



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **DIRECCIÓN DE POSGRADO**

### **MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**

#### **MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

---

**Diseño de una micro-red basada en energía solar fotovoltaica y la factibilidad técnico – económica para su implementación en los sectores rurales y urbano marginales del Cantón “Quevedo – Sector 024”**

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Electricidad  
mención Sistemas Eléctricos de Potencia

**AUTORA:**

Ing. Samantha Marlene Puente Bosquez

**TUTOR:**

Ing. Cristian Samuel Laverde Albarracín Msc.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2022**

## **AVAL DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación **“DISEÑO DE UNA MICRO-RED BASADA EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y LA FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LOS SECTORES RURALES Y URBANO MARGINALES DEL CANTÓN QUEVEDO – SECTOR 024”**, presentado por Puente Bosquez Samantha Marlene para optar por el título Magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

## **CERTIFICO**

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, abril, 6, 2022



Ing. Laverde Albarracín Cristian Samuel MSc.  
C.I. 0502662455

## **AVAL DEL TRIBUNAL**

El trabajo de Titulación: “Diseño de una micro-red basada en energía solar fotovoltaica y la factibilidad técnico – económica para su implementación en los sectores rurales y urbano marginales del cantón “Quevedo – Sector 024”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, abril, 6, 2022



---

MSc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado  
C.I. 0502656424  
Presidente del tribunal



---

MSc. Franklin Hernan Vásquez Teneda  
C.I. 1710434497  
Lector 2



---

MSc. Marco Aníbal León Segovia  
C.I. 0502305402  
Lector 3

## DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por llenarme de sabiduría, valor y enfoque para alcanzar el presente logro en mi vida; a la Virgen del Guayco y a Narcisa de Jesús por protegerme en todo momento.

A mis padres, José y Marlene, han sido el pilar fundamental en mi vida brindándome apoyo incondicional, forjar mi formación personal y profesional, a mi hermana Daysi, por toda su permanencia incondicional y toda mi familia, por llenarme de palabras de aliento y perseverancia.

A mi mejor amiga Gabriela por estar presente en mi trayectoria, por animarme y ser incondicional en todo momento; y a mis amigos por estar siempre en los momentos que los he necesitado y ser parte de mi motivación.

*Samantha Marlene Puente Bosquez*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme la capacidad, valor y fortaleza para lograr mis metas, a mis padres y hermana por todo el esfuerzo, comprensión, apoyo y amor para cumplir mi objetivo.

A mis queridos padres que me impulsaron a seguir con mis estudios, a toda mi familia por sus sabias palabras y amigos por la motivación incondicional.

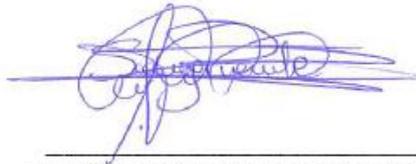
A mi director, Ing. Cristian Laverde MSc., quien además de ser un gran profesional, docente, colega y amigo, con su experiencia, responsabilidad y conocimientos me ha guiado en todo el camino y trayectoria para una satisfactoria finalización de este trabajo.

*Samantha Marlene Puente Bosquez*

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, abril, 6, 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Samantha Puente', written over a horizontal line.

Ing. Samantha Marlene Puente Bosquez  
C.I. 1206774299

## RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, abril, 6, 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Samantha Marlene Puente Bosquez', written over a horizontal line.

Ing. Samantha Marlene Puente Bosquez  
C.I. 1206774299

## **AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: Diseño de un micro-red basado en energía solar fotovoltaica y la factibilidad técnico – económica para su implementación en los sectores rurales y urbanos marginales del cantón “Quevedo – Sector 024”, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, abril, 6, 2022



---

MSc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado  
C.I. 0502656424

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD  
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**Título:**

**DISEÑO DE UNA MICRO-RED BASADA EN ENERGÍA SOLAR  
FOTOVOLTAICA Y LA FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA  
SU IMPLEMENTACIÓN EN LOS SECTORES RURALES Y URBANO  
MARGINALES DEL CANTÓN “QUEVEDO – SECTOR 024”**

**Autor:**

Puente Bosquez Samantha Marlene

**Tutor:**

Laverde Albarracín Cristian Samuel MSc.

**RESUMEN**

El presente trabajo tuvo como objetivo el diseño de una micro – red basada en energía solar fotovoltaica para su suministro en un área urbano marginal, dirigido específicamente al concepto de las micro – redes, siendo básicamente sistemas pequeños contando con una fusión de la tecnología de energías renovables y la tecnología de los sistemas de energía convencionales. La investigación se enfocó en los criterios teóricos de la energía solar fotovoltaica, ventajas e inconvenientes que existe en la actualidad. Consiguientemente se efectuó el proceso de recolección y procesamientos de datos, basándose en una estación meteorológica, la misma que aporta con datos de radiación solar mensual, temperatura, entre otros; la misma en la que se obtuvo la temperatura histórica máxima y mínima (19,8 °C y 26,2 °C respectivamente). Posteriormente se ingresó en el software PVsyst los datos para selección y obtención de la cantidad de módulos e inversor. También se evaluó de forma económica utilizando los indicadores del VAN (Valor Actual Neto) de -\$11.659,34 y la TIR (Tasa Interna de Retorno) con un - 2%, así como el tiempo de recuperación, los mismos que para la investigación resultaron ser negativos; las redes de distribución eléctrica es la opción más económico y viable para realizar en los sectores rurales, urbano – marginales.

**PALABRAS CLAVE:** Micro – redes, energías renovables, fuentes de energía, energía solar, energía fotovoltaica.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD  
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**Title:**

DESIGN OF A MICRO-GRID BASED ON SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY AND THE TECHNICAL - ECONOMIC FEASIBILITY FOR ITS IMPLEMENTATION IN THE RURAL AND URBAN MARGINAL SECTORS OF THE CANTON "QUEVEDO - SECTOR 024"

**Author:**

Puente Bosquez Samantha Marlene

**Tutor:**

Laverde Albarracín Cristian Samuel MSc

**ABSTRACT**

This research aims to design a micro - grid based on photovoltaic solar energy for its supply in a marginal urban area, specifically aimed at the concept of micro - grids, basically being small systems with a fusion of energy technology renewables and the technology of conventional energy systems. The research focused on the theoretical criteria of photovoltaic solar energy, current advantages and disadvantages. Consequently, the data collection and processing process was carried out, based on a meteorological station, the same one that provides data on monthly solar radiation, temperature, among others; the same one in which the maximum and minimum historical temperature was obtained (19.8 °C and 26.2 °C respectively). Subsequently, the data to select and obtain the number of modules and inverter was entered into the PVsyst software. It was also evaluated economically using the indicators of the NPV (Net Present Value) of - \$ 11,659.34 and the IRR (Internal Rate of Return) with -2%, as well as the recovery time, they were negative, the electricity distribution networks is the most economical and viable option to carry out in rural, urban - marginal sectors.

**KEYWORDS:** Micro – grids, renewable energies, energy sources, solar energy, photovoltaic energy.

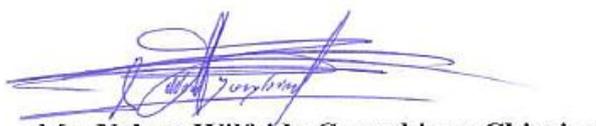
**AVAL DE TRADUCCIÓN**

Yo, **Nelson Wilfrido Guagchinga Chicaiza** con cédula de identidad **0503246415**, Magister en: Enseñanza del Idioma Inglés como Lengua Extranjera con número de registro de la SENESCYT: 1010-2019-2041252; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“DISEÑO DE UNA MICRO-RED BASADA EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y LA FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LOS SECTORES RURALES Y URBANO MARGINALES DEL CANTÓN QUEVEDO – SECTOR 024”** de la Ing. Samantha Marlene Puente Bosquez, aspirante a magister en **ELECTRICIDAD MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a la peticionaria hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, 07 de abril del 2022

Atentamente,



Mg. Nelson Wilfrido Guagchinga Chicaiza  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS  
C.I. 0503246415



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Antecedentes</b> .....	1
<b>Planteamiento del problema</b> .....	1
<b>Formulación del problema</b> .....	2
<b>Objetivos</b> .....	2
<b>Objetivo General</b> .....	2
<b>Objetivo Específicos</b> .....	2
<b>Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos</b> .....	3
<b>Justificación</b> .....	3
<b>Hipótesis</b> .....	4
<b>CAPÍTULO I</b> .....	5
<b>FUNDAMENTACIÓN TEORICA- METODOLÓGICA</b> .....	5
1.1    Antecedentes de la investigación.....	5
1.2    Fundamentación Teórica .....	7
1.2.1    Energías Renovables .....	7
1.2.2    Las micro-redes .....	8
1.2.3    La combinación de fuentes de energía renovables en una micro-red. ....	10
1.2.4    Ventajas de las micro-redes .....	11
1.2.5    Energía Solar .....	13
1.2.6    Tipos de Energía Solar .....	14
1.2.7    Inconvenientes.....	15
1.2.8    Tipos de sistemas.....	15
1.2.9    Inclinación de los paneles.....	18
1.2.10    Últimas tecnologías utilizadas en micro-redes.....	19
1.2.11    Normativas en el Ecuador.....	20
1.2.12    Energías renovables en Ecuador.....	20
1.2.13    Políticas de incentivo de energías renovables en el Ecuador .....	21
1.2.14    Micro-redes en el Ecuador.....	21
1.2.15    Energía fotovoltaica en Ecuador.....	21
1.3    Fundamentación metodológica.....	24
1.4    Conclusiones Capítulo I.....	25
<b>CAPÍTULO II</b> .....	27
<b>PROPUESTA</b> .....	27
2.1    Normas Aplicadas .....	27
2.1.1    Regulación No. ARCONEL – 003/18 .....	27
2.1.2    Regulación No. ARCERNNR – 001/2021.....	28
2.1.3    Procedimiento para obtener la factibilidad de conexión .....	28
2.2    Obtención de información meteorológica.....	29

2.2.1	Datos Meteorológicos Referenciales .....	31
2.2.2	Orientación del panel.....	33
2.2.3	Ángulos de inclinación y acimut. ....	33
2.2.4	Método de la inclinación óptima anual .....	34
2.2.5	Método en función del periodo de tiempo y el uso .....	34
2.2.6	Criterios Técnicos.....	35
2.2.7	Pérdidas por inclinación y orientación.....	35
2.3	Configuración global del sistema .....	36
2.3.1	Criterios de acoplamiento generador PV-inversor .....	36
2.3.2	Comprobación de la Tensión Máxima en Circuito Abierto .....	37
2.3.3	Comprobación de la Tensión Máxima y Mínima a Potencia Máxima .....	40
2.3.4	Comprobación de la Intensidad Máxima a Potencia Máxima .....	45
2.4	Evaluación técnico económica .....	46
2.5	Conclusiones del Capítulo II .....	51
<b>CAPÍTULO III</b> .....		53
<b>APLICACIÓN Y/O VALIDACION DE LA PROPUESTA</b> .....		53
3.1	Evaluar la incidencia y continuidad del recurso energético solar en la zona, para la recolección de datos necesarios para el pre-diseño.....	53
3.1.1	Mediciones de irradiación global y difusa .....	53
3.1.2	Inclinación y orientación de los paneles .....	56
3.2	Dimensionamiento de la micro red .....	57
3.2.1	Estimación de la demanda .....	57
3.2.2	Resultados del Software .....	60
3.3	Evaluación económica.....	72
3.3.1	Ventajas de un sistema fotovoltaico .....	73
3.3.2	Factores a tomar en cuenta en los proyectos fotovoltaicos. ....	74
3.4	Conclusiones del Capítulo III .....	76
4.	<b>Conclusiones</b> .....	77
5.	<b>Recomendaciones</b> .....	79
6.	<b>Bibliografía</b> .....	80
7.	<b>Anexos</b> .....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de una micro-red.....	9
Figura 2 Micro-redes, energía renovable.....	13
Figura 3 Tipos de radiación.....	14
Figura 4 Tipos de energía solar .....	14
Figura 5 Esquema de un sistema fotovoltaico aislado .....	16
Figura 6 Inversor Growatt.....	17
Figura 7 Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red.....	18
Figura 8 Orientación e Inclinación de los módulos solares .....	19
Figura 9 Esquema de un Sistema Eléctrico de Potencia .....	23
Figura 10 Ubicación geográfica del lugar seleccionado .....	30
Figura 11 Ubicación geográfica del lugar seleccionado .....	30
Figura 12 Ingreso de datos (coordenadas y altitud) – Software PVsyst.....	32
Figura 13 Valores mensuales de irradiación global y difusa horizontal de la base de datos de METEONORM, software PVSYST. Software PVsyst.....	32
Figura 14 Valores mensuales de irradiación global y difusa horizontal de la base de datos de la NASA, software PVSYST.....	33
Figura 15 Pérdidas de energía solar por inclinación y orientación de un panel fotovoltaico .....	36
Figura 16 Temperatura Histórica de Quevedo.....	37
Figura 17 Irradiancia media diaria .....	38
Figura 18 Irradiancia media diaria .....	41
Figura 19 Datos de Irradiación Global y Difusa - Software PVsyst kWh/m <sup>2</sup> , día .....	55
Figura 20 Datos de Irradiación Global y Difusa - Software PVsyst kWh/m <sup>2</sup> , mes.....	55
Figura 21 Inclinación del módulo – Orientación – Software PVsyst.....	57
Figura 22 Pantalla principal del Software - Creación del proyecto. – Software PVsyst ...	61
Figura 23 Selección de Módulo e Inversor – Software PVsyst .....	61
Figura 24 Resultados Obtenidos Módulos e Inversor - Software PVsyst .....	62
Figura 25 Producción Energética - Software PVsyst.....	63
Figura 26 Factor de Rendimiento - Software PVsyst .....	63
Figura 27 Balances y resultados principales PVsyst.....	64
Figura 28 Pérdidas del sistema. - Software PVsyst .....	65
Figura 29 Diagrama unifilar de los usuarios.....	66
Figura 30 Ubicación del sistema fotovoltaico .....	66
Figura 31 Diagrama Unifilar del Sistema Fotovoltaico .....	67
Figura 32 Diagrama Unifilar del Sistema Fotovoltaico (Simplificado) .....	67
Figura 33 Curva de energía mensual del Sistema Fotovoltaico. ....	69
Figura 34 Curva de energía mensual consumida por los usuarios. ....	69
Figura 35 Balance de energía/ energía inyectada a la red.....	70
Figura 36 Horas mensuales de energía efectiva del sistema fotovoltaico. ....	70
Figura 37 Energía efectiva producida por el sistema fotovoltaico, horas diarias. ....	70
Figura 38 Energía diaria consumida por los usuarios .....	71
Figura 39 Inyección de la energía a la red. ....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sistema de tareas en relación a los objetivos específicos .....	3
Tabla 2 Energías renovables y no renovables.....	8
Tabla 3 Potencias nominales de las SGDAs Categoría 1.....	29
Tabla 4 Vidas útiles aplicables a cada tecnología de generación eléctrica .....	29
Tabla 5 Datos de interés .....	31
Tabla 6 Criterios de cálculo para inclinación óptima .....	34
Tabla 7 Energía consumida promedio de la comunidad .....	46
Tabla 8 Datos meteorológicos - datos de la NASA. – Software PVsyst.....	47
Tabla 9 Pérdidas del sistema .....	47
Tabla 10 Degradación del módulo fotovoltaico .....	48
Tabla 11 Energía Efectiva Fotovoltaica. ....	49
Tabla 12 Consumo vs Producción de Energía con Usfv.....	49
Tabla 13 Proyección de consumo a 25 años.....	50
Tabla 14 Consumo y ahorro proyectado 25 años .....	51
Tabla 15 Radiación solar difusa en el Cantón Quevedo. – Software PVsyst.....	54
Tabla 16 Radiación solar global en el Cantón Quevedo. – Software PVsyst.....	54
Tabla 17 Inclinación óptima de los paneles.....	56
Tabla 18 Estimación de la demanda típica. ....	58
Tabla 19 Consumo mensual de usuarios (kWh mensual) .....	59
Tabla 19 Consumo mensual/anual de usuarios.....	59
Tabla 19 Factor de planta de diseño .....	60
Tabla 22 Producción del sistema fotovoltaico vs el consumo de los usuarios .....	68
Tabla 23 Energía producida por el SF vs Energía producida por los usuarios.....	72
Tabla 24 Análisis Económico .....	72
Tabla 25 Costo de un Sistema Fotovoltaico .....	73
Tabla 26 Tiempo de recuperación de costo .....	73

## **INTRODUCCIÓN**

### **Antecedentes**

Los avances tecnológicos en los sistemas eléctricos incorporando las energías renovables ha impulsado al desarrollo de micro-redes eléctricas. Este desarrollo motiva a la parte ambiental y económica; incentivando y teniendo un impacto a nivel mundial para el incremento y uso de las fuentes de energías renovables ya que la sociedad por el momento depende de los combustibles fósiles por ello el sector energético requiere energía limpia con la incorporación de tecnologías basadas por fuentes de energías renovables.

El realizar un estudio investigativo debido a problemas en los sectores rurales y urbano marginales es necesario establecer un estudio técnico-económico y tener conocimiento de la factibilidad que se obtendría instalar micro-redes basadas en energía solar fotovoltaica ya que su continuidad de suministro puede ser parcial o total, por ello puede desempeñarse en la solución de problemas.

Una de las ventajas más grandes de las micro-redes es la facilidad y producción de energía eléctrica mediante los distintos tipos de generación a pequeña escala, son usadas para mejorar la confiabilidad y disminuir costos, a su vez aporta a la reducción de las emisiones de gases contaminantes; es decir, motivaría a las matrices energéticas hacia sistemas que sean compatibles con el medio, como lo son las energías renovables.

### **Planteamiento del problema**

El desarrollo del país en el ámbito energético se ha incrementado a través de las energías renovables. Sin duda las nuevas tecnologías para el proceso de generación eléctrica han impulsado al mundo a ir en dirección del aprovechamiento de las fuentes inagotables, energías limpias, tal como es la energía solar fotovoltaica.

En zonas urbano – marginales sufren de interrupciones, apagones y muchas veces en los sectores más alejados no tienen acceso a la red principal. La carencia del servicio eléctrico sectores rurales y urbano marginales ha generado incertidumbre, malestar y preocupación en las personas que habitan las localidades por no contar con un servicio básico como lo es el servicio eléctrico; al encontrarse en zonas de difícil acceso, son más vulnerables a ser parte de la población que no cuente con ciertos servicios. Las

tecnologías avanzan y la población se incrementa lo que hace imprescindible su requerimiento.

Un diseño de micro-red podría beneficiar a los sectores más alejados de las ciudades, haciendas, bananeras, entre otras; donde su producción a diario las lleva a un mayor consumo de energía, ayudaría a reducir sus costos, sin afectar al medio ambiente y sobre todo utilizar una energía limpia. Todos estos lugares y sectores antes mencionado cuentan con un amplio espacio, en donde sin problema alguno se obtendría energía solar.

### **Formulación del problema**

¿Qué tan factible resultaría implementar las micro – redes fotovoltaicas en los sectores rurales y urbanos marginales del cantón Quevedo y cuáles serían sus beneficios?

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Determinar la factibilidad técnico – económica que generaría la implementación de una micro-red basada en energía solar fotovoltaica, mediante el análisis de los datos en software para el apoyo energético en los sectores rurales y urbano marginales del cantón “Quevedo – Sector 024”.

#### **Objetivo Específicos**

- Determinar la incidencia y continuidad del recurso energético solar en la zona, para la recolección de datos necesarios para el pre-diseño.
- Diseñar la micro-red de energía solar fotovoltaica basado en un software, para el análisis de los datos obtenidos.
- Establecer una evaluación económica de la implementación de la micro-red de energía solar fotovoltaica en la zona de estudio, con el fin de comprobar si existe factibilidad.

## Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos

Tabla 1 Sistema de tareas en relación a los objetivos específicos

Fuente: Elaboración propia

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
1	Determinación del recurso energético.	Datos climáticos.	Mediante un análisis investigativo realizado a través de documentos y páginas de carácter científico, determinar si existe continuidad del recurso energético.
2	Diseño de la micro –red solar fotovoltaica.	Simulación y análisis de datos.	A través del software realizar un análisis que permita la optimización del mismo.
3	Evaluación económica	Viabilidad de un proyecto de micro – redes fotovoltaicas.	De acuerdo a los análisis realizados y al informe de datos y la investigación, analizar qué tan factible resultaría un proyecto de micro – redes fotovoltaicas.

### Justificación

La presente investigación tiene como objetivo realizar el diseño de una micro-red basada en energía solar fotovoltaica y la factibilidad técnico – económica para su implementación en los sectores rurales y urbano marginales del cantón “Quevedo - Sector 024”, enfocado en micro-redes siendo estos unos sistemas autónomos que pueden funcionar tanto conectadas como aisladas de la red.

Gracias a las micro-redes la electricidad puede llegar hasta localidades rurales y urbano marginales en las que se podría obtener una producción masiva de energía, un ejemplo de aquello es el gran abastecimiento de las centrales hidroeléctricas, de esta manera tener una mejor distribución, reducir costos y aprovechar una fuente de energía local; además de ser una energía limpia no es necesario realizar obras tan grandes como parques eólicos.

Con el fin de satisfacer las necesidades básicas humanas es importante tener en cuenta que las micro-redes pueden influir en la toma de decisiones al momento de estudiar la viabilidad del proyecto de dichos sistemas, de la misma forma apostar por ahorro

económico en las tarifas eléctricas y una solución ecológica que reduce la emisión de dióxido de carbono en la atmósfera apoyando a la lucha a favor del medio ambiente.

La utilidad de la micro-red es mantener la estabilidad eléctrica y mejorar su funcionamiento para lograr una energía eficiente a bajos costos. La optimización es una característica de las micro-redes proporcionando una mejor calidad de energía y garantizando la fiabilidad para las comunidades rurales y urbano-marginales, el sistema conectado a la red ayuda a la aportación de energía emitida directamente por el recurso solar.

Lo ideal en un diseño de micro-redes, es analizar los datos obtenidos de la radiación solar a través del software siendo una herramienta que brinda la oportunidad de estudiar, simular y analizar datos de sistemas fotovoltaicos, con el fin de conocer las características y realizar una evaluación energética del lugar de estudio y a su vez formulando un costo para el diseño en caso de su posible implementación, ya que si se empieza a tomar en cuenta el aprovechamiento de los recursos naturales podría ser una opción viable y eficiente para la generación de energía libre fuera de efectos adversos para el medio ambiente.

### **Hipótesis**

El sistema fotovoltaico permitirá reducir el consumo de la red eléctrica proveniente de la empresa distribuidora.

## **CAPÍTULO I**

### **FUNDAMENTACIÓN TEORICA- METODOLÓGICA**

#### **1.1 Antecedentes de la investigación**

La generación de energía a través de fuentes renovables se ha incrementado, así como también las nuevas tecnologías que van de la mano para ponerlas en marcha; es así como el siguiente trabajo [1] engloba los parámetros de forma general tratando de desarrollar una vista teórica acerca de la generación con micro-redes y redes inteligentes, así como también los componentes que formen parte de dicho diseño utilizando un software llamado HOMER. El documento de la cita [2] analiza la ubicación, y las posibles energías limpias que se puede utilizar dentro del margen de la ubicación.

Según [3] aborda con el tema de las energías renovables, con un énfasis en los sistemas fotovoltaicos que son tecnología promisoría para generación eléctrica a través de energía solar, muestra los escenarios futuros de la utilización de energía solar en el mundo tanto en la parte técnica como en la parte económica, regulatorio y social. El autor [4] argumenta que pronostica la oferta y demanda de energía que pueda generar una micro-red eléctrica conformada por una vivienda, aplicando como política promover el uso de energías renovables como matriz productiva para contribuir a futuras implementaciones. Los sistemas fotovoltaicos no son una posibilidad tan solo en las zonas urbanas sino también en las rurales-marginales.

Partiendo de la integración de las micro-redes dado que [5] [6] a pequeña escala de las fuentes de energía renovable a los sistemas de potencia local; permitiendo aumentar el porcentaje de energía, incrementando la sostenibilidad, del mismo modo aumenta la fiabilidad en el sistema combinando tecnologías. Para una mejor comprensión es fundamental tener en cuenta los conocimientos necesarios como indica [7], teniendo como objetivo explicar las tecnologías que están siendo desarrolladas en el campo de las redes eléctricas.

Así mismo, el trabajo de [8] extiende la propuesta de una integración de una micro-red con generación eléctrica a partir de fuentes renovables, la cual tiene como objetivo entregar energía para suplir la demanda de una empresa en las horas de consumo pico, logrando una disminución de los costos en la factura. Otro de los temas más

importantes acerca de los estudios de investigación en sistemas fotovoltaicos es la factibilidad, es estudio de [9] proponen una visión de explotar a las energías renovables como alternativa sustentable; las limitaciones; su crecimiento y el incentivo de utilizar energías limpias en el medio ambiente ha motivado a obtener otro punto de vista para frenar los problemas de continuidad, calidad y eficiencia energética.

La accesibilidad en la que se basa [10] presentan los sistemas solares fotovoltaicos que se encuentran instalados en un sitio específico, llevando un control y registro de la radiación solar, temperatura, velocidad del viento entre otras. El enfoque de las redes inteligentes abarca con complementos que llevarán a cabo la función de inteligencia por ello [11] engloba a los inversores, su funcionamiento, utilidad, fabricantes que se comercializan, su desarrollo para conectarse a las redes eléctricas.

El modelo de gestión que propone [12] es basado en la satisfacción de la necesidad del acceso a la energía eléctrica, estudiando las factibilidades y potencialidades del modelo cooperativo, junto al diseño de la ingeniería básica de una micro-red basada en un sistema modular de alimentado con energía eólica y solar, respaldado por un sistema de acumuladores de energía eléctrica y un sistema de distribución económico. En el trabajo de [13] estudia la transferencia de energía de los sistemas híbridos de energía renovable y la red eléctrica para cubrir ciertas demandas de potencia, analizando a detalle el sistema de suministro con los recursos naturales solar y eólico, permitiendo analizar el aprovechamiento de los recursos y la dependencia de la red eléctrica para distintas configuraciones, en función de la relación entre la demanda y los recursos naturales.

La exposición de [14] detalla ubicación óptima y el dimensionamiento de las unidades de generación distribuida con tecnología fotovoltaica que serán introducidas dentro de los Sistemas de Distribución de Energía, que permita minimizar costos de operación mediante un método específico.

