

Pregrado

Carrera:

Electricidad

Asignatura(UIC):

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título en: Tecnólogo Superior en Electricidad

Tema:

**MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA MICRORRED
FOTOVOLTAICA HÍBRIDA CONECTADA A RED PARA
ANÁLISIS CUASI DINÁMICOS EN SERIES
TEMPORALES: CASO DE ESTUDIO MICRORRED
FOTOVOLTAICA DEL ISTER**

Autor: Arias Asimbaya Jhon Sebastian

Tutor metodológico: Andagoya Alba Luis Daniel.

Tutor Técnico: Johanna Cristina Jara Bustillos

Sangolquí, marzo del 2025





Autor: Arias Asimbaya Jhon Sebastian

Título a obtener: tecnólogo superior en Electricidad

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: ariassebastian2003@gmail.com



Dirigido por: Andagoya Alba Luis Daniel

Título: Master en Integración de las Energías Renovables en el Sistema Eléctrico/ Ingeniero Eléctrico.

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: luis.andagoya@ister.edu.ec



Dirigido por: Johanna Cristina Jara Bustillos

Título: Magister en Gestión de Sistemas de Información e Inteligencia de Negocios / Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones.

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: johanna.jara@ister.edu.ec

Todos los derechos

Reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libredifusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

©2024 Tecnológico Universitario

Rumiñahui SANGOLQUÍ – ECUADOR

Arias Asimbaya Jhon Sebastian.

MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA MICRORRED FOTOVOLTAICA HÍBRIDA
CONECTADA A RED PARA ANÁLISIS CUASI DINÁMICOS EN SERIES
TEMPORALES: CASO DE ESTUDIO MICRORRED FOTOVOLTAICA DEL ISTER.



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-2-2.2

Sangolquí, 15 de marzo del 2025

**MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA**

**MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN**

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO**

Presente

Por medio de la presente, yo, **JHON SEBASTIAN ARIAS ASIMABAYA** declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado **MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA MICRORRED FOTOVOLTAICA HÍBRIDA CONECTADA A RED PARA ANÁLISIS CUASI DINÁMICOS EN SERIES TEMPORALES: CASO DE ESTUDIO MICRORRED FOTOVOLTAICA DEL ISTER**, de la Tecnología Superior en **ELECTRICIDAD**; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,

Jhon Sebastian Arias Asimbaya
C.I.: 1725923971

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero
Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628
 www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

FORMULARIO PARA ENTREGA DE PROYECTOS EN BIBLIOTECA INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

CT-ANX-2025-ISTER-3

CARRERA:

TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTRICIDAD

AUTOR:

JHON SEBASTIAN ARIAS ASIMBAYA

TUTOR (METODOLÓGICO Y ACADÉMICO):

ANDAGOYA ALBA LUIS DANIEL

CONTACTO ESTUDIANTE:

0980170426

CORREO ELECTRÓNICO:

ariassebastian2003@gmail.com

TEMA:

MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA MICRORRED FOTOVOLTAICA HÍBRIDA
CONECTADA A RED PARA ANÁLISIS CUASI DINÁMICOS EN SERIES
TEMPORALES: CASO DE ESTUDIO MICRORRED FOTOVOLTAICA DEL ISTER

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACION

RESUMEN EN ESPAÑOL:

La falta de un modelo que permita la simulación del comportamiento de una microrred fotovoltaica híbrida ha llevado a la necesidad del diseño de un modelo haciendo uso de OpenDSS por lo cual el presente proyecto detalla el proceso de modelado de una microrred fotovoltaica, esta microrred se encuentra conectada a la red eléctrica pública a fin de optimizar el uso de energía renovable y fortalecer la sostenibilidad energética del instituto. El modelo se desarrolló en OpenDSS, un software de simulación especializado en el análisis de sistemas eléctricos, la creación del modelo implicó la recopilación de datos clave, como las características de los componentes del sistema y el consumo energético del área que la microrred abastece, con dicha información se procedió a la elaboración del código del modelo en OpenDSS.

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

 www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec



Una vez finalizado el código se realizaron simulaciones del funcionamiento del sistema bajo diversas condiciones operativas, estas simulaciones consideraron factores como la variabilidad de la radiación solar, la demanda energética del instituto y las especificaciones de los componentes del sistema, incluyendo inversores y baterías, finalmente el análisis de los datos obtenidos de las simulaciones tiene como objetivo identificar posibles problemas que puedan afectar el rendimiento del sistema.

En conclusión el modelo del sistema es de gran importancia puesto que permite identificar puntos de mejora en la microrred, de igual manera da paso a la recolección de datos referentes al comportamiento de esta bajo diversas condiciones lo cual garantiza el cuidado de la red al no ser expuesta a dichas condiciones de forma directa.

PALABRAS CLAVE: microrred fotovoltaica, OpenDSS, simulación, modelo, red eléctrica.

ABSTRACT:

The lack of a model that allows the simulation of the behavior of a hybrid photovoltaic microgrid has led to the need for the design of a model using OpenDSS, so this project details the modeling process of a photovoltaic microgrid, this microgrid is connected to the public power grid to optimize the use of renewable energy and strengthen the energy sustainability of the institute.

The model was developed in OpenDSS, a simulation software specialized in the analysis of electrical systems. The creation of the model involved the collection of key data, such as the characteristics of the system components and the energy consumption of the area that the microgrid supplies.

Once the code was finalized, simulations of the system performance under various operating conditions were performed, these simulations considered factors such as the variability of solar radiation, the energy demand of the institute and the specifications of the system components, including inverters and batteries, finally the analysis of the data obtained from the simulations aims to identify potential problems that may affect the performance of the system.

In conclusion, the system model is of great importance since it allows identifying points of improvement in the microgrid, in the same way it gives way to the collection of data regarding the behavior of this under various conditions which guarantees the care of the network by not being exposed to such conditions directly.

PALABRAS CLAVE: photovoltaic microgrid, OpenDSS, simulation, model, electric grid.

Firma del Estudiante (AUTOR)
Jhon Sebastian Arias Asimbaya
C.I.: 1725923971

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero
Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628
f i t w www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec



SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-4

Sangolquí, 15 de marzo del 2025

Sres.-

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

Yo **JHON SEBASTIAN ARIAS ASIMBAYA** con C.I.: **1725923971** alumno de la Carrera **TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTRICIDAD**, cedo al INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO, los derechos de publicaciones del presente trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional para hacer uso de todos los contenidos con fines estrictamente académico o de investigación.

Atentamente,

Firma del Estudiante
Jhon Sebastian Arias Asimbaya
C.I.: 1725923971

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a todos aquellos quienes con su amor, confianza y apoyo incondicional han constituido el pilar principal en mi vida tanto académica como personal

A mis padres quienes me han dado las herramientas para convertirme en un hombre de bien, gracias a su infinito apoyo, guía y confianza he logrado una meta más en mi vida.

Arias Asimbaya Jhon Sebastian.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han acompañado y apoyado este viaje académico. En primer lugar, agradezco a Dios por guiar mi camino y otorgarme la gracia, fortaleza y sabiduría necesarias para concluir esta nueva etapa de mi vida, a mi familia, cuyo amor y apoyo incondicional me brindaron la fortaleza necesaria para enfrentar los retos que se presentaron en el camino, a mis maestros y compañeros con quienes compartí momentos buenos y malos y a través de su apoyo hicieron de este camino una experiencia más amena.

Arias Asimbaya Jhon Sebastian.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	16
CAPITULO I.....	17
INTRODUCCIÓN.....	17
2. Planteamiento del Problema.....	18
3. Justificación.....	19
4. Alcance.....	19
5. Objetivos General y Específicos	20
CAPITULO II	21
MARCO TEÓRICO	21
1. Microrredes Fotovoltaicas Híbridas	21
1.1 Definición.....	21
1.2 Topologías de Microrredes.....	21
1.3 Modos de Operación	22
1.4 Componentes	23
1.5 Ventajas y desafíos.....	25
1.6 Aplicaciones	25
2. Modelado de Microrredes	26
2.1 ¿Qué es?	26
2.2 Herramientas de simulación	26
3. Análisis Cuasi Dinámico en Series Temporales	27
3.1 Concepto.....	27
3.2 Series temporales.....	27
3.3 Técnicas de análisis.....	28
CAPITULO III	31
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	31
1. Cálculos.....	31
1.1 Dimensionamiento del sistema Fotovoltaico	31
1.2 Cálculo de la pérdida energética total del sistema	32
1.3 Carga máxima del sistema.....	33
1.4 Energía solar disponible y cálculo de número de paneles.....	33
1.5 Dimensionamiento del sistema de acumulación	34
1.6 Dimensionamiento del sistema de regulación.....	35
1.7 Dimensionamiento del sistema de inversión	35
2. Modelo en OpenDSS.....	36

2.1	Parte 1: Modelado de Red general del Instituto Universitario Rumiñahui	36
2.1.1	Equivalente de Red.....	36
2.1.2	Transformador de distribución	37
2.1.3	Códigos de líneas y conexiones del sistema.....	37
2.1.4	Perfiles de cargas.....	39
	Parte 2: Modelado de Microred Fotovoltaica Instituto Universitario Rumiñahui.....	40
2.2	Sistema Fotovoltaico	40
2.2.1	Perfiles de Temperatura e Irradiación	41
2.2.1.1	Perfil de Temperatura Diaria.....	41
2.2.1.2	Perfil de Irradiación Diaria.....	42
2.2.2	Curvas de corrección de temperatura y eficiencia del inversor	43
2.3	Sistema de Almacenamiento	43
2.4	Configuración de Simulación.....	44
2.5	Medición y Monitoreo.....	44
3.	Funcionamiento del sistema modelado en Open DSS	46
	CAPITULO IV	50
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
1.	Simulaciones	50
1.1	Escenario 1 condiciones normales	50
1.1.2	Comportamiento Banco de baterías	52
1.1.3	Análisis del flujo de potencia y comportamiento del voltaje en la línea de interconexión entre el punto de conexión E (PCC) y la red eléctrica a través del transformador	53
1.1.4	Análisis del Flujo de potencia y comportamiento del voltaje desde el sistema FV (bus H)	
1.2	Escenario 2 Sistema FV deshabilitado	58
1.2.2	Análisis del flujo de potencia y comportamiento del voltaje en la línea de interconexión entre el punto de conexión E (PCC) y la red eléctrica a través del transformador	59
1.2.3	Análisis del Flujo de potencia y comportamiento del voltaje desde el sistema FV (bus H)	
1.3	Escenario 3 Sistema FV generación mínima.....	63
1.3.2	Análisis del flujo de potencia y comportamiento del voltaje en la línea de interconexión entre el punto de conexión E (PCC) y la red eléctrica a través del transformador	65
1.3.3	Análisis del Flujo de potencia y comportamiento del voltaje desde el sistema FV (bus H)	

1.4	Escenario 4 Sistema FV generación máxima	69
1.4.2	Análisis del flujo de potencia y comportamiento del voltaje en la línea de interconexión entre el punto de conexión E (PCC) y la red eléctrica a través del transformador	71
1.4.3	Análisis del Flujo de potencia y comportamiento del voltaje desde el sistema FV (bus H)	76
CAPITULO V		76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		76
1	Conclusiones	76
2.	Recomendaciones.....	77
BIBLIOGRAFIA		78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos de generación de la Microred FV condiciones normales.....	51
Tabla 2 Datos mediciones línea 3 E (PCC).....	54
Tabla 3 Datos mediciones línea 4 error de medición de -0.0285 kW	57
Tabla 4 Datos mediciones línea 3 E (PCC).....	60
Tabla 5 Datos mediciones línea 4 error de medición de -0.0285 kW	62
Tabla 6 Datos de generación de la Microred FV máximo nivel de irradiación	64
Tabla 7 Datos mediciones línea 3 E (PCC).....	66
Tabla 8 Datos mediciones línea 4 error de medición de 0.0285 kW	68
Tabla 9 Datos de generación de la Microred FV máximo nivel de irradiación	70
Tabla 10 Datos mediciones línea 3 E (PCC).....	72
Tabla 11 Datos mediciones línea 4 error de medición de 0.0285 kW	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de topología de red.....	22
Figura 2 Instalación Fotovoltaica conectada a la red	22
Figura 3 Microrred fotovoltaica aislada	23
Figura 4 Sistema fotovoltaico tipo isla.....	23
Figura 5 Implementación de microrredes fotovoltaicas en áreas rurales, caso de Cangahual .	25
Figura 6 Simulación y diseño Simulink – MATLAB	26
Figura 7 Modelado de cables y líneas de transmisión con PSCAD/EMTDC	27
Figura 8 Diseño y simulación con DIgSILENT PowerFactory	27
Figura 9 Series temporales	28
Figura 10 Descomposición de series temporales en subseries	29
Figura 11 Aplicación de modelo ARIMA.....	29
Figura 12 Aplicación de Modelos de descomposición de Holt- Winters.....	30
Figura 13 Tabla de consumo energético	32
Figura 14 Diagrama unifilar del Sistema	36
Figura 15Fuente de alimentación	36
Figura 16 Transformador de distribución.....	37
Figura 17 líneas eléctricas	37
Figura 18 Líneas de aluminio.....	38
Figura 19 Líneas de cobre	38
Figura 20 Conexiones de línea	38
Figura 21 Cargas del sistema	39
Figura 22 Perfil de carga	39
Figura 23 Sistema fotovoltaico	40
Figura 24 Perfil de temperatura.....	41
Figura 25 Perfil de temperatura.....	41
Figura 26 Perfil de irradiación	42
Figura 27 Perfil de irradiación diaria	42
Figura 28 Curvas	43
Figura 29 Sistema del almacenamiento.....	43
Figura 30 Configuración de simulación	44
Figura 31 Medición y monitoreo.....	44
Figura 32 Exportadores y graficadores	45
Figura 33 Código completo OpenDSS.....	48

Figura 34 Grafica Generación Microred FV	50
Figura 35 Cargas FV	52
Figura 36 Grafica Carga/Descarga banco de baterías	52
Figura 37 Grafica Línea 3 PQ	53
Figura 38 Cargas CEPROBYS.....	53
Figura 39 Grafica Línea 3 V	55
Figura 40 Grafica Línea 4 PQ	56
Figura 41 Grafica Línea 4 V	58
Figura 42 Grafica sistema FV deshabilitado	58
Figura 43 Trasformar más sistema	59
Figura 44 Transformador sin sistema.....	59
Figura 45 Grafica Línea 3 PQ sistema FV deshabilitado.....	59
Figura 46 Grafica Línea 3 V sistema FV deshabilitado	61
Figura 47 Grafica Línea 4 PQ sistema FV deshabilitado.....	62
Figura 48 Grafica Línea 3 V sistema FV deshabilitado	63
Figura 49 Grafica Generación Microred FV	63
Figura 50 Grafica Línea 3 PQ sistema FV baja irradiación	65
Figura 51 Grafica Línea 3 V sistema FV baja irradiación	67
Figura 52 Grafica Línea 4 PQ sistema FV deshabilitado.....	67
Figura 53 Grafica Línea 4 voltaje sistema FV baja irradiación	69
Figura 54 Grafica de generación Microred FV máxima irradiación	70
Figura 55 Grafica línea 3 PQ máxima irradiación Simulación 4	71
Figura 56 Grafica línea 3 V máxima irradiación.....	73
Figura 57 Grafica línea 4 PQ máxima irradiación	73
Figura 58 Grafica línea 4 V máxima irradiación.....	75

RESUMEN

La falta de un modelo que permita la simulación del comportamiento de una microrred fotovoltaica híbrida ha llevado a la necesidad del diseño de un modelo haciendo uso de OpenDSS por lo cual el presente proyecto detalla el proceso de modelado de una microrred fotovoltaica, esta microrred se encuentra conectada a la red eléctrica pública a fin de optimizar el uso de energía renovable y fortalecer la sostenibilidad energética del instituto. El modelo se desarrolló en OpenDSS, un software de simulación especializado en el análisis de sistemas eléctricos, la creación del modelo implicó la recopilación de datos clave, como las características de los componentes del sistema y el consumo energético del área que la microrred abastece, con dicha información se procedió a la elaboración del código del modelo en OpenDSS.

Una vez finalizado el código se realizaron simulaciones del funcionamiento del sistema bajo diversas condiciones operativas, estas simulaciones consideraron factores como la variabilidad de la radiación solar, la demanda energética del instituto y las especificaciones de los componentes del sistema, incluyendo inversores y baterías, finalmente el análisis de los datos obtenidos de las simulaciones tiene como objetivo identificar posibles problemas que puedan afectar el rendimiento del sistema.

En conclusión, el modelo del sistema es de gran importancia puesto que permite identificar puntos de mejora en la microrred, de igual manera da paso a la recolección de datos referentes al comportamiento de esta bajo diversas condiciones lo cual garantiza el cuidado de la red al no ser expuesta a dichas condiciones de forma directa.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Como es sabido la demanda energética a nivel mundial es creciente, a pesar de que “se calcula que alrededor de 1.200 millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a la electricidad en sus hogares” (Encilopedia de Energia, 2024) lo cual ha generado serios problemas en “cuestiones como la seguridad, el cambio climático, la producción de alimentos y el fortalecimiento de las economías” (Encilopedia de Energia, 2024) es decir se frena el desarrollo, esto sumado al constante cambio en las condiciones climáticas causantes de sequias prolongadas o lluvias sin precedentes ha incrementado la preocupación por garantizar el acceso a la energía, lo cual a su vez ha llevado a la búsqueda de alternativas de generación eléctrica, las microrredes fotovoltaicas hibridas han surgido como una alternativa viable puesto que se trata de la “configuración de un Sistema Hibrido Solar/Batería/Diesel” (Vera, Gonzales, Caceres, Firman, & Busso, 2022) es decir combina diferentes fuentes energéticas.

Sin embargo, ante el desconocimiento del comportamiento de dichas microrredes surge la necesidad del modelado y la simulación de estas para evaluar su desempeño bajo diferentes condiciones de operación, por otro lado, a través de simulaciones detalladas, es posible analizar la interacción entre los diversos componentes de la microrred, tales como los paneles fotovoltaicos, inversores, baterías y cargas, también es posible la evaluación de estrategias de control y la optimización de la gestión de la energía a fin de maximizar la eficiencia y la confiabilidad del sistema.

Otro aspecto de gran importancia es el análisis cuasi dinámico, término que hace referencia a “una técnica utilizada en ingeniería y física para estudiar sistemas que cambian lentamente con respecto al tiempo, permitiendo suponer que están en equilibrio en cada instante “ (StudySmarter, s.f.), es decir permite estudiar los cambios que surgen en una microrred durante un intervalo de tiempo determinado, también es posible determinar variaciones en la generación, demanda y condiciones de la red, lo cual es crucial para garantizar la estabilidad y la calidad de la energía suministrada.

