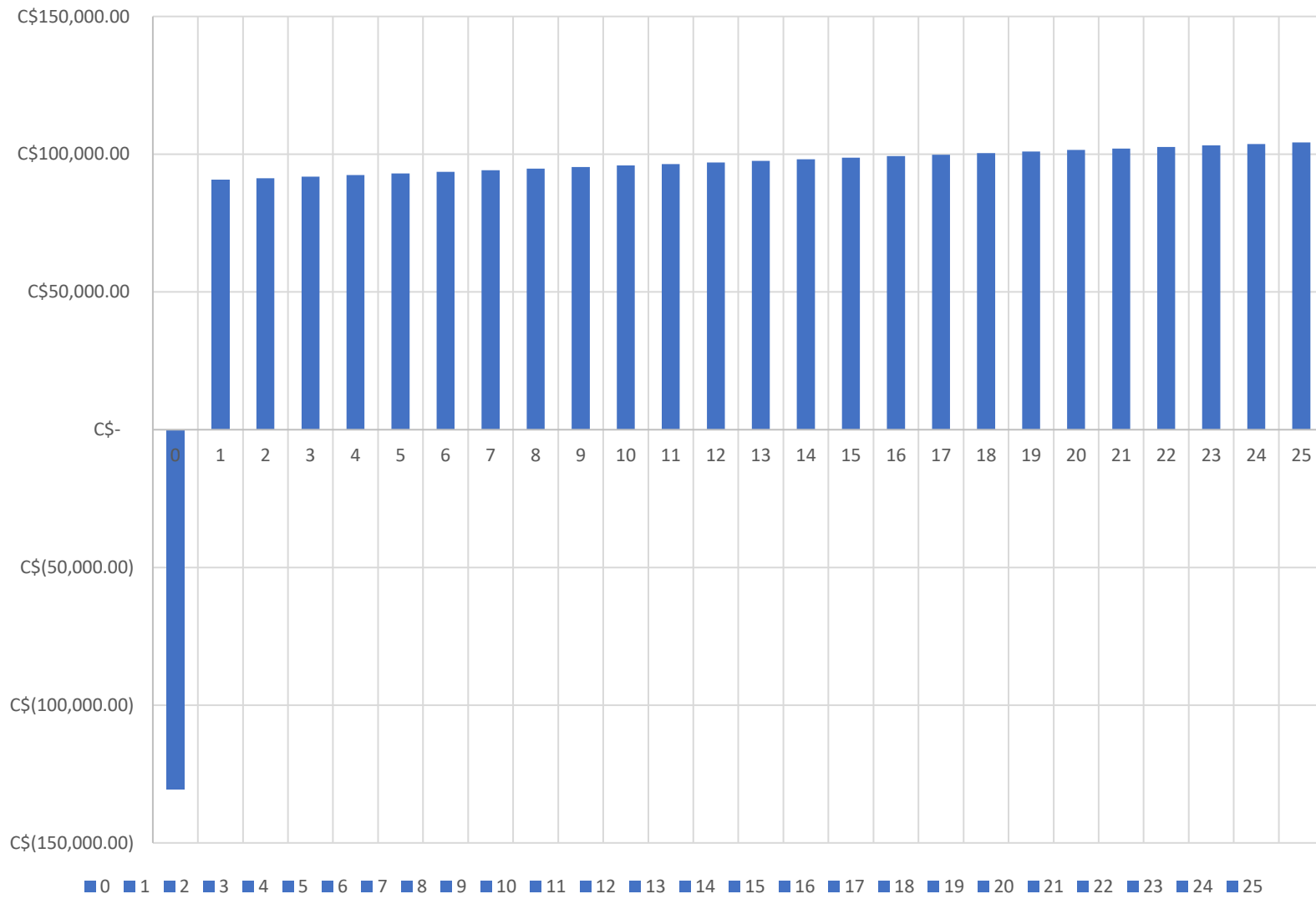
Años	kw	kwh/año	C\$/kwh	Ingresos	Costos mtto	Pago kwh/año comercial DN-DS	Costos operativos	Flujo financiero
0								C\$130,610.00
1	3.51	C\$15,289.24	8.00	C\$122,313.95	C\$5,224.40	C\$26,390.36	C\$31,614.76	C\$90,699.19
2	3.49	C\$15,205.15	8.12	C\$123,465.84	C\$5,224.40	C\$26,963.91	C\$32,188.31	C\$91,277.54
3	3.47	C\$15,121.52	8.24	C\$124,628.58	C\$5,224.40	C\$27,548.79	C\$32,773.19	C\$91,855.39
4	3.45	C\$15,038.36	8.37	C\$125,802.27	C\$5,224.40	C\$28,145.21	C\$33,369.61	C\$92,432.66
5	3.43	C\$14,955.65	8.49	C\$126,987.02	C\$5,224.40	C\$28,753.36	C\$33,977.76	C\$93,009.26
6	3.41	C\$14,873.39	8.62	C\$128,182.92	C\$5,224.40	C\$29,373.41	C\$34,597.81	C\$93,585.10
7	3.40	C\$14,791.59	8.75	C\$129,390.08	C\$5,224.40	C\$30,005.58	C\$35,229.98	C\$94,160.10
8	3.38	C\$14,710.23	8.88	C\$130,608.61	C\$5,224.40	C\$30,650.05	C\$35,874.45	C\$94,734.16
9	3.36	C\$14,629.33	9.01	C\$131,838.62	C\$5,224.40	C\$31,307.02	C\$36,531.42	C\$95,307.20
10	3.34	C\$14,548.86	9.15	C\$133,080.21	C\$5,224.40	C\$31,976.70	C\$37,201.10	C\$95,879.11
11	3.32	C\$14,468.85	9.28	C\$134,333.49	C\$5,224.40	C\$32,659.28	C\$37,883.68	C\$96,449.81
12	3.30	C\$14,389.27	9.42	C\$135,598.58	C\$5,224.40	C\$33,354.96	C\$38,579.36	C\$97,019.21
13	3.29	C\$14,310.13	9.56	C\$136,875.58	C\$5,224.40	C\$34,063.96	C\$39,288.36	C\$97,587.21
14	3.27	C\$14,231.42	9.71	C\$138,164.60	C\$5,224.40	C\$34,786.48	C\$40,010.88	C\$98,153.72
15	3.25	C\$14,153.15	9.85	C\$139,465.77	C\$5,224.40	C\$35,522.74	C\$40,747.14	C\$98,718.63

16	3.23	C\$14,075.31	10.00	C\$140,779.19	C\$5,224.40	C\$36,272.93	C\$41,497.33	C\$99,281.86
17	3.21	C\$13,997.89	10.15	C\$142,104.97	C\$5,224.40	C\$37,037.28	C\$42,261.68	C\$99,843.30
18	3.20	C\$13,920.90	10.30	C\$143,443.25	C\$5,224.40	C\$37,816.00	C\$43,040.40	C\$100,402.85
19	3.18	C\$13,844.34	10.46	C\$144,794.12	C\$5,224.40	C\$38,609.30	C\$43,833.70	C\$100,960.42
20	3.16	C\$13,768.19	10.62	C\$146,157.72	C\$5,224.40	C\$39,417.41	C\$44,641.81	C\$101,515.91
21	3.14	C\$13,692.47	10.77	C\$147,534.16	C\$5,224.40	C\$40,240.54	C\$45,464.94	C\$102,069.22
22	3.13	C\$13,617.16	10.94	C\$148,923.57	C\$5,224.40	C\$41,078.92	C\$46,303.32	C\$102,620.24
23	3.11	C\$13,542.27	11.10	C\$150,326.05	C\$5,224.40	C\$41,932.77	C\$47,157.17	C\$103,168.88
24	3.09	C\$13,467.78	11.27	C\$151,741.75	C\$5,224.40	C\$42,802.32	C\$48,026.72	C\$103,715.03
25	3.07	C\$13,393.71	11.44	C\$153,170.78	C\$5,224.40	C\$43,687.79	C\$48,912.19	C\$104,258.59