El autor [15] argumenta acerca de la evolución de las micro-redes dentro de la energía tradicional a través de la transformación digital, esperando que se fomenten la utilización de energías renovables, el desarrollo sostenible y la resiliencia de la red eléctrica; haciendo énfasis en el manejo correcto de la heterogeneidad de los

componentes de hardware y software requeridos, para ello es necesario el estudio de arquitecturas innovadoras de esta manera ayudar al monitoreo de las micro-redes.

Otro punto de vista desde la parte medioambiental es del autor [16] en el cual se propone un sistema de micro-redes para la utilización efectiva de los recursos renovables disponibles en la electrificación de sectores rurales, presentando un análisis tecno-económico basado en un sistema híbrido “solar y biomasa”, evaluando diferentes parámetros, costos de los componentes del proyecto, dando a conocer que el sistema híbrido conectado a la red fue capaz de proporcionar electricidad de manera fiable con costes energéticos reducidos, evitando la emisión de contaminantes.

En cuanto a [17] [18]evalúan de manera socio-económica las comunidades de zonas rurales, beneficiadas con la instalación de Sistemas Fotovoltaicos. En qué zonas se ha invertido más en estas tecnologías, zonas que cuentan con mayor potencial solar (radiación), su aprovechamiento en el ámbito nacional; mientras que [19] detalla ubicación óptima y el dimensionamiento de las unidades de generación distribuida con tecnología fotovoltaica que serán introducidas dentro de los Sistemas de Distribución de Energía, que permita minimizar costos de operación mediante un método específico

## **1.2 Fundamentación Teórica**

### **1.2.1 Energías Renovables**

Con el pasar del tiempo y las tecnologías en la cima de la tendencia mundial se ha ido incrementando el uso de energías renovables, un claro ejemplo es el sol, siendo una fuente de energía natural que brinda luz, calor y que es fundamental para la vida de los seres vivos y la tierra. Desde la antigüedad se ha utilizado el fuego para cocer los alimentos y realizar trabajos en metal, entre otros, de la misma forma a medida que el tiempo avanzaba se logró utilizar el impulso del viento para navegar; la evolución del hombre en la sociedad se ha visto en la necesidad de un mayor consumo de energía eléctrica como servicio básico en el hogar, la industria y el comercio. [20]

En la actualidad las energías más utilizadas son las energías fósiles, o también llamadas energías no renovables, caracterizadas por tener el concepto de saber que se agotarán tarde o temprano, por otro lado, también existen otro tipo de energías que son utilizadas en el mundo de carácter inagotables, debido a que provienen de la naturaleza

y no son contaminantes, por ejemplo: energía eólica (viento), luz y calor (sol), hidro (lluvia), etc. [20]

*Tabla 2 Energías renovables y no renovables  
Fuente: Elaboración propia*

Energías No Renovables	Energías Renovables
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Petróleo</li> <li>• Carbón</li> <li>• Gas natural</li> <li>• Nuclear</li> <li>• Química</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solar (luz y calor)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paneles fotoeléctricos (electricidad)</li> <li>- Paneles térmicos (calor)</li> </ul> </li> <li>• Eólica</li> <li>• Hidráulica</li> <li>• Biomasa</li> <li>• Geotérmica</li> </ul>

### 1.2.2 Las micro-redes

Es un sistema que trabaja conjuntamente con fuentes de energías que puedan ser distribuidas, tal como; almacenamiento de energía, energías convencionales y energías renovables. Tienen la capacidad de operar de manera independiente de la red principal o a su vez son capaces operar en paralelo. Su objetividad llega a asegurar una continuidad energética de manera confiable tanto para el uso residencial, comercial, institucional, entre otros. [2]

El estudio de las micro-redes se basa en tener de manera propia la generación de energía renovable, una de las energías más limpias e inagotables es el sol. De cierto modo una de las ventajas de la conexión a la red es poder satisfacer la demanda cuando la generación propia no genere lo suficiente, por lo que se podría llamar “sistema híbrido”. [21]

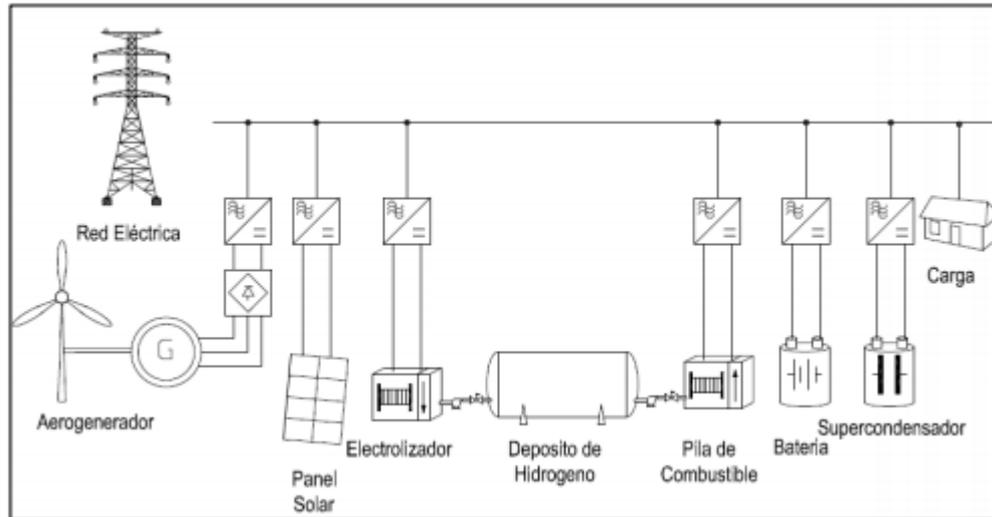


Figura 1 Esquema de una micro-red  
Fuente: [22]

Algunas de las características de las micro-redes son las siguientes:

- El almacenamiento es importante si se desea que la micro-red proporcione respaldo al momento de un corte de energía. Por lo que la base de este principio serían baterías o tomarlo como combustible limpio.
- Hacen que proyectos energéticos sociales, como plantas de biomasa, sistema con paneles solares se vuelvan viables y confiables.
- La importante utilización de inversores, por ellos las micro-redes toman el concepto de “autonomía” e “inteligencia” que convierten energía de corriente continua en energía de corriente alterna.
- La calidad de energía con las micro-redes preserva hasta un 15% de electricidad, dicho porcentaje podría perderse en las líneas de transmisión a distancias muy largas; es mucho más eficiente evitando la contaminación sin arrojar dióxido de carbono.
- Un sistema solar fotovoltaico también suele apagarse al momento de ocurrir un apagón. En las micro-redes aún con el apagón, los paneles solares siguen en funcionamiento.

Hoy en día se encuentra con una gran variedad de sistemas híbridos que pueden ser solar-diésel, solar-eólica, entre otros. [21] La eficiencia y calidad del transporte de energía dependen del sistema que se utilice, en sectores con difícil acceso, las micro-redes son la idea principal de aplicación, por un sencillo motivo de reducción del

impacto ambiental de la mano con las nuevas tecnologías, las mismas antes mencionadas como lo es la energía fotovoltaica. [23]

### **1.2.3 La combinación de fuentes de energía renovables en una micro-red.**

Las distintas fuentes de energía que componen una micro-red dependen de la potencia necesaria y requerida por la carga, también de la tecnología que va a ser empleada, su impacto medioambiental, forma de utilización; además de que no se encuentran definidas de manera exacta y esto es debido a que estas dependen del lugar en el que se vaya a diseñar. Lo que se encuentra conceptualizado son las fuentes de generación deben estar lo más cerca posible del consumidor o consumidores según sea el caso. [23]

Por lo general el consumidor es quien se convierte en auto generador de energía, y así mismo él puede estar o no conectado a la red eléctrica convencional de media tensión o baja tensión, pero en muchos casos depende de la regulación de cada país, si es que se puede colocar a la red de distribución los sobreabundantes acumuladores de energía generadas por dichas fuentes. En base a niveles de tensión lo que se recomienda es realizar las conexiones en baja tensión así de forma que acapare una gran cantidad de consumidores. [23]

En tanto que las tecnologías de fuentes de generación renovable son de fácil implementación en las micro-redes, siempre teniendo en cuenta que el suministro de energía sea factible y seguro en tanto a calidad y confiabilidad y que los costos sean competitivos frente a las tecnologías convencionales. De igual manera se puede implementar fuentes de energía no renovables que se basan en el uso de combustibles fósiles y energías convencionales. [23]

### **Aplicación de las micro-redes**

Las aplicaciones de las micro-redes son comunes en el sector residencial o doméstico y en el sector económico. En el sector residencial suelen implementarse como sistemas a baja escala para el suministro de energía eléctrica en viviendas sin duda alguna ofrece beneficios de innovación. [23]

Sin dejar a un lado el sector económico, es natural que abarque este sector las micro-redes debido a su sub-división, como son: en el primer punto se toman en cuenta la conversión de los recursos naturales en productos que serán utilizados en el sector

industrial. En segundo punto engloba los procesos realizados en el sector industrial que sirvieron para la transformación de los productos en nuevas materias primas o productos. En el tercer punto se colocan los sectores que brindan servicios a la sociedad y en cuarto punto abarca el campo del estudio, investigación, exploración, desarrollo e innovación de tecnologías. Hoy en día se van sumando las aplicaciones de las micro-redes trabajando en conjunto con las redes eléctricas convencionales para mejorar la continuidad de la energía. [23]

#### **1.2.4 Ventajas de las micro-redes**

**Impulsa al crecimiento de la economía:** La evolución tecnológica crece cada día, el descubrimiento y el conocimiento activa la economía mediante plazas de empleo, nuevas oportunidades. Las micro-redes generan una inversión lo que garantiza una calidad y eficiencia energética; la mejora de la red, el funcionamiento en conjunto con la energía distribuida entre otras nuevas tecnologías inteligentes. El fomento al desarrollo de las micro-redes ha incrementado increíblemente en países desarrollados donde se han planteado nuevos modelos de negocios con electricidad más eficiente y amigable con el medio ambiente, mismas que en el futuro serán tecnologías compatibles dando como resultado una contribución a continuos cambios e innovaciones. [2]

**Ahorro de dinero a los consumidores:** Las grandes empresas y altos consumidores tienen costos elevados por los cortes de energía, el concepto de micro-redes, lo reduciría de manera significativa, permitiendo que los consumidores obtengan energía en tiempo real, a bajos costos incluso en horas pico. Esta energía suele ser mucho más eficiente, reduciendo la distancia de recorrido por lo que las pérdidas de transmisión se reducen, reduciendo así los gastos generales del consumidor o servicio al cliente, cuando los costos de energía son más altos. [2]

**Crecimiento de la Confiabilidad:** El incremento de la fiabilidad de las micro-redes a nivel local se basa en planes específicos de mejora, integrados a la distribución. La generación de energía propia y el almacenamiento permiten la operación independiente de la red cuando es necesario evitando apagones. Tales tecnologías como ésta, interruptores inteligentes, incluso sensores automáticos previenen las interrupciones de energía; dando una comparación con los interruptores que tienen que ser configurados y arreglados de forma manual en caso de un apagón. Lo ideal es la

continuidad del servicio de energía, teniendo en cuenta la confiabilidad en los sistemas de potencia. [2]

**Eventos futuros:** El empoderamiento de las micro-redes estimula a las futuras tecnologías de generación eléctrica, las innovaciones en el mercado por lo que el financiamiento se activa en el ámbito empresarial. La gestión inteligente de dichas micro-redes permite que sectores, comunidades locales, aumenten el suministro eléctrico de forma rápida y eficiente mediante generadores pequeños, es decir, las células o paneles solares, turbinas de viento y otros tipos de sistemas desplazando a la espera que empresas y compañías eléctricas encargadas construyan plantas costosas que toman mucho tiempo en ser edificadas y entrar en funcionamiento. [2]

La sociedad se va actualizando con el pasar de los días, las investigaciones y descubrimientos van dando frutos, uno de los más grandes ejemplos es el impulso al crecimiento de la economía, el fomento y desarrollo de modelos de micro-redes ha aumentado significativamente que conllevan a nuevos negocios con energía eléctrica más eficiente y amigable con el medio ambiente, tratando de ser visionarios al futuro para que puedan ser compatibles dando como resultado contribuciones para nuevas innovaciones y cambios. [2]

El concepto y uso de las micro-redes permitirían que los consumidores obtengan energía en tiempo real, siendo esta energía mucho más eficiente, reduciendo a su vez el recorrido, hecho por el cual las pérdidas por transmisión se reducen, esto genera que se reduzcan los gastos generales del consumidor o servicio al cliente. [2]

La generación de energía propia y el almacenamiento permiten la operación independiente de una red cuando se quiere evitar apagones, en otros casos el reducir costes mediante conexiones a la red para ocupar la energía en las noches, incrementando la fiabilidad basándose en planes de mejora que se integran a la distribución. Sin dejar a un lado también se enfoca en el estímulo de las tecnologías futuras acerca de la generación eléctrica, el desarrollo de innovaciones en el mercado, brinda a los sectores aumentar el suministro eléctrico de forma rápida y eficiente. [2]

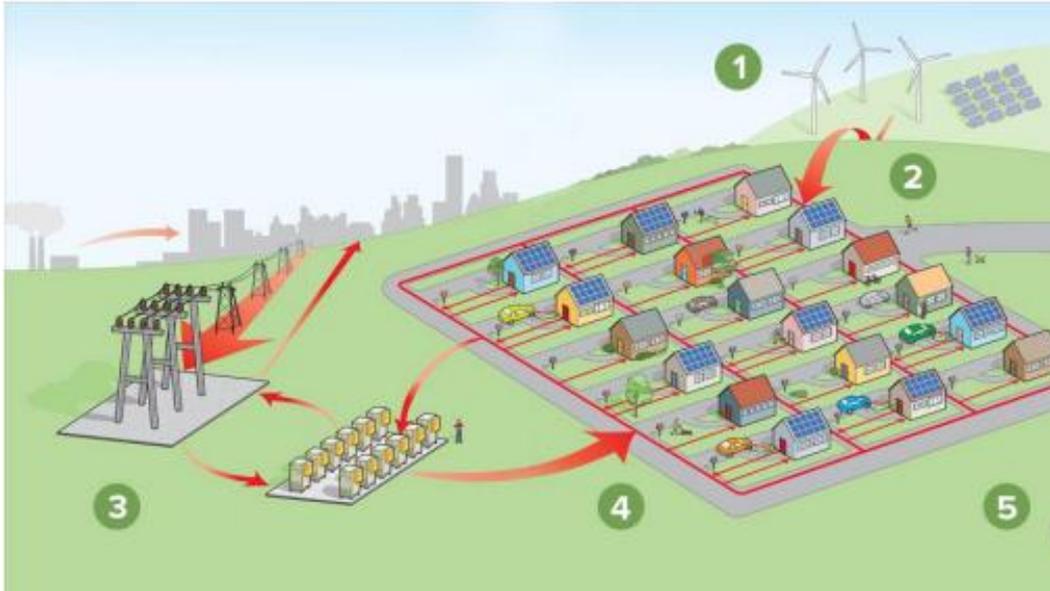


Figura 2 Micro-redes, energía renovable.

Fuente: [4]

### 1.2.5 Energía Solar

Existen dos tipos de energías que se obtienen del sol que son: la energía calorífica utilizada para calentar fluidos al aumentar su temperatura o para producir vapor mediante el uso de colectores y la energía eléctrica mediante el efecto de energía solar fotovoltaica. [20] [24] Es una energía renovable, limpia, no contaminante; comúnmente conocida como energía verde. [24]

La principal fuente de energía en el planeta, es el sol; sin él no sería posible la vida en la Tierra. El sol emite radiación, conocida como radiación solar, como ya es de conocimiento el sol radia una potencia de  $3,8 \times 10^{23} kW$ , con una intercepción a la Tierra de  $1,7 \times 10^{14} kW$ . [20] La radiación que emite el sol hacia la Tierra es constante, sin embargo, la variación es generada por las estaciones del año, el clima o también la latitud, [25] argumenta que la radiación es constante en la línea del ecuador terrestre, sin embargo; si hay un desplazamiento al norte o al sur de acuerdo a la estación, es decir, en verano la radiación aumentará y será mayor, en cambio, en invierno la radiación será mejor, pero si se considera el hemisferio sur será ocurrirá de manera contraria. [25]

La incidencia del sol en la superficie terrestre, se presenta de diferentes maneras: La radiación directa, que llega a la Tierra sin cambiar el recorrido a pesar de traspasar la atmósfera sin interactuar con ella; mientras que la radiación difusa, es aquella que se

muestra en formas de rayos solares dispersados en trayectoria al receptor por el efecto de la atmósfera, conociendo que en días nublados la radiación incidente sobre la superficie será difusa y la radiación reflejada haciendo mención a su nombre es la radiación que refleja de la superficie al receptor. La suma de estos elementos es conocida como la radiación global horizontal. [22] [26]

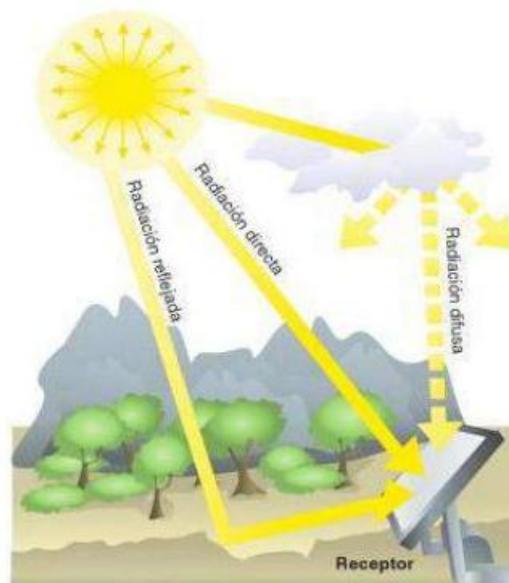


Figura 3 Tipos de radiación  
Fuente: [22]

### 1.2.6 Tipos de Energía Solar

La energía solar proveniente de la radiación del sol brinda dos posibles de aprovechar al máximo este tipo de energía, la misma que se presenta en:

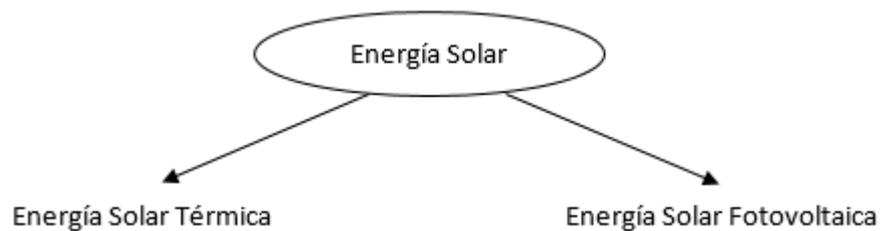


Figura 4 Tipos de energía solar  
Fuente: Propia

#### Energía Solar Térmica

Este tipo de energía es muy utilizada para la generación de calor como indica su nombre, actualmente utilizada para la producción de agua caliente, calefacción, climatización piscinas entre otras aplicaciones en las que sea necesario elevar la

temperatura. Es una energía limpia, siendo las ventajas el no contaminar al medio ambiente, el mantenimiento no es complejo, su vida útil suele ser mayor a los 20 años, entre otros. [20]

### **Energía Solar Fotovoltaica**

Es una tecnología que permite el aprovechamiento de energía eléctrica mediante la energía solar, esto es posible con las células fotovoltaicas, se obtiene electricidad a través de la radiación solar emitida por el sol. Los beneficios de la energía solar tienen un amplio campo empezando por ser de gran potencial, como es de conocimiento la energía solar no se encuentra limitada al ser captada; es capaz de producir más energía de las que fueron diseñadas para poder producir de acuerdo a la tecnología que fue utilizada y en la situación que se las necesite. [20]

Los sistemas fotovoltaicos en la medida son posibles ubicarlos en cualquier lugar, dependiendo de la latitud es probable que generen mayor energía, sin embargo; aunque se encuentre con niveles mínimos de emisión solar se podrá contar con la obtención de energía. A su vez [20] argumenta que los sistemas fotovoltaicos no tienen tal complejidad para su mantenimiento en costes, no es necesario ser un profesional en este tipo de sistemas para poder realizar su instalación, además de ser una gran aporte como propuestas para la solución del abastecimiento en las zonas rurales y urbano marginales, considerándolo como el recurso más práctico y el que se podría aprovechar en aquellos lugares.

#### **1.2.7 Inconvenientes**

Es normal que todos los recursos renovables contengan inconvenientes, por lo general algunos de los inconvenientes del aprovechamiento del recurso solar suelen ser como más común la discontinuidad de electricidad efecto que es causado por la naturaleza es decir el paso del día a la noche. En caso de tomar como referencia la discontinuidad de la energía es necesario las baterías para el almacenamiento de la misma y poder cubrir con la demanda nocturna, considerándose como sistemas fotovoltaicos aislados. [20]

#### **1.2.8 Tipos de sistemas**

Los sistemas fotovoltaicos se encuentran conformados por distintos componentes los mismos que unidos permite la captación de energía solar y así poder transformarla a energía eléctrica

### 1.2.8.1 Sistemas Aislados

Una solución óptima para las zonas con limitaciones de acceso a la red eléctrica convirtiéndose en una alternativa más económica que colocar una línea a la red eléctrica, también pueden apoyarse de otros sistemas de generación de energía denominándose instalación mixta. El objetivo primordial de este tipo de sistemas es poder cubrir la demanda, parcial o completamente en los estos lugares rurales, por lo general se suele encontrar este tipo de sistemas en zonas rurales, iluminación en sectores o carreteras aisladas, sistemas autónomos, sistemas de bombeo de agua y suministro eléctrico en embarcaciones. [27]

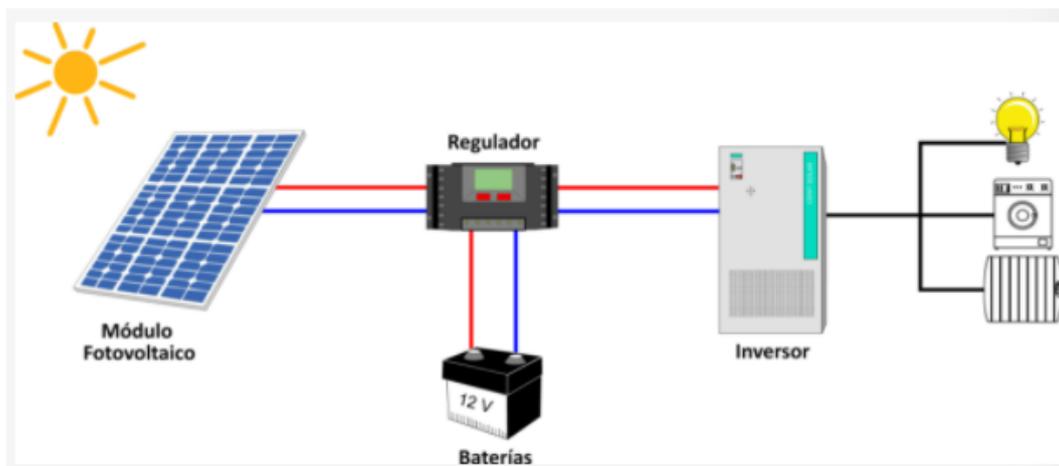


Figura 5 Esquema de un sistema fotovoltaico aislado  
Fuente: [27]

### Paneles Fotovoltaicos

Estos dispositivos son aquellos que se encargan de la transformación de la energía solar en energía eléctrica, su característica se encuentra parametrizada por la potencia pico que es la potencia máxima que produce el panel bajo ciertas condiciones. [27]

### Regulador

Es aquel encargado de dar protección a la batería cuando ocurren eventos de sobredescargas; incluso mantiene controlado el estado de las cargas en las baterías de esta manera es constantemente regulado la intensidad procurando una vida útil más prolongada. [27]

## **Baterías**

Son caracterizadas por ser dispositivos que almacenan energía, esto es, utilizando en las instalaciones fotovoltaicas porque la energía producida por los paneles fotovoltaicos es almacenada en estas baterías. La energía almacenada es usada posteriormente para el suministro de energía. [27]

## **Inversor**

Es un dispositivo que transforma la corriente continua en corriente alterna, uno de los datos importantes a recalcar sobre la energía almacenada en las baterías es que se puede consumir por elementos que usen corriente continua motivo por el cual es utilizado el inversor para conectar elementos que funcionen con corriente alterna. [27]



*Figura 6 Inversor Growatt  
Fuente: [28]*

### **1.2.8.2 Sistemas conectados a la red**

Son conocidas por su ubicación en los sectores rurales y urbano – marginales que disponen del servicio de red eléctrica, su objetivo principal es cubrir la demanda parcialmente consumiendo en tiempo real lo que produce el sistema, y en la noche consumir la energía que brinda la red eléctrica; se considera amigable con el medio ambiente ya que reduce de manera significativa la emisión del CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono). [20]

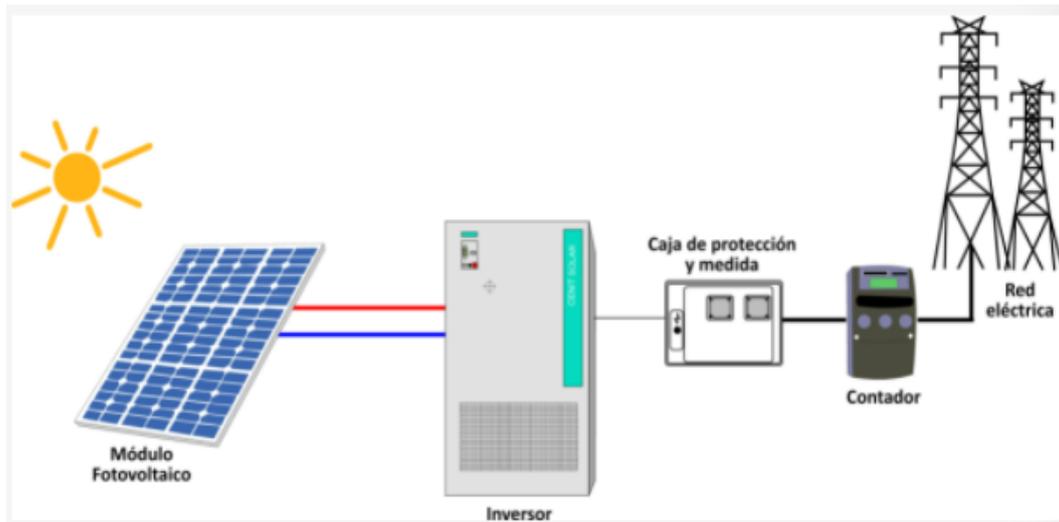


Figura 7 Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red  
Fuente: [27]

## Protecciones

Dispositivo fundamental en los sistemas fotovoltaicos, protegen tanto a las personas como a las instalaciones por fallas de sobrecargas, cortocircuitos o sobretensiones. Deben disponer de un interruptor general manual, será accesible para la compañía en todo momento siendo el objeto de la misma, la desconexión manual; otra protección necesaria es el interruptor automático diferencial, para proteger a las personas en caso de un incidente, por último, un interruptor automático de interconexión para la conexión/desconexión de la instalación en caso de pérdidas ya sea de frecuencia o tensión que se encuentran en la red. [24]

## Contador

Los contadores son aquellos que miden la energía inyectada, poseen la singularidad de censar en dos direcciones (bidireccionales) y de esta manera poder obtener una diferencia entre la energía que se consume y la que se encuentra inyectando. [24]

### 1.2.9 Inclinación de los paneles

Es muy importante la ubicación de la instalación sobretodo porque la inclinación de los paneles solares depende principalmente de aquello además de la inclinación que varía a lo largo del año. Por lo general cuando se trata de instalaciones pequeñas su inclinación suele ser fija. Es necesario tener en cuenta que las inclinaciones en las instalaciones de paneles fotovoltaicos dependen del hemisferio en donde se

encuentren, es decir, si están en el hemisferio norte, su orientación debe ser hacia el hemisferio sur y viceversa. [2]

Otro de los parámetros a tener en cuenta es como las sobras pueden afectar el funcionamiento de los paneles solares y de esta manera causar pérdidas.