Las herramientas utilizadas para llevar a cabo dicho modelado, simulación, monitorización y análisis son variadas, entre los programas mayormente empleados para llevar a cabo dichas tareas podemos encontrar: MATLAB/Simulink es una plataforma de simulación que posee librerías especializadas para sistemas de potencia, PSCAD/EMTDC es Software enfocado

en simulación de sistemas electromagnéticos y de potencia, permite “construir, simular y modelar sus sistemas con facilidad, lo que brinda posibilidades ilimitadas en la simulación de sistemas de energía” (Manitoba, 2024), otro programa utilizado es DIgSILENT PowerFactory un Software comercial empleado para el análisis de sistemas de potencia y finalmente HOMER un Software especializado en la optimización de sistemas híbridos de energía.

Se puede emplear un programa en específico o varios a fin de obtener modelados, simulaciones y análisis que arrojen datos más precisos, sin embargo, también depende de los requerimientos específicos del usuario y en gran medida el conocimiento y familiaridad con determinados programas, si se desea emplear un programa nuevo es indispensable capacitarse para un correcto uso de los recursos y utilidades ofrecidas por el programa seleccionado.

2. Planteamiento del Problema

La variación en las condiciones climáticas y la necesidad de garantizar el acceso a la energía como medio de desarrollo y generación de condiciones de vida digna, ha generado el incremento en el interés y búsqueda de nuevas fuentes de generación eléctrica.

Dentro de este contexto surge como una alternativa el uso de microrredes fotovoltaicas híbridas puesto que suponen una opción con gran viabilidad dada su capacidad de combinación de fuentes de generación eléctrica y conexión a la red eléctrica pública.

Sin embargo, previo a la implementación de dicha alternativa es necesario el modelado y simulación del sistema dado los posibles cambios en el funcionamiento en función a determinadas variables, para la realización del modelado es necesario tener conocimiento de todos los elementos que componen el sistemas tales como: las fuentes de energía a emplear es decir los paneles fotovoltaicos de los cuales en necesario considerar la irradiación solar, temperatura y características del panel, baterías mediante las cuales se representan el estado de carga, eficiencia y respuesta dinámica, modelo de las cargas a fin de representar la demanda de energía eléctrica, considerando patrones de consumo y variaciones en función de la estación a pesar de que en Ecuador se debe considerar solo 2 variables el verano o estación seca y el invierno o estación húmeda.

Durante la simulación es necesario exponer al sistema a todo tipo de condiciones e imprevistos que puedan surgir a fin de conocer su comportamiento bajo dichas variables, además se debe analizar los flujos de potencia, estabilidad de la microrred ante perturbaciones y cambios en las condiciones de funcionamiento, calidad de la energía es decir la tensión y frecuencia de la energía generada por la microrred, es importante también

analizar y generar posibles estrategias de control para maximizar la eficiencia y la autonomía de la microrred y finalmente los costos de inversión y operación es decir el capital necesario, tras realizar dicho análisis será posible determinar si es o no viable la implementación de esta microrred fotovoltaica híbrida.

3. Justificación

El modelado y simulación de una microrred fotovoltaica híbrida conectada a red para análisis cuasi dinámicos en series temporales son fundamentales para integrar de manera efectiva las fuentes renovables variables en las redes eléctricas, además la optimización del diseño y operación dan apertura a la evaluación de diferentes configuraciones de la microrred identificando cuellos de botella y posibles imperfectos.

Adicionalmente al analizar la estabilidad y resiliencia de la microrred garantizamos la fiabilidad y continuidad del suministro eléctrico sin importar condiciones externas o perturbaciones en la red, finalmente es un parámetro decisivo al momento de determinar si la relación costos beneficios es o no favorable puesto que facilita la comparación de escenarios y condiciones diversas.

El ISTER cuenta con sistemas fotovoltaicos como alternativa al uso de energía provista por fuentes convencionales, actualmente y dado el contexto general del país y dada la inexistencia de un método para la predicción del comportamiento de microrredes fotovoltaicas híbridas bajo diversas condiciones y perturbaciones en sus condiciones de funcionamiento, se ha visto la necesidad de la implementación del modelado de dicha microrred, para lo cual se hará uso de Open DSS sistema útil para el modelado de redes.

4. Alcance

Este proyecto enfocado en el modelado detallado y la simulación de la microrred fotovoltaica del Instituto Tecnológico Superior Rumiñahui (ISTER) utilizando la herramienta de software OpenDSS abarcará las siguientes tareas:

- Recopilación de datos: se recolectará datos reales referentes a generación fotovoltaica, demanda, características de los equipos y condiciones de la red.
- Modelado en OpenDSS: haciendo uso de este programa se desarrollará un modelo detallado de la microrred, incorporando todos los componentes relevantes con sus parámetros correspondientes.
- Simulaciones: se realizarán simulaciones a fin de analizar el comportamiento de la microrred en diferentes escenarios, exponiéndolo a variaciones en la irradiación solar, demanda y fallas en los equipos.

- **Análisis de resultados:** tras obtener los datos necesarios se procederá a analizarlos para evaluar la estabilidad, calidad de la energía y la eficiencia de la microrred y a su vez se identificarán los puntos débiles del sistema lo cual permitirá la implementación de mejoras.

5. Objetivos General y Específicos

Objetivo general: Desarrollar un modelado y simulación de una microrred fotovoltaica híbrida conectada a red haciendo uso de programas especializados para este fin, para análisis cuasi dinámicos en series temporales, considerando los aspectos de radiación, temperatura y eficiencia de componentes.

Objetivos específicos:

- Realizar la revisión bibliográfica.
- Realizar el levantamiento de información.
- Realizar el modelado de red híbrida en OPEN DSS para simulaciones cuasi dinámicas en series temporales.
- Evaluar el comportamiento de la microrred ante diferentes condiciones de operación y perturbaciones en intervalos de tiempo determinados

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

1. Microrredes Fotovoltaicas Híbridas

1.1 Definición

Para abordar este tema es necesario conocer que es una microrred fotovoltaica y una microrred híbrida, pues bien, una microrred fotovoltaica es un sistema que “captura de energía solar a través de paneles fotovoltaicos, transformando la luz solar en electricidad de manera sostenible y renovable” (GEOS, 2024) es decir se genera electricidad a través de la energía eléctrica, por otro lado una microrred híbrida es un “sistema de energía localizada que puede funcionar de forma independiente o en conjunto con la red eléctrica principal” (DOWELLESS, 2024), pues bien una microrred fotovoltaica híbrida podría definirse como un sistema de energía localizada que combina la red eléctrica convencional con la producción de energía a través de la transformación de energía solar para garantizar el flujo eléctrico y continuidad del servicio.

1.2 Topologías de Microrredes

Las microrredes presentan diferencias con respecto a las redes eléctricas tradicionales principalmente en su tamaño, existen tres tipos de microrredes los cuales son:

- **Microrredes AC:** en este tipo de microrredes todos los componentes operan en corriente alterna.
- **Microrredes DC:** los componentes operan en corriente continua lo cual ofrece mayor eficiencia sin embargo está limitada por “la falta de estándares establecidos en comparación con las redes AC y la necesidad de inversores o convertidores especiales para conectar dispositivos que requieran corriente alterna” (Yepes, Sosapanta, Saldarriaga, & Zuluaga, 2024) por lo cual no son tan convenientes.
- **Microrredes híbridas AC/DC:** Combinan ambas topologías, toma las características tanto de microrredes AC como DC.

También se debe tener en cuenta la topología del sistema de comunicación de la microrred para garantizar la continuidad de operación de la red y facilidad para posibles expansiones a futuro, como se puede observar en la Ilustración podemos encontrar 6 tipos de topología de microrredes bus, anillo, estrella, árbol, estrella extendida y malla, al momento de seleccionar la topología a ser usada se debe tomar en cuenta varios factores como costos, disponibilidad de equipos y el flujo eléctrico que debe soportar, dicha elección debe realizarse

rigurosamente puesto que “afecta directamente al tráfico y el enrutamiento de datos que circulan dentro de ella” (Arias, y otros, 2021) es decir afecta a la calidad del flujo eléctrico que circula en ella.

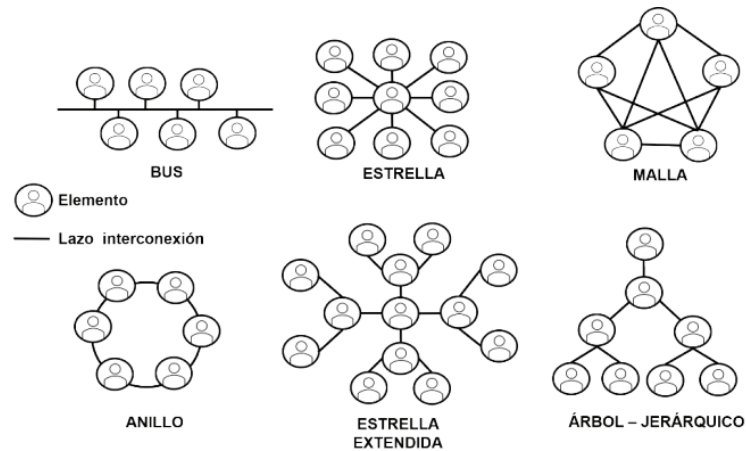


Figura 1 Tipos de topología de red

Fuente: (Aybar Mejía et al., 2021)

1.3 Modos de Operación

Las microrredes pueden ser clasificadas en función de su forma de operación pudiendo ser de 3 tipos:

- **Conectado a la red:** Implica que la microrred opera en paralelo con la red principal produciéndose un intercambio de energía, adicionalmente “la misma red proporciona las referencias de tensión y frecuencia necesarias para que el resto de los elementos funcionen” (enlight, 2024) es decir proporciona la información necesaria para un funcionamiento optimo de la microrred.

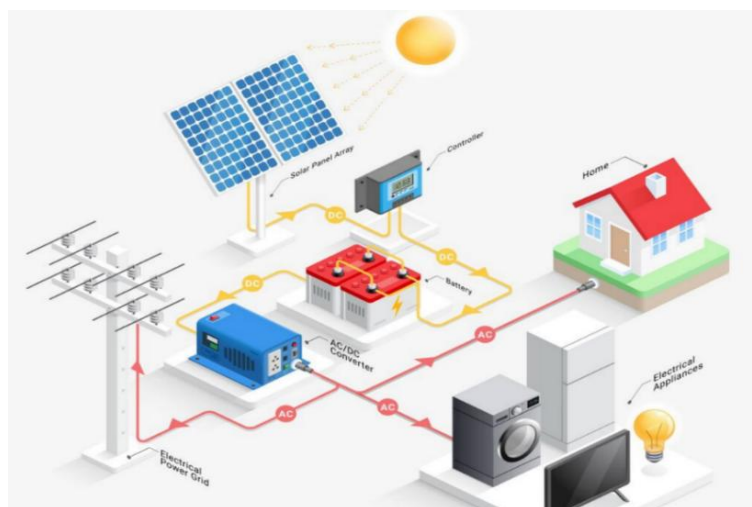


Figura 2 Instalación Fotovoltaica conectada a la red

Fuente: (Dalmases, 2024)

- **Aislado:** La microrred opera de forma independiente, sin conexión a la red principal debido a que “la interconexión con la red principal no es factible debido a limitaciones técnicas o económicas” (San Juan, 2018) este tipo de microrredes es común en zonas aisladas dado el limitado acceso a la red eléctrica pública.

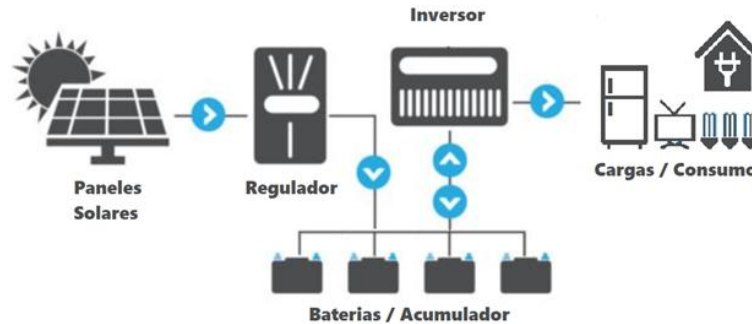


Figura 3 Microrred fotovoltaica aislada

Fuente: (De La Cruz Cabrales Avila & Otero, 2022)

- **Isla:** La microrred se desconecta de la red principal de forma intencional o accidental, su función principal es “generar energía eléctrica durante el día, almacenándola en acumuladores de alta eficiencia, abasteciendo la vivienda o cualquier aplicación comercial las 24 horas del día” (STI, 2017) es decir es la única fuente de alimentación que abastece a la vivienda o lugar determinado durante todo el día.



Figura 4 Sistema fotovoltaico tipo isla

Fuente: (Energía Renovable - Paine Solar Imagen de Stock - Imagen de Exterior, Montanha, s. f.)

1.4 Componentes

Un sistema fotovoltaico híbrido se encuentra conformado por varios elementos ajenos a la red eléctrica convencional que permiten la transformación de la energía solar en eléctrica, dichos elementos trabajan de forma conjunta, entre estos se puede encontrar:

Módulo solar fotovoltaico

Es el elemento principal de un sistema fotovoltaico, puesto que se encarga de “de convertir la energía solar en energía eléctrica y suministrar la potencia que hace falta en cada momento” (alusin Solar, 2020) es decir se encarga de capturar la energía solar para convertirla en eléctrica.

Regulador de carga

Es un componente encargado de “controlar el estado de carga de las baterías para garantizar que se realiza un llenado óptimo y así alargar su vida útil” (AutoSolar, s.f.), es decir salvaguarda la integridad de las baterías.

Batería o acumulador

Dispositivos semejantes a baterías encargados de “almacenar la energía generada por los paneles solares fotovoltaicos” (DESCONEXT, 2024), es el elemento encargado de acumular el producto de la transformación de energía solar.

Inversor

Es un elemento tan importante o más que los paneles solares puesto que es “un convertidor que transforma la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna” (Sotysolar, 2023), dicha corriente es la que se usa en los hogares.

Control y Optimización

Para garantizar el correcto funcionamiento de la microrred es importante el control y optimización del sistema para lo cual se debe tener en cuenta diversos ítems, destacando los siguientes:

- **Control de frecuencia y voltaje:** conocido por su abreviatura V/F es un método de control que “mantiene un flujo constante del motor, evitando que ocurra un fenómeno magnético débil y de saturación magnética “ (Crystal, 2018) es decir mantiene la calidad de la energía dentro de los límites establecidos.
- **Gestión de la energía:** se conoce como gestión energética al “conjunto de acciones y procesos que buscan la optimización del consumo energético con el fin de lograr una mayor eficiencia, racionalidad y ahorro” (UNIR, 2021) en otras palabras se trata de la optimización de la producción, el almacenamiento y el consumo de energía.
- **Inteligencia artificial:** el uso de inteligencia artificial o IA es de gran utilidad para la optimización de diversos procesos además permite predecir la generación solar, la demanda y optimizar la operación de la microrred.

1.5 Ventajas y desafíos

La implementación de microrredes fotovoltaicas híbridas supone tanto ventajas como desafíos, si bien es de gran utilidad para evitar interrupciones en el suministro eléctrico, además al estar conectada a la red eléctrica “permite la importación o exportación de electricidad según lo exijan las necesidades económicas o técnicas” (Solartia, 2019), es amigable con el medioambiente y supone una reducción significativa en los pagos de electricidad también tiene desventajas o desafíos como los costos iniciales elevados o la necesidad de espacios adecuados para su instalación, sin embargo son más las ventajas que desventajas lo cual lo hace una opción viable para la generación eléctrica por fuentes alternativas.

1.6 Aplicaciones

Las microrredes fotovoltaicas híbridas tienen una amplia gama de aplicaciones como es el caso de la electrificación en áreas rurales y remotas las cuales carecen de servicio eléctrico debido a su ubicación, difícil acceso y condiciones climáticas adversas, también garantiza acceso a suministro energético en islas y zonas costeras, también es de gran utilidad para la reducción de costos dado el uso de fuentes energéticas no convencionales, finalmente permite la alimentación de estaciones base y repetidores lo cual las hace de gran utilidad en sistemas de comunicaciones.



Figura 5 Implementación de microrredes fotovoltaicas en áreas rurales, caso de Cangahual

Fuente: (Zonas rurales Quito – Diario La Hora, 2023)

2. Modelado de Microrredes

2.1 ¿Qué es?

El modelado de microrredes fotovoltaicas es un proceso mediante el cual es posible gestionar la energía eléctrica de las microrredes y planificar cuándo utilizar la red principal, consiste en la creación de un modelo digital de los “recursos energéticos distribuidos que serán incorporados, para análisis posteriores en estado estable de la micro-red” (Mina & Echeverry, 2021), es decir permite la observación y análisis de los componentes de la microrred, dicho modelado puede ser simplificado o detallado acorde a las necesidades y especificaciones del proyecto.

2.2 Herramientas de simulación

Las herramientas utilizadas para llevar a cabo dicho modelado son variadas, entre los programas más conocidos encontrar:

- MATLAB/Simulink: es una plataforma de simulación que posee librerías especializadas para sistemas de potencia.

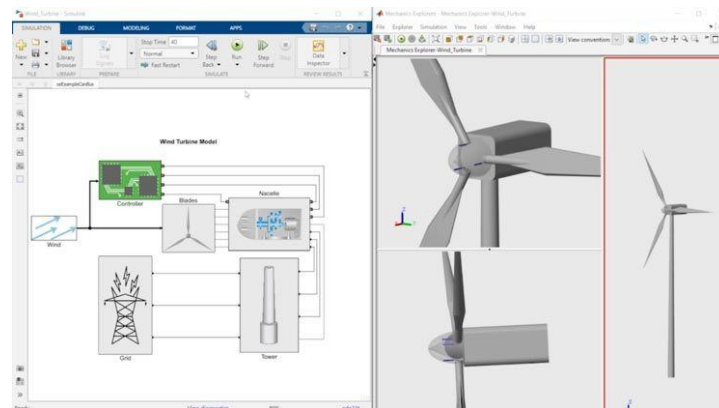


Figura 6 Simulación y diseño Simulink – MATLAB

Fuente: (Matlab Simulink, s. f.)

- PSCAD/EMTDC: Software enfocado en simulación de sistemas electromagnéticos y de potencia, permite “construir, simular y modelar sus sistemas con facilidad, lo que brinda posibilidades ilimitadas en la simulación de sistemas de energía” (Manitoba, 2024).

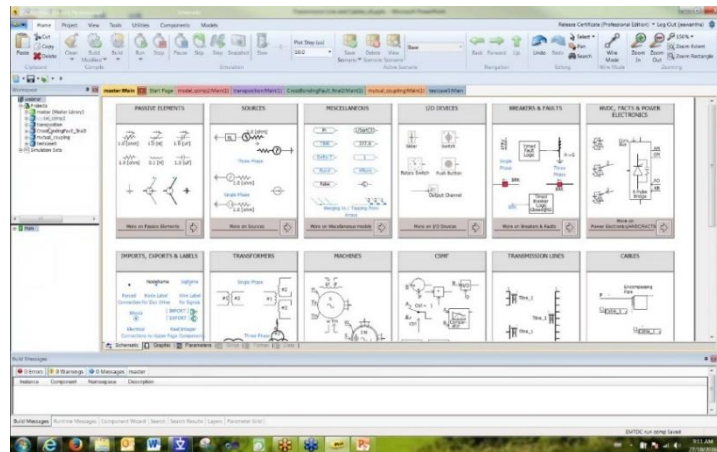


Figura 7 Modelado de cables y líneas de transmisión con PSCAD/EMTDC

Fuente: (PSCAD, 2016)

- DigSILENT PowerFactory: un Software comercial empleado para el análisis de sistemas de potencia y finalmente HOMER un Software especializado en la optimización de sistemas híbridos de energía.