Datos	Indicadores
Tasa de descuento (%)	8.0%
Vida util del proyecto (años)	25
Costo inicial del proyecto (c\$)	C\$ 130,610.00
Capacidad del sistema (kw)	3.51
Incremento tarifa c\$/año	1.5%
Factor de capacidad (%)/año	0.55%
Costo mantenimiento (%)/año	4.00%
Horas uso SFV /año	4380.00
Horas uso comercial /año	4380.00

Indicadores financieros	Resultado
VAN	C\$ 887,851.91
TIR	70%
PRI	1.44
B/C	1.23

Flujo financiero



4.4.2.3 Costos tercero Módulo de consumo

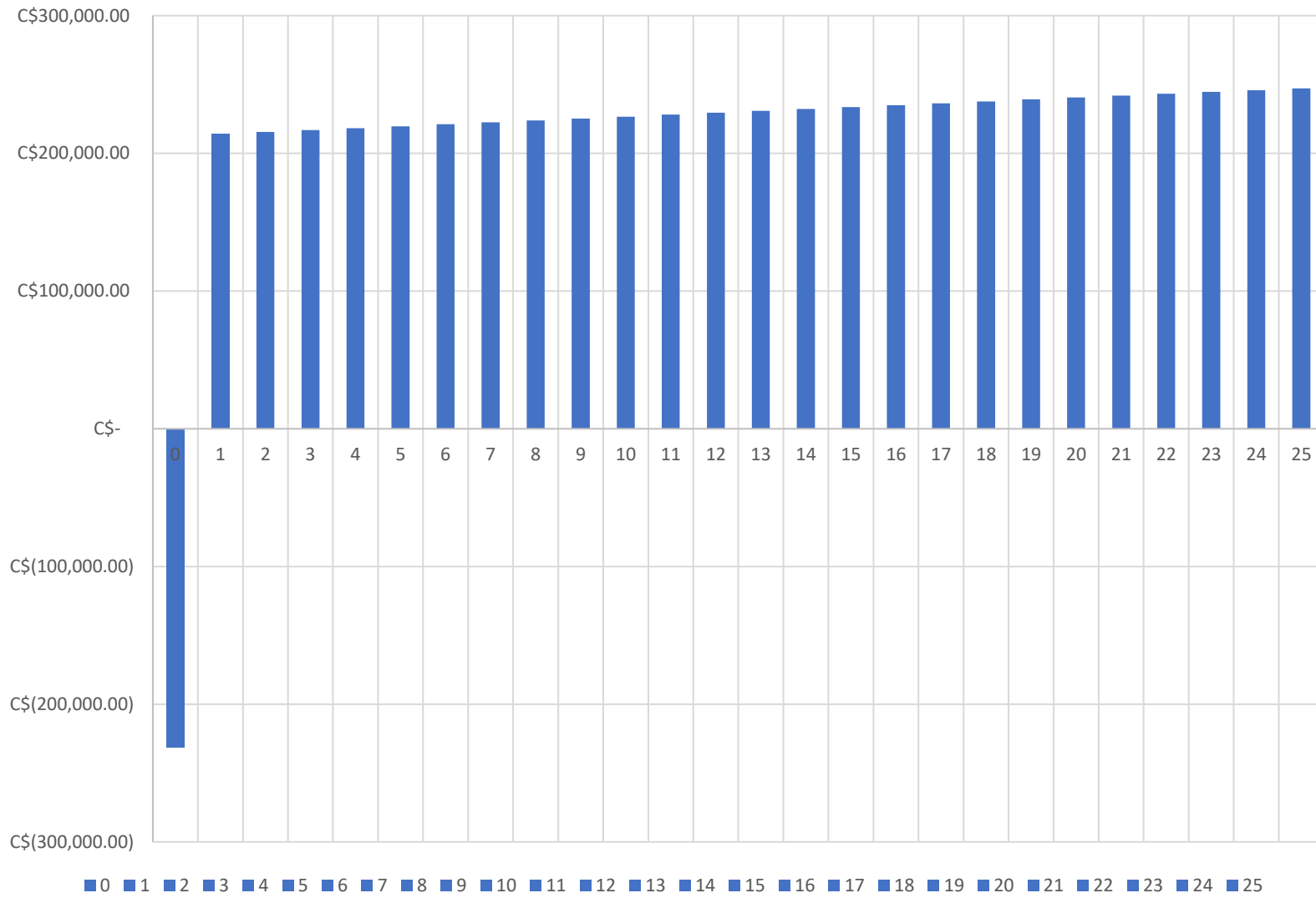
Años	kw	kwh/año	C\$/kwh	Ingresos	Costos mtto	Pago kwh/año comercial DN-DS	Costos operativos	Flujo financiero
0								C\$231,589.63
1	8.19	C\$35,674.90	8.00	C\$285,399.22	C\$12,737.43	C\$58,597.26	C\$71,334.69	C\$214,064.53
2	8.14	C\$35,478.69	8.12	C\$288,086.97	C\$12,737.43	C\$59,880.42	C\$72,617.85	C\$215,469.12
3	8.10	C\$35,283.56	8.24	C\$290,800.03	C\$12,737.43	C\$61,189.27	C\$73,926.70	C\$216,873.33
4	8.06	C\$35,089.50	8.37	C\$293,538.64	C\$12,737.43	C\$62,524.26	C\$75,261.69	C\$218,276.95
5	8.01	C\$34,896.51	8.49	C\$296,303.04	C\$12,737.43	C\$63,885.83	C\$76,623.26	C\$219,679.78
6	7.97	C\$34,704.58	8.62	C\$299,093.47	C\$12,737.43	C\$65,274.41	C\$78,011.84	C\$221,081.63
7	7.92	C\$34,513.70	8.75	C\$301,910.19	C\$12,737.43	C\$66,690.47	C\$79,427.90	C\$222,482.29
8	7.88	C\$34,323.88	8.88	C\$304,753.42	C\$12,737.43	C\$68,134.45	C\$80,871.88	C\$223,881.55
9	7.84	C\$34,135.09	9.01	C\$307,623.44	C\$12,737.43	C\$69,606.82	C\$82,344.25	C\$225,279.19
10	7.79	C\$33,947.35	9.15	C\$310,520.48	C\$12,737.43	C\$71,108.04	C\$83,845.47	C\$226,675.02
11	7.75	C\$33,760.64	9.28	C\$313,444.81	C\$12,737.43	C\$72,638.58	C\$85,376.01	C\$228,068.80
12	7.71	C\$33,574.96	9.42	C\$316,396.68	C\$12,737.43	C\$74,198.91	C\$86,936.34	C\$229,460.33
13	7.67	C\$33,390.29	9.56	C\$319,376.34	C\$12,737.43	C\$75,789.53	C\$88,526.95	C\$230,849.39
14	7.62	C\$33,206.65	9.71	C\$322,384.07	C\$12,737.43	C\$77,410.90	C\$90,148.33	C\$232,235.74
15	7.58	C\$33,024.01	9.85	C\$325,420.12	C\$12,737.43	C\$79,063.52	C\$91,800.95	C\$233,619.17