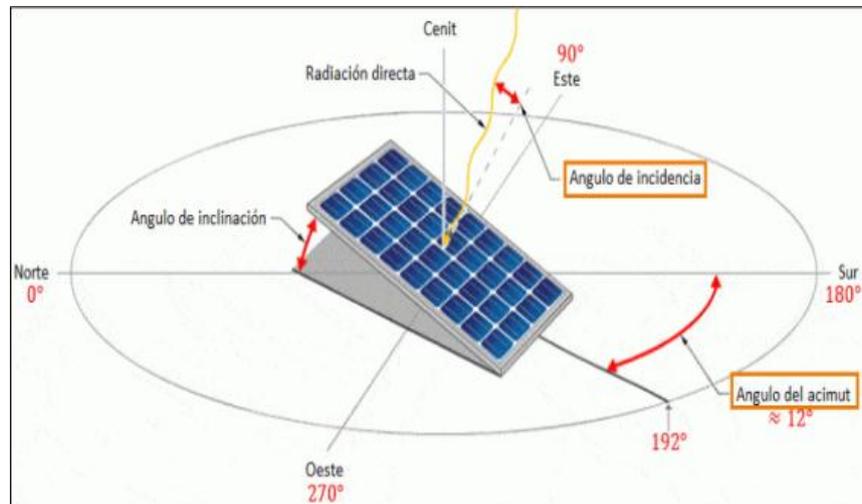


Figura 8 Orientación e Inclinación de los módulos solares  
Fuente: [29]

### 1.2.10 Últimas tecnologías utilizadas en micro-redes

El uso de las micro-redes hace que la energía renovable distribuida se la pueda utilizar de una manera óptima, eficiente y segura, brindando un mejor suministro de energía solar, reduciendo pérdidas en el transporte, es decir, en la transmisión y son amigables con el medio ambiente. El estilo de las micro-redes es que tengan la habilidad como la propia recuperación en la participación en la red de los consumidores y sobre todo la maniobra eficiente de la red eléctrica. [30]

Las micro-redes están compuestas por diferentes tecnologías para el funcionamiento tal como el almacenamiento distribuido, la generación, sistemas de control entre otros. Para un diseño técnico se necesita la aceptación y tener presente que exista tecnologías que se encuentren disponibles de costes bajos que puedan permitir la interconexión y uso seguro de micro-redes. [30]

En cuanto a la calidad de los estudios de los proyectos de implementación de interruptores inteligentes, dando como resultado la interrupción en las cargas se den de forma mínima, y se preserve la calidad de onda, ya sea en frecuencia como en

magnitud, sin olvidar sincronizar con la red eléctrica; desde luego se considera también el sincronizar con la red eléctrica.

### **1.2.11 Normativas en el Ecuador**

Si se considera las normativas que son utilizadas internacionalmente en unión con la institución encargada de normar dentro del Ecuador, como es el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, en las instalaciones eléctricas es utilizado el Código Eléctrico Ecuatoriano CEP INEN 19:2000. El mencionado código es establecido a través del Código Eléctrico Nacional, NEC (National Electric Code), mismo de los Estados Unidos. Las disposiciones y normas en las cuales se basan son sistemas solares fotovoltaicos incluyen unidades de regulación, circuitos eléctricos y controladores del sistema, además se debe realizar una revisión ya que los sistemas suelen estar interconectados a otras fuentes de generación eléctrica, también pueden ser autónomos o si es que tienen acumuladores. [31]

Una de las consideraciones que se necesita es las normas que se apliquen en el código, mismas que van a servir para el bosquejo del diseño y posibles instalaciones de dispositivos. En las normas da a conocer las características de los aparatos que se utilizan en los sistemas fotovoltaicos. [31]

### **1.2.12 Energías renovables en Ecuador**

El incentivo e impulso por el uso de energías renovables tales como energía fotovoltaica biomasa, eólica, geotérmica, biogás, se encuentra tal como lo indica en la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica. A través del MEER estipula el mediante un informe el cambio de la Matriz Energética del Ecuador indica en el año 2020 el Ecuador debería tener una tasa del 2% de tecnologías renovables no convencionales (ya sea solar, eólica, biomasa); se debe señalar que cuenta con 3.023 MW de potencia hidráulica que aún se encuentra en construcción y un cercano de 900 MW de recurso eólico. El objetivo es impulsar al incremento de las energías renovables, calidad y la eficiencia energética en el Ecuador, por ello se creó el INER Instituto Nacional de Eficiencia Energética, el cual lleva adelante los siguientes proyectos: [30]

### **1.2.13 Políticas de incentivo de energías renovables en el Ecuador**

El desarrollo de políticas con requerimientos tecnológicos se debe tener en cuenta las fases del desarrollo en las que se están extendiendo y en las que se encuentran cada una de las tecnologías, como la calidad de energía, viabilidad económica y los costos. El impulso en el Ecuador para la utilización de energías renovables se destaca en el Artículo 67 de la Ley del Régimen de Sector Eléctrico, en el que se estipula que se indica que se “exonerará el pago de aranceles, demás impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras...” [6] Adicionalmente en el artículo también se hace mención acerca de los impuestos a la renta que durarían cinco años para las empresas que las instalen y operen las centrales de generación de electricidad con el uso de los recursos energéticos no convencionales. Lo mencionado se confirma en el Código de la Producción en el artículo 24, en el numeral 2; establece que se exonerará durante cinco años el impuesto a la renta totalmente en los sectores que apoyen a la contribución al cambio de la matriz energética del Ecuador. [30]

### **1.2.14 Micro-redes en el Ecuador.**

En cuanto al censo de la población en el año 2010, dio como resultado que en el sector urbano el 94,77% de viviendas cuentan con energía eléctrica, y en el sector rural 89,03%, razón por la cual el MEER impulsa una correcta gestión de proyectos de electrificación rural y urbano marginal con energía renovable no convencional. En la actualidad se ha realizado diferentes proyectos de diseños de micro-redes, es decir, sistemas híbridos, así como un sistema de generación de energía sea suficiente para la demanda eléctrica de una localidad ubicada en una isla en el golfo de Guayaquil; el diseño fue realizado mediante el software HOMER; en la cual se simuló un número limitado de modelos de demanda. [30]

### **1.2.15 Energía fotovoltaica en Ecuador.**

El Ecuador se ha proyectado nuevas ofertas energéticas teniendo como parámetros y requisitos el uso de energías renovables en dirección del ahorro, la calidad y eficiencia energética; además de ello el Ecuador desea proporcionar un servicio básico como lo es el servicio eléctrico a los rurales y urbano-marginales que no cuentan con el mismo

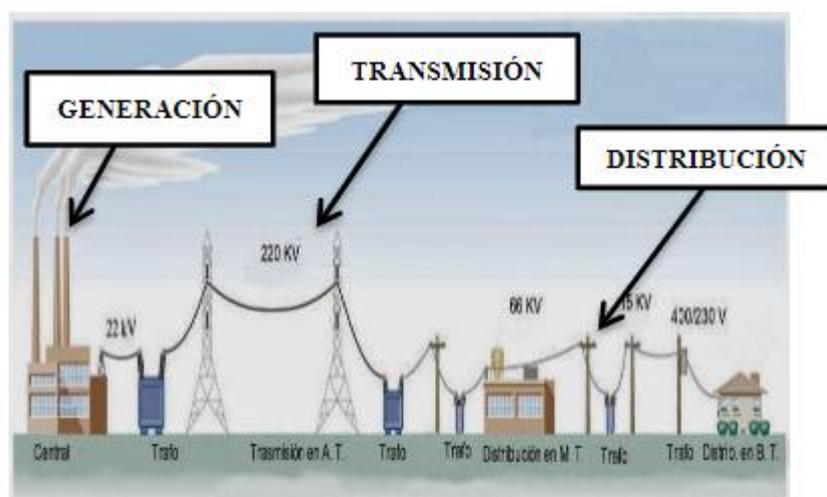
e impulsarlos en los ámbitos agropecuarios, artesanales y comerciales. De manera potencial la ubicación del Ecuador permite el acceso directo con uno de los recursos inagotables, durante todo el año, y según con el Atlas Solar del Ecuador el dato de radiación que tiene el Ecuador es de 4.574,99 Wh/m<sup>2</sup>/día. Con el objetivo de conservar la reserva ecológica del archipiélago de Galápagos, se ha ido desarrollando proyectos de cero combustibles fósiles, con los mismos que se ha logrado instalar 200 kWp en la isla Baltra; 1,5 MWp en Puerto Ayora y 1,15 MWp en la isla Isabela. [30]

En Ecuador hay empresas de distribución de energía eléctrica que con éxito han colocado en sus edificaciones paneles solares fotovoltaicos, así como en la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR que con una capacidad de potencia de 2 kWp y la edificación del CENACE con 44kWp. No está demás añadir también algunos proyectos de electrificación rural o zonas urbano-marginales en las que ha venido trabajando el MEER; a continuación, se detallan algunos proyectos: [7]

- Programa Eurosolar; el mismo que consta de una torre con 7 paneles solares fotovoltaicos y cuentan con una capacidad de 1.1 kWp.
- Consolidación de las energías renovables en el norte Amazónico Ecuatoriano; proporciona una vinculación poblacional con la utilización cuyo objetivo es vincular a la población con el uso y mantenimiento de las instalaciones de energía renovable.
- Fortalecimiento de la Unidad de Energía Renovable en la E.E.A.S.A.; se dedican a la realización, identificación de proyectos cuya característica fundamental es el uso de energías renovables en sus proyectos, cuyo objetivo es la presentación de los mismos para su posible financiamiento.
- Observatorio de energía renovable en Morona Santiago.
- Electrificación rural con energías renovables en zonas aisladas del Ecuador – Proyecto BID/GEF; en el que se dictan talleres de Diseño y Evaluación de proyectos de electrificación rural en sectores de difícil acceso con energía solar fotovoltaica, con cuyo objetivo es desarrollar con éxito los mismos proyectos que se realicen dentro de los talleres.

## **Redes de Distribución Eléctrica**

La energía eléctrica es obtenida de las centrales de generación, las mismas que se determinan por las fuentes de energía que se utiliza para la movilización de los motores con los que trabajan. [32] De la misma forma dichas fuentes de energía pueden ser de tipo renovables o no, una vez pasada la fase de generación por alguna de las fuentes precedentes, en consecuencia ocurre la fase de transmisión, esto es mediante el envío energía hacia las subestaciones que se encuentran dentro de las centrales generadoras, el proceso es realizado mediante líneas de transmisión las cuales pueden ser de elevación, es decir, que se encuentran en las torres de sustentación o subterráneas. Por último, para que llegue la energía a los usuarios finales el correspondiente paso es la distribución, que tiene como objetivo el suministro y abastecimiento de energía. [33]



*Figura 9 Esquema de un Sistema Eléctrico de Potencia  
Fuente: [33]*

Dentro de los sistemas de distribución es importante la demanda, ayudando para el dimensionamiento de los equipos eléctricos y conductores, de la misma forma el dimensionamiento representa los costos al solicitar y obtener material, así como el consumo y pago del servicio eléctrico. [33]

### **Clasificación de los Sistemas de Distribución**

Los sistemas de distribución se clasifican de acuerdo a la clase de instalación que se haya realizado como son:

**Las redes aéreas:** Son aquellas que utilizan el conductor desnudo y se encuentra tendido soportado mediante aisladores que se encuentran instalado en crucetas. Los elementos de dichas redes son: [34]

- Transformadores y protecciones
- Seccionador
- Herrajes
- Aisladores
- Cruceta
- Poste
- Conductores

**Las redes subterráneas:** Usualmente los conductores van tendidos dentro de ductos, por protección de los conductores, estos son recubiertos con material aislante, es un sistema más confiable, sin encontrarse con tendido eléctrico expuesto y reduce el impacto visual. Consta de los siguientes elementos: [34]

- Cámaras
- Ductos
- Cables
- Terminales

### **1.3 Fundamentación metodológica**

La importancia de la información para realizar un diseño se vuelve cada vez más fácil mediante las plataformas digitales y softwares; por ejemplo, la facilidad que nos presenta este software, el cual nos ayudará a simular diferentes configuraciones detalladas de sistemas fotovoltaicos y se puede obtener un reporte escrito de simulación en el sistema logrando obtener datos de temperatura e irradiación de la NASA y Meteonorm de acuerdo al lugar que se ha seleccionado para el estudio, de esta manera obtendrán todos los datos que nos brinda al software en el cual nos ayudará a la selección del módulo solar, inversor y dimensionamiento del mismo.

Se determinará un análisis técnico del diseño de la micro-red, sus elementos, componentes, los beneficiados y ventajas del sistema; de la misma forma se obtendrá la viabilidad de un sistema conectado a la red y su impacto con el medio ambiente de

forma que se pueda tener en cuenta la situación de las zonas lejanas que están rodeadas por vegetación.

Es imprescindible realizar un diseño cuando la tecnología y las energías limpias se han impulsado de manera acelerada, por tanto, es necesario realizar un presupuesto económico y su análisis del mismo dando como ventaja una aproximación de los costes del sistema. Los aspectos metodológicos en los que se caracteriza la complejidad del modelo sintético – contextualista porque se pretende incluir el análisis económico de la solución.

Su diseño es descriptivo y explicativo porque da a conocer situaciones, características predominantes a través de procesos y proyectos realizados, explicativo porque se va a determinar mediante datos recolectados del software un análisis con el fin de conocer la viabilidad del estudio. A su vez se realizan revisiones y búsquedas bibliográficas para conocer la dirección hacia dónde va encaminada la investigación para ello se debe entender los conceptos básicos elementos que se van a describir en el trabajo a través de una revisión bibliográfica validando el contenido de la investigación.

El enfoque es mixto, es decir porque es cuantitativo al procesar datos a partir de la su recolección mediante el uso de un software para su obtención al que va encaminado la investigación, y es cualitativo por el uso de referencias históricas, bibliográficas (artículos, revistas, etc.), problemas sociales, medio ambientales y económicos. Al finalizar se va a presentar conclusiones que serán de utilidad para futuras investigaciones.

#### **1.4 Conclusiones Capítulo I**

- Es parte del desarrollo social y tecnológico en la evolución de los sistemas eléctricos de potencia, mejorando como tal la eficiencia y continuidad del sistema con la aplicación de las micro – redes siendo alternativas de generación renovable presentando beneficios tanto para el ámbito social y económico en diferentes situaciones.
- Las micro –redes o sistemas con módulos fotovoltaicos aseguran un mantenimiento sin complejidades por sus piezas inmóviles, y aprovechan la energía solar para el acceso de energía eléctrica en zonas de difícil acceso,

tiende a ser una de las mejores alternativas a nivel mundial por el recurso ilimitado en cualquier rincón del mundo.

- A través de distintos autores se ha determinado que la instalación de sistemas fotovoltaicos como alternativa con energías renovables reduce significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> lo que reduce la polución y el efecto invernadero, siendo amigable con el medio ambiente, motivando a profesionales a realizar estudios que pueden ser aplicables con el desarrollo de la tecnología día a día.

## **CAPÍTULO II**

### **PROPUESTA**

La propuesta de investigación consiste en el “Diseño de una micro-red basada en energía solar fotovoltaica y la factibilidad técnico – económica para su implementación en los sectores rurales y urbano marginales del cantón “Quevedo – Sector 024”

#### **2.1 Normas Aplicadas**

##### **2.1.1 Regulación No. ARCONEL – 003/18**

De acuerdo a la Resolución Nro. ARCONEL – 042/18, Regulación Nro. ARCONEL – 003/18, del Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, considera: [35]

En el primer inciso, Art. 15 indica la promoción e incentivo del uso de tecnologías limpias junto a las energías alternativas no contaminantes que sean de bajo impacto para la sociedad, tanto en el sector público como privado, tomando en cuenta en su segundo inciso que la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, da como primer punto a tomar en cuenta el “modernizar las redes eléctricas a base de las regulaciones establecidas, redes de transporte y distribución de energía, comunicación, generación distribuida, almacenamiento de energía, la medición inteligente, control distribuido, gestión activa de la demanda, de esta manera poder brindar nuevos productos y servicios.” [35]

La resolución emitió la regulación designada “Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”, estableciendo escenarios para el desarrollo, construcción e intervención de usuarios que cuenten con sistemas de microgeneración fotovoltaica ( $\mu$ SFV) hasta 100 kW de capacidad nominal instalada, pudiendo ser ubicados en las superficies de los domicilios, en los techos o inmuebles que sean de carácter residencial y general que se encuentren en el pliego tarifario en bajo o medio voltaje. [35]

- Las condiciones que determina la regulación son las siguientes:
- La capacidad nominal instalada para el desarrollo de las condiciones técnicas y comerciales de la instalación de sistemas fotovoltaicos es de hasta 100 kW.

- La empresa distribuidora es la encargada de las condiciones y procedimientos de conexión de las redes, así como también de la autorización de la instalación y operación del sistema.

### **2.1.2 Regulación No. ARCERNNR – 001/2021**

La regulación tiene como objeto los procedimientos y procesos en los cuales se desarrollará los sistemas de generación distribuida a base de energías renovables para el autoconsumo de los usuarios regulados; siempre y cuando se encuentren conectadas a la red de distribución y para las empresas eléctricas distribuidoras, abordando las características, procedimientos para su correcta conexión y requisitos de legalización, así como de las condiciones para su instalación, conexión, operación y mantenimiento; teniendo en cuenta de la energía producida por el SGDA, la medición y facturación, además del régimen de infracciones y sanciones. [36]

#### **2.1.2.1 Generación distribuida para autoabastecimiento**

Para el autoabastecimiento la caracterización es que el SGDA se encuentra situado dentro de la misma área de servicio en la que se encuentra el usuario, en la cual está asociada a condiciones como su potencia nominal (menor a 1MW), utiliza cualquier fuente de energía renovable y no es necesario utilizar el almacenamiento de energía. [36]

El dimensionamiento de la potencia nominal del SGDA se determinará a base de un estudio técnico, datos de la carga y demanda de energía de 24 meses, de tal manera se pueda establecer la energía anual del consumidor, siendo la producción anual del sistema igual o menor a la energía anual del usuario, esto en caso de ser un consumidor registrado. Mientras que para un usuario nuevo sin registros de consumo de energía eléctrica es necesario realizar un estudio de proyección de la demanda a base de la vida útil el SGDA. [36]

### **2.1.3 Procedimiento para obtener la factibilidad de conexión**

#### **2.1.3.1 Factibilidad de conexión para SGDA's Categoría 1**

Existe una tabla para la solicitud de factibilidad de los SGDA's, con potencias nominales, las mismas que serán conectadas a la red de distribución. La empresa distribuidora procederá de acuerdo a la siguiente tabla a partir de la recepción del documento en solicitud que se encuentra dentro de la Regulación. [36]

Tabla 3 Potencias nominales de las SGDA's Categoría 1  
Fuente: [36]

<b>Voltaje de conexión</b>	<b>Potencia Nominal</b>
Bajo	≤ a 10 kW monofásica
	≤ a 20 kW bifásica
	≤ a 30 kW trifásica

Una vez que ha recibido la solicitud de parte del emisor, la empresa distribuidora tendrá un plazo de cinco días para concretar el trámite de la solicitud. Al ser aceptado la solicitud, la empresa distribuidora será la encargada de realizar los análisis técnicos respectivos en un plazo de quince días, de esta manera la futura operación del sistema no perturbe la calidad del servicio eléctrico. Dicha factibilidad contendrá el esquema de conexión y establecerá condiciones de operación que deberá efectuar el SGDA. [36]

Tabla 4 Vidas útiles aplicables a cada tecnología de generación eléctrica  
Fuente: [36]

<b>Tecnología</b>	<b>Vida Útil (años)</b>
Fotovoltaica	25
Eólica	25
Biomasa	20
Biogás	20
Hidráulica	30

La instalación y construcción del SGDA de ir de acuerdo al cronograma que se lleva a cabo junto con la ejecución del proyecto, siempre y cuando se cumplan las condiciones establecidas en la factibilidad de conexión aprobados por la empresa distribuidora para la conexión a la red. “Las pruebas y requisitos técnicos para la conexión de una SGDA a la red de distribución, se podrá tomar como referencia la norma IEEE Std. 1547 en lo que sea aplicable.” [36]

## **2.2 Obtención de información meteorológica.**

Es necesario obtener información de irradiación global y difusa, así como la ubicación (longitud y altitud) del lugar de ubicación de la instalación. Para su desarrollo mediante el software a utilizar será tomado en cuenta el Cantón Quevedo – Sector 024. El software tiene como objeto construir diferentes variantes o configuraciones del sistema, dentro del mismo contiene el sitio geográfico, haciendo referencia a los datos meteorológicos ingresados, parámetros generales y específicos necesarios. Las definiciones del sistema darán un cálculo en la simulación, esta incluye elección de

paneles solares e inversores, número de paneles e inversores, ubicación geométrica, sombreados, conexiones eléctricas.

Para comenzar con el desarrollo de este tipo de proyectos, es recomendable realizarlo por fases.

Selección de la ubicación de la instalación fotovoltaica:

Fase en la cual se debe realizar la descripción geográfica del lugar seleccionado. La instalación se encontrará ubicada en un espacio abierto en una zona urbano – marginal de la ciudad de Quevedo con una longitud y latitud de  $-1.0411270$   $-79.5277130$ , como se observa en la Figura 10:



*Figura 10 Ubicación geográfica del lugar seleccionado  
Fuente: Propia*

El sector se encuentra a 74 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una temperatura promedio anual de 29 grados centígrados.



*Figura 11 Ubicación geográfica del lugar seleccionado  
Fuente: Propia*

Tabla 5 Datos de interés

Fuente: Propia

Instalación Fotovoltaica	Latitud	Longitud	Elevación, m.s.n.m.	Temperatura Media Anual, °C
Instalación fotovoltaica	1°02'29" S	79°31'40" W	74m	29

### 2.2.1 Datos Meteorológicos Referenciales

En primer lugar, dentro del proceso de cálculo en la que se obtiene la producción de energía en una central fotovoltaica (micro-red) es necesario e importante realizar un estudio de la radiación solar; a medida que varían las condiciones de operación y funcionamiento de los equipos fotovoltaicos en base a la transformación de la energía solar a energía eléctrica es definida por los siguientes conceptos:

La irradiancia efectiva en un plano incidente:  $G_{ef}$  (  $I$  ), el término se refiere a la densidad instantánea de la energía solar de la radiación sobre la superficie y su unidad es  $W/m^2$ .

La temperatura del módulo fotovoltaico **TC**.

Los valores de la temperatura y de la irradiación se encuentran condicionadas por las situaciones y condiciones meteorológicas en el lugar de estudio de la micro – red, estas condiciones se establecen y se toman en cuenta a partir de los valores a largo plazo en las estaciones meteorológicas que son realizadas de manera directa e indirectamente a través de los satélites meteorológicos, tomando en cuenta la irradiación horizontal en la superficie terrestre y la temperatura ambiente.

Los valores mensuales y anuales de la irradiación global e irradiación difusa horizontal se encuentran presentados en la figura 12 y figura 13, de la misma manera presenta los valores promedios tanto anuales como mensuales de la temperatura y la velocidad del viento, obtenidos de las bases de datos de la NASA los mismos que se encuentran dentro del software PVsyst de acuerdo al lugar que se ha seleccionado.