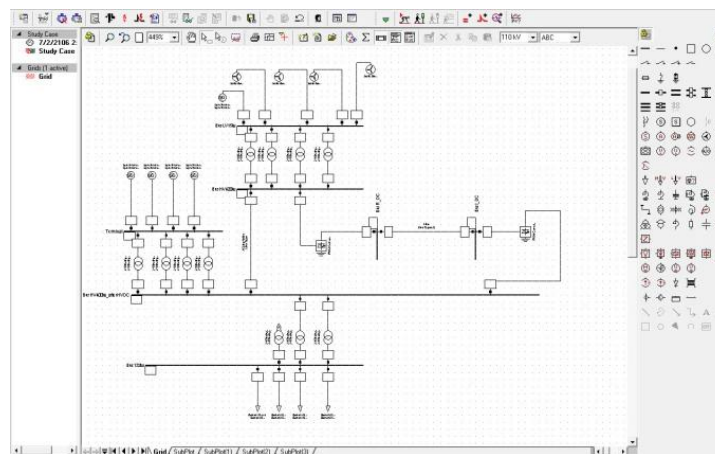


Figura 8 Diseño y simulación con DigSILENT PowerFactory

Fuente:(s. f.)

3. Análisis Cuasi Dinámico en Series Temporales

3.1 Concepto

Un análisis cuasi dinámico se puede definir como una “técnica utilizada en ingeniería y física para estudiar sistemas que cambian lentamente con respecto al tiempo, permitiendo suponer que están en equilibrio en cada instante” (StudysMarter, s.f.), dicha técnica permite el análisis del comportamiento del sistema en determinados lapsos de tiempo.

3.2 Series temporales

Una serie temporal se puede definir como “un conjunto de observaciones que se obtiene midiendo una variable única de manera regular a lo largo de un período de tiempo” (IBM ,

2024), es decir se observa los cambios de determinada variable en un periodo de tiempo determinado, las series temporales están compuestas por:

- **Tendencia:** indica la dirección en la que evolucionan los datos pudiendo ser ascendentes, descendentes o con un patrón complejo es decir integrando los dos anteriores.
- **Estacionalidad:** hace referencia a los ciclos regulares presentados por los datos.
- **Variación cíclica:** se refiere a las oscilaciones de patrón irregular originadas por diversos factores que van desde lo económico a lo social y político.
- **Variación aleatoria:** abarca a los datos cuya fluctuación no puede atribuirse a ninguna estacionalidad, variación o tendencia específica.

Estos componentes actúan de forma conjunta, conocerlos facilita el análisis de la variable a ser medida.

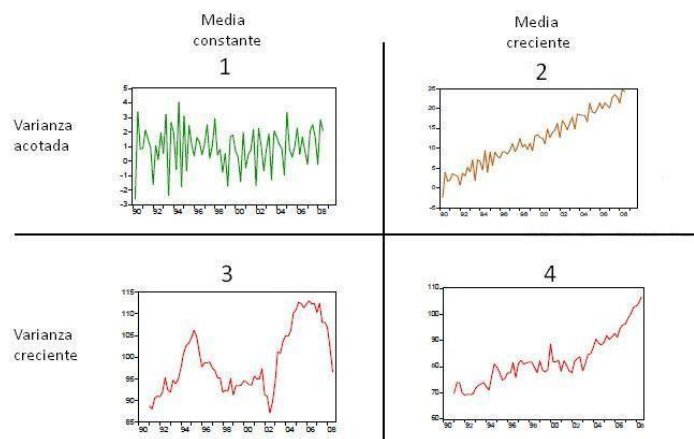


Figura 9 Series temporales

Fuente: (López, 2018)

3.3 Técnicas de análisis

El análisis de series temporales aplicables a microrredes es importante puesto que permite comprender la dinámica de los sistemas energéticos distribuidos, identificar posibles patrones, realizar predicciones y optimizar su funcionamiento, entre las técnicas utilizadas para este fin podemos encontrar las siguientes:

1. **Descomposición de Series Temporales:** técnica que consiste en la división de una serie temporal en subseries a fin de “descubrir patrones y tendencias dentro de una serie determinada de mediciones a lo largo de un periodo de tiempo” (finePROXY, 2021) es decir se busca hacer predicciones del comportamiento de la red.

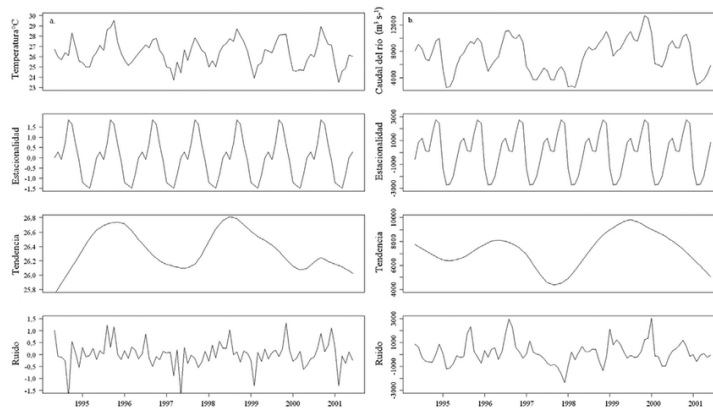


Figura 10 Descomposición de series temporales en subseries

Fuente: (Párraga et al., 2010)

2. Modelos ARIMA: técnica de análisis que combina dos tipos de modelado el autorregresivo y de medias móviles, que cumple dos tareas el “análisis de series temporales y de previsión de posibles valores futuros de una serie temporal” (Noble, 2024).

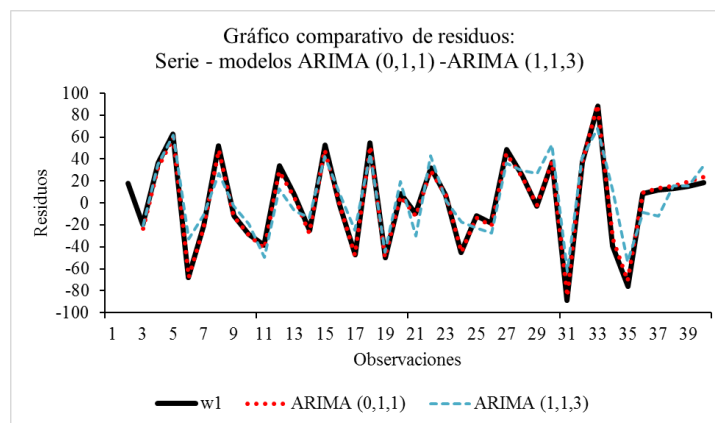


Figura 11 Aplicación de modelo ARIMA

Fuente: (Amaris et al., 2017)

3. Modelos de Descomposición de Holt-Winters: se basa en la descomposición lineal o multiplicativa de series temporales en subseries en donde “se les asigna mayor peso a las observaciones más recientes” (Gonzalez, 2021) es decir las observaciones más recientes son las que mayor peso poseen en el análisis.

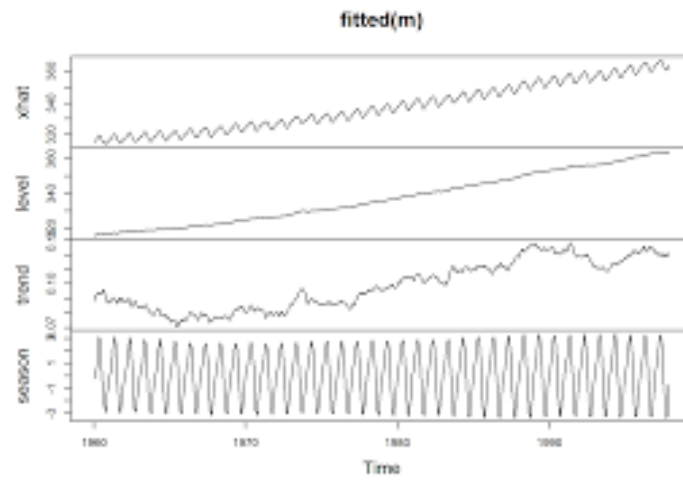


Figura 12 Aplicación de Modelos de descomposición de Holt- Winters

Fuente: (Villaverde, 2017)

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

1. Cálculos

Para el diseño e implementación del modelo fue necesario en primera instancia la realización de cálculos para determinar a través de fórmulas las especificaciones del sistema, como se detalla a continuación fueron 7 los puntos analizados:

1.1 Dimensionamiento del sistema Fotovoltaico

En esta sección se buscó determinar el consumo del usuario a fin de determinar el tipo de panel a emplearse en función del consumo energético del usuario, para este fin se hizo uso de la siguiente fórmula:

$$E1 = 23.508 \text{ kW} * \frac{\text{hr}}{\text{Day}} \quad (1)$$

$$E_{const} = E1$$

$$E_{const} = 23.508 \text{ kW} * \frac{\text{hr}}{\text{Day}} \quad (2)$$

$$V_{sist DC} = 125 \text{ V}$$

$$Q_{const} = \frac{E_{const}}{V_{sist DC}} = 188.064 \text{ A} * \frac{\text{hr}}{\text{day}} \quad (3)$$

$$MS = 0.00$$

$$N_{usuario} = Q_{const} * (1 + MS)$$

$$N_{usuario} = 188,064 \text{ A} * \frac{\text{hr}}{\text{day}}$$

Dichos cálculos fueron realizados en base a una tabla de consumo realizada a partir del análisis del consumo del usuario en base al número de luminaria existentes en el lugar y los elementos que se encuentran en este espacio. (Figura 13)

ANÁLISIS DE CONSUMO ELÉCTRICO DE LAS ERAS DEL ISTER								
ITEM	ZONA	ELEMENTO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	POTENCIA INSTALADA (W)	HORAS DE USO AL DÍA	DÍA DE USO A LA SEMANA	ENERGIA DIARIA (Wh/ día)
1	SUPERMERCADO SECCION A	LUMINARIA OSRAM 2X18W	8	36	288	6	6	1728
2	SUPERMERCADO SECCION B	PANEL LED LIGHT 60 X 60 42W	11	42	462	6	6	2772
3	AULA MASAJES	PANEL LED LIGHT 60 X 60 42W	8	42	336	4	6	1344
4	RUMIPRINT	PANEL LED LIGHT 60 X 60 42W	7	42	294	4	6	1176
5	LAB. ENERGIA RENOVABLE	LUMINARIA SILVANIA 3X18W	4	54	216	6	6	1296
		TOMACORRIENTE CON USB	5	100	500	6	6	3000
6	TALLER DE MECANICA	LUMINARIA SILVANIA 3X18W	4	54	216	6	6	1296
7	TALLER DE DISTRIBUCION DE LA ENERGIA	LUMINARIA SILVANIA 3X18W	4	54	216	6	6	1296
8	TALLER DE ELECTRICIDAD 1	TOMACORRIENTE 110 V	1	150	150	6	6	900
		LUMINARIA SILVANIA 60X60 50W	5	50	250	6	6	1500
9	TALLER DE ELECTRICIDAD 2	TOMACORRIENTE 110 V	1	150	150	6	6	900
		LUMINARIA SILVANIA 60X60 50W	5	50	250	6	6	1500
10	TALLER DE MECANICA 1	TOMACORRIENTE 110 V	1	150	150	6	6	900
		LUMINARIA SILVANIA 60X60 50W	5	50	250	6	6	1500
11	TALLER DE MECANICA 2	TOMACORRIENTE 110 V	1	150	150	6	6	900
		LUMINARIA SILVANIA 60X60 50W	5	50	250	6	6	1500
TOTAL DE CONSUMO								23508

Figura 13 Tabla de consumo energético
Fuente: Propia

1.2 Cálculo de la pérdida energética total del sistema

Un punto de gran interés es conocer la pérdida energética total para desarrollar un sistema eficiente en el cual se mitiguen fallas para maximizar la producción de energía, además al realizar este cálculo podremos determinar la ubicación propicia para los paneles teniendo en cuenta factores como la cantidad de luz, permanencia durante el día y sombras producidas por árboles o edificios aledaños.

$$\begin{aligned}
 Kb &= 3\% & Ka &= \frac{0.1\%}{\text{day}} & Kc &= 10\% & Kr &= 2\% & Kv &= 5\% \\
 Dauton &= 0.28\text{day} & PD &= 60\%
 \end{aligned}$$

$$KT = (1 - (kb + kc + kr + kv)) * (1 - ka * \frac{Dauton}{PD})$$

$$KT = 0.8$$

1.3 Carga máxima del sistema

Al calcular la carga máxima de un sistema podemos evitar de sobrecargar el sistema garantizando su correcto funcionamiento y reducción de la incidencia de posibles averías y fallos en el sistema.

$$C_{max} = \frac{N_{usuario}}{KT} \quad (5)$$
$$C_{max} = 235.053 A * \frac{hr}{day}$$

1.4 Energía solar disponible y cálculo de número de paneles

Para un correcto dimensionamiento de un sistema fotovoltaico es crucial realizar el cálculo de la energía solar disponible, dicha información se extrae de un software especializado (PVsyst) que se encarga de recopilar estos datos, incluyendo picos de energía durante el día, para la realización de este cálculo como se puede observar en la fórmula empleada se hace uso del valor más bajo. Tras obtener este dato se procede a calcular la cantidad de paneles requeridos para nuestro sistema.

$$H = 4.9KW * \frac{hr}{m^2 * day}$$

Se determina en base de datos, Meteonorm, PVGIS, Nasa

$$HPS = \frac{H}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad (6)$$
$$HPS = 4.9 \frac{hr}{day}$$

Número de paneles necesarios para el sistema:

$$P_{p_{panel}} = 430W \quad n_{panel} = 0,9 \quad V_{nom \, panel} = 31.88 V$$
$$E_{panel} = HPS * P_{p_{panel}} * n_{panel}$$
$$Q_{panel} = \frac{E_{panel}}{V_{nom \, panel}} \quad (7)$$

$$E_{panel} = 1.896 \text{ KW} \frac{h}{day}$$
(8)

$$Q_{panel} = 59.482 \text{ A} * h \text{ day}$$

$$N_{ramas \text{ paralelo}} = \frac{C_{max}}{Q_{panel}} = 3.952$$

$$N_{ramas \text{ paralelo}} \approx 4 \text{ en paralelo}$$
(9)

$$N_{ramas \text{ en serie}} = \frac{V_{sist \text{ DC}}}{V_{nom \text{ panel}}} = 3.921$$

$$N_{ramas \text{ en serie}} \approx 4 \text{ en serie}$$

1.5 Dimensionamiento del sistema de acumulación

Al referirnos al termino acumulación hacemos referencia a las estructuras encargadas de almacenar energía, en este caso las baterías elementos de gran importancia para el sistema ya almacenan la energía producida a través de la transformación de la energía solar captada por los paneles para ser utilizada después. Es por esto por lo que es impórtate determinar mediante cálculos el número de baterías requeridas y la forma en que se van a conectar en base al consumo del usuario a fin de satisfacer las necesidades energéticas del mismo.

(10)

$$V_{sist \text{ acumDC}} = 36V$$

$$C_{sist_acum} = \frac{C_{max} * D_{auton} * V_{sist \text{ DC}}}{PD * V_{sist_acum \text{ DC}}} = 380.872 \text{ A} * hr$$

$$C_{nom \text{ bat}} = 100A * hr.m \quad V_{nom \text{ bat}} = 12V$$
(11)

$$N_{ramas \text{ paralelo}} = \frac{C_{sist_acum}}{C_{nom \text{ bate}}}$$

$$N_{bat \text{ paralelo}} = 3.809$$

$$N_{ramasbat \text{ paralelo}} \approx 4 \text{ en paralelo}$$
(12)

$$N_{ramas \text{ serie}} = \frac{V_{sist \text{ DC}}}{V_{nom \text{ bate}}}$$

$$N_{ramas \text{ serie}} = 3$$

$$N_{ramasbat \text{ serie}} = 3 \text{ en serie}$$

$$Nbat\ Totales = Nbat\ serie * Nbat\ Paralelo = 12$$

1.6 Dimensionamiento del sistema de regulación

Dentro de un sistema fotovoltaico resulta de gran importancia el dimensionamiento de los reguladores o conocidos de mejor manera como MPPT, se hace uso de datos tales como el número de paneles y de baterías para el cálculo del número de reguladores necesarios en nuestro sistema.

(13)

$$Isc\ panel = 14.23A$$

$$Ireg1 = 1.2 * Isc\ panel * 2 = 34.15\ A$$

$$Ireg2 = 1.2 * Isc\ panel * 2 = 34.15\ A$$

$$IregT = Ireg1 + Ireg2 = 68.304\ A$$

Dos (2) reguladores de 150V – 35A.

1.7 Dimensionamiento del sistema de inversión

Es necesario tener en cuenta la carga DC para la obtención de un valor óptimo para el dimensionamiento de nuestro sistema fotovoltaico.

$$PDC = 4128\ W \quad \eta_{inv} = 90\% \quad fp = 0.95$$

(14)

$$S_{inv} = \frac{PDC}{\eta_{inv} * fp}$$

$$S_{inv} = \frac{4128\ W}{90\% * 0.95} = 4.828\ kVA$$

Tras realizar el cálculo se puede observar que será necesario hacer uso de un aproximado de 5 kV * A, teniendo en cuenta que se debe dejar un margen de reserva se empleará 3 inversores de 3 kVA, sumando una reserva total de 9 KVA.

- **pu=1.0:** El modelo se realiza con una magnitud normalizada de 1 por unidad lo cual indica que opera en condiciones nominales.
- **angle=0:** El ángulo establecido para la fase inicial es de 0 grados para la sincronización con el sistema.

2.1.2 Transformador de distribución

El transformador tiene un papel de vital importancia en la conexión entre la red y el sistema fotovoltaico ya que proporciona la conversión de tensión necesaria para la alimentación de los inversores y cargas conectadas.

```
New Transformer.Trafo1STER phases=3 windings=2 xhl=3.5 %loadloss=0.1 %noloadloss=0.01
%imag=1.5

~ wdg=1 bus=A kv=22.8 kva=150 conn=delta

~ wdg=2 bus=B kv=0.22 kva=150 conn=wye
```

*Figura 16 Transformador de distribución
Fuente: propia*

A continuación, se analizará cada elemento de las líneas de código referentes al transformador de distribución del sistema:

- **phases=3:** Se refiere al transformador trifásico empleado a fin de garantizar la estabilidad del sistema.
- **windings=2:** Se hace uso de 2 devanados de media y baja tensión respectivamente.
- **xhl=3.5:** Se refiere a la reactancia de dispersión la cual influye la regulación de voltaje.
- **%loadloss=0.1 y %noloadloss=0.01:** Representan pérdidas en carga y vacío respectivamente.
- **conn=delta/wye:** Configuración delta en el primario y estrella en el secundario, lo que permite la eliminación de corrientes de secuencia homopolar.