16	7.54	C\$32,842.38	10.00	C\$328,484.77	C\$12,737.43	C\$80,747.88	C\$93,485.31	C\$234,999.46
17	7.50	C\$32,661.75	10.15	C\$331,578.27	C\$12,737.43	C\$82,464.48	C\$95,201.91	C\$236,376.36
18	7.46	C\$32,482.11	10.30	C\$334,700.91	C\$12,737.43	C\$84,213.83	C\$96,951.26	C\$237,749.65
19	7.42	C\$32,303.45	10.46	C\$337,852.95	C\$12,737.43	C\$85,996.43	C\$98,733.86	C\$239,119.10
20	7.38	C\$32,125.79	10.62	C\$341,034.68	C\$12,737.43	C\$87,812.79	C\$100,550.22	C\$240,484.47
21	7.33	C\$31,949.09	10.77	C\$344,246.38	C\$12,737.43	C\$89,663.42	C\$102,400.85	C\$241,845.53
22	7.29	C\$31,773.37	10.94	C\$347,488.32	C\$12,737.43	C\$91,548.86	C\$104,286.29	C\$243,202.03
23	7.25	C\$31,598.62	11.10	C\$350,760.79	C\$12,737.43	C\$93,469.62	C\$106,207.05	C\$244,553.74
24	7.21	C\$31,424.83	11.27	C\$354,064.08	C\$12,737.43	C\$95,426.23	C\$108,163.66	C\$245,900.42
25	7.17	C\$31,251.99	11.44	C\$357,398.48	C\$12,737.43	C\$97,419.23	C\$110,156.66	C\$247,241.82

Datos	Indicadores
Tasa de descuento (%)	8.0%
Vida util del proyecto (años)	25
Costo inicial del proyecto (c\$)	C\$ 231,589.63
Capacidad del sistema (kw)	8.19
Incremento tarifa c\$/año	1.5%
Factor de capacidad (%)/año	0.55%
Costo mantenimiento (%)/año	5.50%
Horas uso SFV /año	4380.00
Horas uso comercial /año	4380.00

Indicadores financieros	Resultado
VAN	C\$ 2,176,062.76
TIR	93%
PRI	1.09
B/C	1.25

Flujo financiero



4.4.3. Criterios de análisis

Se considera como factor importante para el análisis financiero, la inversión inicial del proyecto en moneda nacional córdobas, luego son tomados en cuenta la vida útil del proyecto el cual es considerado a 25 años debido a la vida útil de generación de los paneles solares y su degradación porcentual por cada año o llamado como “factor de capacidad”, de igual manera como un porcentaje será utilizado con la energía comercial actual por medio de la empresa Disnorte-Dissur se ha considerado el ingreso que paga el cliente en su facturas comercial de energía como costos operativos, también se agregó costos por mantenimiento anual.

Datos de entrada:

Tasa de descuento: El 8 % representa una rentabilidad razonable que el propietario podría obtener al invertir su capital en alternativas financieras de riesgo bajo a moderado (ahorro bancario, inversiones conservadoras o expansión de su actividad económica), por lo que refleja adecuadamente el valor del dinero en el tiempo.

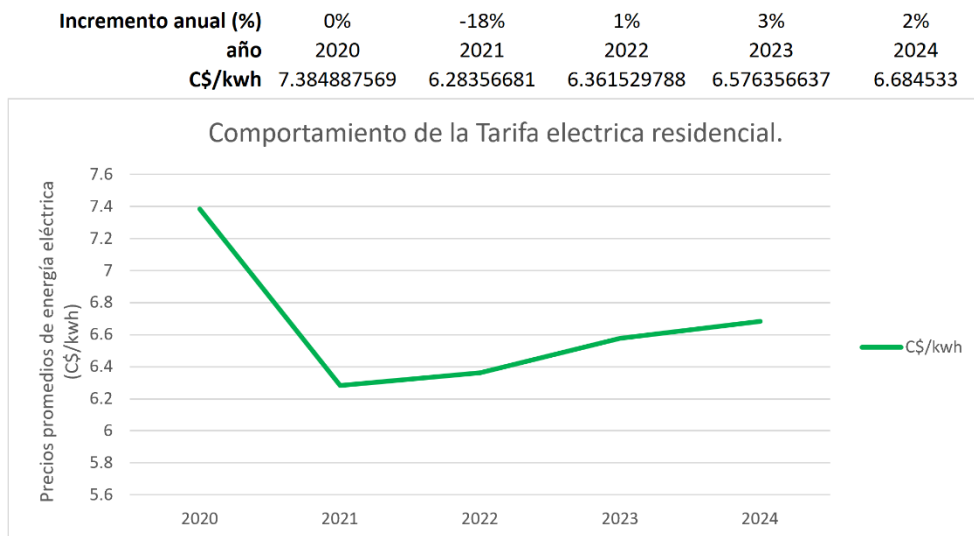
Vida útil del proyecto: se considera 25 años debido a las condiciones de fábrica de los módulos fotovoltaicos, dicho valor es identificado en la ficha técnica del módulo.

Costo inicial: es el valor inicial por el que el usuario invertirá para el proyecto.

Capacidad instalada: es la capacidad de kilowatt en módulos fotovoltaicos.

Incremento tarifa C\$/año: este valor esta dado en porcentaje anual, por el incremento del valor tarifario en las facturas de energía de la distribuidora, y aplica solamente en el sector residencial.

Se considera valor de 1.5% considerando un valor promedio real al establecido por el banco central.



Factor de capacidad: es la degradación del módulo en la vida útil (25 años), se determina el 0.55% de valor anual por perdidas, valor dado en referencia a la ficha técnica.

Costo mantenimiento anual: valor dado por el 2.5% del valor total del proyecto, este valor se genera por prácticas de oferentes típicas de la localidad en donde se encuentran un mínimo de 10 empresas que realizan el servicio de mantenimiento anual.

Horas uso SFV: como son sistema sin baterías, solamente se contemplan las horas reales que los equipos operan.

Horas uso comercial: las horas reales que el usuario consume energía por parte de la comercial.

Valores del análisis:

- **Ingresos:** son considerados las cantidades proyectadas de energía solar anual, incluyendo las perdidas por degradación del panel solar e incremento de la tarifa de energía actual por la distribuidora, su referencia esta dado por (IN).
- **Costos operativos:** es la suma de los costos operativos por mantenimiento menor o preventivos que incurre en la limpieza de los paneles solares, resocado de las estructuras, resocado del cableado AC/DC, estado físico de los equipos, pruebas de parámetros solares, medición de resistencia de puesta a tierra, limpieza general e Reporte del mantenimiento (COP1) más los pagos de las facturas de energía comercial que sean consumidos por la noche o por condiciones ambientales severas (COP2), como resultado sería un costo anual por COP=COP1+COP2 en moneda nacional en córdobas.
- **Flujo financiero:** es la diferencia del ingreso menos los costos operativos, este sería el flujo de caja anual que entra por la entrada y puesta en marcha del proyecto solar residencial, se interpreta de la siguiente manera como FNE=COP-IN en moneda nacional en córdobas.