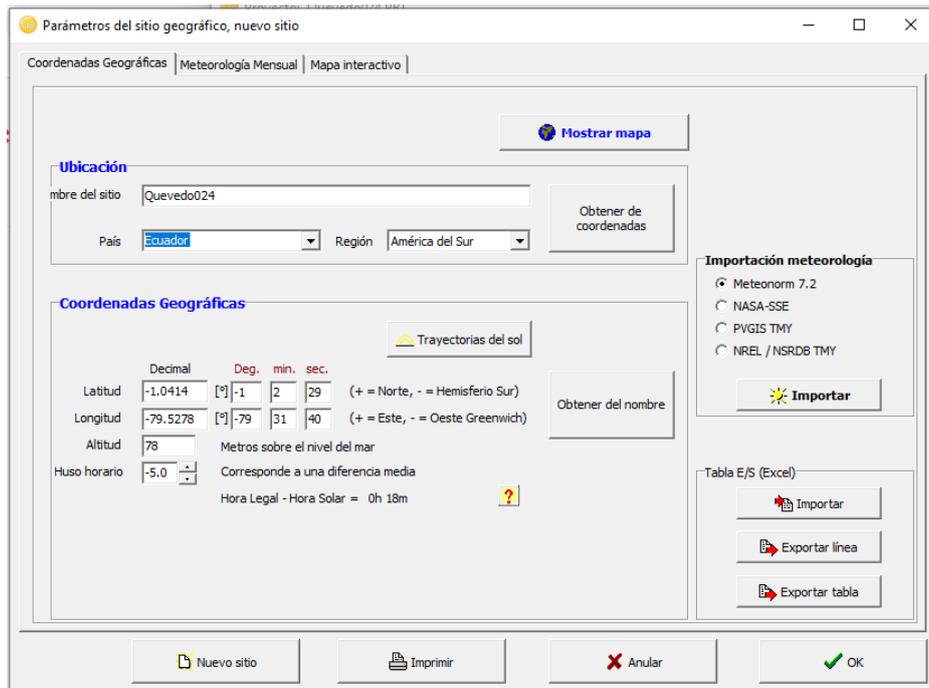


Figura 12 Ingreso de datos (coordenadas y altitud) – Software PVsyst  
Fuente: Propia

	Irradiación global horizontal kWh/m <sup>2</sup> .mes	Irradiación difusa horizontal kWh/m <sup>2</sup> .mes	Temperatura °C	Velocidad del Viento m/s	Linke Turbidity [-]	Relative Humidity %
Enero	140.3	81.5	25.8	2.30	3.857	74.1
Febrero	146.7	78.7	25.8	1.80	3.914	79.5
Marzo	174.6	82.8	26.0	1.80	3.969	79.4
Abril	152.3	83.7	25.6	2.00	4.227	78.1
Mayo	148.6	73.5	25.3	2.49	4.043	75.8
Junio	131.8	74.4	23.7	3.10	3.737	78.2
Julio	122.3	82.5	23.6	3.30	4.319	76.7
Agosto	135.2	83.3	23.4	3.40	4.319	76.2
Septiembre	146.5	76.7	23.1	3.50	4.135	76.9
Octubre	140.8	85.9	23.7	3.61	4.135	75.2
Noviembre	125.0	72.9	23.8	3.50	5.146	75.1
Diciembre	141.9	81.0	25.2	3.20	4.778	70.9
<b>Año</b>	<b>1706.1</b>	<b>956.9</b>	<b>24.6</b>	<b>2.8</b>	<b>4.215</b>	<b>76.3</b>

Irradiación global horizontal variabilidad de un año al otro 6.8%

Figura 13 Valores mensuales de irradiación global y difusa horizontal de la base de datos de METEONORM, software PVsyst. Software PVsyst  
Fuente: Propia

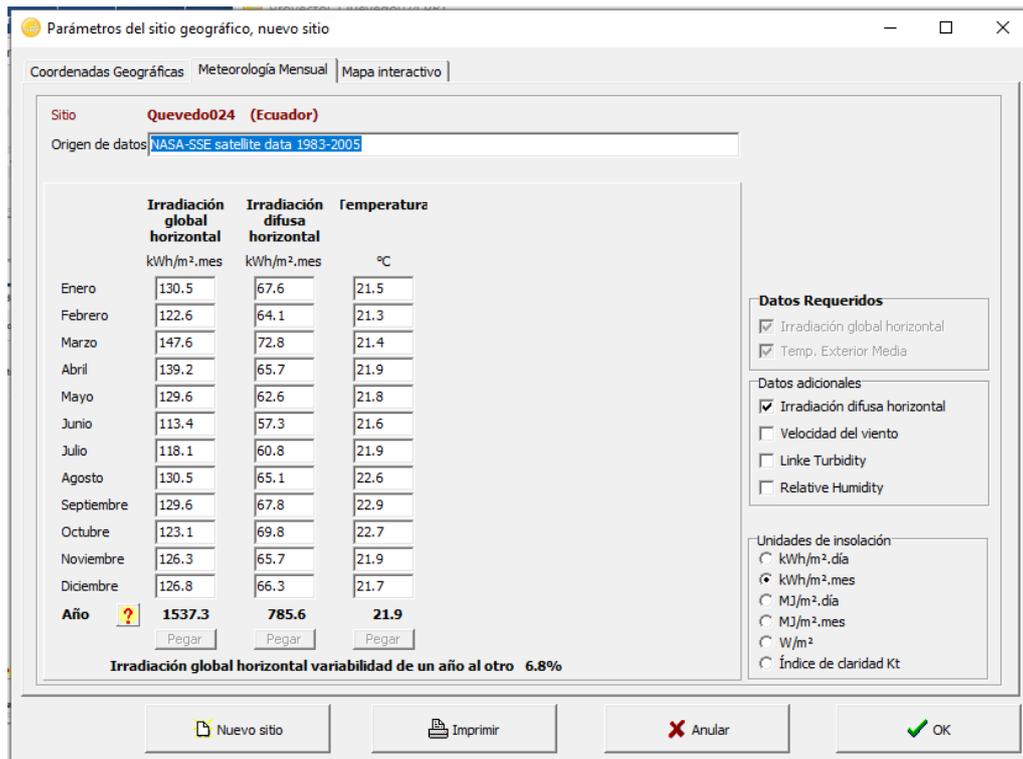


Figura 14 Valores mensuales de irradiación global y difusa horizontal de la base de datos de la NASA, software PVSYS  
Fuente: Propia

### 2.2.2 Orientación del panel

Una vez establecido los valores meteorológicos del proyecto en el sitio de estudio, es importante proceder a la creación de la primera variante. Existen dentro del software dos variantes habilitadas que son “Orientación y Sistema”. Cuando se configura las variantes y se encuentran en color rojo significa que las variantes no se encuentran listas para ejecutar en la simulación, a su vez se requiere información adicional para completar la configuración. Las medidas y valores básicos que se utilizarán son la orientación de los módulos fotovoltaicos o módulos solares, el tipo de módulo y el número de módulos los cuales serán definidos; de la misma forma el número y tipo de inversores que serán utilizados para la simulación.

### 2.2.3 Ángulos de inclinación y acimut.

Es necesario definir y configurar la orientación para obtener el ángulo de inclinación solar óptimo para la simulación.

Para calcular la inclinación recomendable y óptima para los módulos solares fotovoltaicas existen distintas formas. Algunos de los métodos que se encuentran a

continuación son los más usados especialmente por la fiabilidad y facilidad que muestran.

#### 2.2.4 Método de la inclinación óptima anual

Uno de los métodos para encontrar el ángulo de inclinación es el método de la inclinación óptima anual; el cual se basa en realizar un estudio estadístico de las radiaciones en un año en distintos lugares con diferentes inclinaciones con sus diferentes latitudes sobre un captador solar estático. Esto proporcionará la inclinación óptima a base de su latitud de acuerdo al lugar en donde se realice el estudio:

$$\beta_{op} = 3,7 + 0,69 * \phi$$

Dónde:

$\beta$ : ángulo de inclinación óptima en grados

$\phi$ : latitud del sitio en grados

#### 2.2.5 Método en función del periodo de tiempo y el uso

Las expresiones utilizadas para calcular la inclinación óptima de acuerdo al uso del cual se requiera, son representadas por diferentes criterios, a continuación, se muestra la tabla de los criterios de cálculo para la inclinación óptima:

Tabla 6 Criterios de cálculo para inclinación óptima

Tipo de instalación	Uso	Máxima captación	Inclinación óptima
Conectadas a la red	Anual	Anual	$\beta_{opt} = \phi - 10$
Bombeo de agua	Anual	Verano	$\beta_{opt} = \phi - 20$
Autónomas de consumo anual constante	Anual	Periodo de menor radiación (por ejemplo, invierno).	$\beta_{opt} = \phi + 10$

De acuerdo a la Tabla 4, se observa como un ejemplo que, para realizar un diseño de instalación de sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua, la demanda estará dada en su mayoría en el tiempo de la estación de verano, a su vez la mayor atracción y absorción será dentro de los meses de verano siendo la parte que más interesa dentro del proceso. A su vez también es muy importante obtener el total de la energía eléctrica que es mínima pero constante, de acuerdo a la radiación en el mes que menos captación de energía se consiga en base a su inclinación, pero que siempre en ese mes

se mantendrá dicha generación de energía eléctrica, adentrándose en las estaciones será la referencia de invierno. Por otra parte, y última necesidad se requiere saber la máxima energía anual, considerando que es una instalación conectada a la red, será necesario utilizar el método de inclinación óptima anual.

### **2.2.6 Criterios Técnicos**

Existe la necesidad de saber ciertos criterios técnicos para poder aplicar en la generación de energía para poder obtener la inclinación óptima, esto depende del sitio, la zona y sus datos climatológicos. Por ejemplo, en sitios donde se encuentran las estaciones de invierno, es decir, frecuentan nevadas, sus inclinaciones siempre serán próximas a los  $90^\circ$ , de esta manera poder impedir recolecciones de nieve sobre aquella superficie. En los sitios más desiertos o desérticos es adecuado colocar con una inclinación no menor a  $45^\circ$  para impedir la recolección de arena sobre la superficie, sin olvidar que en las regiones que mantienen lluvias o climas tropicales la inclinación como mínima será de  $30^\circ$ .

### **2.2.7 Pérdidas por inclinación y orientación**

Para obtener las pérdidas que se producen por la orientación del módulo fotovoltaico y la inclinación del mismo se calculan a base de:

- Ángulo de inclinación  $\beta$ , se define como aquel ángulo formado en la superficie de los módulos fotovoltaicos con relación al plano horizontal, se encuentra establecido entre los  $0^\circ$  para módulos situados de manera horizontal y entre los  $90^\circ$  para módulos situados de manera vertical.
- Ángulo de Azimut  $\gamma$ , es el ángulo proyectado sobre la superficie horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del sitio establecido. El valor se encuentra dado a  $0^\circ$  para los módulos cuya orientación se encuentran hacia el Sur,  $-90^\circ$  para módulos se encuentren orientados hacia el Este y  $+90^\circ$  cuyos módulos se encuentren orientados hacia el Oeste.

Se presenta en la Figura 15, el porcentaje del beneficio óptimo de la radiación solar de un módulo fotovoltaico de forma teórica de acuerdo al ángulo inclinado, y el ángulo azimut en base a la “Comunidad de Madrid, el Instituto de Diversificación y Ahorro

Energético, IDEA, España”. Se observa en la figura la cual indica como ejemplo que un ángulo de  $45^\circ$  y un ángulo de azimut con orientación de  $0^\circ$  hacia el Sur, tendrá un beneficio del 100% o a su vez un 0% de pérdidas de energía anualmente. Por otra parte, otro ejemplo indicado es un ángulo de inclinación de  $60^\circ$  con un ángulo de azimut de  $-30^\circ$  orientado hacia el Este indicando que sus pérdidas serán entre el 10% y 20%.

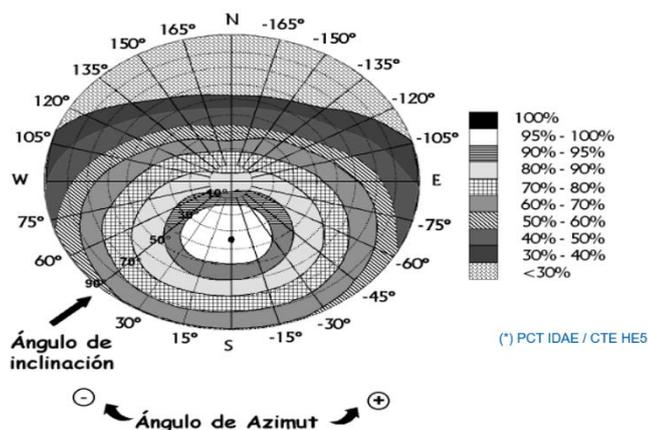


Figura 15 Pérdidas de energía solar por inclinación y orientación de un panel fotovoltaico

## 2.3 Configuración global del sistema

La configuración correcta para dimensionar el generador solar fotovoltaico requiere el cálculo de la cantidad de módulos en serie por cada fila, estos arreglos son conocidos como strings y a su vez realizar el correcto dimensionamiento para el inversor. De la misma forma para el cálculo del número de arreglos o strings en paralelo; así como la cantidad de módulos para los arreglos, son necesarios los datos técnicos del módulo fotovoltaico. De acuerdo a lo escogido dentro del software se utilizará el módulo fotovoltaico Maxim Optimizer Module, ET SOLAR de 325W y los datos técnicos del inversor Growatt de 5 kW.

### 2.3.1 Criterios de acoplamiento generador PV-inversor

Es necesario la evaluación de la actividad del generador fotovoltaico en sus diferentes condiciones de funcionamiento de esta manera obtener una garantía que la operación del inversor, será óptima. Las variaciones de la temperatura pueden afectar a la tensión de operación de los módulos fotovoltaicos, es decir, que dependerá de manera muy

estrecha con los cambios climáticos del lugar seleccionado por ejemplo los datos históricos de la irradiación y la temperatura siempre y cuando sean sus valores máximos y mínimos. El lugar seleccionado “Quevedo”, presenta en la Figura 16 una temperatura máxima histórica de 26,2 °C y una temperatura mínima de 19,8 °C.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	22.7	23	23.3	23.4	23.1	22.1	21.7	21.7	22.1	22.5	22.7	22.8
Temperatura min. (°C)	21.3	21.5	21.7	21.8	21.6	20.6	20	19.8	20	20.4	20.7	21.1
Temperatura máx. (°C)	25.2	25.6	26.1	26.2	25.7	24.7	24.3	24.6	25.1	25.5	25.7	25.6
Precipitación (mm)	822	883	908	851	841	376	306	202	224	245	229	495
Humedad(%)	92%	92%	91%	91%	92%	92%	92%	90%	89%	88%	86%	89%
Días lluviosos (días)	21	20	21	20	21	20	20	20	19	19	17	19
Horas de sol (horas)	4.2	4.8	5.2	4.7	3.7	2.4	2.1	2.3	2.5	2.4	3.0	3.7

Figura 16 Temperatura Histórica de Quevedo  
Fuente: [37]

Cabe recalcar que la intensidad y la tensión de los módulos fotovoltaicos se pueden ver afectados por las variaciones y cambios, por ejemplo, la tensión de los módulos es más perceptivo a los cambios de las temperaturas mientras que la intensidad es más perceptiva a los cambios y variaciones de la irradiación. De forma teórica se denota que en un arreglo o string la tensión máxima se verá afectada por las condiciones de temperaturas mínima histórica y la irradiancia; por otra parte, la tensión mínima de un arreglo o string se verá afectada por las condiciones de temperaturas máximas históricas y la variación de la irradiancia.

### 2.3.2 Comprobación de la Tensión Máxima en Circuito Abierto

En primer lugar, se requiere revisar el total de tensión sin carga de los módulos que se encuentran en serie a la temperatura mínima histórica  $V_{oc\_max}$ , está por debajo de la máxima tensión que el inversor es capaz de soportar, es decir, 100 V en corriente continua (CC),  $V_{inv\_max}$ .

La cantidad máxima de módulos que se conectarán en serie, se verán limitados por la máxima tensión de ingreso al inversor  $V_{inv\_max}$ ; La obtención del valor total de la tensión en circuito abierto del generador fotovoltaico cuando el módulo fotovoltaico presenta una temperatura mínima afectará y dependerá de la máxima tensión de un cierto número de módulos conectados en serie. Para calcular la temperatura del módulo se utilizará la siguiente fórmula.

$$T_{\text{módulo}} = T_{\text{amb}} + (\text{NOCT} - 20) \cdot \frac{G}{800}$$

Dónde:

$T_{\text{módulo}}$  = Temperatura del panel.

$T_{\text{amb}}$  = Temperatura ambiente

NOCT = Temperatura nominal

$G$  = Irradiación solar

De acuerdo a los valores de la Figura 17, en la ciudad de Quevedo la temperatura ambiente histórica, se encuentra en el mes de agosto siendo como mínima histórica 19,8 °C.

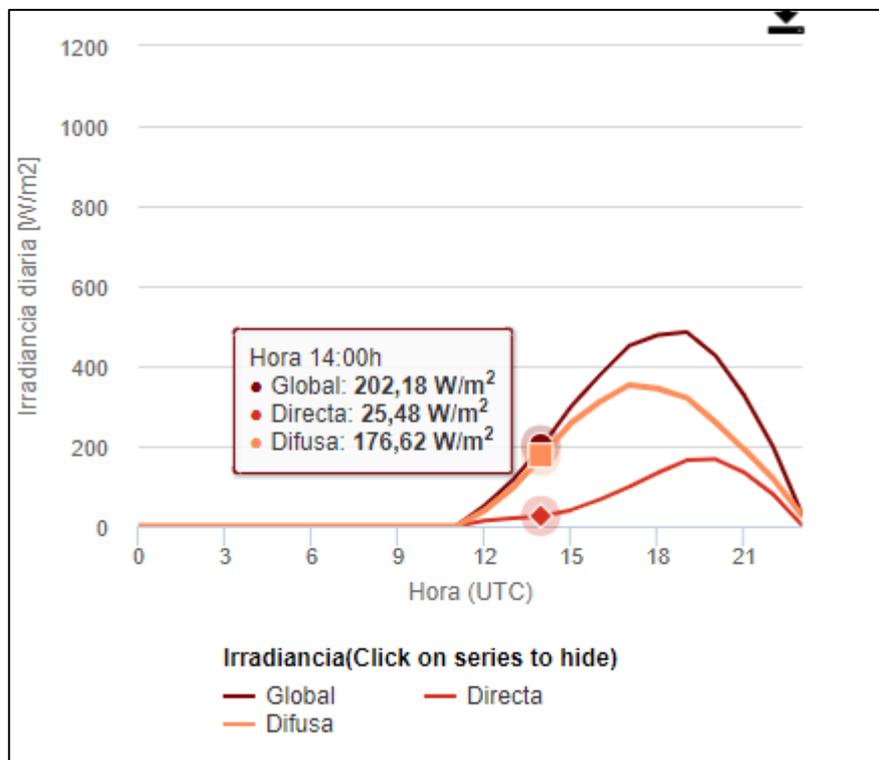


Figura 17 Irradiancia media diaria  
Fuente: [38]

En la Figura 17, se determina el valor de la irradiación gracias a la ayuda del software PV-GIS, teniendo en cuenta que se puede obtener la irradiación de un día cualquiera por ejemplo a las 14H00, en el mes de agosto. Tal como se ha indicado la temperatura mínima es 19,8 °C, la cual presenta en el mes de agosto una irradiación de 202,18

$W/m^2$ . La temperatura del módulo estará dada de acuerdo a los valores que ha obtenido e irradiación solar en el mes más frío y a su vez el valor de la temperatura mínima histórica, en base a la siguiente ecuación de temperatura mínima del módulo será:

$$T_{módulo\_min} = 19,8^{\circ}C + (45 - 20)^{\circ}C * \frac{202,18 \frac{W}{m^2}}{800 \frac{W}{m^2}} = 26,12^{\circ}C$$

Por otro lado, el cálculo de la máxima tensión del circuito abierto del módulo fotovoltaico a una temperatura ambiente mínima se la obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_{oc\_max}(T_{min\_amb}) = V_{oc}(STC) + \beta \cdot V_{oc}(STC) \cdot \Delta T$$

Dónde:

$V_{oc}(STC)$  = Tensión en condiciones estándar

$\Delta T$  = Variación de temperatura

$T_{módulo\_min}$  = Temperatura mínima del módulo omínima ambiente

La ecuación para el cálculo de la máxima tensión en circuito abierto de un módulo a una temperatura mínima será mediante:

$$V_{oc\_max}(19,8^{\circ}C) = 46,31 V + \frac{0,30}{100} \cdot 46,31V \cdot (19,8 - 25)^{\circ}C = 47,032 V$$

Una vez obtenido la tensión máxima en circuito abierto para un módulo fotovoltaico, se obtiene el número máximo de módulos en serie, mediante la fórmula:

$$N_{max\_serie} = \frac{V_{max\_Inv}}{V_{oc\_max}(T_{módulo\_min})}$$

Dónde:

$N_{max\_serie}$  = Números de módulos en serie

$V_{max\_Inv}$  = Tensión máxima del inversor

Mediante la fórmula anterior se obtiene el número máximo de módulos que se podrán conectar en serie por arreglos o strings:

$$N_{max\_serie} = \frac{800 V}{47,03V} = 17 \text{ paneles}$$

Una vez obtenido el número máximo de los módulos en serie, se procede al cálculo de la máxima tensión en circuito abierto a la temperatura mínima ambiente, el cálculo es realizado para el número máximo de módulos conectados en serie cuyo resultado fue 17 módulos. La máxima tensión en circuito abierto será igual a:

$$V_{oc\_max} = N_{max\_serie} \cdot V_{oc\_max}(T_{módulo\_min}) = 17 \cdot 47,03 = 799,51 V$$

Se comprueba en el resultado que se cumple la desigualdad dada para que un generador solar fotovoltaico opere a una temperatura mínima (temperatura mínima histórica), en el sitio seleccionado para el estudio de la Central Solar Fotovoltaica Quevedo – Sector 024.

$$799,51 V \leq 800 V$$

### 2.3.3 Comprobación de la Tensión Máxima y Mínima a Potencia Máxima

Los inversores cuentan con un rango normal de operación de las tensiones de ingreso o de entrada en continua  $V_{Inv\_min MPPT}$  y  $V_{Inv\_max MPPT}$ , dicho rango normal de operación del inversor se encuentra definido en el catálogo, el rango dado en continua se encuentra oscilando entre los 200 y 800 V. En función de la temperatura depende la tensión de funcionamiento y operación de los módulos, siempre y cuando se encuentren operando a su máxima potencia, las cuales serían las MPP,  $V_{min MPP}$  y  $V_{max MPP}$ . En base a las situaciones establecidas anteriormente para el generador fotovoltaico y su funcionamiento a partir de las condiciones meteorológicas, se requerirá la verificación del número de módulos a conectar en serie para asegurar el correcto funcionamiento del inversor mediante las desigualdades a continuación:

$$V_{min MPP \text{ serie paneles}} \geq V_{Inv\_min MPPT}$$

$$V_{max MPP \text{ serie paneles}} \leq V_{Inv\_max MPPT}$$

Se describe de la primera desigualdad, que la mínima tensión del módulo es propia y corresponde a la temperatura ambiente máxima histórica, su adición completa o total de la mínima tensión de los módulos que se encuentran conectados en serie  $V_{min MPP \text{ serie paneles}}$ , habrá de ser mayor o igual al valor del mínimo rango de las

tensiones de operación previstos anteriormente del inversor,  $V_{Inv\_min\ MPPT}$ . Es la mínima tensión en el máximo punto de potencia es aquella tensión que asegura el correcto funcionamiento de la capacidad de control que se encuentra activa y aquel abastecimiento de potencia recomendable. Deduciendo la segunda desigualdad, indica que a una máxima tensión en el módulo basándose en la temperatura ambiente mínima histórica, su adición completa o total de la máxima tensión de los módulos conectados en serie,  $V_{max\ MPP\ serie\ paneles}$ , habrá de ser menor o igual al valor del máximo rango de las tensiones de operación mencionadas anteriormente del inversor  $V_{Inv\_max\ MPPT}$ .

Después de realizar el cálculo para la temperatura mínima del módulo, junto al número de paneles en serie, se deberá realizar el cálculo para obtener la máxima temperatura del módulo a la temperatura ambiente máxima histórica. De acuerdo a los valores establecidos en la Figura 18, la temperatura máxima histórica (temperatura ambiente máxima) en la ciudad de Quevedo, es de 26,2 °C en abril.

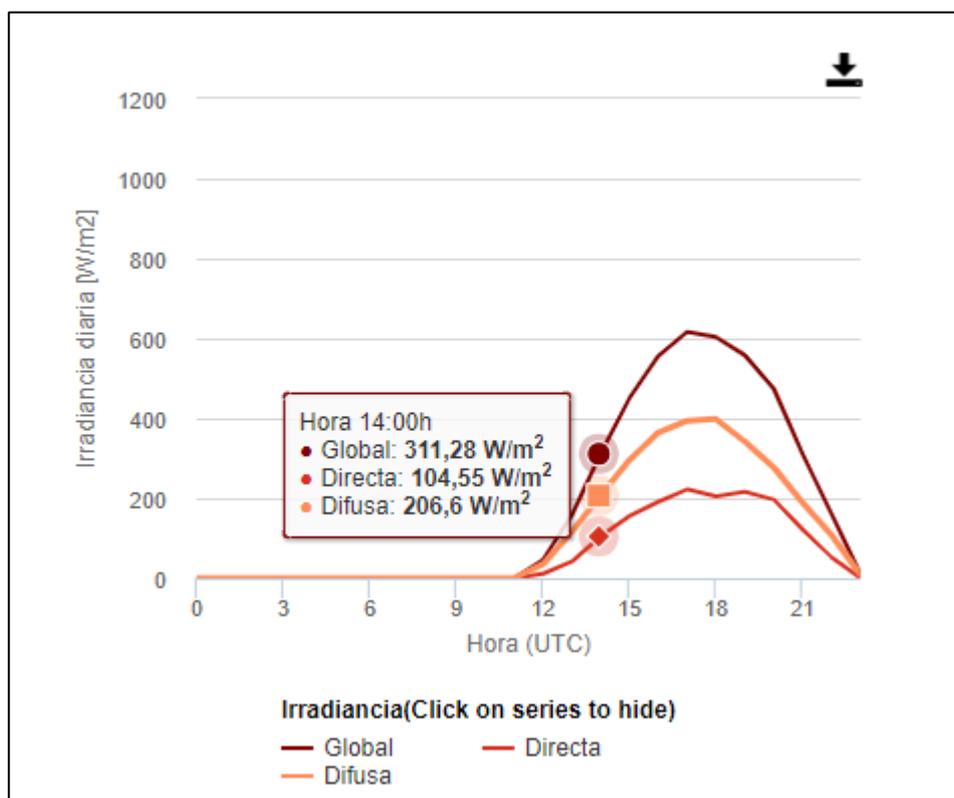


Figura 18 Irradiancia media diaria  
Fuente:

Se determina el valor de la irradiancia gracias a la ayuda del software PV-GIS, teniendo en cuenta que se puede obtener la irradiancia de un día cualquiera del mes de abril, por ejemplo, a las 14H00, a una temperatura máxima media de 26,2 °C, establece una irradiancia igual a 311,28 W/m<sup>2</sup>. La temperatura del módulo estará dada de acuerdo a los valores que ha obtenido e irradiancia solar en el mes más caluroso y a su vez el valor de la temperatura máxima histórica, en base a la siguiente ecuación de temperatura máxima del módulo será:

$$T_{módulo\_max} = 26,2^{\circ}C + (45 - 20)^{\circ}C \cdot \frac{266,64 W/m^2}{800 W/m^2} = 35,93^{\circ}C$$

$$T_{módulo\_max} = T_{min\_amb}$$

La mínima tensión, que opera en el punto de máxima potencia MPP, de un módulo fotovoltaico que se encuentra a temperatura máxima ambiente, es calculada mediante la siguiente fórmula:

$$V_{min\ MPP}(T_{max\ amb}) = V_{MPP}(STC) + \beta \cdot V_{MPP}(STC) \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = T_{módulo\_max} - 25^{\circ}C$$

Dónde:

$V_{oc}(STC)$  = Tensión en condiciones estándar

$\Delta T$  = Variación de temperatura

$T_{módulo\_max}$  = Temperatura máxima del módulo o máxima ambiente

Mediante la fórmula establecida en la parte superior se obtiene el valor de la mínima tensión cuando opera en el punto de máxima potencia MPP en un módulo fotovoltaico a una temperatura máxima  $V_{min\ MPP}(T_{max\ amb})$ .

$$V_{min\ MPP}(26,2^{\circ}C) = 37,3\ V + \frac{0,30}{100} \cdot 37,3\ V \cdot (26,2 - 25)^{\circ}C = 37,17\ V$$