2.1.3 Códigos de líneas y conexiones del sistema

Las líneas eléctricas son las encargadas de transportar la energía entre diferentes barras del sistema a través de distintos tipos de conductores, estos son los encargados de minimizar pérdidas y garantizar un suministro confiable a las cargas y sistemas de almacenamiento.

```
New LineCode.3/0Al R1=0.415 X1=0.105 C1=0 unit=km
New LineCode.2Cu R1=0.623 X1=0.148 C1=0 unit=km
```

*Figura 17 líneas eléctricas
Fuente: propia*

En estas líneas de código se pueden distinguir los siguientes elementos:

- **R1 y X1:** Representan la resistencia y reactancia por km del conductor lo cual influye en la caída de tensión y pérdidas en la línea.
- **unit=km:** Se refiere a la unidad de longitud utilizada para parametrizar las líneas.

Para garantizar su máximo desempeño y confiabilidad se debe determinar el material de los cables de las líneas como se muestra a continuación:

En primera instancia encontramos las líneas de aluminio definidas por el siguiente código:

```
New LineCode.3/0Al R1=0.415 X1=0.105 C1=0 unit=km
New LineCode.2/0Al R1=0.523 X1=0.107 C1=0 unit=km
New LineCode.1/0Al R1=0.659 X1=0.109 C1=0 unit=km
New LineCode.2Al R1=1.048 X1=0.098 C1=0 unit=km
New LineCode.4Al R1=1.666 X1=0.103 C1=0 unit=km
```

Figura 18 Líneas de aluminio
Fuente: propia

Por otro lado, encontramos las líneas de cobre definidas por el código a continuación:

```
New LineCode.3/0Cu R1=0.253 X1=0.138 C1=0 unit=km
New LineCode.2/0Cu R1=0.328 X1=0.141 C1=0 unit=km
New LineCode.1/0Cu R1=0.394 X1=0.144 C1=0 unit=km
New LineCode.2Cu R1=0.623 X1=0.148 C1=0 unit=km
New LineCode.4Cu R1=1.02 X1=0.157 C1=0 unit=km
```

Figura 19 Líneas de cobre
Fuente: propia

Los elementos que constituyen estas líneas de código son:

- **R1:** Se refiere a Ohm/Km = resistencia por kilómetro
- **X1:** Define Ohm/Km= reactancia por kilómetro.
- **C1:** Se refiere a la capacitancia sin embargo en el caso de líneas de aluminio no aplica
- **unit=km:** La unidad de longitud empleada es el kilómetro.

Después de esto se define las conexiones de las líneas entre los diferentes buses definidos indicando parámetros específicos que se explicaran a continuación.

```
New Line.Linea1 phases=3 Bus1=B Bus2=C Length=0.15 units=km linecode=2/0Al
New Line.Linea2 phases=3 Bus1=B Bus2=D Length=0.02 units=km linecode=2/0Al
New Line.Linea3 phases=3 Bus1=D Bus2=E Length=0.035 units=km linecode=2Cu
New Line.Linea4 phases=3 Bus1=E Bus2=H Length=0.07 units=km linecode=2Cu
New Line.Linea5 phases=3 Bus1=B Bus2=F Length=0.08 units=km linecode=2Cu
New Line.Linea6 phases=3 Bus1=B Bus2=G Length=0.100 units=km linecode=2Cu
```

Figura 20 Conexiones de línea
Fuente: propia

Los elementos que constituyen estas líneas de código son:

- **New.Line:** Nos indica la creación de una nueva línea con un nombre único.
- **Phases:** Especifica el número de fases que tiene el sistema.
- **Bus1:** Define el nodo de inicio de la línea.
- **Bus2:** Define el nodo de fin de la línea.
- **Length:** Longitud de la línea en la unidad especificada.
- **Units:** Unidad de la longitud (en este caso, kilómetros).
- **Linecode:** Especifica el código de línea que define los parámetros eléctricos del conductor.

2.1.4 Perfiles de cargas

Las cargas representan los consumos eléctricos dentro del sistema lo cual permite evaluar el comportamiento de estas ante una variación en la energía disponible.

```
Redirect LoadShapesEd3.txt
New Load.Carga1 Bus1=C phases=3 Conn=wye kv=0.22 pf=1 model= 1
~ daily=Edificio3
```

Figura 21 Cargas del sistema
Fuente: propia

En esta línea del código podemos distinguir los siguientes elementos:

- **Redirect:** Este comando es empleado para redireccionar a un archivo de texto (LoadShapesEd3.txt) el cual contiene el código en el que se define los datos del perfil de carga diaria que utilizaremos, en la figura 22 podremos ver cómo se encuentra constituido el código y los parámetros específicos de este como son el número de datos en este caso 96 y el intervalo de tiempo de medición siendo en nuestro caso cada 15 minutos.

```
New Loadshape.Edificio3 npts=96 minterval=15
~ mult=(4.93 5.389 2.104 1.418 4.422 3.609 2.225 6.001 2.93 3.144 4.701 3.131 3.422
4.296 6.485 6.423 5.93 4.57 4.98 4.791 6.422 3.776 6.1 4.208 7.93
11.022 11.858 16.654 15.422 18.357 21.643 18.001 28.61 28.047 28.306 29.527 28.952
32.253 34.809 40.25 44.61 52.309 47.144 48.847 48.052 46.923 48.873 48.821 48.51
49.193 49.184 47.287 41.602 39.57 33.415 34.857 28.81 28.34 22.772 17.935 16.322
16.012 15.326 14.858 10.93 12.306 11.028 11.043 8.422 9.05 6.777 10.694 8.93 8.052
7.232 7.525 9.422 8.59 10.669 9.656 3.93 5.178 3.07 3.458 6.422 6.187 7.061
7.422 5.93 4.649 6.818 3.861 5.93 6.34 3.503 6.243)
~ UseActual=True
```

Figura 22 Perfil de carga
Fuente: propia

- **Load.Carga1:** Se refiere a una carga en el sistema.
- **Bus1=C:** Indica que está conectada al bus C.
- **phases=3:** Implica que la fase es trifásica.
- **Conn=wye:** Se especifica el tipo de conexión de la carga en este caso Estrella.

- **kv=0.22:** Indica que opera a 220V.
- **pf=1:** Indica el factor de potencia unitario lo cual indica una carga netamente resistiva.
- **Model=1:** Se identifica el modelo de la carga, 1 para cargas estáticas.
- **daily=Edificio3:** Indica el perfil de carga diario utilizado para la realización de simulaciones el cual se encuentra definido en un archivo externo siendo en este caso “LoadShapesEd3.txt”.

Este modelo es empleado para todas las cargas del sistema con variaciones en el numero de fases, perfil de carga y voltaje de operación.

Parte 2: Modelado de Microred Fotovoltaica Instituto Universitario

Rumiñahui

2.2 Sistema Fotovoltaico

El generador fotovoltaico es el elemento encargado de convertir la radiación solar en energía eléctrica que será utilizado por el sistema para garantizar la continuidad del suministro eléctrico:

```
New PVSystem.SistemaFV phases=3 bus1=H kV=0.22 kVA=9 Pmpp=6.88
~ irr=1 temperature=25 PF=0.95 conn=weye %cutin=0.1 %cutout=0.1 effcurve=Eff P-TCurve=FactorPvsT
~ daily=Irrad TDaily=Temp
~ %R=50 %X=0 model=1
~ Kvar=0
```

*Figura 23 Sistema fotovoltaico
Fuente: propia*

En estas líneas del código podemos distinguir los siguientes elementos:

- **New PVSystem.SistemaFV:** Se emplea para definir un nuevo sistema fotovoltaico.
- **phases=3:** Indica que el sistema es trifasico.
- **bus1=H:** Especifica el punto de conexión del sistema.
- **kV=0.22:** Define el voltaje al cual opera el sistema 220 V.
- **kVA=9:** Define la capacidad aparente del sistema en kilovoltio-amperios.
- **Pmpp=6.88:** Indica la potencia máxima de operación del sistema en su punto máximo.
- **PF=0.95:** Se establece el factor de potencia.
- **%cutin=0.1 y %cutout=0.1:** Se emplean para definir los porcentajes de encendido y apagado del sistema.
- **effcurve=Eff :** Curva de eficiencia del sistema.
- **P-TCurve=FactorPvsT:** Curva de potencia vs temperatura del sistema.

- **daily=Irrad y TDaily=Temp:** Perfiles diarios de irradiación y temperatura.
- **%R=50 y %X=0:** Porcentajes de resistencia y reactancia del sistema.
- **Kvar=0:** Especifica la potencia reactiva que inyecta o absorbe el sistema fotovoltaico en este caso 0.

Para el desarrollo de esta sección del código es necesario definir los siguientes parámetros:

2.2.1 Perfiles de Temperatura e Irradiación

Los perfiles de temperatura e irradiación poseen gran relevancia para el modelado del comportamiento realista de un sistema fotovoltaico puesto que estos factores afectan directamente la eficiencia y la generación de energía de los paneles solares.

2.2.1.1 Perfil de Temperatura Diaria

La temperatura es un factor que influye en la eficiencia de los paneles solares y la capacidad de carga y descarga de las baterías, este perfil abre la posibilidad a que la simulación capture variaciones térmicas realistas.

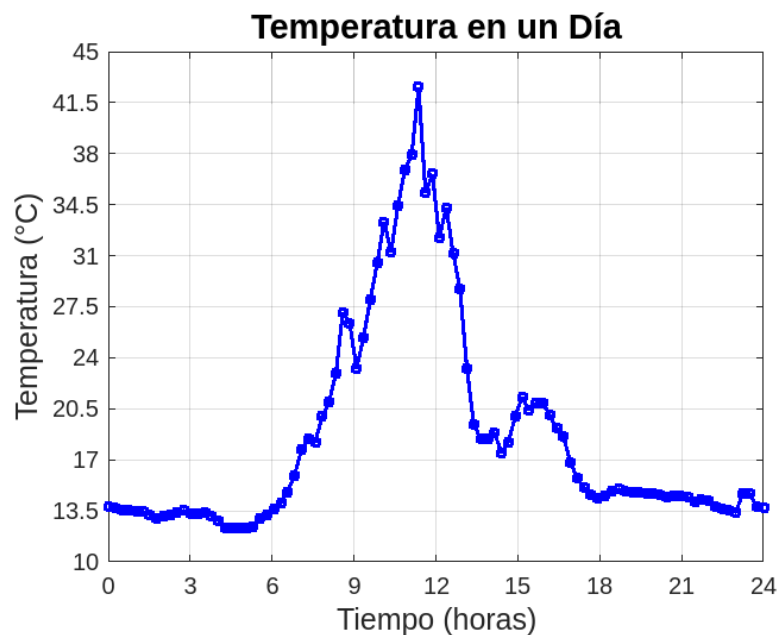


Figura 24 Perfil de temperatura
Fuente: propia

A continuación, se presenta la sección del código referente a la curva de temperatura junto a la explicación de cada uno de sus componentes:

```
// Perfil de temperatura
New Tshape.Temp npts=96 interval=0.25 temp=[File=Temp.csv]
```

Figura 25 Perfil de temperatura
Fuente: propia

- **Tshape.Temp:** Se refiere al perfil de temperatura variable en función del tiempo.

- **npts=96:** Demuestra que el perfil posee 96 puntos de datos equivalentes a un día con datos registrados en intervalos de 15 minutos.
- **interval=0.25:** Define el intervalo de tiempo existente entre puntos de datos en minutos.
- **File=Temp.csv:** Se encarga de importar los datos de temperatura desde un archivo externo en formato csv.

2.2.1.2 Perfil de Irradiación Diaria

La irradiación solar es un parámetro indispensable para determinar la cantidad de energía que pueden generar los paneles solares, como se puede observar en la figura 26 correspondiente al perfil de irradiación diaria está definida por intervalos de tiempo establecidos entre medición al utilizar dicho perfil la simulación puede generar variaciones diarias y estacionales en la generación de energía.

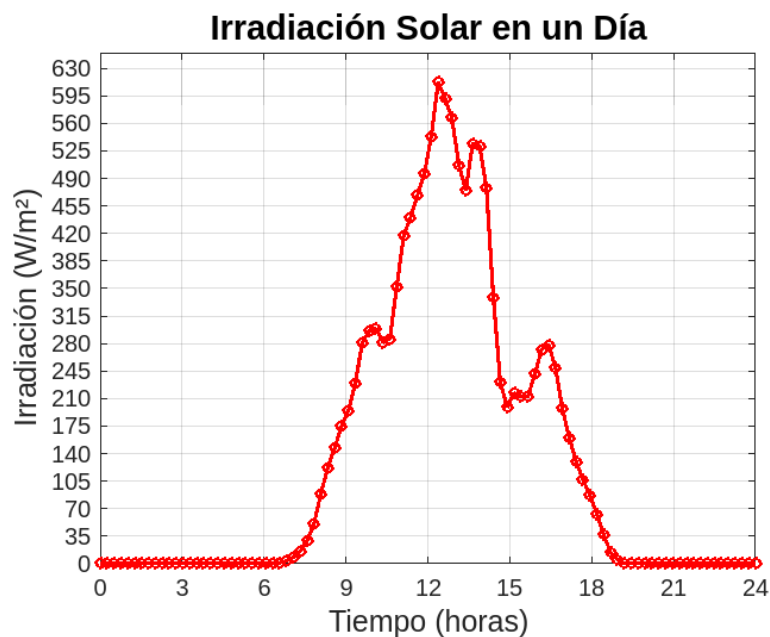


Figura 26 Perfil de irradiación
Fuente: propia

Dicho perfil se obtiene a partir de la siguiente codificación cuyos elementos serán presentados:

```
// Perfil de irradiancia
New Loadshape.Irrad npts=96 interval=0.25
~ mult=(File=Irrad.csv) useActual=yes
```

Figura 27 Perfil de irradiación diaria
Fuente: propia

- **loadshape.Irrad:** Define el perfil de irradiación solar.

- **npts=96 y interval=0.25:** Esta configuración similar a la vista en el perfil de temperatura comparte el intervalo de tiempo de recolección de datos.
- **File=IrradiationProfile.csv:** Se encarga de importar valores de irradiación existentes en un archivo externo en formato csv.

2.2.2 Curvas de corrección de temperatura y eficiencia del inversor

Este elemento es de gran importancia debido a que dentro de OpenDSS permite la definición de relaciones matemáticas entre dos variables, son utilizadas para el modelado del comportamiento no lineal como es el caso de la eficiencia del inversor.

Dentro de nuestro sistema fotovoltaico cumple dos funciones principales el modelado de la potencia de salida en función de la temperatura y la eficiencia del inversor en función del nivel de carga, este elemento se encuentra definido por el siguiente extracto del código:

```
New XYCurve.FactorPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1.2 1 0.8 0.6]
New XYCurve.Eff npts=4 xarray=[0.1 0.2 0.4 1] yarray=[0.86 0.9 0.93 0.97]
```

Figura 28 Curvas
Fuente: propia

Aquí se puede distinguir los siguientes elementos:

- **NewXYCurve:** Define la existencia de una nueva curva XY
- **FactorPvsT/ Eff:** Corresponde al identificador o nombre de la curva .
- **npts=4:** Indica el número de datos contenidos en la curva.
- **xarray:** Mediante estos valores es posible la representación de temperatura, nivel de carga, irradiación, entre otros, definidos en el eje X.
- **yarray:** Define la salida o comportamiento modelado como la eficiencia o potencia del sistema en el eje y.

2.3 Sistema de Almacenamiento

Se denomina sistema de almacenamiento al conjunto de elementos empleados para almacenar el excedente de energía generada por el sistema fotovoltaico, en este caso son baterías a continuación se detallarán los elementos implicados en la codificación de este sistema.

```
New Storage.BateriasHibrido phases=3 bus1=H kV=0.22
~ kWrated=8.55 kWhrated=14.4
~ %stored=100 %reserve=30 %EffCharge=90 %EffDischarge=90
~ %R=10 %X=0 model=1 conn=wye
~ state=idling
```

Figura 29 Sistema del almacenamiento
Fuente: propia

- **Storage.BateriaHibrido:** Se refiere al banco de baterías empleado en el sistema.

- **kWhRated=14.4:** Se refiere a la capacidad de almacenamiento del sistema.
- **%stored:** Indica el nivel de carga de la batería en este caso 100 %.
- **State=** Indica en qué estado se encuentra en este caso de espera.

2.4 Configuración de Simulación

Dentro del código se incluye la configuración de simulación del sistema a fin de garantizar resultados lo más cercanos a la realidad al momento de la simulación.

```
Set mode=daily number=96 stepsize=15m ! Simulación de 1 día
Set year=1 ! Reiniciar contadores
```

*Figura 30 Configuración de simulación
Fuente: propia*

Como se puede observar en la Figura 30 este código está definido por los siguientes elementos:

- **mode=daily:** Define la simulación del sistema en el lapso de un día.
- **stepsize=15m:** Determina el paso de tiempo de 15 minutos.
- **number=96:** Representa 96 pasos definidos por la siguiente formula: (24 horas * 4 pasos/hora).
- **Set year=1:** Determina el punto de partida interna de la simulación lo cual es útil para el reiniciar contadores de tiempo.

2.5 Medición y Monitoreo

Finalmente se incluyen monitores a fin de evaluar el desempeño del sistema en operación, este monitoreo se realizará a través del siguiente extracto del código.

```
New Monitor.Trans element=Transformer.Trafo1STER mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaF1 element=Load.Luz_A mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaF2 element=Load.Luz_B mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaF3 element=Load.Luz_C mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaE1 element=Load.Carga2_FA mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaE2 element=Load.Carga2_FB mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaE3 element=Load.Carga2_FC mode=1 ppolar=no
New Monitor.PV_Monitor element=PVSystem.SistemaFV mode=1 ppolar=no
New Monitor.Bateri element=Storage.BateriasHibrido mode=1 ppolar=no
New monitor.PQLineaOR Line.Linea3 2 Mode=1 ppolar=no
New monitor.VILineaOR Line.Linea3 2 Mode=0 ppolar=no
```

*Figura 31 Medición y monitoreo
Fuente: propia*

Los elementos principales que se compone dicho código son:

- **New monitor.Tras:** Permite definir un nuevo monitor bajo un nombre específico cada uno.
- **Element:** Se emplea para indicar el elemento que se va a monitorear.

- Mode/ppolar: Nos permite definir la configuración de lo que se está monitoreando en este caso mode=1 se emplea para el monitoreo de magnitudes PQ y ppolar=no indica la desactivación que se desactiva la polaridad de los datos, permitiendo un mejor análisis de estos.