4.4.4. Análisis de sensibilidad (escenarios)

Se evalúan 3 escenarios simples para mostrar robustez del resultado:

- **Escenario Base** (supuestos anteriores):

CAPEX = 4,500 USD; Producción = 4,000 kWh/a; Tarifa = 0.176 USD/kWh → **PRI ≈ 6.4 años (con ahorro bruto); VAN ≈ +2,535 USD; TIR ≈ 14.1 %.**

- **Escenario Optimista** (CAPEX -20 %, producción +10 %, tarifa +10 %):

CAPEX = 3,600 USD; Producción ≈ 4,400 kWh/a; Tarifa ≈ 0.1936 USD/kWh → **PRI ≈ 4.2 años; VAN sustancialmente mayor; TIR ≈ 22.5 %.**

- **Escenario Pesimista** (CAPEX +20 %, producción -15 %, tarifa -10 %):

CAPEX = 5,400 USD; Producción ≈ 3,400 kWh/a; Tarifa ≈ 0.1584 USD/kWh → **PRI ≈ 10.0 años; VAN cercano a cero o negativo; TIR ≈ 7.5 %.**

Interpretación: el proyecto es sensible a variaciones en CAPEX, recurso y tarifa. Para que el proyecto mantenga VAN positivo y TIR atractiva, es importante optimizar adquisición (negociar precios por compra por volumen para la urbanización), asegurar calidad de instalación y maximizar el uso local de la generación (minimizar inyecciones sin compensación).

4.4.5. Consideraciones de financiamiento y políticas

- **Financiamiento:** líneas crediticias con plazos a 5–10 años o leasing por equipos pueden reducir la barrera inicial y mejorar la adopción; es recomendable explorar esquemas con bancos locales o microfinancieras que ofrezcan productos verdes.
- **Incentivos y marco regulatorio:** explorar programas del MEM, ENATREL, y facilidades de la distribuidora (DISNORTE-DISSUR) para conexión de generación distribuida y posibles mecanismos de compensación por excedentes. disnorte-dissur.com.ni+1

4.5. Estudio Social

El Estudio Social tiene como finalidad evaluar el contexto socioeconómico y las características demográficas de los habitantes de la Urbanización Valle Santa Rosa, con el objetivo de determinar la aceptación, viabilidad y posibles impactos de la instalación de sistemas fotovoltaicos de autoconsumo en los hogares. Se considera la estructura familiar, nivel educativo, percepción sobre energías renovables, hábitos de consumo eléctrico y disposición a invertir en tecnología sostenible.

4.5.1. Perfil sociodemográfico de los residentes

La urbanización cuenta con **951 viviendas** y una población aproximada de **4,000 habitantes**, predominando familias de clase media con ingresos mensuales entre 400 y 900 USD, acorde a datos promedio de consumo residencial en zonas urbanas de Mateare y Ciudad Sandino.

Supuestos sociodemográficos:

- Edad promedio de los jefes de hogar: 35–50 años.
- Nivel educativo: el 70 % posee educación media o superior, lo que favorece la comprensión de tecnologías renovables y la disposición a adoptar innovación energética.
- Composición familiar: hogares promedio de 4 personas, con presencia de niños y adultos jóvenes, lo que genera un consumo eléctrico constante en horarios residenciales.

4.5.2. Hábitos y consumo eléctrico residencial

El consumo eléctrico promedio por hogar se estima en **250 kWh/mes (3,000 kWh/año)**, de acuerdo con el rango de consumo de la clase media nicaragüense. Los electrodomésticos más comunes incluyen refrigeradores, cocinas eléctricas, lavadoras, sistemas de iluminación LED y dispositivos electrónicos personales.

Hábitos de consumo:

- Uso de electricidad concentrado entre 6:00 a 9:00 y 17:00 a 22:00 horas.

- Alto consumo en fines de semana por actividades domésticas y entretenimiento familiar.
- Interés en mantener la estabilidad del suministro eléctrico, dado que cortes o fluctuaciones afectan electrodomésticos sensibles (computadoras, refrigeración, iluminación).

4.5.3. Percepción sobre energías renovables

A partir de los resultados de encuestas y entrevistas, se considera que los residentes presentan:

- **Alto interés en reducir la factura eléctrica** y protegerse ante aumentos de tarifas.
- **Disposición moderada a invertir** en tecnologías solares, siempre que existan esquemas de financiamiento accesibles o retorno de inversión claro.
- **Conciencia ambiental creciente**, especialmente entre jóvenes adultos y familias con educación superior, que valoran el uso de energía limpia para contribuir a la reducción de emisiones de CO2.

4.5.4. Factores sociales que favorecen la implementación del proyecto

- La mayoría de las viviendas dispone de **techos con orientación y superficie adecuadas** para la instalación de paneles solares.
- Existen **espacios comunitarios** que podrían servir como áreas de información o demostración sobre el uso de energía solar.
- La urbanización tiene **cohesión social moderada**, con vecinos dispuestos a participar en proyectos de mejora del entorno residencial.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES HALLAZGOS

Los principales hallazgos del estudio de prefactibilidad confirman una **alta viabilidad técnica y económica** para la implementación de sistemas fotovoltaicos de autoconsumo en la Urbanización Valle Santa Rosa.

5.1. Hallazgos del Estudio de Mercado y Contexto Energético

- **Contexto Energético Nacional Favorable:** Nicaragua ha transitado de depender en un 72% de combustibles fósiles en 2006 a tener más del 80% de generación eléctrica con fuentes renovables en 2024. Esto sienta un precedente favorable para la adopción de tecnologías limpias a nivel residencial.
- **Altas Tarifas, Mayor Oportunidad:** A pesar de la matriz limpia, las tarifas eléctricas residenciales se encuentran entre las más altas de Centroamérica, oscilando entre **0.176 y 0.22 USD/kWh**⁵. Esta alta tarifa es la principal impulsora de la rentabilidad, ya que el ahorro por autoconsumo es significativo y se traduce en una rápida amortización de la inversión.
- **Demanda Potencial Sólida:** La urbanización, con 951 viviendas, presenta una demanda potencial alta. Si solo el 20% adoptara el sistema en 5 años, se instalaría una capacidad de aproximadamente **950 kW**. La principal motivación de los residentes es la **reducción de la factura eléctrica** y la protección ante futuros aumentos tarifarios.

5.2. Hallazgos del Estudio Técnico

- **Recurso Solar Excelente:** La zona de Mateare goza de un recurso solar abundante, con una irradiancia global promedio de **4.5 a 5.5 kWh/m²/día**, y horas sol nominales en el rango de 4 a 7 kWh/m. Esto garantiza una producción energética estable y suficiente durante todo el año.
- **Dimensionamiento Adecuado:** El análisis de consumo real (mínimo, promedio, máximo) permitió dimensionar un sistema de aproximadamente **2.5 kWp** para cubrir el consumo promedio de **250 kWh/mes** de una vivienda tipo. Esto se logra con alrededor de **7 módulos fotovoltaicos de 400 Wp**.
- **Factibilidad de Instalación:** Las viviendas (tres modelos típicos) tienen techos con una superficie disponible promedio de 25 m², lo cual es **espacio más que suficiente**

para la instalación requerida de 7 paneles. La factibilidad técnica también se apoya en la existencia de la regulación de **medición neta (net metering)** por el INE, permitiendo la inyección de excedentes a la red.