Una vez obtenido el valor de mínima, de forma semejante, se obtiene la máxima tensión cuando opera en el punto de máxima potencia MPP en un módulo fotovoltaico a una temperatura mínima  $V_{max\ MPP}(T_{min\ amb})$ , de la siguiente manera:

$$V_{max\ MPP}(19,8^{\circ}C) = 37,3V + \frac{0,30}{100} \cdot 37,3V \cdot (19,8 - 25)^{\circ}C = 37,88V$$

Para obtener la mínima cantidad de módulos a conectar en serie se requiere de la siguiente fórmula, y así superar el mínimo rango de operación del inversor; de la siguiente manera:

$$N_{min\ serie} = \frac{V_{Inv\_min\ MPPT}}{V_{min\ MPP}(T_{max\ amb})}$$

Dónde:

$N_{min\_serie}$  = Número mínimo de módulos en serie

$V_{Inv\_min\ MPPT}$  = Tensión mínima de operación del inversor

$V_{min\ MPP}(T_{max\ amb})$  = Tensión mínima a temperatura ambiente

A través de la fórmula anterior se obtiene la cantidad mínima de módulos a conectar en serie, de esta manera sea mayor al rango inferior de operación del inversor, de la siguiente manera:

$$N_{min\ serie} = \frac{200V}{37,17V} = 5,38\ paneles$$

Es necesario redondear la cantidad de módulos a conectar en serie a 6 módulos, luego se requiere calcular el valor de la mínima tensión en el punto de operación de máxima potencia MPP.

$$V_{min\ MPP\ serie\ paneles} = N_{min\ serie} \cdot V_{min\ MPP}(T_{min\ amb})$$

$$V_{min\ MPP\ serie\ paneles} = 6 \cdot 37,17V = 408,87V$$

Una vez obtenido el resultado del valor de mínima tensión en el punto de operación de potencia máxima, se denota el cumplimiento de la desigualdad establecida del inversos para el rango inferior de operación planteado,  $V_{Inv\_min\ MPPT}$ .

$$V_{min\ MPP\ serie\ paneles} \geq V_{Inv\_min\ MPPT}$$

$$223,02V \geq 200V$$

Se define la máxima cantidad de módulos a conectar en serie para no sobrepasarse de los rangos de operación superiores establecidos por el inversor  $V_{Inv\_min\ MPPT}$ , se obtiene dicha cantidad mediante la siguiente fórmula:

$$N_{max\ serie} = \frac{V_{Inv\_max\ MPPT}}{V_{max\ MPP}(T_{min\ amb})}$$

De esta manera la cantidad máxima de módulos a conectar en serie es igual a:

$$N_{max\ serie} = \frac{200\ V}{37,88\ V} = 5,27\ \text{paneles}$$

Siguiendo con los cálculos, es necesario obtener el valor de la máxima tensión, a una temperatura ambiente mínima, cuando se encuentra operando en el punto de potencia máxima MPP, para los 21 paneles a conectarse en serie, el valor de la tensión máxima es igual a:

$$V_{max\ MPP\ serie\ paneles} = N_{max\ serie} \cdot V_{max\ MPP}(T_{min\ amb}) = 5 \cdot 37,88\ V = 189,4\ V$$

La desigualdad establecida para el inversor en el rango de los valores superiores de operación, encontrándose a una temperatura mínima histórica en el estudio de la Central Solar Fotovoltaica “Quevedo – 024” en la ubicación seleccionada se cumple siendo menor a la tensión del inversor.

$$V_{max\ MPP\ serie\ paneles} \leq V_{max\ MPPT\ Inv}$$

$$189,4 \leq 200\ V$$

Para no sobrepasar el rango de operación superior del inversor, es necesario comprobar la cantidad máxima de módulos  $N_{serie(V_{MPP})}$ , es mucho mayor a la cantidad de módulos obtenidos en el cálculo de la cantidad máxima de paneles que se encuentran una tensión de circuito abierto  $N_{max\ serie(V_{oc})}$ :  $16 \geq 6$ , lo que denota que no cumple con la siguiente desigualdad:

$$N_{serie(V_{MPP})} \leq N_{max\ serie(V_{oc})}$$

La limitación en la cantidad de módulos es por la tecnicidad del criterio, dando a entender que la cantidad máxima de módulos a conectar en serie por el concepto de la máxima tensión del circuito abierto  $V_{oc\ max}$ , de acuerdo al caso. Para garantizar que no se supera la máxima tensión de entrada del inversor, se debe considerar que no se

deberá conectar más de 16 paneles en serie, de acuerdo a la  $V_{max Inv}$ , que es 800 V en continua.

Para finalizar, se debe comprobar las tensiones (máxima y mínima) del string con los 16 módulos fotovoltaicos en serie de acuerdo al análisis antes realizado en concepto de las temperaturas mínima y máxima, en tensión de circuito abierto y a su vez para tensión máxima y mínima cuando se encuentran operando en el punto de máxima potencia MPP.

$$V_{oc \text{ max serie paneles}} = 16 \cdot 47,03 \text{ V} = 752,48 \text{ V}$$

$$V_{min \text{ MPP serie paneles}} = 16 \cdot 37,17 \text{ V} = 594,72 \text{ V}$$

$$V_{max \text{ MPP serie paneles}} = 16 \cdot 37,88 \text{ V} = 606,08 \text{ V}$$

Para los casos definidos, la comprobación de la tensión a circuito abierto, de la tensión máxima y mínima, a su vez la potencia máxima es necesario ya que se observa que el valor es inferior a la tensión máxima de entrada del inversor encontrándose entre los rangos definidos (inferiores y superiores) cuando el inversor está en operación. De la siguiente manera:

$$V_{oc \text{ max serie paneles}} \leq V_{max Inv}$$

$$752,48 \text{ V} \leq 800 \text{ V}$$

$$V_{min \text{ MPP serie paneles}} \geq V_{min \text{ MPPT Inv}}$$

$$594,72 \text{ V} \geq 200 \text{ V}$$

$$V_{max \text{ MPP serie paneles}} \leq V_{max \text{ MPPT Inv}}$$

$$606,08 \text{ V} \leq 200 \text{ V}$$

### 2.3.4 Comprobación de la Intensidad Máxima a Potencia Máxima

Además de las denotaciones que se debían cumplir para comprobar el ajuste de las tensiones de operación en el string o arreglo de los módulos fotovoltaicos y del inversor, es indispensable las verificaciones de máxima intensidad en el generador fotovoltaico cuando se encuentra operando en el punto de máxima potencia MPP, debe ser inferior a la máxima intensidad tolerable en la entrada del inversor.

$$N_{strings \text{ paralelo}} \cdot I_{max \text{ MPP}} \leq I_{max \text{ Inv}}$$

La máxima intensidad tolerable es directamente proporcional a la temperatura (máxima histórica), misma que se calculó anteriormente, bajo esas condiciones es igual a:

$$T_{módulo\_max} = 26,2^{\circ}C + (45 - 20)^{\circ}C \cdot \frac{266,64 W/m^2}{800 W/m^2} = 34,53^{\circ}C$$

Una vez que se conoce el valor de la temperatura máxima del módulo, con respecto a la temperatura máxima histórica definida anteriormente, se deriva a realizar el cálculo de la máxima intensidad a la cual llegará el módulo fotovoltaico cuando se encuentra operando en el punto de máxima potencia MPP, mediante la siguiente fórmula:

$$I_{max\ MPP}(T_{max\ amb}) = I_{MPP}(STC) + \gamma \cdot I_{MPP}(STC) \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = T_{max\ panel} - 25^{\circ}C$$

$$I_{max\ MPP}(26,2^{\circ}C) = 8,72\ A + \frac{0,05}{100} \cdot 8,72\ A \cdot (26,2 - 25)^{\circ}C = 8,73\ A$$

## 2.4 Evaluación técnico económica

Para una mejor comprensión es importante conocer datos tanto medioambientales correspondientes a la parte de las incidencias fotovoltaicas y a su vez conocer las características técnicas de los elementos a conectar en una instalación fotovoltaica, a su vez conocer el estrato de los usuarios.

Luego de obtener los datos de kWh mensuales, de los usuarios, se realizó una suma mensual de todos los clientes con los respectivos meses para luego realizar un promedio mensual general de kWh.

Tabla 7 Energía consumida promedio de la comunidad  
Fuente: Propia

<b>ENERGÍA CONSUMIDA PROMEDIO</b>	
<b>Mes</b>	<b>kWh mensual (usuarios)</b>
<b>ene</b>	635,00
<b>feb</b>	629,00
<b>mar</b>	549,00
<b>abr</b>	626,00
<b>may</b>	636,00
<b>jun</b>	568,00
<b>jul</b>	524,00
<b>ago</b>	534,00
<b>sep</b>	565,00

<b>oct</b>	586,00
<b>nov</b>	545,00
<b>dic</b>	565,00
<b>Total anual kWh</b>	6962,0

Una vez que se obtiene dichos datos, se procede a realizar el cálculo de la potencia efectiva que producirá el sistema, condicionados a los datos climáticos. En la siguiente Tabla 8. Se muestra los datos meteorológicos gracias a al software PVsyst, que contiene datos de la NASA.

Tabla 8 Datos meteorológicos - datos de la NASA. – Software PVsyst  
Fuente: Propia

	<b>Tbs Promedio (°C)</b>	<b>Radiación Horizontal Total kWh/m<sup>2</sup>/d</b>	<b>Horas de Insolación h/d</b>	<b>Días continuos sin sol d/sem</b>
<b>Ene</b>	21,5	4,2	12,2	5,08
<b>Feb</b>	21,3	4,4	12,2	3,57
<b>Mar</b>	21,4	4,8	12,1	3,97
<b>Abr</b>	21,9	4,6	12,1	3,68
<b>May</b>	21,8	4,2	12,1	5,26
<b>Jun</b>	21,6	3,8	12,1	5,39
<b>Jul</b>	21,9	3,8	12,1	4,47
<b>Ago</b>	22,6	4,2	12,1	5,15
<b>Sep</b>	22,9	4,3	12,1	5,13
<b>Oct</b>	22,7	4,0	12,1	4,91
<b>Nov</b>	21,9	4,2	12,2	4,00
<b>Dic</b>	21,7	4,1	12,2	3,89

Con los datos de la tabla anterior crean parte de la brecha para obtener la energía efectiva que producirá el sistema fotovoltaico, sin antes obtener los datos de radiación por mes y a su vez con pérdidas por la temperatura ambiente.

Además, de ello gracias a la Hoja de Cálculo “Solar-PV-Red-xMes” mantiene un sistema cauteloso de un promedio de porcentajes de pérdidas (deterioro) de los elementos del sistema como se observa en la siguiente Tabla 9.

Tabla 9 Pérdidas del sistema  
Fuente: Libro de Excel “Solar-PV-Red-xMes”

<b>Pérdidas del Sistema</b>		
<b>Factor de Degradación de CD a CA (Derate Factors)</b>	<b>Default</b>	<b>Rango Aceptable</b>
<b>Degradacion del Módulo FV</b>	0,95	0.80 - 1.05
<b>Inversor y Transformador</b>	0,92	0.88 - 0.98
<b>Desajustes</b>	0,98	0.97 - 0.995

<b>Diodos y conectores</b>	0,995	0.99 - 0.997
<b>Cableado CD</b>	0,98	0.97 - 0.99
<b>Cableado CA</b>	0,99	0.98 - 0.993
<b>Suciedad</b>	0,95	0.30 - 0.995
<b>Disponibilidad del sistema</b>	0,98	0.00 - 0.995
<b>Sombreado</b>	1,00	0.00 - 1.00
<b>Seguimiento Solar</b>	1,00	0.95 - 1.00
<b>Edad</b>	1,00	0.70 - 1.00
<b>Factor de Degradación total</b>	<b>0,77</b>	

Para conocer la energía efectiva fotovoltaica a través del tiempo basándose en el deterioro por su vida útil, se toma como referencia una degradación del 0,7% anual que sería la edad lo que afectaría su producción de energía.

*Tabla 10 Degradación del módulo fotovoltaico  
Fuente: Propia*

**Degradación del panel**

<b>Año</b>	<b>Degradación</b>	<b>kWh</b>
0	100%	6900,00
1	99,3%	6851,70
2	98,6%	6755,78
3	97,9%	6613,90
4	97,2%	6428,72
5	96,5%	6203,71
6	95,8%	5943,15
7	95,1%	5651,94
8	94,4%	5335,43
9	93,7%	4999,30
10	93,0%	4649,35
11	92,3%	4291,35
12	91,6%	3930,88
13	90,9%	3573,17
14	90,2%	3223,00
15	89,5%	2884,58
16	88,8%	2561,51
17	88,1%	2256,69
18	87,4%	1972,35
19	86,7%	1710,02
20	86,0%	1470,62
21	85,3%	1254,44
22	84,6%	1061,26
23	83,9%	890,39
24	83,2%	740,81

En la Tabla 11 con los datos definidos previamente y la ayuda de la Hoja de Cálculo se obtiene la Energía Efectiva Fotovoltaica mensual.

Tabla 11 Energía Efectiva Fotovoltaica.  
Fuente: Propia

Mes	Sistema		
	Superficie Inclinada		
	días/mes	Diaria (kWh)	Mensual (kWh)
<b>Enero</b>	31	17,71	549
<b>Febrero</b>	28,25	18,63	578
<b>Marzo</b>	31	22,32	692
<b>Abril</b>	30	19,99	620
<b>Mayo</b>	31	19,87	616
<b>Junio</b>	30	17,94	556
<b>Julio</b>	31	16,58	514
<b>Agosto</b>	31	18,16	563
<b>Septiembre</b>	30	19,27	598
<b>Octubre</b>	31	18,23	565
<b>Noviembre</b>	30	15,95	495
<b>Diciembre</b>	31	17,92	555
<b>Total Anual</b>	<b>365</b>		<b>6900</b>

Tabla 12 Consumo vs Producción de Energía con Usfv  
Fuente: Propia

Consumo vs Producción de Energía con uSFV			
Mes	kWh mensual (usuarios)	Ep (kWh/mensual)	Balance
<b>ene</b>	635,00	549	86,00
<b>feb</b>	629,00	578	51,40
<b>mar</b>	549,00	692	-142,80
<b>abr</b>	626,00	620	6,40
<b>may</b>	636,00	616	20,00
<b>jun</b>	568,00	556	11,80
<b>jul</b>	524,00	514	10,00
<b>ago</b>	534,00	563	-29,10
<b>sep</b>	565,00	598	-32,50
<b>oct</b>	586,00	565	21,00

<b>nov</b>	545,00	495	50,40
<b>dic</b>	565,00	555	9,60
<b>Total anual kWh</b>	6962,0	6900	62,20

Luego de obtener la energía efectiva anual, se procede a realizar una proyección de degradación de los módulos fotovoltaicos, tomando en cuenta que el índice de degradación de los módulos anualmente es de 7%.

A su vez, se realiza una proyección de la energía consumida (datos obtenidos previamente de los usuarios, se realiza un incremento de 8% en kWh, dato tomado en cuenta por la diferencia mensual para realizar la proyección requerida, se observa en la siguiente Tabla 13 el incremento definido:

*Tabla 13 Proyección de consumo a 25 años  
Fuente: Propia*

<b>Proyección de Consumo</b>	
<b>Año</b>	<b>kWh/año</b>
2022	7519
2023	7994
2024	8468
2025	8943
2026	9417
2027	9892
2028	10367
2029	10841
2030	11316
2031	11790
2032	12265
2033	12739
2034	13214
2035	13689
2036	14163
2037	14638
2038	15112
2039	15587
2040	16062
2041	16536
2042	17011
2043	17485
2044	17960
2045	18435
2046	18909

Contando con el consumo de los usuarios proyectado a 25 años y la producción de energía efectiva, a su vez utilizando establecido en el pliego tarifario, como resulta un promedio para uso residencial, sin tomar en cuenta el valor por comercialización.

*Tabla 14 Consumo y ahorro proyectado 25 años  
Fuente: Propia*

<b>Consumo y Ahorro Proyectado a 25 años</b>		
	kWh	\$
Consumo por usuarios	353569,2	\$33.589,07
Energía efectiva	91863	\$24.862,13
Ahorro proyectado		\$8.726,94

La composición de un proyecto fotovoltaico conectado a la red es de elementos y obras civiles que se necesiten para colocarlo en marcha. Para el estudio de viabilidad y rentabilidad del proyecto, como referencia se ha tomado los resultados del indicador TIR.

La TIR (Tasa Interna de Rentabilidad) se refiere a la rentabilidad del proyecto. Dicha tasa es la de descuento que el valor actual neto toma en cuenta en la inversión de un proyecto sea igual a cero para que genere. Si la TIR es igual a cero significa que el proyecto no tendrá ganancias ni pérdidas, siendo el caso debería ser mayor para obtener ganancias.

Para realizar la TIR es necesario conocer el ahorro anual que es caracterizado por ser una sucesión de pagos proyectados en periodos constantes de tiempo. Según [39] considera una tasa de interés preferencial del 7% para el uso de energía renovable, los 25 años de la proyección de energía fotovoltaica, el ahorro anual del primer año \$564,99; basándose en la inversión inicial de \$18.235

## **2.5 Conclusiones del Capítulo II**

- Mediante la ayuda del software PVsyst que contiene los datos de la NASA resultó factible la obtención los datos para la evaluación del recurso energético en el sitio geográficamente latitud 1°02'29'' S y longitud 79°31'40''W.
- Se determinó los parámetros necesarios para obtener la cantidad de elementos siendo 16 módulos fotovoltaicos y 1 inversor.

- A través de la proyección a los 25 años tanto de la energía consumida por los usuarios y a su vez de la energía efectiva se obtuvo el ahorro en el tiempo mencionado.

## **CAPÍTULO III**

### **APLICACIÓN Y/O VALIDACION DE LA PROPUESTA**

#### **3.1 Evaluar la incidencia y continuidad del recurso energético solar en la zona, para la recolección de datos necesarios para el pre-diseño.**

El aumento del uso de las energías renovables ha captado el mundo y se ha convertido en un cambio notable y necesario para la concientización de optimizaciones de los recursos y reducción de la contaminación ambiental, provocando una necesidad de crear nuevos proyectos que contribuyan a la sociedad.

Dentro de la evaluación y continuidad de recurso energético solar dentro de la zona es importante la recolección de los datos para una instalación fotovoltaica, lo que denota conocer la ubicación y orientación. Tomando en cuenta que por su posición geográfica es una de las ciudades más beneficiadas del país, situada en la ubicación 1°20'30'' latitud Sur y 79°28'30' de longitud occidental dentro de una zona subtropical. Por lo general se encuentra con temperaturas habituales de 20 a 33 °C, gracias a sus dos estaciones en el año (verano e invierno) beneficia a los proyectos que ocupan de energía solar fotovoltaica.

##### **3.1.1 Mediciones de irradiación global y difusa**

Las correspondientes mediciones se obtuvieron de la base del programa PVsyst la misma que contiene los datos como la irradiación global y la radiación solar difusa. Teniendo en cuenta que los valores que muestra el programa dependen de la situación geográfica del lugar, para este caso en particular, fue en un sector del Cantón Quevedo con una latitud de 1°02'29'' S (1.0286 °C S) y una longitud de 79°31'40'' O (79.4635 °C O) a 78 m sobre el nivel del mar.

En la Tabla 6 a continuación se puede observar los valores de radiación difusa que muestra el Cantón Quevedo de cada mes del año, recalcando que la irradiación difusa siempre se mantiene ya sea en días nublados o lluviosos.

Tabla 15 Radiación solar difusa en el Cantón Quevedo. – Software PVsyst  
Fuente: Datos de la NASA

<b>Radiación Solar Difusa</b>	
<b>Irradiación Difusa en el Cantón Quevedo</b>	
Meses	kWh/m <sup>2</sup> día
<b>Enero</b>	2.18
<b>Febrero</b>	2.29
<b>Marzo</b>	2.35
<b>Abril</b>	2.19
<b>Mayo</b>	2.02
<b>Junio</b>	1.91
<b>Julio</b>	1.96
<b>Agosto</b>	2.10
<b>Septiembre</b>	2.26
<b>Octubre</b>	2.25
<b>Noviembre</b>	2.19
<b>Diciembre</b>	2.10
<b>Prom</b>	2,15

Tabla 16 Radiación solar global en el Cantón Quevedo. – Software PVsyst  
Fuente: Datos de la NASA

<b>Radiación Solar Global</b>	
<b>Irradiación Global en el Cantón Quevedo</b>	
Meses	kWh/m <sup>2</sup> día
<b>Enero</b>	4.21
<b>Febrero</b>	4.38
<b>Marzo</b>	4.76
<b>Abril</b>	4.64
<b>Mayo</b>	4.18
<b>Junio</b>	3.78
<b>Julio</b>	3.81
<b>Agosto</b>	4.21
<b>Septiembre</b>	4.32
<b>Octubre</b>	3.97
<b>Noviembre</b>	4.21
<b>Diciembre</b>	4.09
<b>Prom</b>	4,21

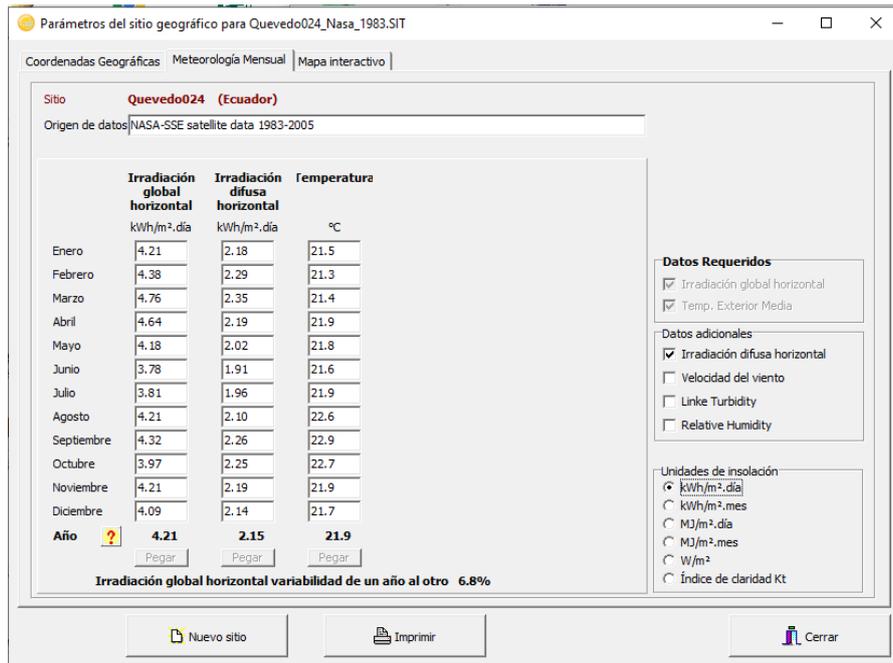


Figura 19 Datos de Irradiación Global y Difusa - Software PVsyst kWh/m<sup>2</sup>, día  
Fuente: Datos de la NASA

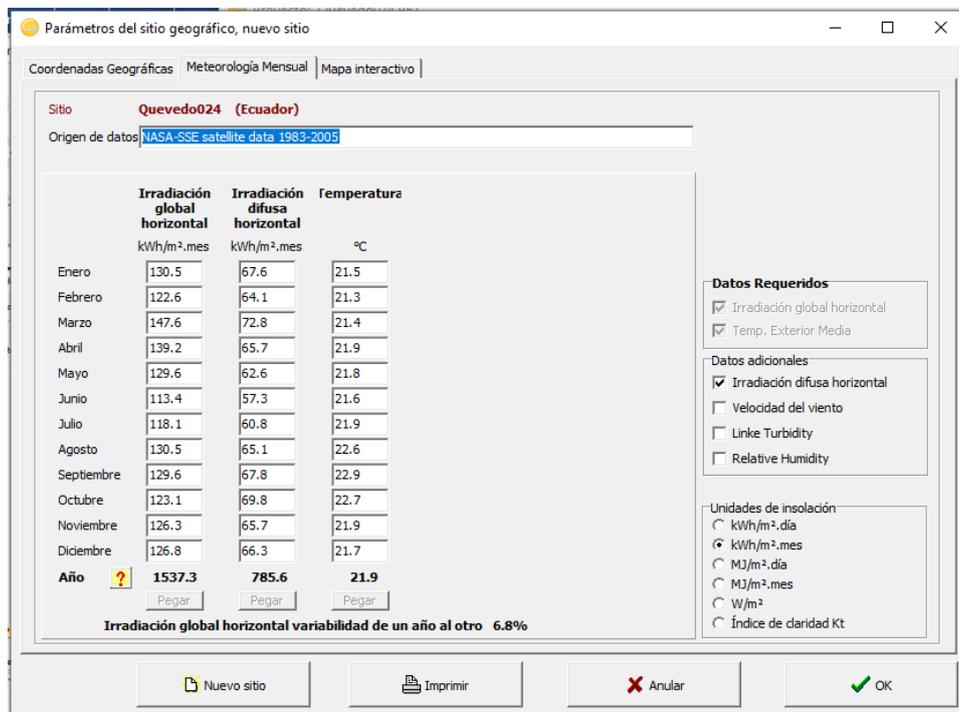


Figura 20 Datos de Irradiación Global y Difusa - Software PVsyst kWh/m<sup>2</sup>, mes  
Fuente: Datos de la NASA

### 3.1.2 Inclinación y orientación de los paneles

Existen condiciones a tener en cuenta para obtener una inclinación correcta de los paneles, a continuación, se presentan las condiciones a tomar en cuenta:

- Se debe multiplicar por una latitud de 0.87, si el lugar se encuentra por debajo de los 25 °C.
- Si el lugar se encuentra en una latitud entre 25 y 50 °C, es utilizada la latitud, con un tiempo de 0.76 adicionando 3.1 °C.

Se conoce que el cantón Quevedo presenta una latitud de 1.02863 °C Oeste siendo menor a las condiciones antes mencionadas, se procede a realizar una multiplicación por 0.87, obteniendo como resultado la inclinación óptima para los módulos.

Para mayor facilidad de mantenimiento de los módulos se recomienda que se redondee el resultado de la inclinación con respecto a la horizontal.

$$\beta = 3.7 + 0.69 * \varphi$$

$$\beta = 3.7 + 0.69 * 1.02863 \text{ °C}$$

$$\beta = 4.41 \text{ °C}$$

Tabla 17 Inclinación óptima de los paneles  
Fuente: [40]

Latitud del sitio	Ángulo de inclinación del módulo
0 ° A 15 °C	15 °C
15 ° A 25 °C	El mismo que la latitud
25 ° A 30 °C	Latitud + 5 °C
30 ° A 35 °C	Latitud + 10 °C
35 ° A 40 °C	Latitud + 15 °C
MÁS DE 40 °C	Latitud + 20 °C

Para tener una factibilidad de un ángulo de inclinación óptimo se utiliza los 5 °C de acuerdo a latitud del lugar que es 1.0411 °C

Uno de los datos más importantes para un óptimo rendimiento de la energía que se obtiene del sol, es saber la orientación de los paneles al momento de colocarlos. Dependiendo del sitio de donde se requiera realizar la instalación de los módulos se encuentren en el hemisferio norte o hemisferio sur.