Posterior a esto se define **Export Monitor** y **plot monitor** los cuales no permiten la exportación de datos de los monitores y la visualización grafica de estas en la figura 32 se indica como queda definido esto en el código.

```
Export Monitor Trans
plot monitor object= Trans
Export Monitor MonCargaF1
plot monitor object= MonCargaF1
Export Monitor MonCargaF2
plot monitor object= MonCargaF2
Export Monitor MonCargaF3
plot monitor object= MonCargaF3
Export Monitor MonCargaE1
plot monitor object= MonCargaE1
Export Monitor MonCargaE2
plot monitor object= MonCargaE2
Export Monitor MonCargaE3
plot monitor object= MonCargaE3
Export Monitor PV_Monitor
plot monitor object= PV_Monitor
Export Monitor bateri
plot monitor object= bateri
Export Monitor PLinea3
plot monitor object= PLinea3
Export Monitor VLinea3
plot monitor object= VLinea3
Export Monitor PQLinea4
plot monitor object= PQLinea4
Export Monitor VLinea4
plot monitor object= VLinea4
```

Figura 32 Exportadores y graficadores
Fuente: propia

3. Funcionamiento del sistema modelado en Open DSS

Clear

// Equivalente de red

New circuit.Red bus1=A basekv=22.8 pu=1.0 Angle=0.0 Frequency=60 phases=3

// Lineas

// Transformador

New Transformer.Trafo1STER phases=3 windings=2 xhl=3.5 %loadloss=0.1 %noloadloss=0.01 %imag=1.5
~ wdg=1 bus=A kv=22.8 kva=150 conn=delta
~ wdg=2 bus=B kv=0.22 kva=150 conn=wye

// Aluminio

New LineCode.3/0Al R1=0.415 X1=0.105 C1=0 unit=km
New LineCode.2/0Al R1=0.523 X1=0.107 C1=0 unit=km
New LineCode.1/0Al R1=0.659 X1=0.109 C1=0 unit=km
New LineCode.2Al R1=1.048 X1=0.098 C1=0 unit=km
New LineCode.4Al R1=1.666 X1=0.103 C1=0 unit=km

// Cobre

New LineCode.3/0Cu R1=0.253 X1=0.138 C1=0 unit=km
New LineCode.2/0Cu R1=0.328 X1=0.141 C1=0 unit=km
New LineCode.1/0Cu R1=0.394 X1=0.144 C1=0 unit=km
New LineCode.2Cu R1=0.623 X1=0.148 C1=0 unit=km
New LineCode.4Cu R1=1.02 X1=0.157 C1=0 unit=km

! Conexione de las lineas

New Line.Linea1 phases=3 Bus1=B Bus2=C Length=0.15 units=km linecode=2/0Al

New Line.Linea2 phases=3 Bus1=B Bus2=D Length=0.02 units=km linecode=2/0Al

New Line.Linea3 phases=3 Bus1=D Bus2=E Length=0.035 units=km linecode=2Cu

New Line.Linea4 phases=3 Bus1=E Bus2=H Length=0.1 units=km linecode=2Cu

New Line.Linea5 phases=3 Bus1=B Bus2=F Length=0.08 units=km linecode=2Cu

New Line.Linea6 phases=3 Bus1=B Bus2=G Length=0.100 units=km linecode=2Cu

// Caracteristicas y conexiones de las cargas

// Carga Edificio 3

Redirect LoadShapesEd3.txt
New Load.Carga1 Bus1=C phases=3 Conn=wye kv=0.22 pf=1 model= 1
~ daily=Edificio3

// Carga CEPROBYS

Redirect LoadShapesFA.txt
New Load.Carga2_FA Bus1=E.1 phases=1 Conn=wye kv=0.127 pf=1 model=1
~ daily=CEPROBYS_FA

Redirect LoadShapesFB.txt
New Load.Carga2_FB Bus1=E.2 phases=1 Conn=wye kv=0.127 pf=1 model=1
~ daily=CEPROBYS_FB

Redirect LoadShapesFC.txt
New Load.Carga2_FC Bus1=E.3 phases=1 Conn=wye kv=0.127 pf=1 model=1
~ daily=CEPROBYS_FC

// Carga mecanica

Redirect LoadShapesMF1.2.txt
New Load.Carga3_MecF1.2 Bus1=F.1.2 phases=1 Conn=wye kv=0.22 pf=1 model=1
~ daily=MF1.2

Redirect LoadShapesMF3.txt
New Load.Carga3_MecF3 Bus1=F.3 phases=1 Conn=wye kv=0.127 pf=1 model=1

```

// Carga Aulas nuevas

Redirect LoadShapesAulas.txt
New Load.Carga4_Aulas Bus1=G phases=3 Conn=wye kv=0.22 pf=1 model=1
~ daily=Aulas

// Cargas fotovoltaico

// Iluminacion y tomacorrientes

Redirect Loadshapesfotovol1.txt
New Load.Luz_A Bus1=H.1 phases=1 Conn=wye kv=0.127 pf=1 model=1
~ daily=fases1

Redirect Loadshapesfotovol2.txt
New Load.Luz_B Bus1=H.2 phases=1 Conn=wye kv=0.127 pf=1 model=1
~ daily=fases2

Redirect Loadshapesfotovol3.txt
New Load.Luz_C Bus1=H.3 phases=1 Conn=wye kv=0.127 pf=1 model=1
~ daily=fases3

// Curvas

New XYCurve.FactorPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1.2 1 0.8 0.6]
New XYCurve.Eff npts=4 xarray=[0.1 0.2 0.4 1] yarray=[0.86 0.9 0.93 0.97]

! Perfiles

// Perfil de irradiancia
New Loadshape.Irrad npts=96 interval=0.25
~ mult=(File=Irrad.csv) useActual=yes

// Perfil de temperatura
New Tshape.Temp npts=96 interval=0.25 temp=(File=Temp.csv)

! Sistema fotovoltaico

New PVSystem.SistemaFV phases=3 bus1=H kv=0.22 kVA=9 Pmpp=6.88
~ irrads=1 temperature=25 PF=0.95 conn=wye %cutin=0.1 %cutout=0.1 effcurve=Eff P-TCurve=FactorPvsT
~ daily=Irrad TDaily=Temp
~ %R=50 %X=0 model=1
~ Kvar=0

! Sistema de baterías

New Storage.BateriasHibrido phases=3 bus1=H kv=0.22
~ kWrated=8.55 kWhrated=14.4
~ %stored=100 %reserve=30 %EffCharge=90 %EffDischarge=90
~ %R=10 %X=0 model=1 conn=wye
~ state=idling

! Monitores

New Monitor.Trans element=Transformer.Trafo1STER mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaF1 element=Load.Luz_A mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaF2 element=Load.Luz_B mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaF3 element=Load.Luz_C mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaE1 element=Load.Carga2_FA mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaE2 element=Load.Carga2_FB mode=1 ppolar=no
New Monitor.MonCargaE3 element=Load.Carga2_FC mode=1 ppolar=no
New Monitor.PV_Monitor element=PVSystem.SistemaFV mode=1 ppolar=no
New Monitor.Bateri element=Storage.BateriasHibrido mode=1 ppolar=no
New monitor.PLinea3 Line.Linea3 2 Mode=1 ppolar=no
New monitor.VLinea3 Line.Linea3 2 Mode=0 ppolar=no
New monitor.PQLinea4 Line.Linea4 2 Mode=1 ppolar=no
New monitor.VLinea4 Line.Linea4 2 Mode=0 ppolar=no

// Configuración de la Simulación (Un Día)

```

```
Set year=1 ! Reiniciar contadores
```

```
solve
```

```
! Gráficos y Datos
```

```
Export Monitor Trans  
plot monitor object= Trans  
Export Monitor MonCargaF1  
plot monitor object= MonCargaF1  
Export Monitor MonCargaF2  
plot monitor object= MonCargaF2  
Export Monitor MonCargaF3  
plot monitor object= MonCargaF3  
Export Monitor MonCargaE1  
plot monitor object= MonCargaE1  
Export Monitor MonCargaE2  
plot monitor object= MonCargaE2  
Export Monitor MonCargaE3  
plot monitor object= MonCargaE3  
Export Monitor PV_Monitor  
plot monitor object= PV_Monitor  
Export Monitor bateri  
plot monitor object= bateri  
Export Monitor PLinea3  
plot monitor object= PLinea3  
Export Monitor VLinea3  
plot monitor object= VLinea3  
Export Monitor PQLinea4  
plot monitor object= PQLinea4  
Export Monitor VILinea4  
plot monitor object= VILinea4
```

*Figura 33 Código completo OpenDSS
Fuente: propia*

El código representa una red eléctrica alimentada a partir de un punto de suministro de media tensión es decir 22.8 kV, donde la energía se reduce a baja tensión a través de un transformador trifásico de 150 kVA. Desde el punto de transformación la energía es distribuida a través de diversas líneas de conductores hacia diferentes edificaciones y cargas las cuales incluyen varias cargas con perfil de consumo específicos que representan diferentes instalaciones:

- Edificio 3 cuya carga corresponde a un perfil trifásico.
- CEPROBYS el cual es bifásico teniendo cargas independientes para cada una de sus fases.
- Instalaciones de Mecánica cuyo perfil de consumo es monofásico y bifásico.
- Aulas Nuevas al igual que el edificio 3 son trifásicos.
- Iluminación y tomacorrientes poseen un perfil de consumo trifásico.

Esta microrred se caracteriza por la integración de un medio de generación alternativa, en este caso se trata de un sistema fotovoltaico de 6.88 kW que opera según las condiciones ambientales de irradiancia solar y temperatura modeladas con curvas de rendimiento que reflejan las variaciones existentes a lo largo del día, el sistema cuenta con un banco de

baterías de 14.4 kWh encargadas de almacenar los excedentes de energía a fin de tener un respaldo ante posibles fallas de la red de alimentación principal.

La simulación planteada abarca 96 pasos es decir intervalos de 15 minutos en un periodo de 24 horas, esto permite hacer un análisis profundo del comportamiento dinámico del sistema considerando las variaciones temporales tanto en consumo como en generación.

El código incluye monitores estratégicamente ubicados para registrar flujos de potencia, tensiones y corrientes en puntos clave como el transformador, sistema fotovoltaico, baterías y línea de conexión, este modelo constituye la base para análisis posteriores abriendo la posibilidad de evaluar el comportamiento de la microrred bajo diferentes condiciones operativas, además la implementación de este sistema simulado posibilita la exploración de escenarios diversos sin los riesgos asociados a pruebas físicas facilitando la toma de decisiones fundamentadas a partir de datos simulados que replican las condiciones reales del sistema.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Simulaciones

Tras definir las fórmulas necesarias para la realización de cálculos útiles para el modelo y posterior desarrollo del código en OpenDSS para el modelo de la microrred se realizaron simulaciones con variaciones en determinados elementos del código es decir en 4 escenarios de funcionamiento específicos, obteniendo los resultados presentados a continuación.

1.1 Escenario 1 condiciones normales

En este primer escenario se planteó el análisis del funcionamiento del sistema en un escenario normal sin alteraciones en el código obteniendo los siguientes resultados:

1.1.1 Generación total del Sistema Fotovoltaico (FV)

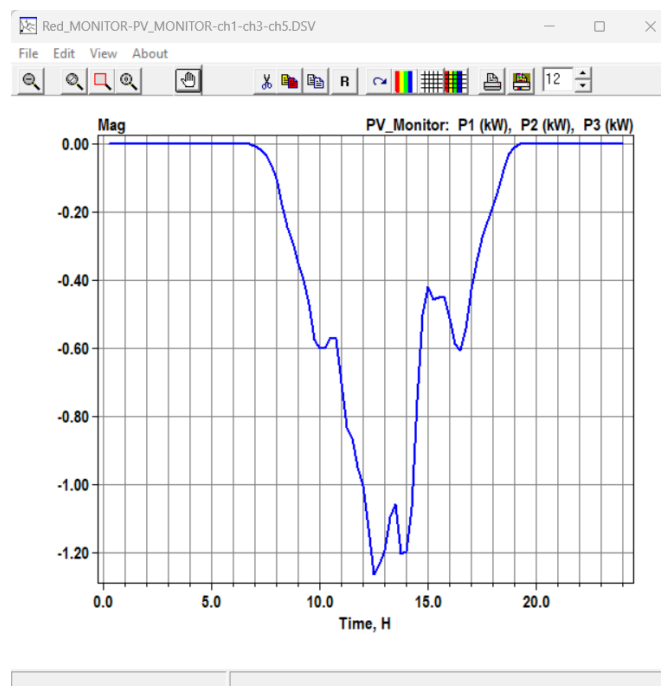


Figura 34 Grafica Generación Microred FV
Fuente: propia

Tabla 1 Datos de generación de la Microred FV condiciones normales
Fuente: propia

hour	t(sec)	P1 (kW)	Q1 (kvar)	P2 (kW)	Q2 (kvar)	P3 (kW)	Q3 (kvar)	P4 (kW)	Q4 (kvar)
0	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	900	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	900	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	900	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	900	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	900	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	900	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	-0.00751378	1.22E-08	-0.00751378	1.18E-08	-0.00751378	1.23E-08	0	0
7	900	-0.0162973	-1.45E-07	-0.0162973	-1.68E-07	-0.0162973	-1.39E-07	0	0
7	1800	-0.0316412	3.66E-08	-0.0316412	3.70E-08	-0.0316412	3.72E-08	0	0
7	2700	-0.0588114	1.10E-07	-0.0588114	9.98E-08	-0.0588114	1.11E-07	0	0
8	0	-0.102261	-1.46E-07	-0.102261	-1.46E-07	-0.102261	-1.51E-07	0	0
8	900	-0.178787	1.77E-06	-0.178787	1.83E-06	-0.178787	1.88E-06	0	0
8	1800	-0.245176	-1.06E-06	-0.245179	-2.14E-06	-0.245178	-1.50E-06	0	0
8	2700	-0.289813	2.06E-06	-0.289818	2.93E-07	-0.289815	2.34E-06	0	0
9	0	-0.348704	-5.85E-08	-0.348705	-2.54E-06	-0.348707	-2.84E-06	0	0
9	900	-0.399918	3.96E-07	-0.39991	3.92E-06	-0.399913	1.25E-06	0	0
9	1800	-0.46909	1.15E-06	-0.46909	1.12E-06	-0.46909	1.20E-06	0	0
9	2700	-0.575209	1.27E-06	-0.575209	1.25E-06	-0.575209	1.32E-06	0	0
10	0	-0.600404	3.79E-06	-0.600403	4.02E-06	-0.600403	4.65E-06	0	0
10	900	-0.598679	3.94E-06	-0.598679	3.79E-06	-0.598679	4.26E-06	0	0
10	1800	-0.567437	9.20E-06	-0.567436	9.12E-06	-0.567437	9.98E-06	0	0
10	2700	-0.569496	-5.04E-06	-0.569496	-4.75E-06	-0.569495	-5.39E-06	0	0
11	0	-0.700009	2.07E-06	-0.700009	2.23E-06	-0.700009	2.57E-06	0	0
11	900	-0.830342	-1.40E-06	-0.830342	-1.00E-06	-0.830342	-1.21E-06	0	0
11	1800	-0.861986	-1.69E-06	-0.861986	-1.56E-06	-0.861985	-1.87E-06	0	0
11	2700	-0.949796	3.38E-06	-0.949796	3.36E-06	-0.949796	4.11E-06	0	0
12	0	-1.00219	3.22E-06	-1.00221	-2.48E-06	-1.0022	2.37E-07	0	0
12	900	-1.12652	7.50E-06	-1.12651	1.10E-05	-1.12654	1.83E-06	0	0
12	1800	-1.26252	-1.97E-05	-1.26252	-1.75E-05	-1.26252	-2.23E-05	0	0
12	2700	-1.23407	-7.03E-06	-1.23404	8.38E-06	-1.23405	-2.54E-06	0	0
13	0	-1.19327	-4.03E-06	-1.19327	-3.54E-06	-1.19327	-4.20E-06	0	0
13	900	-1.0955	-8.19E-06	-1.0955	-7.26E-06	-1.0955	-8.88E-06	0	0
13	1800	-1.05467	-2.37E-06	-1.05467	-2.32E-06	-1.05467	-2.92E-06	0	0
13	2700	-1.20253	-6.03E-06	-1.20253	-5.25E-06	-1.20253	-6.67E-06	0	0
14	0	-1.19537	1.64E-06	-1.19537	1.32E-06	-1.19537	1.68E-06	0	0
14	900	-1.06678	3.12E-06	-1.06678	-1.13E-06	-1.06678	-2.30E-06	0	0
14	1800	-0.751111	-1.07E-06	-0.751089	-3.34E-06	-0.751103	5.84E-06	0	0
14	2700	-0.50045	-1.60E-06	-0.50045	-1.70E-06	-0.50045	-1.55E-06	0	0
15	0	-0.418783	-9.14E-07	-0.418783	-7.32E-07	-0.418783	-7.96E-07	0	0
15	900	-0.455732	-1.43E-07	-0.455732	-2.70E-07	-0.455732	-4.00E-07	0	0
15	1800	-0.4495	8.12E-07	-0.449512	-2.93E-06	-0.449515	-3.57E-06	0	0
15	2700	-0.445932	-6.58E-06	-0.445917	6.13E-07	-0.44592	-3.06E-06	0	0
16	0	-0.511661	-3.09E-06	-0.511657	-6.24E-07	-0.511663	-4.00E-06	0	0
16	900	-0.58632	-3.63E-07	-0.58632	-4.42E-07	-0.58632	-3.66E-07	0	0
16	1800	-0.604515	4.28E-06	-0.604513	7.14E-06	-0.604517	2.67E-06	0	0
16	2700	-0.542024	-2.98E-06	-0.542026	-5.41E-06	-0.542026	-3.98E-06	0	0
17	0	-0.42719	3.29E-07	-0.427191	-1.05E-07	-0.427192	-7.88E-07	0	0
17	900	-0.344428	-1.24E-07	-0.344428	-1.03E-07	-0.344428	-1.31E-07	0	0
17	1800	-0.276645	3.89E-07	-0.276644	1.28E-06	-0.276645	5.87E-07	0	0
17	2700	-0.228034	-2.20E-06	-0.228033	-2.38E-06	-0.228033	-1.81E-06	0	0
18	0	-0.183643	1.15E-07	-0.183643	1.18E-07	-0.183643	1.16E-07	0	0
18	900	-0.132406	-1.02E-06	-0.132406	-1.32E-06	-0.132406	-1.41E-06	0	0
18	1800	-0.0753932	-4.40E-07	-0.0753929	-2.58E-07	-0.0753933	-5.50E-07	0	0
18	2700	-0.0297692	-2.34E-08	-0.0297694	-1.60E-07	-0.0297693	-4.51E-08	0	0
19	0	-0.0103273	-4.61E-09	-0.0103273	2.34E-08	-0.0103273	-1.01E-09	0	0
19	900	0	0	0	0	0	0	0	0

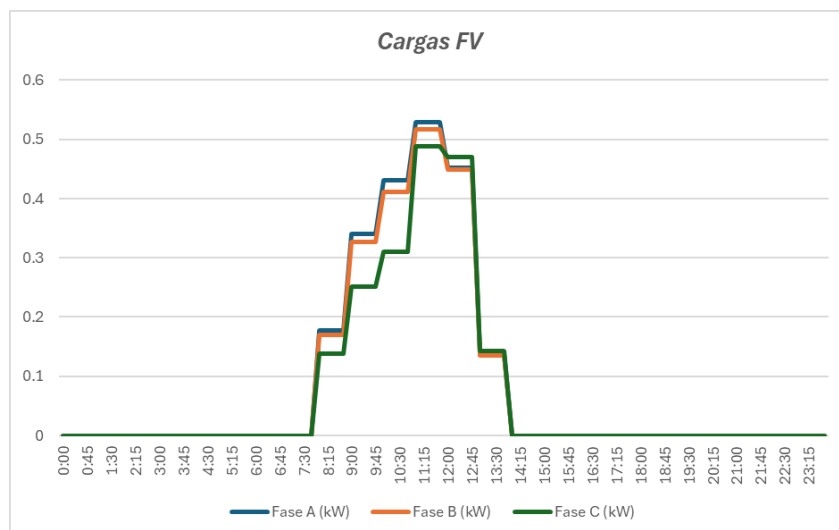


Figura 35 Cargas FV
Fuente: propia

Como se puede observar en la Figura 34 correspondiente a la generación en kW del sistema fotovoltaico (en adelante denominado con las siglas FV), la eficiencia de este es de aproximadamente un 95%, presentando un pico máximo de generación por fase de 1.26 kW valor suficiente para abastecer la alimentación total de sus cargas. Dichas cargas tienen un consumo total de 23.508 kWh en un periodo de aproximadamente 6 horas, estas se dividen entre las tres fases presentando un pico máximo de consumo en la fase A de 0.529 kW, fase B de 0.517 kW y en fase C de 0.487 kW, el perfil utilizado se basa en una toma de datos cada 15 minutos tal como se especifica directamente en el código. En la figura 35 se visualizan la gráfica de las cargas del sistema FV por cada una de sus fases.