- **Dimensionamiento Detallado (3 Modelos):** Se definieron tres modelos de consumo con su respectiva configuración de equipos:
 - **Mínimo (160 kWh/mes):** 3 módulos de 585 Wp y un inversor de 3 kW.
 - **Promedio (350 kWh/mes):** 6 módulos de 585 Wp y un inversor de 5 kW.
 - **Máximo (767 kWh/mes):** 14 módulos de 585 Wp y un inversor de 8 kW.

5.3. Hallazgos del Estudio Financiero

- **Rentabilidad Excepcional:** Los indicadores financieros demuestran que el proyecto es altamente rentable, especialmente para los modelos de consumo promedio y máximo:
 - **Modelo Mínimo (160 kWh/mes):** TIR del **47%** y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de **2.14 años**.
 - **Modelo Promedio (350 kWh/mes):** TIR del **70%** y PRI de **1.44 años**.
 - **Modelo Máximo (767 kWh/mes):** TIR del **93%** y PRI de **1.09 años**.
- **Inversión con Retorno Asegurado:** Incluso tomando el PRI de un cálculo más conservador de 6.4 a 6.8 años (con O&M), el proyecto resulta **económicamente atractivo** para una vida útil estimada de 25 años para los paneles.
- **Sensibilidad a Factores:** El análisis de sensibilidad reveló que el proyecto es robusto en un **escenario base**, pero muy sensible a la variación del Costo Inicial (CAPEX) y a la tarifa eléctrica. Una optimización en la adquisición de equipos (compra por volumen) mejoraría la rentabilidad de manera significativa.

5.4. Hallazgos de los Estudios Social y Ambiental

- **Aceptación Social y Perfil de Usuario:** Los residentes son predominantemente de **clase media** con un nivel educativo medio o superior (70%), lo que facilita la comprensión y aceptación de la tecnología. La principal motivación es el **ahorro económico** y la **estabilidad del suministro**.
- **Impacto Ambiental Positivo:** La implementación del sistema generará una reducción significativa de emisiones de CO_2 . Se estima que cada vivienda

con 2.5 kWp de paneles evitaría aproximadamente **1.44 toneladas de CO_2** al año.

- **Control de Impactos Negativos:** Los impactos negativos son mínimos y controlables, enfocados principalmente en la generación de residuos de embalaje y la disposición final de los componentes (paneles y baterías) al final de su vida útil (25 años), lo cual debe ser mitigado con planes de reciclaje.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

La Propuesta de Solución se basa en los hallazgos de alta rentabilidad técnica y económica del estudio de prefactibilidad, estructurándose como un plan de ejecución escalable, financiero y socialmente responsable.

4.1. Visión y Alcance del Proyecto

Visión: Convertir a la Urbanización Valle Santa Rosa en el modelo de referencia nacional de autosuficiencia energética residencial mediante la adopción de tecnologías fotovoltaicas de última generación, maximizando el ahorro económico de sus residentes y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental de Nicaragua.

Alcance:

1. **Implementación de Sistemas Fotovoltaicos On-Grid (Conectados a la Red)** individuales en las viviendas que opten por el proyecto.
2. **Adopción del Esquema de Medición Neta (Net Metering)**, conforme a la regulación del Instituto Nicaragüense de Energía (INE), para inyectar excedentes a la red y recibir créditos por la energía producida.
3. **Diseño modular y escalable** para ajustarse a los tres perfiles de consumo identificados (Mínimo, Promedio, Máximo).

4.2. Diseño Técnico y Estándares de Calidad

La propuesta técnica se centra en la eficiencia, la durabilidad y la monitorización inteligente.

Componente	Especificación Técnica Recomendada	Justificación
Módulos Fotovoltaicos	Monocristalinos, Potencia \geq 585 Wp, Eficiencia \geq 22.5%	Máximo rendimiento en espacios limitados (techos), excelente desempeño en altas temperaturas.
Inversores	Tipo String (On-Grid), con Módulo de Monitorización Wi-Fi/GPRS	Cumplimiento con la regulación de <i>Net Metering</i> y capacidad de seguimiento remoto de la producción y el rendimiento del sistema.
Estructuras de Montaje	Aluminio o Acero Inoxidable con Recubrimiento Anticorrosivo	Resistencia a condiciones climáticas tropicales (humedad, salinidad, viento), garantizando la vida útil de \geq 25 años.
Protecciones Eléctricas	Supresores de Transientes (SPD), Dispositivos de Corriente Residual (RCD), y Breakers DC	Seguridad y protección de la inversión ante descargas atmosféricas e irregularidades de la red eléctrica.
Cableado	Cable solar con protección UV y Certificación TUV	Resistencia a la intemperie y garantía de baja pérdida de energía.

Estándares de Ejecución: Se recomienda la obligatoriedad de que la instalación cumpla con las normas técnicas del INE, la normativa de seguridad de ENATREL, y las normas internacionales **IEC** para componentes.

4.3. Modelo de Ejecución y Gobernanza del Proyecto

Para asegurar la correcta implementación, se propone un modelo de gestión con las siguientes fases:

A. Fase de Gobernanza (Pre-ejecución)

- **Creación del Comité de Energía Solar (CES):** Establecer un comité dentro de la urbanización, integrado por la directiva de la residencial y representantes técnicos (instalador y asesor legal), para supervisar la calidad, gestionar quejas y validar la documentación.
- **Contratación Consolidada:** El CES gestionar el proceso de licitación para la selección de **un único proveedor/instalador calificado** con capacidad probada para ejecutar un proyecto de esta magnitud, garantizando la uniformidad y el control de calidad.

B. Fase Piloto (10 Sistemas)

- Implementar un pequeño conjunto de sistemas (10-20 viviendas, incluyendo los tres perfiles) para validar el dimensionamiento, probar la logística de instalación, calibrar el proceso de interconexión con ENATREL/INE, y generar un caso de estudio real para motivar a los demás residentes.

C. Fase Masiva y Escalable

- Ejecución por bloques o fases (ej. 100 viviendas por trimestre) basada en la demanda de los residentes y la capacidad de ejecución del contratista.
- Uso de una **plataforma de gestión de proyectos** para que el CES y los residentes puedan seguir el progreso de las instalaciones y los tiempos de tramitación de permisos.

4.4. Estrategia Financiera Reforzada: Abordando la Inversión Inicial

El mayor obstáculo es la inversión inicial. Se propone un enfoque dual:

1. Reducción del CAPEX (Costo Inicial)

- **Negociación por Volumen:** Utilizar el potencial de 951 unidades como palanca de negociación. Se estima que una orden de compra consolidada de \$500,000 USD a \$1,000,000 USD (para 200-400 sistemas) puede generar descuentos de **20% a 30%** en el costo de equipos, lo cual acorta el PRI de 1-2 años a menos de 1 año para el modelo Máximo.