Si la instalación es realizada en el hemisferio norte los módulos van a encontrarse orientados al hemisferio sur. Si la instalación es realizada en el hemisferio sur, los módulos van a ser orientados al hemisferio norte.

Información relevante para dar a conocer que los módulos solares al encontrarse situados en el Cantón Quevedo – Ecuador ubicado en el hemisferio sur, su orientación va a ser dirigida al hemisferio norte.

Después de definir los conceptos se puede lograr configurar la orientación del módulo. Los módulos solares fotovoltaicos se instalarían en un plano con inclinación fija. A su vez los ángulos de la inclinación del plano y el ángulo del azimut serán 5° y 0° respectivamente. El ángulo de azimut es definido como aquel ángulo que se encuentra entre la dirección Sur y la orientación a la que se afrontan los módulos. Los ángulos azimut que se encuentran hacia el Este se toman como positivos y los que se encuentran hacia el Oeste son tomados como negativos.

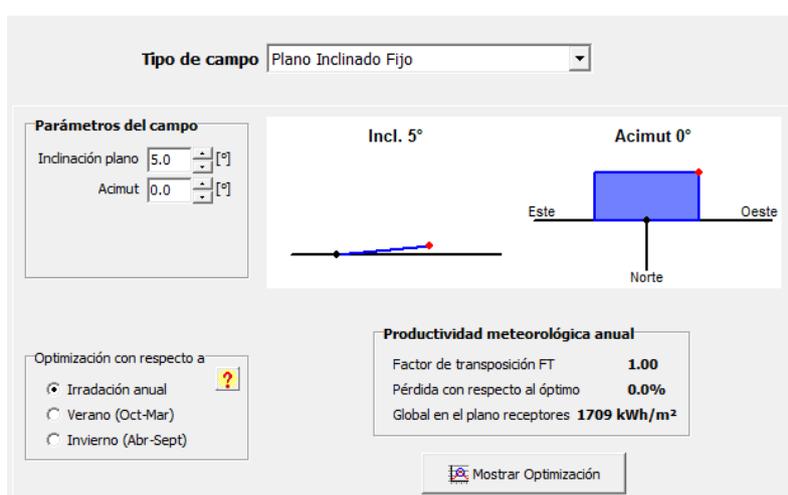


Figura 21 Inclinación del módulo – Orientación – Software PVsyst  
Fuente: Propia

## 3.2 Dimensionamiento de la micro red

### 3.2.1 Estimación de la demanda

En la Tabla 19, para conocer la demanda de diseño, se tomó en cuenta los equipos que se encuentran conectados, de acuerdo al sistema comercial de Cnel Guayas – Los Ríos son 6 usuarios de carácter residencial las lecturas de los medidores con estrato C conectados a un alimentador de 10 kVA, transformador monofásico en poste, contando con un factor de diversidad de 2,32; siendo la estimación de la demanda 7,11 kW.

Tabla 18 Estimación de la demanda típica.  
Fuente: Propia

RENGLÓN	APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO				FFUn (%)	CIR (W)	FSn (%)	DMU (W)
	DESCRIPCIÓN	CANT	Pn (W)	CI (W)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Luminarias de 20W	35	20	700	75	525	100	525
2	Tomacorrientes	38	180	6840	50	3420	40	1368
3	Computadores	2	350	700	20	140	80	112
4	Impresora	1	300	300	10	30	20	6
5	Ventiladores	4	120	480	15	72	20	14,4
6	Televisores	6	175	1050	20	210	100	210
7	Refrigeradora	6	600	3600	15	540	20	108
8	Equipos de sonido	6	300	1800	30	540	50	270
TOTALES				15470		5477		2613,4
FACTOR DE POTENCIA DE LA CARGA		0,95	FACTOR DE DEMANDA FDM		DMU C I	0,48		
DMU (kVA)		=	2,75					
N	6	FD	2,32					
DD	6758,7931	W						
DD	6,7587931	kW						
DD	7,11451906	kVA						

Dónde:

$P_n$  = Potencia nominal

$CI$  = Carga instalada

$FFUn$  = Factor de frecuencia de uso de la carga individual

$CIR$  = Carga instalada por consumidor representativo

$FSn$  = Factor de simultaneidad para la carga individual

$DMU$  = Demanda máxima unitaria

$FD$  = Factor de diversidad

Tabla 19 Consumo mensual de usuarios (kWh mensual)  
Fuente: Propia

MES	USUARIO 1	USUARIO 2	USUARIO 3	USUARIO 4	USUARIO 5	USUARIO 6
ENE	89	85	155	188	76	42
FEB	83	90	142	187	88	39
MAR	83	82	166	167	12	39
ABR	86	81	182	175	62	40
MAY	80	94	180	185	59	38
JUN	77	66	155	179	55	36
JUL	83	61	127	158	56	39
AGO	89	65	127	163	51	39
SEP	83	68	128	183	63	40
OCT	86	68	143	191	58	40
NOV	80	66	149	156	56	38
DIC	86	68	142	172	57	40

### Estimación de la producción energética mensual y anual

Tabla 20 Consumo mensual/anual de usuarios  
Fuente: Propia

Mes	kWh/mes
Enero	635
Febrero	629
Marzo	549
Abril	626
Mayo	636
Junio	568
Julio	524
Agosto	534
Septiembre	565
Octubre	586
Noviembre	545
Diciembre	565
Total	6962

El consumo anual es de 6962 kWh, para realizar la estimación del diseño, se determina mediante la siguiente fórmula:

Para la determinación de planta se toma la radiación, en donde existen horas pico promedio de 2,65 como se observa:

Tabla 21 Factor de planta de diseño  
Fuente: Propia

Días	Radiación difusa mensual	Radiación diaria
Enero	31	81,45
Febrero	28,5	78,65
Marzo	31	82,84
Abril	30	83,72
Mayo	31	73,49
Junio	30	74,41
Julio	31	82,46
Agosto	31	83,34
Septiembre	30	76,67
Octubre	31	85,9
Noviembre	30	72,9
Diciembre	31	90,98
	Prom Horas de sol pico día	2,65
	FP	0,22

Por lo que el factor de planta (valor adimensional) es de: 0,214

Este factor se obtiene dividiendo las horas de sol pico (HPS) para las 12 horas del día.

Entonces la capacidad nominal es de:

$$\text{Capacidad nominal instalada} = \frac{6962 [kWh]}{0,22 * 8760 [h]} [kW]$$

$$\text{Capacidad nominal instalada} = 3,71 kW \approx 5 kW$$

$E_{mensual}$  = Energía mensual consumida por el usuario

FP = Factor de planta

Posterior a ello, se determina la cantidad de módulos.

$$\text{Cant. módulos} = \frac{5 kW}{325W} = 15,4 \text{ módulos} \approx 16 \text{ módulos}$$

### 3.2.2 Resultados del Software

Una vez obtenido el informe de la configuración realizada en el software PVsyst, se accede a un resumen en donde se encuentran las características principales de la instalación y a su vez muestran los resultados de la producción de energía. En las primeras hojas del informe muestran las opciones seleccionadas para el dimensionado y las características de los elementos que la componen. También contienen la cantidad y la potencia de los módulos fotovoltaicos tal como muestra la Figura 22 y la Figura 23.

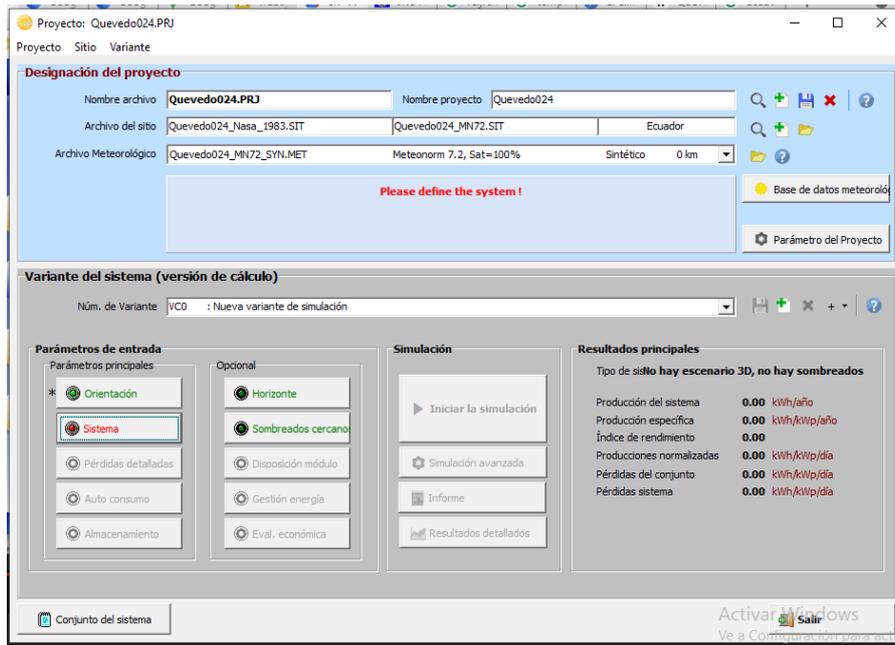


Figura 22 Pantalla principal del Software - Creación del proyecto. – Software PVsyst  
Fuente: Propia

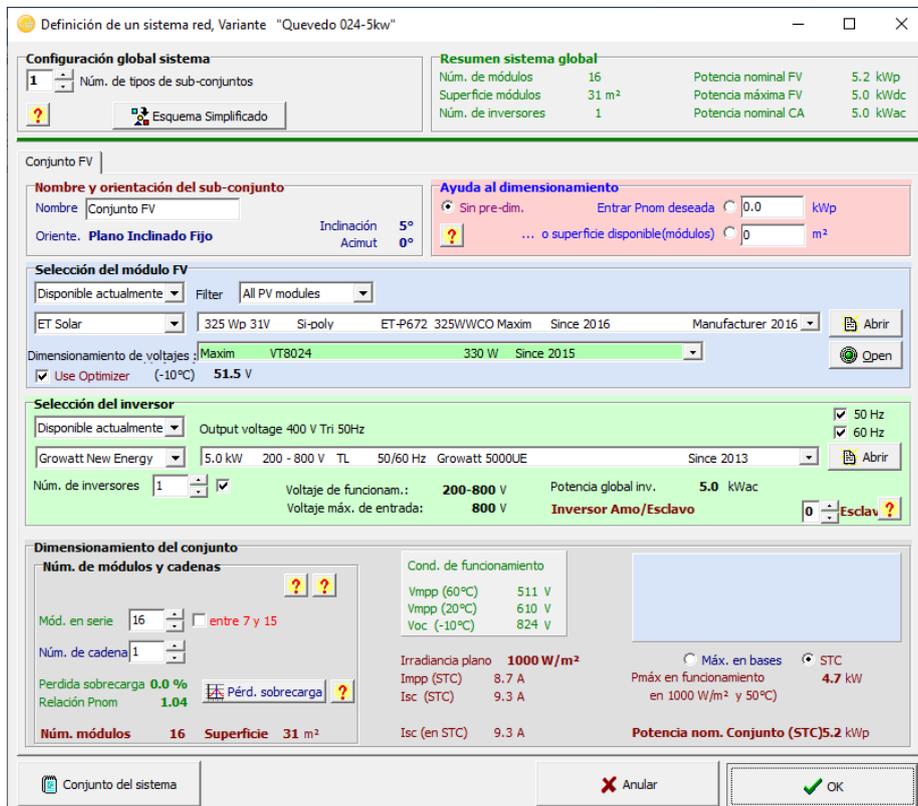


Figura 23 Selección de Módulo e Inversor – Software PVsyst  
Fuente: Propia

La Figura 24, indica los valores totales del conjunto solar fotovoltaico; contando con los 16 módulos a una potencia de 325W, con un total de 5,2 kW. Un voltaje total de

537 V que a su vez contaría cada módulo con 33,6 V y una corriente total del conjunto de 8,7 A.

El sobredimensionamiento del generador fotovoltaico determinado previamente es igual a 1,04; denotando un 4% superior a la potencia nominal del inversor. También es importante conocer el espacio que necesario para la instalación del conjunto fotovoltaico 31 m<sup>2</sup>.

Características del conjunto FV				
<b>Módulo FV</b>	Si-poly	Modelo	ET-P672_325WWCO Maxim	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	ET Solar	
<b>Maxim integrated optimizers</b>		Modelo	VT8024	Pnom unitaria 3 x 110 W
Número de módulos FV		En serie	16 módulos	En paralelo 1 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	16	Pnom unitaria 325 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	5.20 kWp	En cond. de funciona. 4667 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	537 V	I mpp 8.7 A
Superficie total		Superficie módulos	31.0 m <sup>2</sup>	Superficie célula 28.0 m <sup>2</sup>
<b>Inversor</b>				
Base de datos PVsyst original		Modelo	Growatt 5000UE	
Características		Fabricante	Growatt New Energy	
Paquete de inversores		Voltaje de funcionam.	200-800 V	Pnom unitaria 5.00 kWac
		Núm. de inversores	1 unidades	Potencia total 5.0 kWac
				Relación Pnom 1.04
<b>Factores de pérdida del conjunto FV</b>				
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (viento) 0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
Pérdida óhmica en el Cableado		Res. global conjunto	1029 mOhm	Fracción de pérdidas 1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de pérdidas -0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos				Fracción de pérdidas 0.0 % en MPP
Deterioro promedio de los módulos		Año núm.	25	Factor de pérdidas 0.4 %/año
Desajuste debido al deterioro		Dispersión RMS sobre Imp	0 %/año	Dispersión RMS sobre Vmp 0 %/año
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo 0.05

Figura 24 Resultados Obtenidos Módulos e Inversor - Software PVsyst  
Fuente: Propia

La siguiente hoja del informe muestra una continuación de gráficas como un histograma y tablas que contienen el resumen de los resultados. En la Figura 25 presenta una gráfica con la producción energética (kWh) instalada en el conjunto de los dos diferentes campos, en los que se puede observar las pérdidas que se producen en el generador fotovoltaico y a su vez en el inversor, en los meses que existe menos irradiación o a su vez de acuerdo a las situaciones meteorológicas en que se encuentre.

**Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 5.20 kWp**

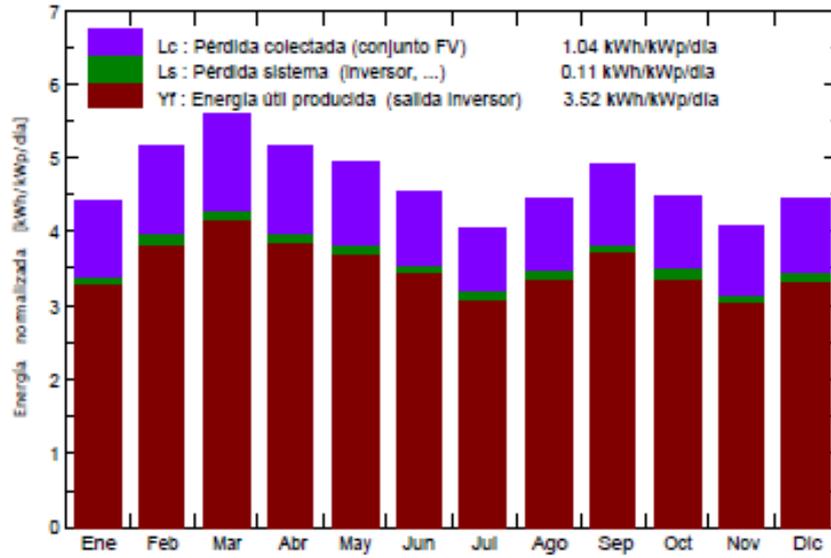


Figura 25 Producción Energética - Software PVsyst  
Fuente: Propia

En la siguiente Figura 26 presenta el factor de rendimiento encontrándose alrededor del 0,76, esto es debido a la irradiación que índice sobre las placas, esto indica que la energía que se produce va variando independientemente y no proporcionalmente al rendimiento.

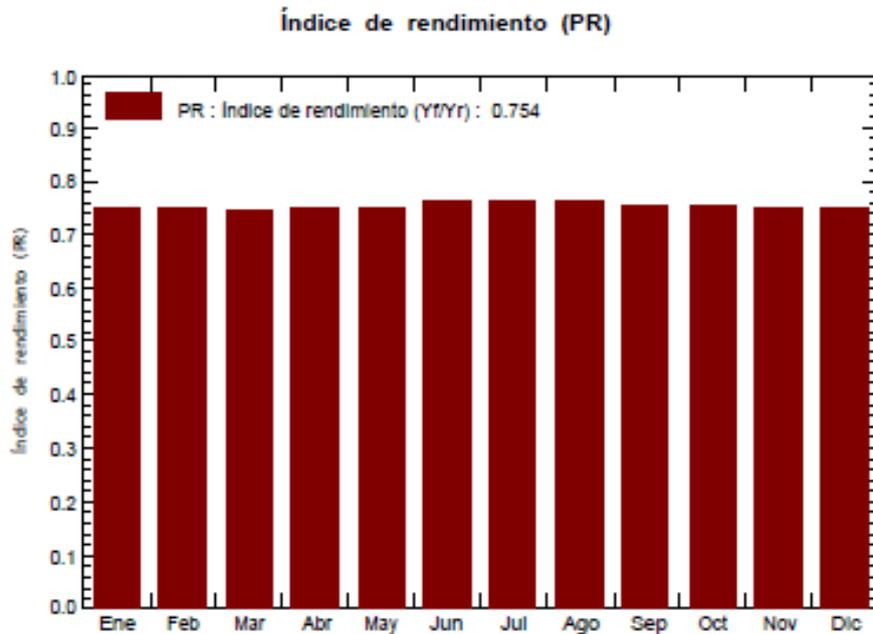


Figura 26 Factor de Rendimiento - Software PVsyst  
Fuente: Propia

Los datos mensuales de irradiación global horizontal, temperatura ambiente, irradiación global incidente en la superficie, irradiación efectiva, de la misma manera la energía del generador, la energía que se inyecta en la red y desde luego los porcentajes de las eficiencias de la energía del generador y del sistema en general. En la Figura 27 indica parte del informe que la energía efectiva en la salida del conjunto fotovoltaico es 6900 kWh, mientras que la energía consumida por los usuarios es 6962 kWh.

**Balances y resultados principales**

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>DiffHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>T_Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>EArray</b> MWh	<b>E_Grid</b> MWh	<b>PR</b>
<b>Enero</b>	140.3	81.45	25.81	136.3	131.0	0.549	0.532	0.750
<b>Febrero</b>	146.7	78.65	25.75	144.0	138.9	0.578	0.561	0.749
<b>Marzo</b>	174.6	82.84	25.98	173.9	168.2	0.692	0.672	0.744
<b>Abril</b>	152.3	83.72	25.64	154.3	149.0	0.620	0.601	0.750
<b>Mayo</b>	148.6	73.49	25.31	152.9	147.8	0.616	0.597	0.751
<b>Junio</b>	131.8	74.41	23.68	135.9	131.0	0.556	0.539	0.763
<b>Julio</b>	122.3	82.46	23.60	125.0	120.3	0.514	0.497	0.765
<b>Agosto</b>	135.2	83.34	23.42	137.4	132.4	0.563	0.546	0.764
<b>Septiembre</b>	146.5	76.67	23.08	147.2	142.0	0.597	0.579	0.757
<b>Octubre</b>	140.8	85.90	23.70	139.1	134.0	0.565	0.547	0.756
<b>Noviembre</b>	125.0	72.94	23.76	122.0	117.4	0.495	0.477	0.752
<b>Diciembre</b>	141.9	80.98	25.23	137.5	132.2	0.555	0.538	0.752
<b>Año</b>	1706.1	956.85	24.57	1705.5	1644.2	6.900	6.686	0.754

Leyendas: GlobHor Irradiación global horizontal      GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados  
 DiffHor Irradiación difusa horizontal      EArray Energía efectiva en la salida del conjunto  
 T\_Amb Temperatura Ambiente      E\_Grid Energía inyectada en la red  
 GlobInc Global incidente plano receptor      PR Índice de rendimiento

*Figura 27 Balances y resultados principales PVsyst  
 Fuente: Propia*

Además de los datos mostrados, el informe también presenta un diagrama de pérdidas en la instalación, dentro de su investigación indica que es posible la optimización del sistema para que disminuyan las pérdidas. Dichas pérdidas son detalladas por diferentes sub campos, clasificados por pérdidas de radiación tanto por la orientación de los paneles como por la inclinación, además indica las pérdidas por el generador y las pérdidas del sistema.

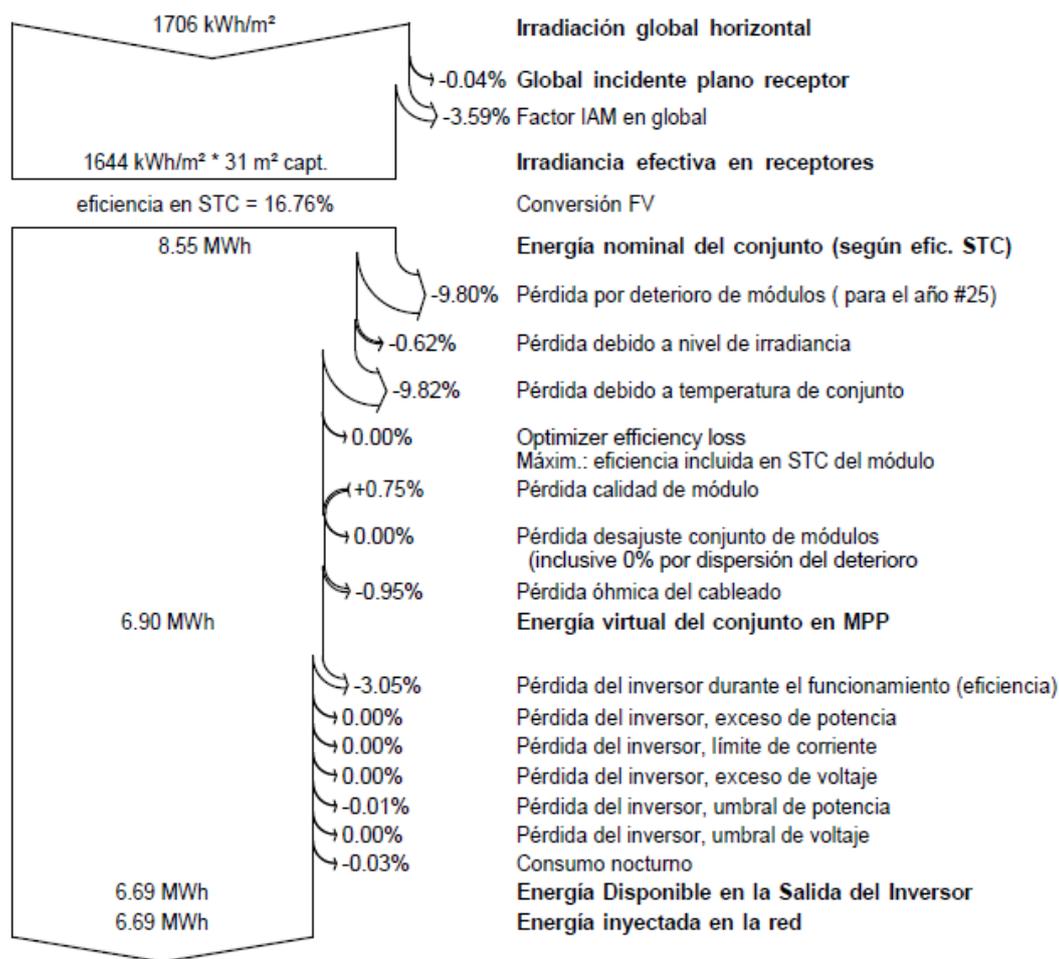


Figura 28 Pérdidas del sistema. - Software PVsyst  
Fuente: Propia

## Diagrama Unifilar

El sistema fotovoltaico utiliza la tecnología Net Metering o también llamado Balance Energético Fotovoltaico, establecido en el Marco Normativo para la Participación de la Generación Distribuida, el mismo que realiza un balance mensual de la energía que consume el usuario con la que produce el sistema fotovoltaico y la que toma de la red eléctrica. Dado que, si se produce un nivel de generación mayor que la demanda de los usuarios de acuerdo a lo estipulado en la Regulación 003/18, los excedentes de energía servirán como un título de crédito, el mismo que se podrá usar para compensar los consumos de hasta todo el año posterior al mes en el que se produjo el excedente.