1.1.2 Comportamiento Banco de baterías

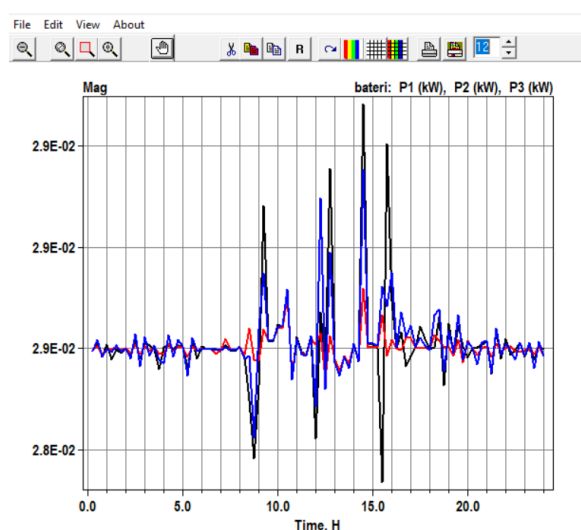


Figura 36 Grafica Carga/Descarga banco de baterías
Fuente: propia

En la Figura 36 correspondiente a la gráfica de la carga y descarga del banco de baterías se puede observar que la potencia activa de P1,P2 y P3 se muestra constante y baja siendo un comportamiento normal para sistemas de respaldo, en escenarios posteriores se omitirá el análisis de este ya que no presentara variaciones significativas en sus datos puesto que al encontrarse en modo de respaldo este entrara en funcionamiento en caso de fallas en la red escenario que no se ha contemplado para las simulaciones planteadas.

1.1.3 Análisis del flujo de potencia y comportamiento del voltaje en la línea de interconexión entre el punto de conexión E (PCC) y la red eléctrica a través del transformador

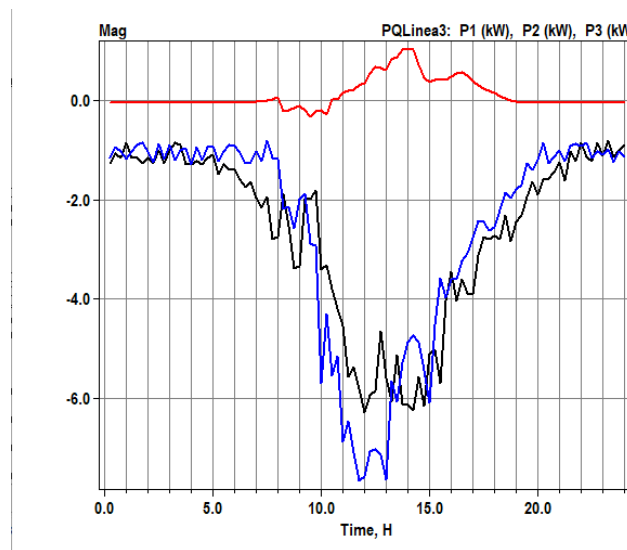


Figura 37 Grafica Línea 3 PQ
Fuente: propia

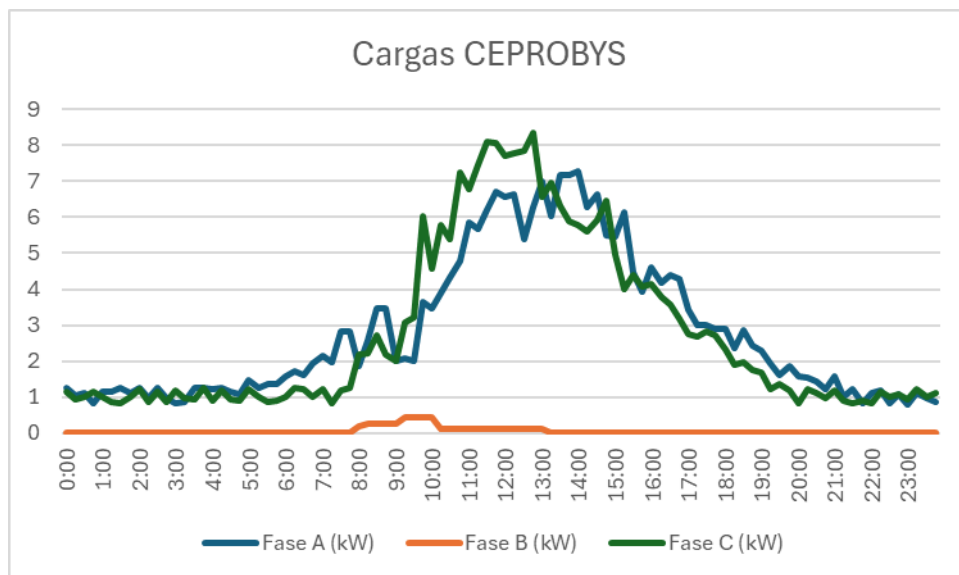


Figura 38 Cargas CEPROBYS
Fuente: propia

Tabla 2 Datos mediciones línea 3 E (PCC)
Fuente: propia

hour	t(sec)	P1 (kW)	Q1 (kvar)	P2 (kW)	Q2 (kvar)	P3 (kW)	Q3 (kvar)
0	900	-1.2685	-7.33E-07	-0.0385031	-7.37E-07	-1.1685	-7.32E-07
0	1800	-1.07851	-9.50E-07	-0.0385032	-6.91E-07	-0.948506	-8.94E-07
0	2700	-1.1485	1.54E-08	-0.0385031	-9.95E-07	-1.0285	9.95E-08
1	0	-0.848505	6.95E-07	-0.0385031	-7.76E-07	-1.1885	-8.56E-07
1	900	-1.1585	-1.72E-06	-0.0385031	-4.63E-07	-1.0385	-1.76E-06
1	1800	-1.1685	-5.93E-07	-0.0385032	-8.25E-07	-0.888504	1.07E-07
1	2700	-1.2785	-8.85E-07	-0.0385031	-8.59E-07	-0.848502	4.08E-07
2	0	-1.1485	-7.73E-07	-0.0385031	-7.37E-07	-1.0385	-7.80E-07
2	900	-1.2785	-1.14E-06	-0.0385031	-1.01E-06	-1.2385	-1.57E-06
2	1800	-1.00851	-7.46E-07	-0.0385032	-7.25E-07	-0.878508	-3.43E-07
2	2700	-1.2685	-5.31E-07	-0.0385031	-5.90E-07	-1.1785	-4.11E-07
3	0	-0.998505	6.31E-07	-0.0385032	-8.79E-07	-0.888507	8.95E-07
3	900	-0.858504	-5.50E-07	-0.0385031	-7.06E-07	-1.1985	-6.43E-07
3	1800	-0.898503	-2.04E-06	-0.0385032	-6.66E-07	-1.0085	-1.14E-06
3	2700	-1.28849	-1.20E-07	-0.0385031	-4.96E-07	-0.968499	-2.37E-06
4	0	-1.2985	-8.09E-07	-0.0385031	-7.46E-07	-1.2985	-3.93E-07
4	900	-1.2285	-7.38E-07	-0.0385032	-8.10E-07	-0.938508	1.01E-07
4	1800	-1.2885	-1.03E-06	-0.0385031	-8.80E-07	-1.1985	-1.00E-06
4	2700	-1.1685	-8.43E-07	-0.0385032	-7.02E-07	-0.948506	-8.27E-07
5	0	-1.0985	-6.11E-07	-0.0385032	-7.63E-07	-0.908504	-5.20E-07
5	900	-1.48849	1.38E-06	-0.0385031	-5.59E-07	-1.22849	2.01E-07
5	1800	-1.28851	-1.26E-06	-0.0385032	-9.90E-07	-1.03851	2.60E-07
5	2700	-1.3985	9.76E-07	-0.0385031	-4.77E-07	-0.898502	-2.91E-06
6	0	-1.3985	-1.83E-06	-0.0385031	-9.31E-07	-0.928503	5.60E-07
6	900	-1.5885	-6.06E-07	-0.0385031	-7.33E-07	-1.0485	-7.87E-07
6	1800	-1.7585	-4.70E-07	-0.0385031	-7.29E-07	-1.2785	-6.72E-07
6	2700	-1.6385	1.20E-06	-0.0385031	-5.83E-07	-1.2485	-1.78E-07
7	0	-1.96099	7.84E-07	-0.0309879	-3.70E-07	-1.03099	-5.76E-07
7	900	-2.1622	-8.44E-06	-0.0222033	-2.62E-07	-1.2322	-9.96E-07
7	1800	-1.94686	8.18E-07	-0.00685888	-1.19E-08	-0.806859	-3.95E-07
7	2700	-2.79969	2.07E-06	0.0203079	-8.90E-07	-1.14969	-8.19E-07
8	0	-2.74626	-7.20E-06	0.0637399	-4.86E-06	-1.17626	-5.11E-06
8	900	-1.87651	4.75E-06	-0.219855	2.27E-06	-2.1777	1.08E-05
8	1800	-2.53009	-5.65E-06	-0.203474	-4.79E-06	-2.15134	-1.31E-05
8	2700	-3.39542	1.15E-05	-0.158857	-9.66E-06	-2.58668	-4.26E-06
9	0	-3.33664	-1.42E-05	-0.100027	-2.49E-05	-1.99792	-4.05E-05
9	900	-1.97917	2.67E-06	-0.204734	-2.44E-06	-1.87066	-1.46E-05
9	1800	-1.97996	1.32E-06	-0.335603	-1.75E-05	-2.89154	-3.46E-05
9	2700	-1.81397	-1.99E-05	-0.229629	-5.62E-05	-2.93561	-8.61E-05
10	0	-3.40883	-1.51E-05	-0.204484	-6.74E-05	-5.7105	-7.08E-05
10	900	-3.31105	1.27E-05	-0.291837	-3.30E-05	-4.29966	-5.25E-05
10	1800	-3.8023	4.43E-05	0.026956	-2.48E-05	-5.5509	1.89E-05
10	2700	-4.20016	-2.44E-05	0.0290206	-2.46E-05	-5.15874	-9.97E-05
11	0	-4.54987	-1.44E-05	0.15932	-8.15E-05	-6.88857	-0.0001194
11	900	-5.5776	-6.60E-05	0.183953	-8.15E-05	-6.45608	-0.00010539
11	1800	-5.36602	-8.24E-05	0.215521	-9.96E-05	-7.10452	-0.00013128
11	2700	-5.81848	-0.00011075	0.303081	-0.00016094	-7.66701	-0.000156
12	0	-6.28609	-0.00015212	0.35532	-0.000201	-7.57467	-0.00023311
12	900	-5.9361	-0.00036555	0.54639	-0.00038097	-7.08422	-0.00035367
12	1800	-5.85076	-0.00065628	0.681652	-0.0005406	-7.03866	-0.00065791
12	2700	-4.6593	-0.00054936	0.653333	-0.00051715	-7.1372	-0.00051425
13	0	-5.5896	-0.00049911	0.612803	-0.00045603	-7.64754	-0.00047857
13	900	-6.08333	-0.00084608	0.823685	-0.00076551	-5.6488	-0.00085055
13	1800	-5.13389	-0.00074383	0.873137	-0.00070389	-6.06937	-0.00075734
13	2700	-6.12713	-0.00103065	1.01991	-0.00095196	-5.28261	-0.00103306
14	0	-6.13427	-0.00098391	1.01281	-0.00094409	-4.87973	-0.0009858
14	900	-6.25589	-0.00099089	1.02414	-0.00096707	-4.73594	-0.00102666
14	1800	-5.57975	-0.00045762	0.710571	-0.00046809	-4.87967	-0.00044105
14	2700	-6.15893	-0.00022324	0.461087	-0.0001999	-5.43894	-0.00022465
15	0	-5.11032	-0.00014952	0.379691	-0.00013773	-6.09033	-0.00015441
15	900	-5.03348	-0.00017082	0.416525	-0.00016527	-4.52349	-0.00017532
15	1800	-5.70951	-0.00016003	0.410327	-0.00015761	-3.57974	-0.00018317
15	2700	-4.04347	-0.00019746	0.406742	-0.00015888	-3.98331	-0.00018394
16	0	-3.44779	-0.00022678	0.472255	-0.00021163	-3.60783	-0.00023491
16	900	-4.04339	-0.00028971	0.546618	-0.00028165	-3.6034	-0.00029327
16	1800	-3.59529	-0.00029037	0.564732	-0.0003078	-3.22532	-0.00030034
16	2700	-3.88748	-0.00025823	0.502508	-0.00023405	-3.07751	-0.00025995
17	0	-3.90192	-0.00014563	0.388077	-0.00014423	-2.77195	-0.00015115
17	900	-3.12446	-9.31E-05	0.305542	-9.08E-05	-2.43446	-9.35E-05
17	1800	-2.76211	-5.47E-05	0.237906	-5.73E-05	-2.4421	-5.46E-05
17	2700	-2.80063	-5.13E-05	0.189379	-3.43E-05	-2.63062	-4.84E-05
18	0	-2.72495	-2.13E-05	0.14505	-2.21E-05	-2.56495	-2.16E-05
18	900	-2.79614	-2.18E-05	0.0938641	-8.83E-06	-2.21616	-2.14E-05
18	1800	-2.31314	-8.26E-06	0.0368843	-1.85E-06	-1.85314	-7.26E-06
18	2700	-2.8487	-1.28E-06	-0.00873062	6.12E-09	-1.96872	-1.28E-06
19	0	-2.43819	-8.57E-07	-0.028174	-2.60E-07	-1.78818	-3.68E-07
19	900	-2.3185	9.46E-06	-0.0385031	-4.42E-07	-1.6985	4.46E-06
19	1800	-1.94852	-4.59E-06	-0.0385032	-8.53E-07	-1.25852	-1.75E-06
19	2700	-1.6385	3.49E-06	-0.038503	-3.68E-07	-1.3885	2.35E-06
20	0	-1.8985	-3.33E-06	-0.0385032	-9.28E-07	-1.19851	-1.15E-06
20	900	-1.5985	-8.52E-07	-0.0385031	-7.52E-07	-0.858503	-6.70E-07

En la Figura 37 correspondiente a la gráfica de la Línea 3 se observa el intercambio de potencia activa entre el bus E (en adelante identificado como E (PCC)) y el bus H. En dicha figura se identifica que la potencia presenta valores negativos lo cual en este caso representa la dirección del flujo de energía desde E (PCC) hacia el bus H.

Las potencias P1,P2,P3 representan las cargas asociadas tanto al E (PCC) como al bus H en el cual se encuentra conectado el sistema FV y sus respectivas cargas. Las potencias P1 y P3 son las que presentan los mayores niveles de flujo de potencia alcanzando picos máximos cercanos a 7 kW, cabe destacar que este valor es significativamente inferior al que realmente consume las cargas en la fase 1 y 3 del E (PCC), esto debido a que el sistema FV al estar generando más potencia de la que consume sus propias cargas permite que el excedente se inyecta a la red y contribuya parcialmente a la alimentación de las cargas del E (PCC) .

Por otro lado en la potencia P2 se observa un flujo de potencia positivo esto debido a que las cargas asociadas a la fase 2 del E (PCC) son significativamente inferiores lo cual logra que el excedente generado por el sistema FV las alimente la mayor parte del tiempo y sobre todo logre que el excedente restante se siga inyectado a la red. En la figura 38 se evidencia el perfil de las cargas por fases asociadas al E (PCC) sin el aporte de alimentación por parte del sistema FV.

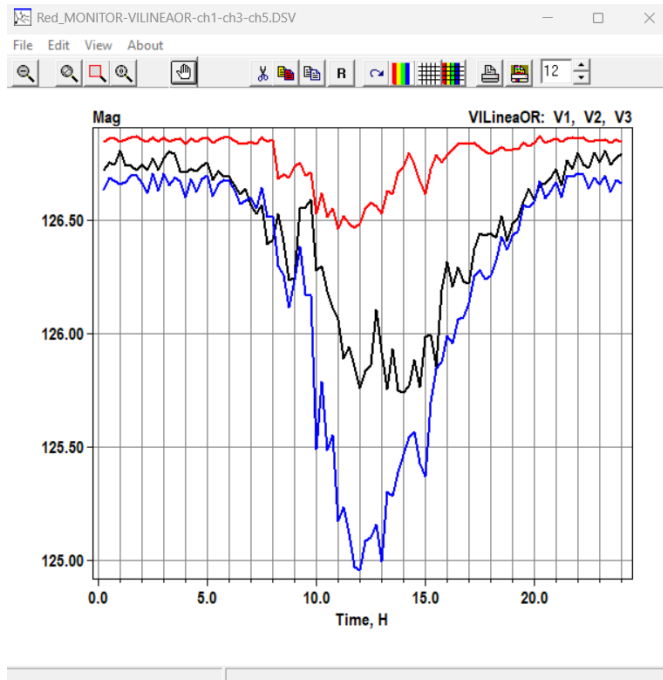


Figura 39 Grafica Línea 3 V
Fuente: propia

Finalmente, en la gráfica correspondiente a los voltajes entre el intercambio del E (PCC) al bus H se puede observar un comportamiento estable con ligeras variaciones entre 125.7 V y

126.9 V lo cual se debe al cambio de carga y generación del sistema, con esto se verifica el correcto desempeño del sistema y un equilibrio correcto entre fases. (Figura 39)

1.1.4 Análisis del Flujo de potencia y comportamiento del voltaje desde el sistema FV (bus H)

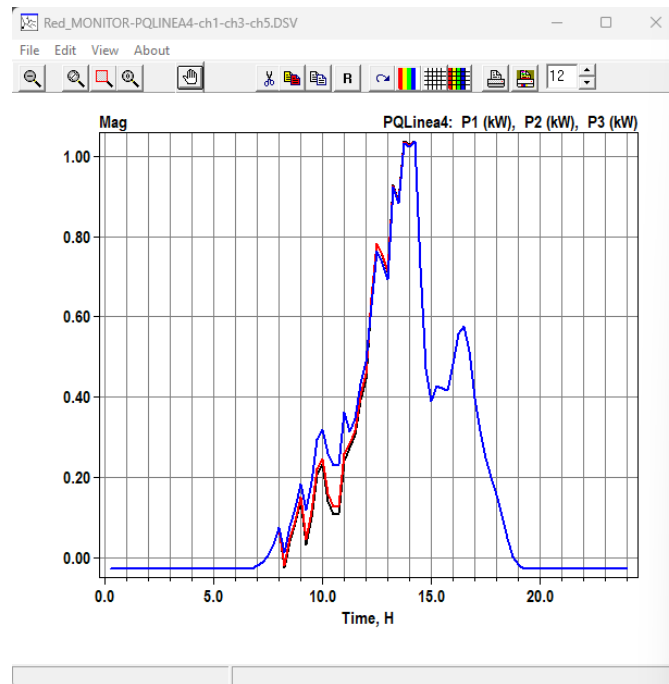


Figura 40 Grafica Línea 4 PQ
Fuente: propia

En la figura 40 se identifica la gráfica del intercambio del flujo de potencia del bus H al E (PCC) un enfoque distinto que nos permite identificar de mejor manera el aporte o inyección que se hace a la red por parte del sistema FV cuando el mismo presenta excedentes de generación. Se identifica que el sistema está aportando a la red en su pico más alto tanto en la fase 1,2,3 de aproximadamente un poco más de 1 KW. Se debe resaltar que la gráfica muestra flujos negativos continuo en horarios de demanda 0 por parte de las cargas del sistema FV esto no se debe a un error del diseño del código sino es propio del programa, estos valores no corresponden a flujos reales de la potencia sino a residuos numerosos generado por el solucionador de cargas de OpenDSS los cuales son comunes en simulaciones de este tipo y no resultan de gran relevancia pero si toca aclarar para que no tienda a confusiones.