2. Opciones de Financiamiento (Eliminando la Barrera de Entrada)

- **Opción A: Crédito Bancario "Verde" (Modelo Tradicional):**
 - Negociar con la banca local líneas de crédito específicas con plazos de **7 años** y tasas preferenciales. El objetivo es que la cuota mensual del crédito sea **igual o inferior** al ahorro promedio en la factura eléctrica, logrando un *costo neto cero* para el residente desde el día uno.
- **Opción B: Acuerdos de Compra de Energía (PPA) o Leasing Comunitario (Modelo Innovador):**
 - Explorar alianzas con una **Empresa de Servicios Energéticos (ESCO)**. La ESCO financia, instala y es dueña del sistema. El residente paga una tarifa fija y reducida por la electricidad solar generada (ej. \$0.10/kWh vs. \$0.20/kWh actual) por un periodo de 10-15 años. Al finalizar el plazo, la propiedad del sistema se transfiere al residente. Esto elimina totalmente el CAPEX inicial para el residente.

4.5. Plan de Operación, Mantenimiento (O&M) y Control de Calidad

La gestión post-instalación es clave para garantizar la alta TIR proyectada.

Aspecto	Estrategia Recomendada
Control de Calidad Final	Contratar a un Inspector Técnico Independiente para la puesta en marcha y la firma de un "Acta de Conformidad" que garantice el

Aspecto	Estrategia Recomendada
	cumplimiento de la producción estimada antes del pago final al contratista.
Monitoreo y Reporte	Configuración obligatoria de las aplicaciones de monitoreo del inversor en cada vivienda. El CES debe recibir informes trimestrales agregados del rendimiento del parque solar de la urbanización.
Mantenimiento Preventivo	Recomendar la suscripción a un Contrato de O&M de 5 años con el instalador, incluyendo: limpieza semestral de los paneles, revisión anual de las conexiones eléctricas y comprobación de la eficiencia del inversor.
Gestión de la Vida Útil	Establecer un fondo o un acuerdo contractual con el proveedor para la recuperación y reciclaje responsable de los módulos fotovoltaicos y equipos al final de su vida útil (25 años), mitigando el impacto ambiental futuro.

4.6. Estrategia de Capacitación y Sensibilización

Para asegurar la apropiación del proyecto, se deben realizar:

- **Talleres de "Energía Solar":** Sesiones informativas sobre el funcionamiento, el esquema de *Net Metering* y la lectura de la nueva facturación eléctrica.
- **Guías de Usuario:** Entrega de un manual físico y digital (con FAQs) sobre el sistema.
- **Promoción del Uso Inteligente:** Campañas para incentivar el uso de electrodomésticos de alto consumo (lavadora, bomba de agua, etc.) durante las horas de máxima producción solar (10:00 a.m. - 3:00 p.m.) para maximizar el autoconsumo y reducir la inyección de excedentes.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

Las conclusiones presentadas a continuación se alinean con los objetivos específicos establecidos en el estudio:

1. **Análisis del Historial de Consumo (Objetivo 1):** El historial de consumo eléctrico de las viviendas en la Urbanización Valle Santa Rosa revela una necesidad de solución, con una alta dependencia de la red eléctrica comercial y una percepción de **tarifa eléctrica alta** por parte de los residentes.
2. **Clasificación del Consumo (Objetivo 2):** Se logró clasificar el consumo eléctrico en tres rangos claros: **mínimo (160 kWh/mes), promedio (350 kWh/mes) y máximo (767 kWh/mes)**. Esta clasificación es crucial para el dimensionamiento de sistemas ajustados a las necesidades reales.
3. **Definición de Parámetros y Criterios Técnicos (Objetivo 3):** Se definieron los parámetros técnicos necesarios, concluyendo que la zona es óptima por su radiación solar (4.5–5.5 kWh/m²/día) , y se establecieron los criterios de dimensionamiento, resultando en un requerimiento promedio de **2.5 kWp** por vivienda, factible de instalar en los techos existentes.
4. **Evaluación de la Rentabilidad (Objetivo 4):** El proyecto es **altamente rentable** para todos los rangos de consumo. Los indicadores financieros muestran un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) que varía desde el 47% hasta el 93%, con un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de solo **1.09 a 2.14 años** para los modelos propuestos.

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones están diseñadas para maximizar la viabilidad y el impacto positivo del proyecto:

1. **Optimizar el Dimensionamiento por Rango de Consumo (Relacionada a Obj. 2 & 3):** Implementar los tres modelos de kits fotovoltaicos (Mínimo, Promedio, Máximo) propuestos en el Estudio Financiero para asegurar que la inversión de cada usuario sea precisa y el sistema esté optimizado para su consumo real, maximizando el ahorro y la rentabilidad.
2. **Establecer un Plan de Financiamiento Agresivo (Relacionada a Obj. 4):** Trabajar con instituciones financieras locales para crear un producto crediticio específico con una tasa de interés preferencial y un plazo de repago de al menos 5 a 7 años, permitiendo que la cuota mensual sea igual o inferior al ahorro que el sistema genera en la factura eléctrica, eliminando así la barrera del Costo Inicial Elevado.
3. **Negociación de Compra por Volumen (Relacionada a Obj. 4):** Promover la compra conjunta de los sistemas para la urbanización, lo que permitiría negociar una reducción del CAPEX (Costo Inicial) con los proveedores. Esto haría el proyecto aún más robusto frente a los escenarios pesimistas de la sensibilidad y aceleraría el PRI.
4. **Desarrollo de un Programa de Concientización y Capacitación (Relacionada a Obj. 1, 3 & 4):** Crear una guía de usuario simple y realizar talleres prácticos sobre el funcionamiento, el monitoreo del consumo y el mantenimiento básico (principalmente limpieza de paneles), asegurando que los residentes superen el desconocimiento y obtengan el máximo rendimiento de su inversión a largo plazo.

CAPÍTULO X: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Internacional de Energía Renovable [IRENA]. (2022). *Renewable energy market analysis: Latin America*. IRENA. <https://www.irena.org>

AMB Green Power. (s. f.). *Autoconsumo fotovoltaico residencial: conceptos y aplicaciones para viviendas*. <https://www.ambgreenpower.com/autoconsumo-fotovoltaico-residencial/>

Boyle, G. (2012). *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future* (3rd ed.). Oxford University Press.

Bruce, C. F. (1982). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión*. Banco Mundial.

Comisión Nacional de Energía (CNE). (2005). *Ley para la Promoción de Generación Eléctrica con Fuentes Renovables (Ley No. 532)*. La Gaceta, Diario Oficial de Nicaragua.

Conexsol. (s. f.). *Energía solar en Centroamérica: crecimiento y beneficios para hogares y empresas*. <https://conexsol.com/florida/es/energia-solar-en-centroamerica-crecimien/>

Corona, N., et al. (s.f.). *[Título no especificado]*. [Se necesita más información para completar la referencia].

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (4th ed.). Wiley.

Dunlop, J. (2009). *Photovoltaic Systems*. American Technical Publishers.

Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica (ENATREL). (2019) *Nicaragua paraíso de las renovables*. Recuperado de <https://www.enatrel.gob.ni/nicaragua-paraíso-de-las-renovables/>

Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica [ENATREL]. (2024). *Informe sobre la matriz energética en Nicaragua*. Managua: ENATREL.

ENATREL. (2024). *Informe sobre la matriz energética en Nicaragua*. ENATREL.