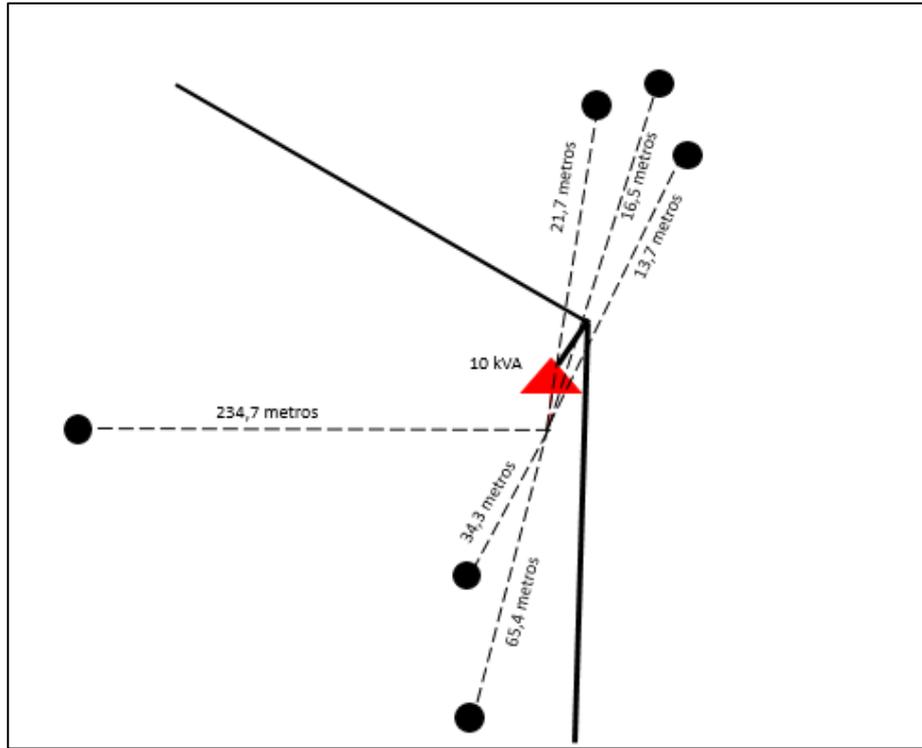


Figura 29 Diagrama unifilar de los usuarios.  
Fuente: Propia

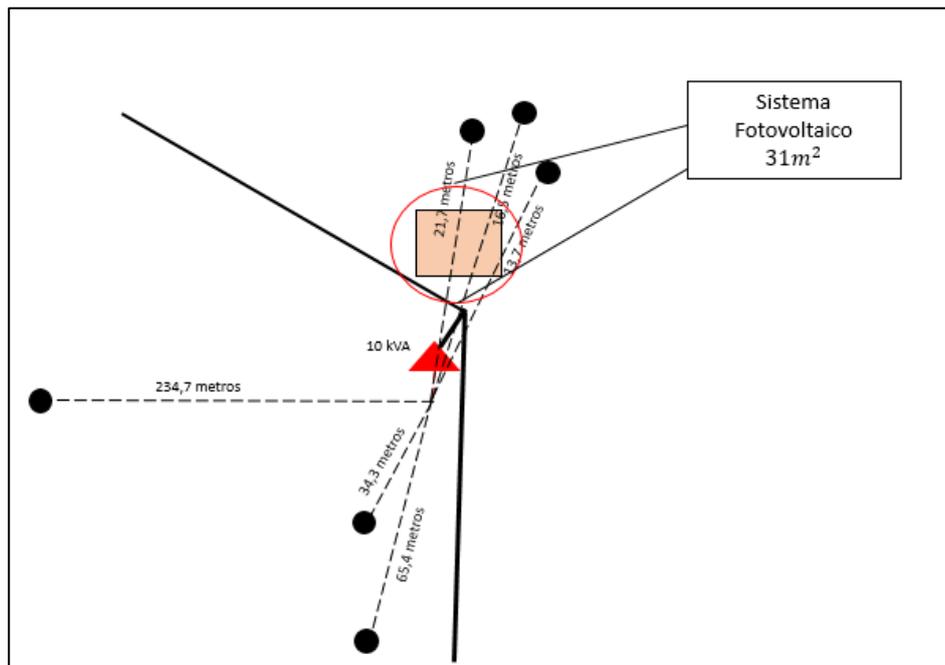


Figura 30 Ubicación del sistema fotovoltaico  
Fuente: Propia

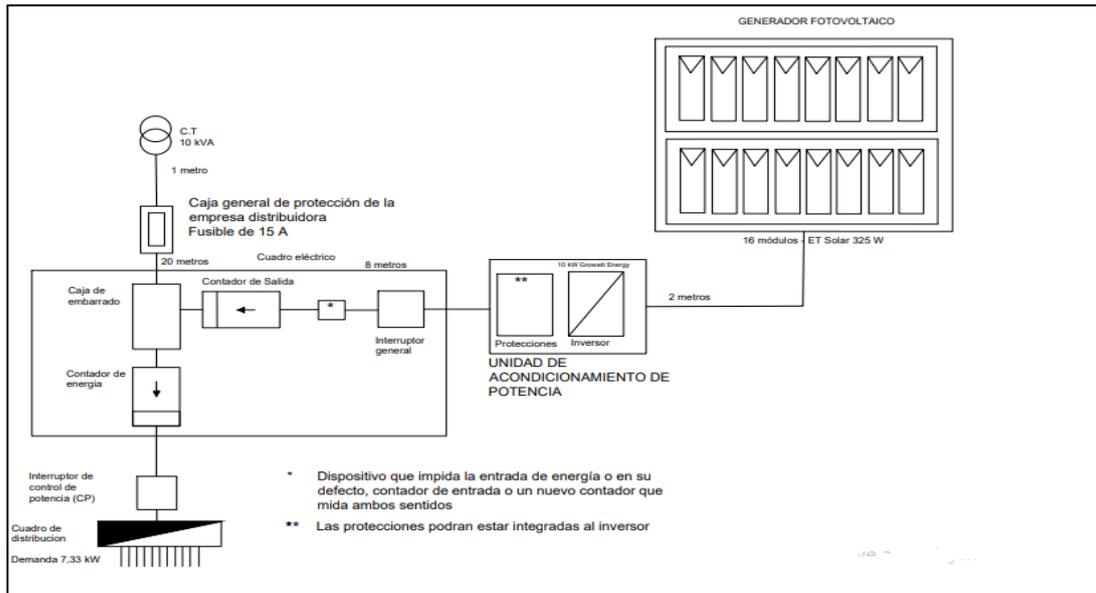


Figura 31 Diagrama Unifilar del Sistema Fotovoltaico  
Fuente: Propia

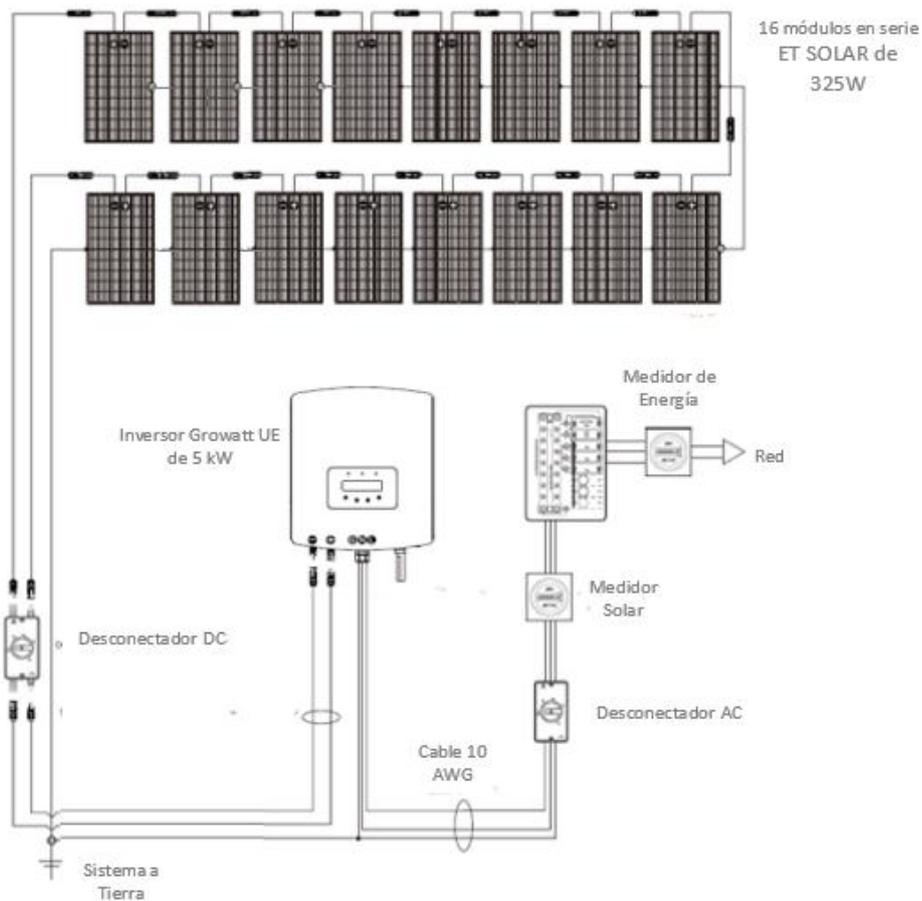


Figura 32 Diagrama Unifilar del Sistema Fotovoltaico (Simplificado)  
Fuente: Propia

## Fusible

Dispositivos que protegen la instalación fotovoltaica, mitigando el riesgo de incendios o daño de los elementos de la instalación. Para obtener el amperaje del fusible se realizó mediante la siguiente fórmula.

$$I = I_{cc} * string * factor\ de\ seguridad$$

$$I = 9,28 * 1 * 1,25$$

$$I = 11,6 \approx 15A$$

## Curvas de Carga

- **Curva de carga mensual**

Para obtener la curva de carga mensual, en la Tabla 22 se realiza una suma de todos los usuarios en el mes de enero, una vez obtenido la energía que produce el sistema fotovoltaico mensualmente, se realiza el traslape para determinar la energía que será inyectada a la red.

Tabla 22 Producción del sistema fotovoltaico vs el consumo de los usuarios  
Fuente: Propia

Mes	PV (kWh)	Usuarios (kWh)	Traslape (kWh)
<b>Enero</b>	549	635	-86
<b>Febrero</b>	578	629	-51
<b>Marzo</b>	692	549	143
<b>Abril</b>	620	626	-6
<b>Mayo</b>	616	636	-20
<b>Junio</b>	556	568	-12
<b>Julio</b>	514	524	-10
<b>Agosto</b>	563	534	29
<b>Septiembre</b>	597	565	32
<b>Octubre</b>	565	586	-21
<b>Noviembre</b>	495	545	-50
<b>Diciembre</b>	555	565	-10

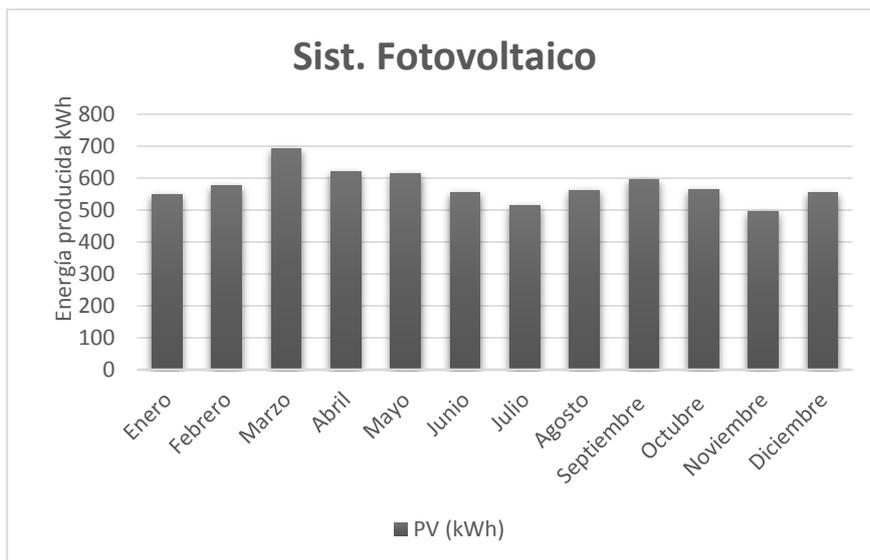


Figura 33 Curva de energía mensual del Sistema Fotovoltaico.  
Fuente: Propia

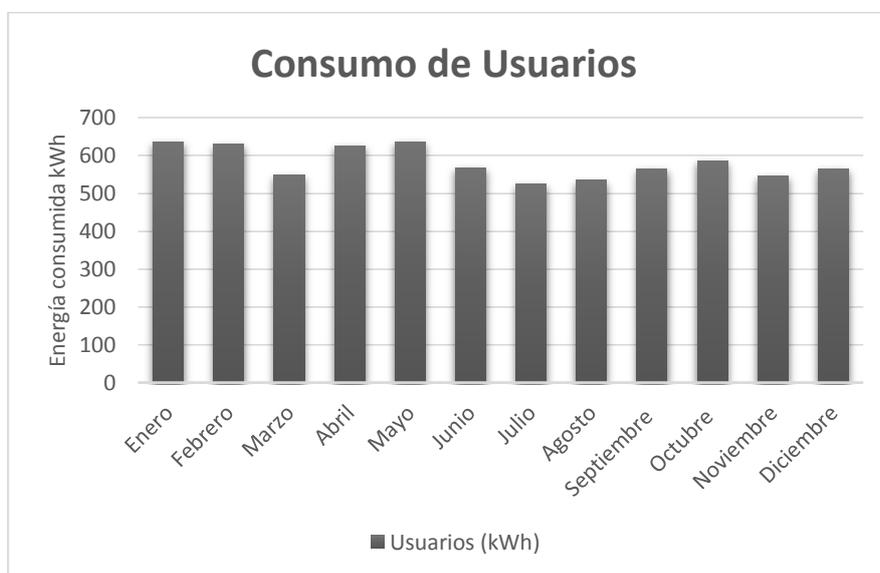


Figura 34 Curva de energía mensual consumida por los usuarios.  
Fuente: Propia

El consumo de los usuarios mensual y la producción mensual del sistema fotovoltaico dan paso a una comparación y balance en el cual se observa mediante las gráficas en que meses habrá inyección a la red.

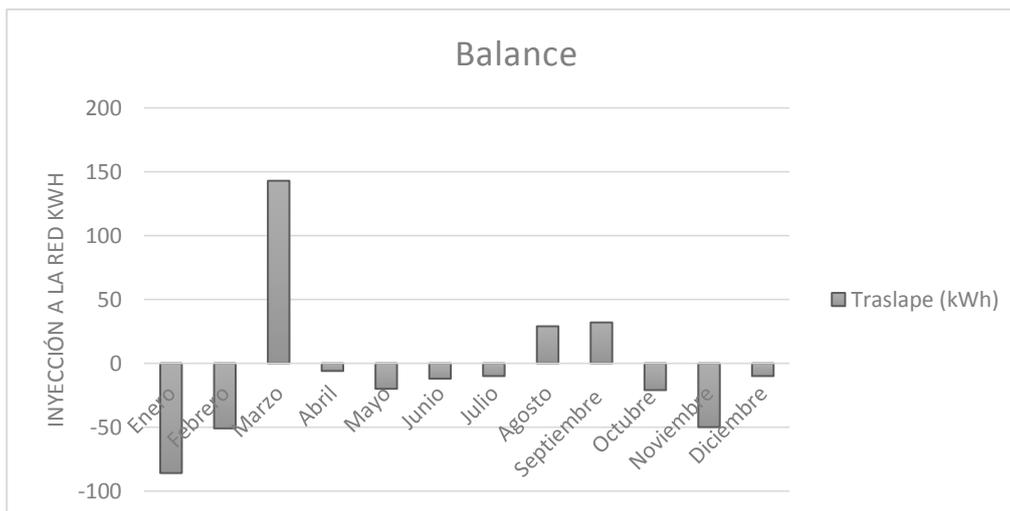


Figura 35 Balance de energía/energía inyectada a la red.  
Fuente: Propia

- **Curva de energía diaria**

Nueva variante de simulación Monthly Hourly averages for EArray [kW]																								
	0H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H
Enero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.53	1.23	1.78	2.21	2.33	2.45	2.29	1.94	1.54	1.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	1.32	2.05	2.54	2.80	2.82	2.58	2.36	1.84	1.28	0.52	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marzo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	1.48	2.20	2.76	2.94	2.99	2.86	2.53	2.04	1.37	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Abril	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.69	1.55	2.28	2.74	2.65	2.70	2.52	2.23	1.71	1.13	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mayo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.68	1.40	1.96	2.42	2.61	2.67	2.50	2.33	1.79	1.11	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Junio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.60	1.29	1.90	2.30	2.36	2.42	2.29	2.15	1.73	1.06	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Julio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	1.08	1.67	2.15	2.32	2.31	2.12	1.83	1.39	0.88	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agosto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	1.18	1.73	2.21	2.29	2.43	2.38	2.15	1.70	1.09	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Septiembre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.80	1.48	2.01	2.32	2.39	2.47	2.39	2.42	1.93	1.23	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Octubre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.82	1.41	1.89	2.32	2.48	2.44	2.35	2.03	1.44	0.78	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Noviembre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.68	1.30	1.90	2.26	2.27	2.17	2.01	1.69	1.28	0.68	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diciembre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.67	1.43	2.00	2.40	2.44	2.34	2.19	1.85	1.46	0.82	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Año	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.64	1.35	1.95	2.38	2.49	2.52	2.37	2.12	1.65	1.03	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 36 Horas mensuales de energía efectiva del sistema fotovoltaico.  
Fuente: Propia

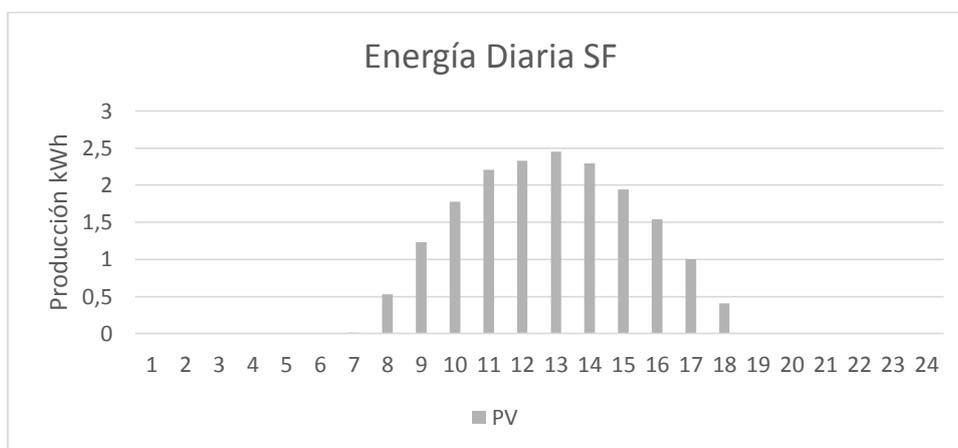


Figura 37 Energía efectiva producida por el sistema fotovoltaico, horas diarias.

Fuente propia

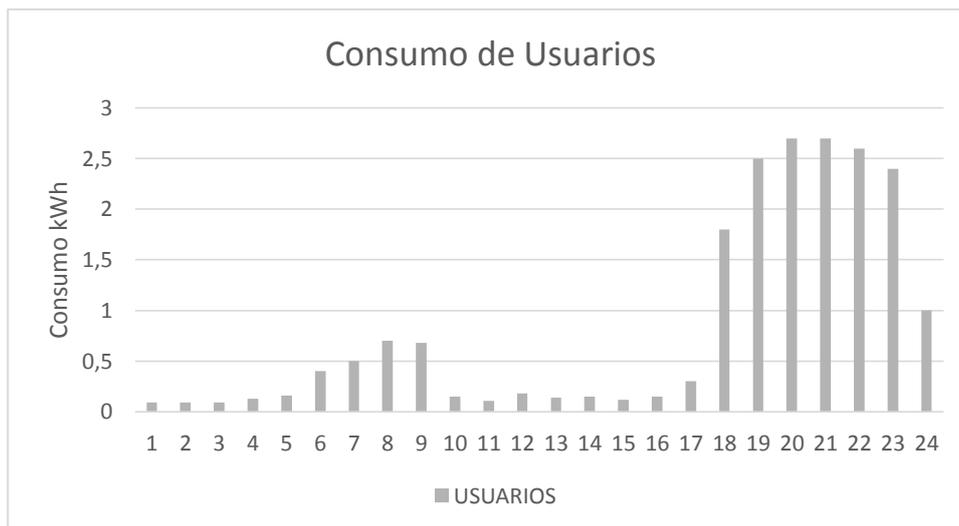


Figura 38 Energía diaria consumida por los usuarios  
Fuente: Propia

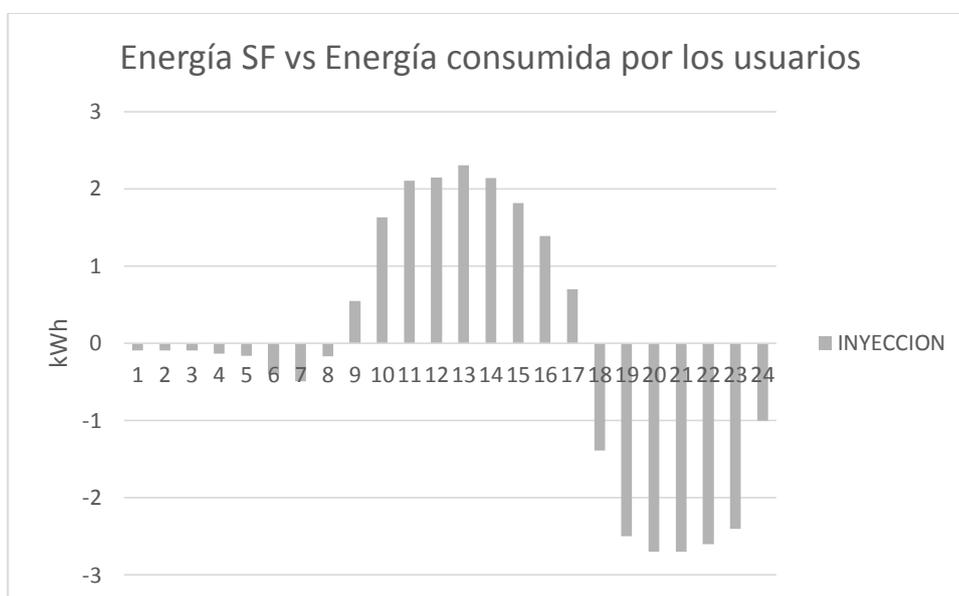


Figura 39 Inyección de la energía a la red.  
Fuente: Propia

Los resultados de la curva diaria muestran que la inyección a la red de media tensión será en las horas pico de la producción en el sistema fotovoltaico, puesto que a esa hora del día no existe mayor consumo por los usuarios.

Tabla 23 Energía producida por el SF vs Energía producida por los usuarios  
Fuente: Propia

Mes	PV (kWh)	Usuarios (kWh)
Enero	549	635
Febrero	578	629
Marzo	692	549
Abril	620	626
Mayo	616	636
Junio	556	568
Julio	514	524
Agosto	563	534
Septiembre	597	565
Octubre	565	586
Noviembre	495	545
Diciembre	555	565
	6900	6962

De forma anual, se obtiene que el consumo por los usuarios será de 6962 kWh, mientras que la producción del sistema fotovoltaico será de 6900 kWh. Dicho sistema aportará en cubrir con un 99,1 % anualmente, indicando que no existirá mayor inyección a la red.

### 3.3 Evaluación económica

El análisis económico de un proyecto es establecido mediante técnicas a través de las cuales determinan si existen beneficios o pérdidas en los que puede tropezar al realizar una inversión en los que la toma de decisiones es importante para obtener resultados que destaquen beneficiosamente ante las situaciones a presentarse.

Por tanto, realizando cálculos a base de la energía consumida por el usuario a una proyección de 25 años, de la misma forma la energía efectiva obteniendo un ahorro de \$8.726,94; esto basándose en la comunidad rural, urbano – marginal en el Cantón Quevedo Sector-024.

Una vez obtenido lo mencionado anteriormente se procede a la obtención de la TIR.

Tabla 24 Análisis Económico  
Fuente: Propia

<b>Análisis Económico</b>	
<b>TIR</b>	-1%
<b>VAN</b>	-\$10.580

El presupuesto estimado para una instalación de un sistema fotovoltaico dependerá de los siguientes rubros.

Tabla 25 Costo de un Sistema Fotovoltaico  
Fuente: Propia

<b>Detalle</b>	
	Micro - red
<i>Costo de Materiales</i>	\$ 11.770,00
<i>Varios</i>	\$ 1.765,50
<i>Obra/Profesional</i>	\$ 4.700,00
<i>Total</i>	\$ 18.235,50

En los supuestos de ser un sector rural, urbano – marginal año a año va depreciándose la energía efectiva por lo que el valor a pagar va a ir aumentando, sin embargo, existe una diferencia por parte del sistema fotovoltaico.

Mediante un estudio económico se procedió a realizar un flujo de caja en el cual consta los 25 años del tiempo de vida útil acorde a la Regulación Nro. ARCERNNR-001/2021, arrojando una Tasa Interna de Retorno del -1% sin embargo, para que un proyecto sea viable debe encontrarse entre el 12% al 15%; además de ello el tiempo de recuperación es muy largo siendo el costo inicial \$18.235.

Tabla 26 Tiempo de recuperación de costo  
Fuente: Propia

<b>Tiempo de recuperación</b>	
<i>Costo Inicial</i>	\$18.235,50
<i>Ahorro Anual</i>	\$ 656,89
<i>Años</i>	28

El tiempo de recuperación es muy alto en comparación a lo establecido en la norma que son 25 años, se necesitaría inversión inicial por parte de una empresa interesada, trabajo en conjunto con la empresa eléctrica impulsando la creación de proyectos de energía fotovoltaica.

### 3.3.1 Ventajas de un sistema fotovoltaico

- Lo rescatable de las instalaciones convencionales es que si se considera una instalación aislada evita las conexiones a la red eléctrica, interrupciones en la continuidad del sistema, también el sistema sería automático y contaría con almacenamiento de energía, sin inversiones en el tendido eléctrico.

- Contribuciones al medio ambiente mediante las reducciones de las emisiones de CO<sub>2</sub> las mismas que se asocian a la generación de energía, menos impacto ambiental y visual.
- Si se considera los grandes proyectos se convertirían en áreas de estudios, investigación, tomando de ejemplo para futuros proyectos y a su vez fomentando el turismo y llamar la atención ante los ojos del mundo porque sería novedoso y explorador dentro del país.

### **Ventajas de una red de distribución.**

- Consideradas unas de las más comunes con materiales de fácil consecución y a su vez más económicos como se definió anteriormente.
- El objetivo es maximizar la flexibilidad, incremento del servicio al mercado, considerando demanda actual y futura al momento de su diseño optimizando sus puntos de operación y su capacidad de producción.
- El potencial crecimiento de la demanda dentro de la infraestructura física con la minimización de costos logísticos.

### **3.3.2 Factores a tomar en cuenta en los proyectos fotovoltaicos.**

La eficacia y productividad de los sistemas fotovoltaicos se encuentran adheridos a las condiciones no solo de la tecnología sino también del desarrollador y su oferta en el mercado, teniendo en cuenta criterios socioeconómicos y técnicos para su posterior evaluación y realizar una toma de decisiones. A la hora de implementar los proyectos fotovoltaicos es necesario tener en cuenta factores necesarios para su factibilidad.

- Considerar si el proyecto es del interés de los usuarios y la condición socioeconómica de las familias.
- Tener en cuenta los elementos que intervienen en un sistema fotovoltaico, posterior a su funcionamiento evaluar de manera productiva el proceso tecnológico.
- Brindar conocimiento a los usuarios que participarán en el proyecto y se encuentren consientes del cuidado que implica la parte tecnológica ofertada.
- Trabajo en conjunto del encargado del proyecto con el acompañamiento de los lineamientos y soporte técnico para una perspectiva viable y sostenible.

- Constituir dentro del proceso procedimientos que conlleven sin dar apertura a las limitaciones establecidas por parte del distribuidor ya que la tecnología que se utiliza en los sistemas fotovoltaicos es importada.
- Creación de proyectos que garanticen la sostenibilidad para la generación de más proyectos y las empresas fabricantes de dicha tecnología inviertan en dichos proyectos y su competencia crezca de manera que la rentabilidad sea factible para realizarlos.