Tabla 3 Datos mediciones línea 4 error de medición de -0.0285 kW
Fuente: propia

hour	t(sec)	P1 (kW)	Q1 (kvar)	P2 (kW)	Q2 (kvar)	P3 (kW)	Q3 (kvar)
0	900	-0.0285	1.32E-08	-0.0285	7.93E-09	-0.0285	1.68E-08
0	1800	-0.0285	3.68E-08	-0.0285	5.41E-08	-0.0285	2.15E-08
0	2700	-0.0285	-2.48E-07	-0.0285	-2.50E-07	-0.0285	-2.27E-07
1	0	-0.0285	-1.05E-07	-0.0285	-3.00E-08	-0.0285	-5.40E-08
1	900	-0.0284999	3.59E-07	-0.0285	2.82E-07	-0.0285	2.99E-07
1	1800	-0.0285	-6.58E-08	-0.0285	-7.99E-08	-0.0285	-9.85E-08
1	2700	-0.0285	-8.79E-08	-0.0285	-1.14E-07	-0.0285	-1.14E-07
2	0	-0.0285	8.03E-09	-0.0285	8.06E-09	-0.0285	8.35E-09
2	900	-0.0285	-2.55E-07	-0.0285	-2.60E-07	-0.0284999	-2.20E-07
2	1800	-0.0285	1.57E-10	-0.0285	2.02E-08	-0.0285001	-4.50E-08
2	2700	-0.0284999	1.82E-07	-0.0285	1.55E-07	-0.0284999	2.15E-07
3	0	-0.0285	-1.64E-07	-0.0285	-1.33E-07	-0.0285001	-1.89E-07
3	900	-0.0285	-1.48E-08	-0.0285	3.98E-08	-0.0285	4.77E-08
3	1800	-0.0285	1.08E-07	-0.0285	8.01E-08	-0.0285	8.78E-08
3	2700	-0.0284999	3.30E-07	-0.0285	2.49E-07	-0.0284999	2.78E-07
4	0	-0.0285	-2.70E-08	-0.0285	-3.56E-10	-0.0284999	6.10E-08
4	900	-0.0285	-4.86E-08	-0.0285	-6.53E-08	-0.0285001	-1.23E-07
4	1800	-0.0285	-1.47E-07	-0.0285	-1.35E-07	-0.0285	-1.08E-07
4	2700	-0.0285	4.06E-08	-0.0285	4.28E-08	-0.0285	1.15E-08
5	0	-0.0285	-2.83E-08	-0.0285	-1.78E-08	-0.0285	-2.90E-08
5	900	-0.0284999	2.36E-07	-0.0285	1.86E-07	-0.0284999	2.83E-07
5	1800	-0.0285	-2.68E-07	-0.0285	-2.44E-07	-0.0285001	-3.00E-07
5	2700	-0.0284999	2.97E-07	-0.0285	2.67E-07	-0.0285	2.60E-07
6	0	-0.0285	-1.87E-07	-0.0285	-1.87E-07	-0.0285	-1.80E-07
6	900	-0.0285	1.15E-08	-0.0285	1.12E-08	-0.0285	1.16E-08
6	1800	-0.0285	1.51E-08	-0.0285	1.49E-08	-0.0285	1.58E-08
6	2700	-0.0285	1.37E-07	-0.0285	1.61E-07	-0.0285	1.41E-07
7	0	-0.0209862	3.42E-08	-0.0209862	3.30E-08	-0.0209862	3.43E-08
7	900	-0.0122027	-1.09E-07	-0.0122027	-1.26E-07	-0.0122027	-1.04E-07
7	1800	0.00314116	-3.63E-09	0.00314116	-3.67E-09	0.00314116	-3.70E-09
7	2700	0.0303114	-5.65E-08	0.0303114	-5.15E-08	0.0303114	-5.70E-08
8	0	0.073761	1.05E-07	0.073761	1.06E-07	0.073761	1.09E-07
8	900	-0.0265099	2.63E-07	-0.0198544	2.03E-07	0.0122903	-1.30E-07
8	1800	0.0398804	1.73E-07	0.0465365	4.06E-07	0.078681	4.81E-07
8	2700	0.08452	-6.00E-07	0.091177	-9.22E-08	0.12332	-9.96E-07
9	0	0.143408	2.41E-08	0.150064	1.10E-06	0.18221	1.48E-06
9	900	0.0309075	-3.06E-08	0.0452771	-4.44E-07	0.119415	-3.73E-07
9	1800	0.100086	-2.44E-07	0.114457	-2.73E-07	0.188594	-4.83E-07
9	2700	0.206206	-4.55E-07	0.220576	-4.79E-07	0.294713	-6.76E-07
10	0	0.2314	-1.46E-06	0.24577	-1.65E-06	0.319907	-2.48E-06
10	900	0.139044	-9.16E-07	0.158277	-1.00E-06	0.260595	-1.85E-06
10	1800	0.107799	-1.75E-06	0.127032	-2.04E-06	0.229351	-4.03E-06
10	2700	0.109864	9.72E-07	0.129097	1.08E-06	0.231414	2.19E-06
11	0	0.240375	-7.10E-07	0.259608	-8.25E-07	0.361926	-1.33E-06
11	900	0.272693	4.59E-07	0.284276	3.43E-07	0.314289	4.60E-07
11	1800	0.304337	5.97E-07	0.315919	5.71E-07	0.345932	7.49E-07
11	2700	0.392146	-1.40E-06	0.403728	-1.43E-06	0.433741	-1.88E-06
12	0	0.444554	-1.43E-06	0.456144	1.13E-06	0.486151	-1.15E-07
12	900	0.645602	-4.30E-06	0.648009	-6.32E-06	0.627617	-1.02E-06
12	1800	0.781612	1.22E-05	0.784021	1.09E-05	0.763614	1.35E-05
12	2700	0.753146	4.29E-06	0.755535	-5.13E-06	0.735139	1.51E-06
13	0	0.712364	2.41E-06	0.714775	2.12E-06	0.694368	2.45E-06
13	900	0.929994	6.95E-06	0.927002	6.14E-06	0.924537	7.50E-06
13	1800	0.889165	2.00E-06	0.886172	1.95E-06	0.883707	2.45E-06
13	2700	1.03702	5.20E-06	1.03403	4.51E-06	1.03156	5.72E-06
14	0	1.02986	-1.42E-06	1.02687	-1.13E-06	1.0244	-1.44E-06
14	900	1.03828	-3.04E-06	1.03828	1.10E-06	1.03828	2.24E-06
14	1800	0.72261	1.03E-06	0.722588	3.22E-06	0.722602	-5.62E-06
14	2700	0.47195	1.51E-06	0.47195	1.60E-06	0.47195	1.46E-06
15	0	0.390283	8.52E-07	0.390283	6.82E-07	0.390283	7.42E-07
15	900	0.427232	1.34E-07	0.427232	2.53E-07	0.427232	3.75E-07
15	1800	0.421	-7.61E-07	0.421012	2.75E-06	0.421014	3.34E-06
15	2700	0.417431	6.16E-06	0.417417	-5.73E-07	0.41742	2.86E-06
16	0	0.483161	2.92E-06	0.483157	5.90E-07	0.483163	3.78E-06
16	900	0.55782	3.46E-07	0.55782	4.21E-07	0.55782	3.49E-07
16	1800	0.576015	-4.08E-06	0.576013	-6.81E-06	0.576016	-2.54E-06
16	2700	0.513524	2.83E-06	0.513526	5.12E-06	0.513526	3.77E-06
17	0	0.39869	-3.07E-07	0.398691	9.83E-08	0.398692	7.36E-07
17	900	0.315928	1.14E-07	0.315928	9.47E-08	0.315928	1.20E-07
17	1800	0.248145	-3.49E-07	0.248144	-1.15E-06	0.248145	-5.27E-07
17	2700	0.199534	1.92E-06	0.199533	2.08E-06	0.199533	1.58E-06
18	0	0.155143	-9.72E-08	0.155143	-9.97E-08	0.155143	-9.80E-08
18	900	0.103906	8.00E-07	0.103906	1.03E-06	0.103906	1.11E-06
18	1800	0.046893	2.74E-07	0.0468929	1.60E-07	0.0468931	3.42E-07
18	2700	0.00126938	9.98E-10	0.00126939	6.84E-09	0.00126939	1.92E-09
19	0	-0.0181728	-8.10E-09	-0.0181727	4.12E-08	-0.0181728	-1.77E-09
19	900	-0.0285	2.66E-07	-0.0285	3.01E-07	-0.0285	2.61E-07
19	1800	-0.0285001	-1.52E-07	-0.0285	-1.09E-07	-0.0285002	-2.23E-07
19	2700	-0.0285	2.97E-07	-0.0284999	3.76E-07	-0.0284999	3.44E-07
20	0	-0.0285	-1.10E-07	-0.0285	-1.84E-07	-0.0285	-1.72E-07
20	900	-0.0285	-7.90E-09	-0.0285	-7.88E-09	-0.0285	-8.35E-09
20	1800	-0.0285	1.06E-07	-0.0285	1.47E-07	-0.0284999	1.84E-07
20	2700	-0.0285	-1.89E-07	-0.0285	-1.78E-07	-0.0285	-2.15E-07
21	0	-0.0285	1.06E-08	-0.0285	4.22E-08	-0.0285	1.92E-08
21	900	-0.0284999	3.96E-07	-0.0285	3.45E-07	-0.0284999	4.12E-07
21	1800	-0.0285001	-9.52E-08	-0.0285	-1.20E-08	-0.0285001	-1.18E-07
21	2700	-0.0285	1.45E-07	-0.0285	1.04E-07	-0.0285	1.40E-07

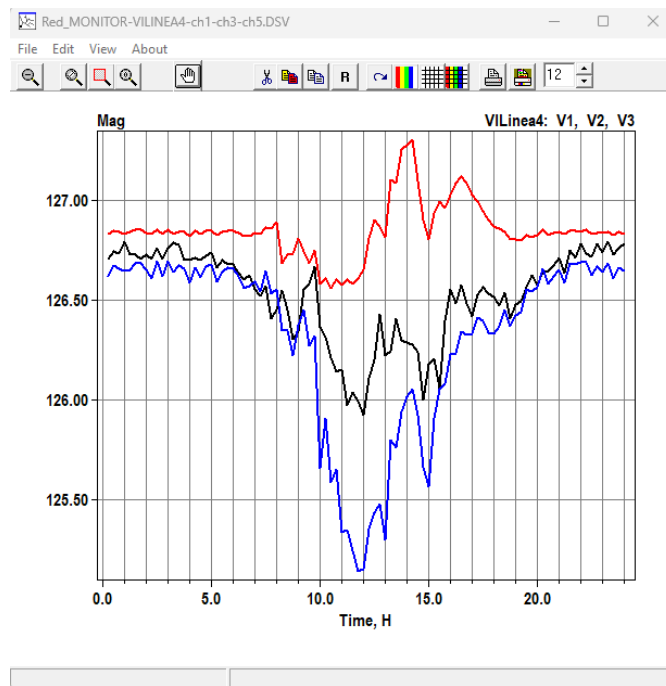


Figura 41 Grafica Línea 4 V
Fuente: propia

En la gráfica correspondiente a los voltajes entre el intercambio del bus H al E (PCC) se puede observar un comportamiento estable con ligeras variaciones entre 125.9 V y 127.7 V lo cual es un buen indicador de que el sistema se encuentra bien balanceado. (Figura 41)

1.2 Escenario 2 Sistema FV deshabilitado

En este segundo escenario se deshabilito el sistema FV con la finalidad de conocer el comportamiento de las cargas alimentadas por este, se obtuvieron los siguientes resultados:

1.2.1 Generación total del Sistema Fotovoltaico (FV)

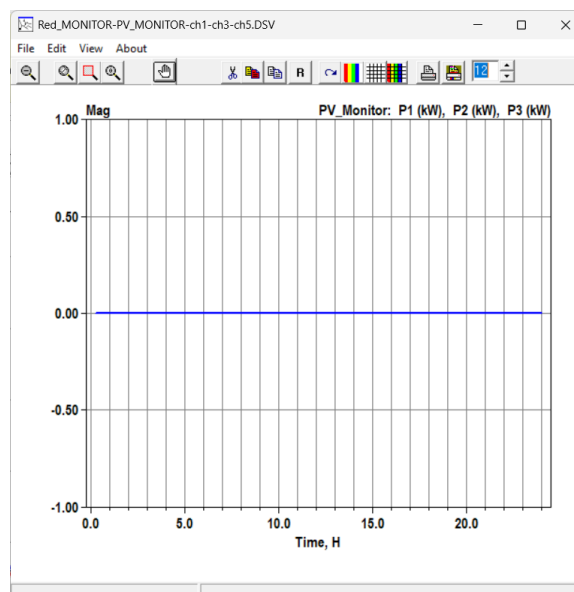


Figura 42 Grafica sistema FV deshabilitado
Fuente: propia

En la figura 42 se evidencia que la generación del sistema FV en kW es completamente nula mostrando una eficiencia aparente de 0%, en este caso como el sistema FV es incapaz de alimentar a sus cargas estas son alimentadas por la red mostrando un incremento en las curvas de potencia del transformador. En la figura 44 se evidencia que al estar el sistema FV deshabilitado el transformador en sus curvas de potencia activa llega a picos de consumo máximo en su fase 1 de 24.07 kW, fase 2 de 24.35 kW y en la fase 3 de 27.58 kW, lo cual a diferencia de la figura 43 que muestra una gráfica del transformador con picos de consumo máximo en su fase 1 de 22.97 kW, fase 2 de 23.33 kW y en la fase 3 de 26.60 kW demostrando así un incremento aproximado por fase de 1 kW .

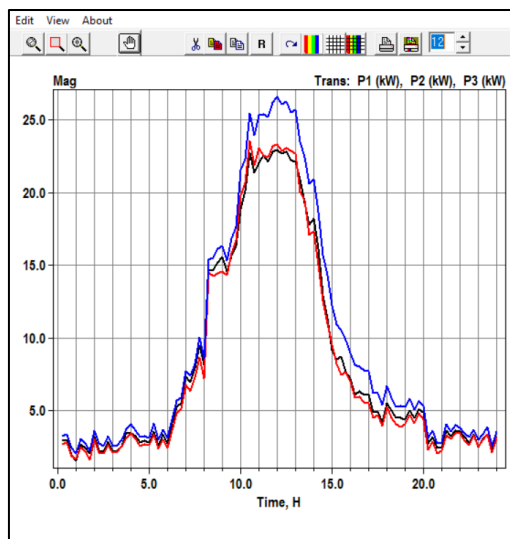


Figura 43 Transformador más sistema FV Fuente: propia

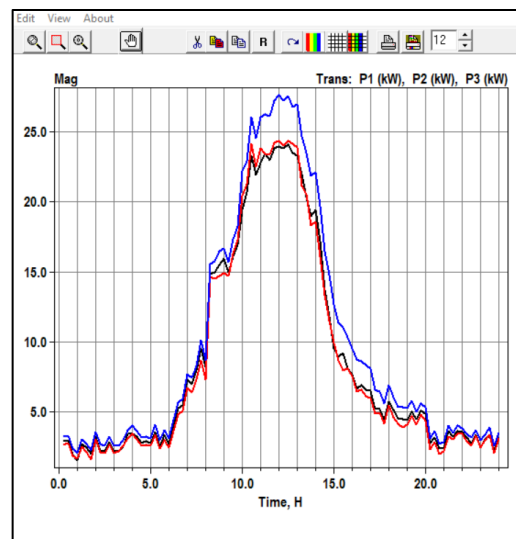


Figura 44 Transformador sin sistema FV Fuente: propia

1.2.2 Análisis del flujo de potencia y comportamiento del voltaje en la línea de interconexión entre el punto de conexión E (PCC) y la red eléctrica a través del transformador

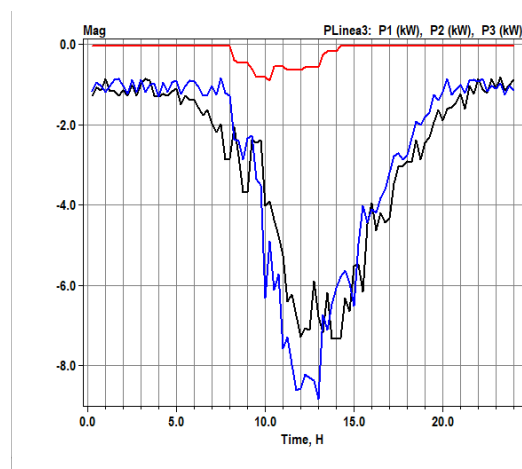


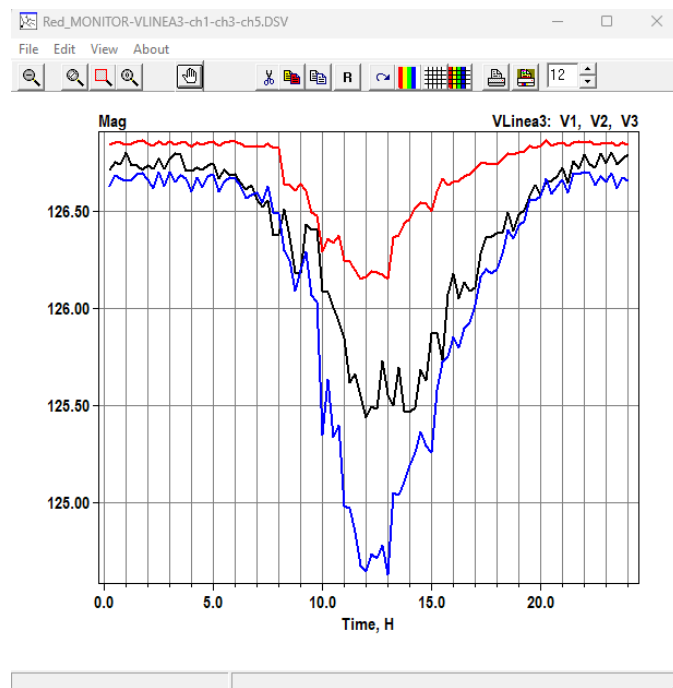
Figura 45 Gráfica Línea 3 PQ sistema FV deshabilitado Fuente: propia