Factor Energía. (2023). *Factores climáticos para la instalación de placas solares*. Recuperado de <https://www.factorenergia.com>

Flor, J. (2012). *Electrificación rural con energía solar fotovoltaica*. Fundación Solar.

GlobalPetrolPrices. (2024). *Nicaragua — Electricity prices (December 2024)*. Recuperado de GlobalPetrolPrices. GlobalPetrolPrices.com

Hernández, R. (2017). *Sistemas fotovoltaicos para viviendas*. [Posible publicación académica o técnica; verificar fuente].

Instituto Nicaragüense de Energía (INE). (2021). *Informe tarifario del sector eléctrico*.

Instituto Nicaragüense de Energía [INE]. (2022). *Norma Técnica de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua (NTIN)*. INE.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). *Renewable Energy Statistics 2021*. IRENA.

Jaramillo, F. (2016). *Impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica*. [Publicación técnica o académica; fuente no especificada].

Marín, J. (1983). *La energía solar fotovoltaica en España*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Méndez, L., & Cuervo, L. (s.f.). *Energía solar fotovoltaica*.

Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2022). *Plan de Expansión del Sistema Interconectado Nacional*. Gobierno de Nicaragua.

Ministerio de Energía y Minas [MEM]. (2024). *Estadísticas de generación y consumo eléctrico en Nicaragua*. Managua: MEM.

Next City Labs. (2018). *Energía solar: características y aprovechamiento*. Recuperado de <https://www.nextcitylabs.com>

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (2020). *Panorama energético de América Latina y el Caribe*.

Organización Latinoamericana de Energía [OLADE]. (2023). *Atlas de energía renovable en Centroamérica*. OLADE.

Organización Latinoamericana de Energía [OLADE]. (2023). *Estudio de tarifas eléctricas en Centroamérica*. OLADE.

Pep, F. (2007). *Energía solar fotovoltaica: Manual práctico para proyectos de electrificación rural*. Editorial IEPALA.

Pérez, A., & Gallardo, J. (2009). *Estudios de viabilidad económica y financiera de proyectos de inversión*. Editorial ESIC.

Perpiñán, O. (2013). *Energía solar fotovoltaica*. Editorial UNED.

PVKnowHow. (s.f.). *Nicaragua Solar Panel Market Insights*. Recuperado de PVKnowHow. [PVKnowhow](https://www.pvknowhow.com)

Restrepo, A. (2021). *Paneles solares: Funcionamiento y eficiencia*.

Santos, T. (2008). *Formulación y evaluación de proyectos*. Editorial McGraw-Hill.

Soluciones Solares SVF Centroamérica. (s. f.). *Proyectos fotovoltaicos en Centroamérica*. <https://svfcentroamerica.com/proyectos-fotovoltaicos-en-centroamerica/>

Snyder, V. (2021). *Transición energética y cambio climático en América Latina*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Tecnosol Nicaragua. (s.f.). *Sitio oficial — soluciones de energía solar*. [Tecnosol](#)

CAPÍTULO XI: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

11.1. Presupuesto

El presupuesto para la instalación del sistema fotovoltaico es un aspecto clave de la prefactibilidad, ya que permite estimar la inversión requerida para cada perfil de consumo.

Los costos presentados a continuación reflejan la inversión neta inicial (CAPEX) para cada uno de los tres modelos de autoconsumo propuestos en el estudio.

Rubro Principal	Modelo Mínimo (160 kWh/mes)	Modelo Promedio (350 kWh/mes)	Modelo Máximo (767 kWh/mes)
Módulos FV (585 Wp)	C\$ 10,545.00 (3 módulos)	C\$ 21,090.00 (6 módulos)	C\$ 49,210.00 (14 módulos)
Estructuras de Módulos	C\$ 3,885.00	C\$ 7,770.00	C\$ 18,130.00
Inversor Conexión a Red	C\$ 45,000.00 (3kW)	C\$ 46,250.00 (5kW)	C\$ 106,375.00 (8kW)
Materiales Eléctricos e Insumos	C\$ 24,050.00	C\$ 27,750.00	C\$ 36,624.30
Mano de Obra y Garantía	C\$ 15,200.41	C\$ 18,240.00	C\$ 21,250.33
Total Neto (C\$)	C\$ 98,680.41	C\$ 130,610.00	C\$ 231,589.63

Nota: Estos costos son referenciales y se basan en los parámetros utilizados en el Estudio Financiero. La implementación masiva a través de una compra por volumen (como se recomendó en el Capítulo VI) podría reducir significativamente el Costo Inicial (CAPEX).

11.2. Cronograma

A continuación, se presenta un cronograma simplificado y centrado en la elaboración del proyecto, que incluye la ejecución del estudio de prefactibilidad y la preparación para la fase de inversión.

Este cronograma está basado en las actividades necesarias para cumplir con los Capítulos II al IV del documento.

No.	Actividad Principal	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
I	Planteamiento Situacional y Marco Teórico (Capítulos I-II)				
1.1	Recopilación de Antecedentes y Normativas	X			
1.2	Desarrollo y Revisión del Marco Teórico	X			
II	Diseño Metodológico y Recolección de Datos (Capítulo III)				
2.1	Definición de Población y Muestra	X	X		
2.2	Diseño y Validación de Instrumentos (Encuestas)		X		
2.3	Recolección y Consolidación del Consumo Eléctrico (NIS)			X	
III	Desarrollo de los Estudios de Prefactibilidad (Capítulo IV)				
3.1	Estudio de Mercado (Oferta/Demanda)		X	X	
3.2	Estudio Técnico (Dimensionamiento y Condiciones Climáticas)			X	
3.3	Estudio Ambiental y Social			X	
3.4	Estudio Financiero (Cálculo de VAN, TIR, PRI de los 3 modelos)				X
IV	Análisis de Hallazgos y Documentación Final (Capítulos V-XI)				
4.1	Análisis de Datos y Presentación de Hallazgos				X
4.2	Elaboración de la Propuesta de Solución y Recomendaciones				X
4.3	Redacción y Revisión Final de la Tesis/Proyecto				X

CAPÍTULO XII: ANEXOS

Escenario	CAPEX (USD)	Producción (kWh/año)	Tarifa (USD/kWh)	O&M (% CAPEX)	Tasa descuento	Vida útil (años)
Base	\$4,500.00	4,000	0.18	1.00%	8.00%	25
Optimista	\$3,600.00	4,400	0.19	1.00%	8.00%	25
Pesimista	\$5,400.00	3,400	0.16	1.00%	8.00%	25

Datos base de cálculo

Inputs		Resultados	
CAPEX (USD)	\$4,500.00		
Producción (kWh/año)	4,000	VAN (USD)	\$2,534.68
Tarifa (USD/kWh)	0.18	TIR	14.10%
O&M (% CAPEX)	1.00%	PRI simple (bruto, años)	6.39
O&M anual (USD)	\$45.00	PRI simple (neto, años)	6.83
Ahorro bruto anual (USD)	\$704.00		
Flujo neto anual (USD)	\$659.00		
Tasa de descuento	8.00%		
Vida útil (años)	25		