### **3.3.2.1 Factores que facilitan los proyectos fotovoltaicos**

- Los sistemas solares podrían garantizar la viabilidad en comunidades alejadas, como parte de investigaciones y proyectos tratar de cubrir de manera parcial y/o total la generación eléctrica.
- Cada vez aumenta la determinación por realizar instalaciones de sistemas fotovoltaicos por parte de empresas y su factor limitante es la rentabilidad, el objetivo es tratar de abaratar la energía y por supuesto gastar menos energía fósil que a largo plazo tiende a escasear.
- Puede ser muy efectiva para suministrar energía para demandas que son impresionables y a la par un interés por el mejoramiento del servicio, especialmente en el sector de la salud.
- Personal capacitado, competente, dinamizador en los proyectos y con experiencia en el montaje de dicha tecnología,
- Los proyectos siempre deben contar con proveedores confiables que no solo brinden la tecnología sino a su vez la garantía para la resolución de los problemas en cuanto a la parte técnicas, dando seguridad para la iniciativa del proyecto.
- A nivel internacional, la banca está buscando promover el uso de energías renovables en los sectores de pequeña y mediana empresa, rurales y en comunidades urbano – marginales, favorecerían al desarrollo de dichos proyectos ya su inversión inicial es costosa.
- A comparación de otros proyectos de energías renovables, la producción de energía a través sistemas fotovoltaicos es pequeña, pero la consideración de su uso por otras empresas que buscan la eficiencia energética cada vez es mayor.

### **3.3.2.2 Factores que limitan los proyectos fotovoltaicos**

- La adquisición de los elementos y la tecnología para los sistemas fotovoltaicos carecen de facilidad debido a los trámites de compra, impuestos de la importación de los equipos que pueden llegar o no a la fecha, haciendo que se retrasen los proyectos y los costos se eleven, además de la documentación y el retiro de los equipos de la aduana; lo que produce decadencia en el tiempo y la eficiencia de dichos proyectos.
- No existen empresas especializadas como tal dentro del país que presten servicio y se interesen por desarrollar y difundir la tecnología utilizada.
- Falta de experiencia por parte del personal y poco conocimiento acerca de la calidad refiriéndose a temas específicos.
- En el ámbito internacional pueden ocurrir fenómenos que influyan dentro del proceso de importación de los elementos.
- No existe la suficiente competencia por parte de los desarrolladores que son conscientes de las capacidades técnicas de los equipos, poca supervisión y análisis antes y durante el proceso para resolver problemas y consultas sobre los estudios acompañado de las necesidades del usuario.
- Carencia de las políticas financieras que faciliten el uso de las tecnologías con recursos propios.

### **3.4 Conclusiones del Capítulo III**

- Se evaluó la incidencia del recurso energético solar en el sitio establecido, Cantón Quevedo – Sector 024, siendo la radiación solar difusa 2,15 kWh/m<sup>2</sup>día y la radiación solar global 4,21 kWh/m<sup>2</sup>día, valores promedio que demuestran la existencia del recurso y su aplicación.
- Se analizó los datos obtenidos en el informe que arroja el software PVsyst, tomando en cuenta las pérdidas, la producción energética es 3,54 kWh/día y el factor de rendimiento del sistema es del 76%.
- Considerando los datos de ahorro anual y el flujo de caja de acuerdo a los datos de costos se obtuvo la tasa interna de retorno con un -1%, así como los años de recuperación que son 28 años de payback.

#### 4. Conclusiones

- Se obtuvo el recurso energético en la zona de ubicación de estudio, encontrándose en la ciudad de Quevedo – Sector 024, el sitio geográfico (latitud 1°02'29'' S y longitud 79°31'40''W), con el fin de investigar el comportamiento de la radiación solar, siendo la radiación solar difusa 2,15 kWh/m<sup>2</sup>día y la radiación solar global 4,21 kWh/m<sup>2</sup>día, valores promedio que demuestran la existencia del recurso y su aplicación.
- Mediante los datos obtenidos de irradiancia a través del software PVGIS (202,18 W/m<sup>2</sup> en el mes de agosto y en 311,28 W/m<sup>2</sup> en el mes de abril) y la temperatura histórica se obtuvieron valores para la selección de la cantidad de módulos siendo 16 módulos de 325 kW y 1 inversor de 5 kW, resultados obtenidos mediante fórmulas matemáticas, así como también su comparación una vez ingresados al software PVsyst. Cabe recalcar que los datos de rendimiento se encuentran en 76% y una energía útil producida de 3,54 kWh/día.
- Al realizar el análisis financiero del proyecto se determinó que el payback llega al límite del tiempo de la vida útil del sistema siendo 25 años, de acuerdo a la Regulación Nro. ARCERNNR-001/2021. Además de encontrar la tasa interna de retorno y resultar con un -1%, estos proyectos se encuentran en un rango del 12% a 15% para considerarlos factibles, a su vez también se consideró el VAN siendo \$-10,580; por tanto, se determina que no es viable el proyecto además de los 28 años de payback, lo que quiere decir que consta de pérdidas.
- La micro-red fotovoltaica cubrirá el 99,1% de la demanda de los usuarios anualmente reduciendo de esta manera el consumo de la red en su gran mayoría; el 0,9% seguirá siendo energía consumida por la red, es decir, anualmente no habrá inyección a la red.
- Lo que asegura las instalaciones de los sistemas fotovoltaicos son el incremento de la competitividad entre proveedores que trabajen con este tipo de instalaciones, puesto que se reducirían los precios a futuro y las condiciones financieras podrían resultar favorables para realizar proyectos fotovoltaicos no solo a menor escala sino a gran escala y a su vez se presentarían condiciones favorables para los inversionistas.

- Los sistemas fotovoltaicos además de reducir las emisiones del efecto invernadero aportan a consumir una energía limpia, sin producir impacto ambiental reduciendo de esta manera la huella ecológica, la factibilidad de estos proyectos sería obtener ingresos a base de la venta de certificados de carbono.

## 5. Recomendaciones

- Para mejorar el rendimiento, de preferencia se requiere la selección de módulos policristalinos, puesto que se acoplan y adaptan a las variaciones ambientales, mismas que existen dentro de la ciudad de Quevedo, ya que dentro de la misma existen cambios y variaciones en las cuales la temperatura se eleva, y el sobrecalentamiento afecta a los paneles como criterio técnico en un mínimo porcentaje. Si se desea realizar instalaciones de sistemas fotovoltaicos en donde las temperaturas son bajas es preferible utilizar módulos monocristalinos.
- Dependiendo de la situación geográfica y ubicación se debe determinar el ángulo de inclinación y tomando en cuenta que corresponde a la latitud del lugar de estudio o de implementación. Las instalaciones fotovoltaicas por lo general en su entorno no deben contar con edificaciones cerca, puesto que dichas edificaciones generan sombra lo que daría como resultado pérdidas en la radiación.
- Necesarias la instalación de diferentes estaciones meteorológicas en el Ecuador con el fin de obtener datos climáticos que sean posible ser tomados como información para proyectos de energías renovables, de esta manera usar como referencia los sitios con menores recursos para asegurar la viabilidad del proyecto.
- La implementación y estudio de los sistemas fotovoltaicos en el Ecuador, requieren de incentivos dado que los proyectos realizados han sido en su mayoría a gran escala y a su vez para electrificar los sitios aislados, significando un mayor análisis en el marco regulatorio.
- Se conoce que el recurso solar fotovoltaico contiene grandes ventajas al ser una fuente de energía inagotable, no contaminante, produce energía limpia, es gratuita, etc. Por tanto, para el uso de estas tecnologías es necesario leer y obtener el conocimiento de las regulaciones que son destinadas para la utilización de energías alternativas, de esta manera poder incrementar su uso y aportar con investigaciones, producción e instalaciones de dichos sistemas no convencionales.

## 6. Bibliografía

- [1] J. Serván-Sócola, Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red., Piura, 2014.
- [2] S. P. Manríquez, Análisis técnico-económico para la implementación de microrredes eléctricas en Chile., Santiago de Chile, 2013.
- [3] V. M. C. G. R. Á. S. Mario Arturo González García, «Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica,» *Universidad Autónoma San Luis de Potosí*, 2019.
- [4] D. Ferris, « Innovate, The power of microgrids, Sierra Magazine,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.sierraclub.org/sierra/201307/innovate-microgrids.aspx>.
- [5] G. V. B. G. Ricardo David Buitrón Proaño, Elaboración de una normativa para el diseño y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos residenciales autónomos para el Ecuador., Quito, 2010.
- [6] A. Nacional, «Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica,» Quito, 2015.
- [7] MEER, «[www.energia.gob.ec](http://www.energia.gob.ec),» [En línea]. Available: <http://www.energia.gob.ec/electrificacion-rural-con-energias-renovables/>.
- [8] A. T. a. V. M. R. J. Bessa, «Spatial-Temporal Solar Power Forecasting for Smart Grids,» *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 1, n° 1, pp. 232-241, 2015.
- [9] D. C. D. V. A. Riofrio, «Propuesta de Modelo de Operación Aplicado a Micro Redes Fotovoltaicas en Generación Distribuida,» *Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, INER*, pp. 216-229, 2016.
- [10] F. B. Ríos, Análisis y selección de un sistema de energía renovable híbrido en la zona de Valencia utilizando el proceso analítico jerárquico (AHP), Valencia, España, 2017.
- [11] S. Pascual de Vega, Micro Redes y Redes Inteligentes, Valladolid, 2018.
- [12] A. S. Ciaddy Rodríguez- Borges, «Competitividad de los sistemas híbridos eólicos- fotovoltaicos para la electrificación rural,» vol. 18, n° 1, pp. 12-22, 2014.
- [13] D. H. M. M. R. H. B. C. R. Sánchez Reinoso, Desarrollo de un Modelo para estudio de Centrales Fotovoltaicas bajo Diferentes Configuraciones, 2009.
- [14] C. L. E.-C. J. d. I. C. Rafael Espinoza, Análisis de la evolución energética del

Perú: El papel de la electricidad fotovoltaica., Lima.

- [15] A. J. C. A. J. C. Isaías González, «Innovative Multi-Layered Architecture for Heterogeneous Automation and Monitoring Systems: Application Case of a Photovoltaic Smart Microgrid,» *Sustainability*, 2021.
- [16] S. D. Y. P. V. S. C. Maninder Kaur, «Techno-economic analysis of photovoltaic-biomass-based microgrid system for reliable rural electrification,» *Wiley*, 2020.
- [17] J. V. Fernández, Diseño de una instalación fotovoltaica de 10 kWp conectada a la red de baja tensión, Leganés, 2009.
- [18] E. V. R. E. J. R. J. S. David Vilar, CEDECAP: Desarrollando las capacidades en gestión de sistemas energéticos aislados en la zona andina., Cataluña.
- [19] C. L. E.-C. J. d. I. C. Rafael Espinoza, Análisis de la Evolución Energética del Perú: El papel de la electricidad fotovoltaica., Lima.
- [20] M. G. Díaz, «Diseño de una planta fotovoltaica con conexión a la red.,» Madrid, 2015.
- [21] H. X. C. R. E. S. J. L. E. D. R. O. A. P. G. D. V. O. Andrés E. Cabrera, «Modelación dinámica de la demanda y oferta de una micro-red eléctrica,» *Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca.*, 2014.
- [22] A. C. O. y. G. S. Herranz, «Instalaciones solares fotovoltaicas,» Madrid, 2011.
- [23] G. S. C. Fernando, Diseño de una Microrred basada en renovables para suministrar energía eléctrica para un área de conseción de la Empresa Eléctrica CNEL EP, 2017.
- [24] Á. G.-H. Pino, «Análisis y diseño de una instalación fotovoltaica de 20 kW en un edificio singular.,» Madrid, 2009.
- [25] L. Jarauta, «Las energías renovables,» Barcelona, 2014.
- [26] F. O. Diego Vaca-Revelo, «Mapa Solar del Ecuador 2019,» 2019.
- [27] «Cenitsolar,» [En línea]. Available: <http://www.cenitsolar.com>. [Último acceso: 12 Diciembre 2020].
- [28] L. Growatt New Energy Technology Co., *Growatt 10000UE/12000UE/18000UE/20000UE*, Shenzhen.
- [29] B. I. C. Cevallos, Diseño de una estación de transporte público utilizando tecnología fotovoltaica en el Campus Central de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, 2019.

- [30] G. S. C. Fernando, Diseño de una microred basada en renovables para suministrar energía eléctrica para un área de concesión de la empresa eléctrica CNEL EP, Valencia, 2017.
- [31] G. V. B. G. Ricardo David Buitrón Proaño, Elaboración de una normativa para el diseño y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos residenciales autónomos para el Ecuador., Quito, 2010.
- [32] E. Harper, Los conceptos básicos de generación, transmisión, transformación y distribución de energía eléctrica, México: Limusa, 2014.
- [33] D. H. A. M. Roberto Rodríguez Jijón, Diseño para la conversión a un sistema subterráneo de la red de distribución aérea de energía eléctrica en el sector del Campus Centenario de la Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2020.
- [34] D. A. F. Cordero, Remodelación de la Red de Distribución Eléctrica de Media Tensión para el Servicio de Urgencias del Hospital Dr. Fernando Escalante Pradilla, Tibás, 2016.
- [35] A. d. R. y. C. d. Electricidad, «Regulación Nro. ARCONEL - 003/18,» Quito, 2018.
- [36] A. d. R. y. C. d. E. y. R. N. Renovables, «Regulación Nro. ARCERNNR-001/2021,» Quito, 2021.
- [37] C. -. Data.org, «Climate - Data.org,» [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-los-rios/quevedo-2972/>.
- [38] S. PVGIS, «Photovoltaic Geographical Information System,» [En línea]. Available: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#PVP).
- [39] D. O. V. D. M. Pablo Mena Lasluisa, «Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico para el suministro de Energía Eléctrica en el nuevo campus de la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga,» Latacunga.
- [40] P. R. Martínez, Energía Solar Térmica- Técnicas para su aprovechamiento, Barcelona: Marcombo, 2010.
- [41] S. P. Manríquez, Análisis técnico-económico para la implementación de microredes eléctricas en Chile., Santiago de Chile, 2013.

## 7. Anexos

### ANEXO 1

### ESPECIFICACIONES DEL PANEL FOTOVOLTAICO ET-P672325WW/WB 325W

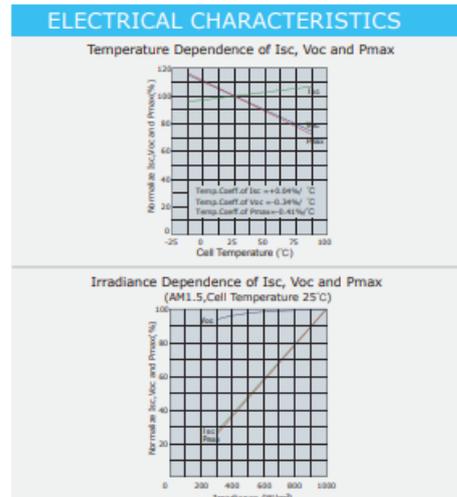
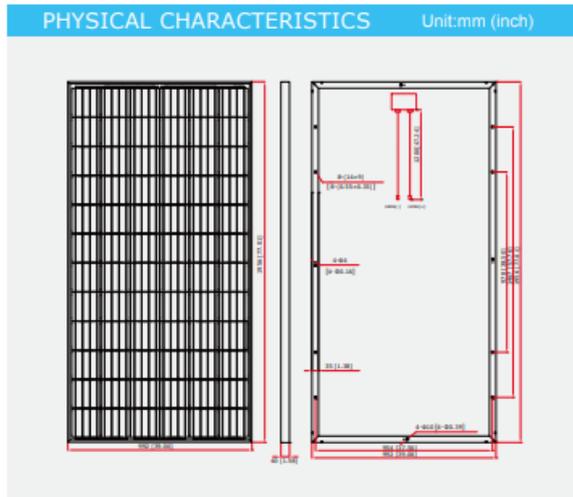
ELECTRICAL SPECIFICATIONS (STC)			
Model Type	ET-P672325WW ET-P672325WB	ET-P672320WW ET-P672320WB	ET-P672315WW ET-P672315WB
Peak Power (Pmax)	325W	320W	315W
Module Efficiency	16.75%	16.49%	16.23%
Maximum Power Voltage (Vmp)	37.28V	37.13V	36.81V
Maximum Power Current (Imp)	8.72A	8.62A	8.56A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.31V	45.94V	45.75V
Short Circuit Current (Isc)	9.28A	9.24A	9.12A
Power Tolerance	0 to +5W		
Operating Temperature	- 40 ~ + 85°C		
Maximum System Voltage	DC 1000V		
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C		
Fire Safety	Class C		
Maximum Series Fuse Rating	20A		

ELECTRICAL SPECIFICATIONS (NOCT)			
Model Type	ET-P672325WW ET-P672325WB	ET-P672320WW ET-P672320WB	ET-P672315WW ET-P672315WB
Peak Power (Pmax)	240W	237.3W	232.3W
Maximum Power Voltage (Vmp)	34.4V	34.1V	33.9V
Maximum Power Current (Imp)	6.98A	6.97A	6.85A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.8V	42.5V	42.3V
Short Circuit Current (Isc)	7.48A	7.45A	7.35A

MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Cell Type	156.75 mm x 156.75 mm
Number of Cells	72 cells in series
Weight	25.7 kg (56.66 lbs)
Dimension	1956×992×40mm (77.01×39.06×1.58 inch)
Max Load	5400 Pascals ( 112 lb/ft <sup>2</sup> )
Junction Box	≥IP67 rated
Connector	MC4 Compatible
Output cable	PV 1-F 4mm <sup>2</sup>

TEMPERATURE COEFFICIENT	
Temp. Coeff. of Isc (TK Isc)	0.04% /°C
Temp. Coeff. of Voc (TK Voc)	-0.34% /°C
Temp. Coeff. of Pmax (TK Pmax)	-0.41% /°C

PACKING MANNER	
Container	40' HQ
Pieces per Pallet	26
Pieces per Container	572



## ANEXO 2

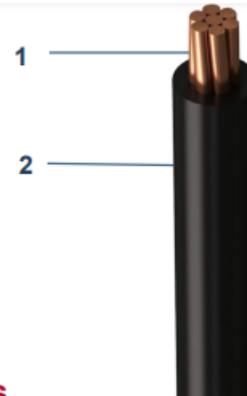
### ESPECIFICACIONES DEL INVERSOR GROWATT 5000 UE

	Growatt 4000 TL3	Growatt 5000 TL3	Growatt 6000 TL3
<b>Input Data</b>			
Max. DC power	4200W	5200W	6300W
Max DC voltage	800V	800V	800V
Start Voltage	150V	150V	150V
PV voltage range	140V - 800V	140V - 800V	140V - 800V
MPP voltage range / DC nominal voltage	200V - 800V / 580V	200V - 800V / 580V	200V - 800V / 580V
Full load voltage range	250V - 750V	250V - 750V	250V - 750V
Number of independent MPP trackers/strings per MPP tracker	2/1	2/1	2/1
Max. input current	9A / 9A	9A / 9A	10A / 10A
Max. input current per string	16A	16A	16A
<b>Output (AC)</b>			
Rated AC output power	4000W	5000W	6000W
Max. AC power	4000VA	5000VA	6000VA
Max. output current	6.4A	7.9A	9.3A
Max. short-circuit current	20A	20A	20A
AC voltage range; range	3/N/PE, 230V/400V 185 - 260V	3/N/PE, 230V/400V 185 - 260V	3/N/PE, 230V/400V 185 - 260V
AC grid frequency; range	50/60Hz; 44-55Hz/54-65Hz	50/60Hz; 44-55Hz/54-65Hz	50/60Hz; 44-55Hz/54-65Hz
Power factor at rated power	1	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 leading -0.8laging	0.8 leading -0.8laging	0.8 leading -0.8laging
THDI	<3%	<3%	<3%
AC connection	Three phase	Three phase	Three phase
<b>Efficiency</b>			
Max. efficiency	97.9%	97.9%	97.9%
Euro - eta	96.5%	96.6%	96.8%
MPPT efficiency	99.5%	99.5%	99.5%
<b>Protection Devices</b>			
DC reverse polarity protection	yes	yes	yes
DC switch for each MPPT	yes	yes	yes
Output AC overcurrent protection	yes	yes	yes
Output AC overvoltage Protection - Varistor	yes	yes	yes
Ground fault monitoring	yes	yes	yes
Grid monitoring	yes	yes	yes
Integrated all-pole sensitive leakage current monitoring unit	yes	yes	yes
<b>General Data</b>			
Dimensions (W / H / D) in mm	560/433/200	560/433/200	560/433/200
Weight	30KG	35KG	35KG
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Noise emission (typical)	≤ 35 dB(A)	≤ 35 dB(A)	≤ 35 dB(A)
Self-consumption night	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W
Topology	Transformerless	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	Natural	Natural	Natural
Environmental Protection Rating	IP 65	IP 65	IP 65
Altitude	2000m without derating	2000m without derating	2000m without derating
Relative Humidity	0-95%	0-95%	0-95%
<b>Features</b>			
DC connection	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)
AC connection	Screw terminal	Screw terminal	Screw terminal
Display	LCD	LCD	LCD
Interfaces: RS232/R485/Bluetooth/RF/Wi-Fi	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt
Warranty:5 years / 10 years	yes / opt	yes / opt	yes / opt

## ANEXO 3

### CABLE FOTOVOLTAICO

- **1 CONDUCTOR / Conductor**  
Cobre suave cableado / *stranded soft copper*
- **2 AISLAMIENTO / Insulation**  
Elastómero Termoplástico libre de halógenos (HF), retardante a la llama (FR), y de baja emisión de humos (LS) / *Thermoplastic Elastomer Halogen Free (HF), Flame Retardant (FR), and Low Smoke emission (LS)*



### Características de construcción y dimensiones *Construction characteristics and dimensions*

Código+ Code	Calibre Size	Construcción Construction		Espesor de aislamiento Insulation Thickness	Diámetro exterior External Diameter	Masa total Total Weight	Capacidad de corriente (A) Ampacity		Máxima Tensión de Halado++ Max. Pulling Tension	Resistencia DC del conductor a 20°C Nominal DC Resistance at 20°C
		N° hilos / Strands					75°C*	Sug. RETIE y NTC 2050**		
	AWG / Kcmil	Min (SIW)	Nominal	mm	mm	kg/km			kgf	Ω/km
31352601001	14	6	7	0.76	3.33	28.6	20	15	15	8.46
31352610101	12	6	7	0.76	3.93	42.3	25	20	23	5.31
31352610201	10	6	7	0.76	4.53	62.6	35	30	37	3.34
31352610301	8	6	7	1.14	5.96	104	50	40	59	2.10
31352610401	6	6	7	1.52	7.69	168	65	55	93	1.32
31352610501	4	6	7	1.52	8.87	241	85	70	148	0.832
31352610601	2	6	7	1.52	10.36	377	115	95	236	0.523
31352610801	1/0	7	19	2.03	13.1	595	150	150	374	0.329
31352610901	2/0	12	19	2.03	14.19	733	175	175	472	0.261
31352611101	4/0	17	19	2.03	16.81	1123	230	230	750	0.164
31352611201	250	18	37	2.41	19.14	1362	255	255	887	0.139
31352611401	350	24	37	2.41	21.73	1845	310	310	1241	0.0992
31352611601	500	30	37	2.41	25.01	2580	380	380	1773	0.0694
31352612001	3X12	6	7	0.76	8.47	127	25	20	69	5.31

## ANEXO 4

### FUSIBLE PARA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA



#### CARACTERÍSTICAS

<b>Forma</b>	de cartucho
<b>Tipo</b>	retardado, de protección contra cortocircuitos
<b>Clase</b>	clase gPV
<b>Aplicaciones</b>	para aplicaciones fotovoltaicas
<b>Amperio</b>	Mín.: 1 A Máx.: 30 A
<b>VDC</b>	1.000 V

#### DESCRIPCIÓN

Descripción ASO 10.3x38

Descripción

Cumple con las nuevas normas fotovoltaicas UL y IEC

Reconocido por UL para 1000 VDC

Alta capacidad de ruptura de 20 kA a 1000 VDC

Un índice de interrupción mínimo de 1,35 x In

Cumple con los requisitos de la IEC 61730-2 para la seguridad de los módulos fotovoltaicos

**ANEXO 5**

**FACTORES DE INTERES COMPUESTO**

<b>TABLA A-14</b>							
<b>Factores de Interés Compuesto 7%</b>							
n	Pago Único		Serie Uniforme				n
	Factor de Valor Futuro F/P	Factor de Valor Presente P/F	Factor de Fondo Acumulativo A/F	Factor de Recuperación de Capital A/P	Factor de Valor Futuro F/A	Factor de Valor Presente P/A	
1	1.0700	0.9346	1.00000	1.03000	1.000	0.935	1
2	1.1449	0.8734	0.48309	0.55309	2.070	1.808	2
3	1.2250	0.8163	0.31105	0.38105	3.215	2.624	3
4	1.3108	0.7629	0.22523	0.29523	4.404	3.387	4
5	1.4026	0.7130	0.17329	0.24389	5.751	4.100	5
6	1.5007	0.6663	0.13980	0.20980	7.153	4.767	6
7	1.6058	0.6227	0.11555	0.18555	8.654	5.389	7
8	1.7182	0.5820	0.09747	0.16747	10.260	5.971	8
9	1.8335	0.5439	0.06349	0.15349	11.978	6.515	9
10	1.9672	0.5083	0.07233	0.14238	13.816	7.024	10
11	2.1049	0.4751	0.06336	0.13336	15.784	7.499	11
12	2.2522	0.4440	0.05590	0.12590	17.888	7.943	12
13	2.4095	0.4150	0.04955	0.11965	20.141	8.358	13
14	2.5785	0.3878	0.04434	0.11434	22.350	8.745	14
15	2.7590	0.3624	0.03979	0.10979	25.129	9.108	15
16	2.9522	0.3387	0.03586	0.10586	27.888	9.447	16
17	3.1588	0.3156	0.03243	0.10243	30.843	9.763	17
18	3.3299	0.2959	0.02941	0.09941	33.999	10.059	18
19	3.6165	0.2765	0.02675	0.09675	37.379	10.356	19
20	3.8697	0.2584	0.02439	0.09439	40.995	10.594	20
21	4.1460	0.2415	0.02229	0.09229	44.865	10.836	21
22	4.4304	0.2257	0.02041	0.09041	49.006	11.061	22
23	4.7405	0.2109	0.01871	0.08871	53.436	11.272	23
24	5.0724	0.1972	0.01719	0.08719	58.177	11.136	24
25	5.4274	0.1942	0.01581	0.08581	63.249	11.654	25