Año	Ahorro bruto (USD)	O&M (USD)	Flujo neto (USD)	Factor de descuento	Valor Presente (USD)	Flujo neto acumulado (USD)	Valor Presente acumulado (USD)
0	\$0.00	\$0.00	\$4,500.00	1.00	-\$4,500.00	-\$4,500.00	-\$4,500.00
1	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.93	\$610.19	-\$3,841.00	-\$3,889.81
2	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.86	\$564.99	-\$3,182.00	-\$3,324.83
3	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.79	\$523.14	-\$2,523.00	-\$2,801.69
4	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.74	\$484.38	-\$1,864.00	-\$2,317.31
5	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.68	\$448.50	-\$1,205.00	-\$1,868.80
6	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.63	\$415.28	-\$546.00	-\$1,453.52
7	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.58	\$384.52	\$113.00	-\$1,069.00
8	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.54	\$356.04	\$772.00	-\$712.96
9	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.50	\$329.66	\$1,431.00	-\$383.30
10	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.46	\$305.24	\$2,090.00	-\$78.06
11	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.43	\$282.63	\$2,749.00	\$204.58
12	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.40	\$261.70	\$3,408.00	\$466.28
13	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.37	\$242.31	\$4,067.00	\$708.59
14	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.34	\$224.36	\$4,726.00	\$932.95
15	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.32	\$207.74	\$5,385.00	\$1,140.70
16	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.29	\$192.36	\$6,044.00	\$1,333.05
17	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.27	\$178.11	\$6,703.00	\$1,511.16
18	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.25	\$164.91	\$7,362.00	\$1,676.07
19	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.23	\$152.70	\$8,021.00	\$1,828.77
20	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.21	\$141.39	\$8,680.00	\$1,970.16
21	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.20	\$130.91	\$9,339.00	\$2,101.07
22	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.18	\$121.22	\$9,998.00	\$2,222.29
23	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.17	\$112.24	\$10,657.00	\$2,334.53
24	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.16	\$103.92	\$11,316.00	\$2,438.45
25	\$704.00	\$45.00	\$659.00	0.15	\$96.23	\$11,975.00	\$2,534.68

Datos Optimistas

Inputs		Resultados	
CAPEX (USD)	\$3,600.00		
Producción (kWh/año)	4,400	VAN (USD)	\$5,108.91
Tarifa (USD/kWh)	0.19	TIR	22.52%
O&M (% CAPEX)	1.00%	PRI simple (bruto, años)	4.23
O&M anual (USD)	\$36.00	PRI simple (neto, años)	4.41
Ahorro bruto anual (USD)	\$851.84		
Flujo neto anual (USD)	\$815.84		
Tasa de descuento	8.00%		
Vida útil (años)	25		

Año	Ahorro bruto (USD)	O&M (USD)	Flujo neto (USD)	Factor de descuento	Valor Presente (USD)	Flujo neto acumulado (USD)	Valor Presente acumulado (USD)
0	\$0.00	\$0.00	-\$3,600.00	1.00	-\$3,600.00	-\$3,600.00	-\$3,600.00
1	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.93	\$755.41	-\$2,784.16	-\$2,844.59
2	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.86	\$699.45	-\$1,968.32	-\$2,145.14
3	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.79	\$647.64	-\$1,152.48	-\$1,497.50
4	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.74	\$599.67	-\$336.64	-\$897.83
5	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.68	\$555.25	\$479.20	-\$342.59
6	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.63	\$514.12	\$1,295.04	\$171.53
7	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.58	\$476.03	\$2,110.88	\$647.56
8	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.54	\$440.77	\$2,926.72	\$1,088.34
9	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.50	\$408.12	\$3,742.56	\$1,496.46
10	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.46	\$377.89	\$4,558.40	\$1,874.35
11	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.43	\$349.90	\$5,374.24	\$2,224.25
12	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.40	\$323.98	\$6,190.08	\$2,548.23
13	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.37	\$299.98	\$7,005.92	\$2,848.22
14	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.34	\$277.76	\$7,821.76	\$3,125.98
15	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.32	\$257.19	\$8,637.60	\$3,383.17
16	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.29	\$238.14	\$9,453.44	\$3,621.30
17	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.27	\$220.50	\$10,269.28	\$3,841.80
18	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.25	\$204.16	\$11,085.12	\$4,045.96
19	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.23	\$189.04	\$11,900.96	\$4,235.00
20	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.21	\$175.04	\$12,716.80	\$4,410.04
21	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.20	\$162.07	\$13,532.64	\$4,572.11
22	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.18	\$150.07	\$14,348.48	\$4,722.17
23	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.17	\$138.95	\$15,164.32	\$4,861.12
24	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.16	\$128.66	\$15,980.16	\$4,989.78
25	\$851.84	\$36.00	\$815.84	0.15	\$119.13	\$16,796.00	\$5,108.91

Datos Pesimistas

Inputs		Resultados	
CAPEX (USD)	\$5,400.00		
Producción (kWh/año)	3,400	VAN (USD)	-\$227.43
Tarifa (USD/kWh)	0.16	TIR	7.50%
O&M (% CAPEX)	1.00%	PRI simple (bruto, años)	10.03
O&M anual (USD)	\$54.00	PRI simple (neto, años)	11.14
Ahorro bruto anual (USD)	\$538.56		
Flujo neto anual (USD)	\$484.56		
Tasa de descuento	8.00%		
Vida útil (años)	25		

Año	Ahorro bruto (USD)	O&M (USD)	Flujo neto (USD)	Factor de descuento	Valor Presente (USD)	Flujo neto acumulado (USD)	Valor Presente acumulado (USD)
0	\$0.00	\$0.00	-\$5,400.00	1.00	-\$5,400.00	-\$5,400.00	-\$5,400.00
1	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.93	\$448.67	-\$4,915.44	-\$4,951.33
2	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.86	\$415.43	-\$4,430.88	-\$4,535.90
3	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.79	\$384.66	-\$3,946.32	-\$4,151.24
4	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.74	\$356.17	-\$3,461.76	-\$3,795.08
5	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.68	\$329.78	-\$2,977.20	-\$3,465.29
6	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.63	\$305.35	-\$2,492.64	-\$3,159.94
7	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.58	\$282.74	-\$2,008.08	-\$2,877.20
8	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.54	\$261.79	-\$1,523.52	-\$2,615.41
9	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.50	\$242.40	-\$1,038.96	-\$2,373.01
10	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.46	\$224.45	-\$554.40	-\$2,148.56
11	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.43	\$207.82	-\$69.84	-\$1,940.74
12	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.40	\$192.43	\$414.72	-\$1,748.32
13	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.37	\$178.17	\$899.28	-\$1,570.15
14	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.34	\$164.97	\$1,383.84	-\$1,405.17
15	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.32	\$152.75	\$1,868.40	-\$1,252.42
16	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.29	\$141.44	\$2,352.96	-\$1,110.98
17	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.27	\$130.96	\$2,837.52	-\$980.02
18	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.25	\$121.26	\$3,322.08	-\$858.76
19	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.23	\$112.28	\$3,806.64	-\$746.48
20	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.21	\$103.96	\$4,291.20	-\$642.52
21	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.20	\$96.26	\$4,775.76	-\$546.26
22	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.18	\$89.13	\$5,260.32	-\$457.13
23	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.17	\$82.53	\$5,744.88	-\$374.60
24	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.16	\$76.41	\$6,229.44	-\$298.18
25	\$538.56	\$54.00	\$484.56	0.15	\$70.75	\$6,714.00	-\$227.43