Tabla 4 Datos mediciones línea 3 E (PCC)
Fuente: propia

hour	t(sec)	P1 (kW)	Q1 (kvar)	P2 (kW)	Q2 (kvar)	P3 (kW)	Q3 (kvar)
0	900	-1.2685	-7.33E-07	-0.0385031	-7.37E-07	-1.1685	-7.32E-07
0	1800	-1.07851	-9.50E-07	-0.0385032	-6.91E-07	-0.948506	-8.94E-07
0	2700	-1.1485	1.54E-08	-0.0385031	-9.95E-07	-1.0285	9.95E-08
1	0	-0.848505	6.95E-07	-0.0385031	-7.76E-07	-1.1885	-8.56E-07
1	900	-1.1585	-1.72E-06	-0.0385031	-4.63E-07	-1.0385	-1.76E-06
1	1800	-1.1685	-5.93E-07	-0.0385032	-8.25E-07	-0.888504	1.07E-07
1	2700	-1.2785	-8.85E-07	-0.0385031	-8.59E-07	-0.848502	4.08E-07
2	0	-1.1485	-7.73E-07	-0.0385031	-7.37E-07	-1.0385	-7.80E-07
2	900	-1.2785	-1.14E-06	-0.0385031	-1.01E-06	-1.2385	-1.57E-06
2	1800	-1.00851	-7.46E-07	-0.0385032	-7.25E-07	-0.878508	-3.43E-07
2	2700	-1.2685	-5.31E-07	-0.0385031	-5.90E-07	-1.1785	-4.11E-07
3	0	-0.998505	6.31E-07	-0.0385032	-8.79E-07	-0.888507	8.95E-07
3	900	-0.858504	-5.50E-07	-0.0385031	-7.06E-07	-1.1985	-6.43E-07
3	1800	-0.898503	-2.04E-06	-0.0385032	-6.66E-07	-1.0085	-1.14E-06
3	2700	-1.28849	-1.20E-07	-0.0385031	-4.96E-07	-0.968499	-2.37E-06
4	0	-1.2985	-8.09E-07	-0.0385031	-7.46E-07	-1.2985	-3.93E-07
4	900	-1.2285	-7.38E-07	-0.0385032	-8.10E-07	-0.938508	1.01E-07
4	1800	-1.2885	-1.03E-06	-0.0385031	-8.80E-07	-1.1985	-1.00E-06
4	2700	-1.1685	-8.43E-07	-0.0385032	-7.02E-07	-0.948506	-8.27E-07
5	0	-1.0985	-6.11E-07	-0.0385032	-7.63E-07	-0.908504	-5.20E-07
5	900	-1.48849	1.38E-06	-0.0385031	-5.59E-07	-1.22849	2.01E-07
5	1800	-1.28851	-1.26E-06	-0.0385032	-9.90E-07	-1.03851	2.60E-07
5	2700	-1.3985	9.76E-07	-0.0385031	-4.77E-07	-0.898502	-2.91E-06
6	0	-1.3985	-1.83E-06	-0.0385031	-9.31E-07	-0.928503	5.60E-07
6	900	-1.5885	-6.06E-07	-0.0385031	-7.33E-07	-1.0485	-7.87E-07
6	1800	-1.7585	-4.70E-07	-0.0385031	-7.29E-07	-1.2785	-6.72E-07
6	2700	-1.6385	1.20E-06	-0.0385031	-5.83E-07	-1.2485	-1.78E-07
7	0	-1.9685	4.52E-07	-0.0385031	-6.99E-07	-1.0385	-9.08E-07
7	900	-2.1785	-9.14E-06	-0.0385032	-1.04E-06	-1.2485	-1.74E-06
7	1800	-1.9785	1.12E-07	-0.0385031	-7.10E-07	-0.838503	-1.10E-06
7	2700	-2.8585	2.28E-06	-0.0385031	-6.93E-07	-1.2085	-6.10E-07
8	0	-2.8485	-3.04E-06	-0.0385032	-7.82E-07	-1.2785	-9.71E-07
8	900	-2.05546	-3.87E-05	-0.398789	-2.76E-05	-2.35661	-1.07E-05
8	1800	-2.77542	-5.32E-05	-0.44879	-3.53E-05	-2.3966	-3.06E-05
8	2700	-3.68536	-2.97E-05	-0.448788	-3.11E-05	-2.87654	-9.04E-06
9	0	-3.68542	-4.80E-05	-0.448788	-3.50E-05	-2.34662	-3.36E-05
9	900	-2.37961	-0.00015638	-0.605098	-9.05E-05	-2.27086	-6.00E-05
9	1800	-2.44953	-0.00015548	-0.805101	-9.47E-05	-3.36083	-5.89E-05
9	2700	-2.38953	-0.00015582	-0.805101	-9.49E-05	-3.51083	-5.92E-05
10	0	-4.00955	-0.00014089	-0.805104	-9.10E-05	-6.31086	-2.32E-05
10	900	-3.91047	-0.00023433	-0.891122	-0.00014008	-4.8986	-6.58E-05
10	1800	-4.37051	-0.00020055	-0.541124	-0.00013677	-6.11865	-3.35E-06
10	2700	-4.77043	-0.0002856	-0.541116	-0.00015003	-5.72854	-0.00013942
11	0	-5.25047	-0.00024127	-0.541121	-0.00014377	-7.58859	-6.94E-05
11	900	-6.40887	-0.00032271	-0.647224	-0.00025978	-7.28713	-0.00026118
11	1800	-6.22886	-0.00032399	-0.647225	-0.00026044	-7.96713	-0.00026846
11	2700	-6.76889	-0.00029308	-0.647228	-0.00025664	-8.61717	-0.00021881
12	0	-7.2887	-0.00029609	-0.647228	-0.00026069	-8.577	-0.00025329
12	900	-7.06189	-0.00016491	-0.579415	-0.00020907	-8.21015	-0.00021659
12	1800	-7.11178	-0.00030339	-0.579408	-0.00022377	-8.29977	-0.00037186
12	2700	-5.89213	-0.00022319	-0.57941	-0.00021074	-8.37015	-0.00025446
13	0	-6.78181	-0.00022672	-0.579411	-0.00021656	-8.83987	-0.00027728
13	900	-7.17558	-7.27E-05	-0.26861	-2.86E-05	-6.74105	-7.98E-05
13	1800	-6.18561	-3.79E-05	-0.178611	-2.72E-05	-7.12107	-4.68E-05
13	2700	-7.32558	-5.90E-05	-0.178611	-2.75E-05	-6.48105	-6.19E-05
14	0	-7.32562	-1.54E-05	-0.178611	-2.64E-05	-6.07109	-2.01E-05
14	900	-7.31848	1.06E-05	-0.0385031	-7.92E-07	-5.79849	-1.73E-05
14	1800	-6.32893	3.98E-05	-0.0385036	-5.46E-07	-5.62882	5.77E-05
14	2700	-6.65851	-1.78E-05	-0.0385032	-8.30E-07	-5.93851	-1.57E-05
15	0	-5.52851	-1.01E-05	-0.0385032	-7.88E-07	-6.50851	-1.11E-05
15	900	-5.4885	-1.76E-06	-0.0385032	-7.56E-07	-4.97851	-4.23E-06
15	1800	-6.1583	6.01E-06	-0.0385036	-9.08E-07	-4.02857	-2.06E-05
15	2700	-4.48875	-4.30E-05	-0.038503	-6.94E-07	-4.42856	-2.42E-05
16	0	-3.95855	-1.41E-05	-0.0385033	-7.68E-07	-4.11859	-1.78E-05
16	900	-4.6285	-2.58E-06	-0.0385032	-7.60E-07	-4.1885	-2.45E-06
16	1800	-4.19852	1.89E-05	-0.0385032	-4.29E-07	-3.82855	1.18E-05
16	2700	-4.42848	-1.74E-05	-0.0385033	-9.92E-07	-3.61852	-1.91E-05
17	0	-4.3285	-3.12E-07	-0.0385033	-7.29E-07	-3.19854	-6.46E-06
17	900	-3.4685	-1.54E-06	-0.0385032	-7.49E-07	-2.7785	-1.40E-06
17	1800	-3.03853	1.16E-06	-0.0385031	-6.08E-07	-2.71852	1.54E-06
17	2700	-3.02851	-1.74E-05	-0.0385032	-1.01E-06	-2.85851	-1.40E-05
18	0	-2.9085	2.67E-07	-0.0385031	-7.25E-07	-2.7485	2.31E-07
18	900	-2.92851	-1.39E-05	-0.0385033	-1.01E-06	-2.34853	-1.39E-05
18	1800	-2.38853	-7.73E-06	-0.0385032	-8.33E-07	-1.92853	-6.91E-06
18	2700	-2.87848	-2.47E-06	-0.0385032	-8.91E-07	-1.99849	-2.42E-06
19	0	-2.44852	-1.44E-06	-0.0385032	-6.77E-07	-1.79851	-9.35E-07
19	900	-2.3185	9.40E-06	-0.0385031	-4.41E-07	-1.6985	4.41E-06
19	1800	-1.94852	-4.59E-06	-0.0385032	-8.53E-07	-1.25852	-1.75E-06
19	2700	-1.6385	3.49E-06	-0.038503	-3.68E-07	-1.3885	2.35E-06

En la Figura 45 correspondiente a la gráfica de la Línea 3 se observa el intercambio de potencia activa del E (PCC) y el bus H. En dicha figura se identifica que la potencia activa en cada una de sus fases ha incrementado siendo un claro indicador de la falta de generación de potencia por parte del sistema FV.

Las potencias de P1 y P3 han incrementado llegando a picos máximos cercanos a 9 kW, esto demuestra valores más altos de consumo claro indicador que ahora las cargas en la fase 1 y 3 del E (PCC) son alimentadas completamente por la red al igual que las cargas asociadas al bus H. La potencia P2 ahora muestra curvas negativas con un pico máximo de 0.354 kW.



*Figura 46 Gráfica Línea 3 V sistema FV deshabilitado
Fuente: propia*

En la gráfica de voltajes de la línea 3 sin la presencia del sistema PV se puede observar que los voltajes tienden a presentar variaciones entre 124.7V y 126.8V lo cual se mantiene dentro de los márgenes de funcionamiento sin embargo el sistema tiende a ser más sensible a fluctuaciones de tensión. (Figura 46)

1.2.3 Análisis del Flujo de potencia y comportamiento del voltaje desde el sistema FV (bus H)

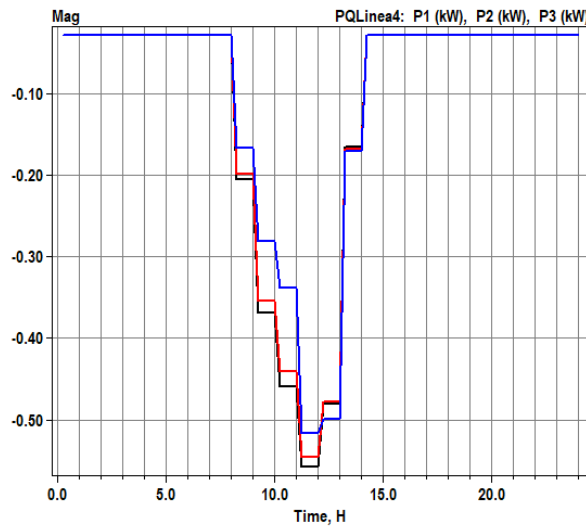


Figura 47 Gráfica Línea 4 PQ sistema FV deshabilitado
Fuente: propia

Tabla 5 Datos mediciones línea 4 error de medición de -0.0285 kW
Fuente: propia

8	0	-0.0285	-4.00E-08	-0.0285	-4.02E-08	-0.0285	-4.16E-08
8	900	-0.205297	2.01E-06	-0.198641	2.02E-06	-0.166496	1.74E-06
8	1800	-0.205295	-8.53E-07	-0.198642	-1.73E-06	-0.166496	-9.09E-07
8	2700	-0.205293	1.38E-06	-0.198641	1.39E-07	-0.166494	1.36E-06
9	0	-0.205295	-1.13E-07	-0.198641	-1.64E-06	-0.166497	-1.36E-06
9	900	-0.369012	1.06E-06	-0.354632	3.55E-06	-0.280499	1.15E-06
9	1800	-0.369003	9.51E-07	-0.354633	9.05E-07	-0.280496	7.72E-07
9	2700	-0.369003	8.66E-07	-0.354633	8.24E-07	-0.280496	6.93E-07
10	0	-0.369004	2.45E-06	-0.354634	2.56E-06	-0.280496	2.38E-06
10	900	-0.459635	3.22E-06	-0.440402	2.93E-06	-0.338084	2.52E-06
10	1800	-0.459638	7.77E-06	-0.440404	7.43E-06	-0.338086	6.26E-06
10	2700	-0.459631	-4.26E-06	-0.440398	-3.87E-06	-0.338081	-3.37E-06
11	0	-0.459634	1.39E-06	-0.440401	1.51E-06	-0.338083	1.39E-06
11	900	-0.557649	-9.25E-07	-0.546066	-7.69E-07	-0.516053	-7.55E-07
11	1800	-0.557649	-1.23E-06	-0.546066	-1.04E-06	-0.516053	-1.18E-06
11	2700	-0.55765	2.14E-06	-0.546068	2.10E-06	-0.516055	2.51E-06
12	0	-0.557637	1.45E-06	-0.546068	-1.81E-06	-0.516045	-1.50E-07
12	900	-0.480915	3.63E-06	-0.478503	4.50E-06	-0.498921	2.49E-06
12	1800	-0.480908	-8.00E-06	-0.478497	-7.94E-06	-0.498899	-8.85E-06
12	2700	-0.480934	-1.23E-06	-0.478498	3.70E-06	-0.498921	-1.45E-07
13	0	-0.48091	-1.78E-06	-0.478499	-1.56E-06	-0.498905	-1.87E-06
13	900	-0.165506	-1.33E-06	-0.168499	-1.26E-06	-0.170964	-1.59E-06
13	1800	-0.165507	-4.38E-07	-0.1685	-4.04E-07	-0.170965	-5.37E-07
13	2700	-0.165507	-9.26E-07	-0.1685	-8.64E-07	-0.170964	-1.09E-06
14	0	-0.165507	2.67E-07	-0.1685	2.10E-07	-0.170965	2.73E-07
14	900	-0.0284999	5.28E-08	-0.0284999	-5.51E-08	-0.0284999	-1.01E-07
14	1800	-0.0285016	2.35E-07	-0.0285003	1.92E-07	-0.0285013	3.76E-07
14	2700	-0.0285	-8.91E-08	-0.0285	-9.21E-08	-0.0285	-8.78E-08
15	0	-0.0285	-6.17E-08	-0.0285	-4.66E-08	-0.0285	-5.45E-08
15	900	-0.0285	-6.65E-09	-0.0285	-1.68E-08	-0.0285	-2.55E-08
15	1800	-0.0284992	3.82E-08	-0.0285003	-1.71E-07	-0.0285004	-1.92E-07
15	2700	-0.0285012	-3.65E-07	-0.0284999	4.65E-08	-0.0285003	-2.02E-07
16	0	-0.0285003	-1.38E-07	-0.0285001	-2.54E-08	-0.0285005	-1.60E-07
16	900	-0.0285	-1.52E-08	-0.0285	-1.93E-08	-0.0285	-1.55E-08
16	1800	-0.0285001	1.88E-07	-0.0285	3.12E-07	-0.0285003	1.33E-07
16	2700	-0.0284999	-1.48E-07	-0.0285001	-2.51E-07	-0.0285001	-2.08E-07
17	0	-0.0285	4.25E-09	-0.0285001	1.12E-08	-0.0285002	-7.75E-08
17	900	-0.0285	-1.00E-08	-0.0285	-7.70E-09	-0.0285	-1.09E-08
17	1800	-0.0285002	3.04E-08	-0.0285	1.34E-07	-0.0285001	4.13E-08
17	2700	-0.0285001	-2.62E-07	-0.0285	-2.72E-07	-0.0285	-2.16E-07
18	0	-0.0285	1.72E-08	-0.0285	1.77E-08	-0.0285	1.74E-08
18	900	-0.0285	-2.18E-07	-0.0285001	-2.69E-07	-0.0285002	-3.04E-07

En la figura 47 se identifica la gráfica del intercambio del flujo de potencia del bus H al E (PCC). En este caso se puede identificar curvas negativas en sus tres fases lo cual nos indica que la red es la encargada ahora de alimentar las cargas del sistema FV.

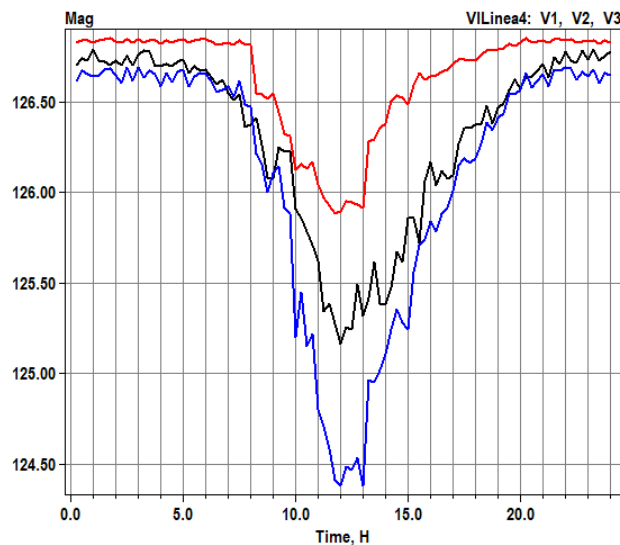


Figura 48 Grafica Línea 3 V sistema FV deshabilitado
Fuente: propia

En la gráfica de voltajes de la línea 4 sin la presencia del sistema PV se puede observar que los voltajes tienden a presentar variaciones entre 124.4V y 126.5V lo cual se mantiene dentro de los márgenes de funcionamiento sin embargo el sistema es sensible a fluctuaciones de tensión. (Figura 48)

1.3 Escenario 3 Sistema FV generación mínima

En este tercer escenario se abordó el comportamiento del sistema FV bajo condiciones climáticas adversas es decir días nublados, se obtuvieron los siguientes resultados:

1.3.1 Generación total del Sistema Fotovoltaico (FV)

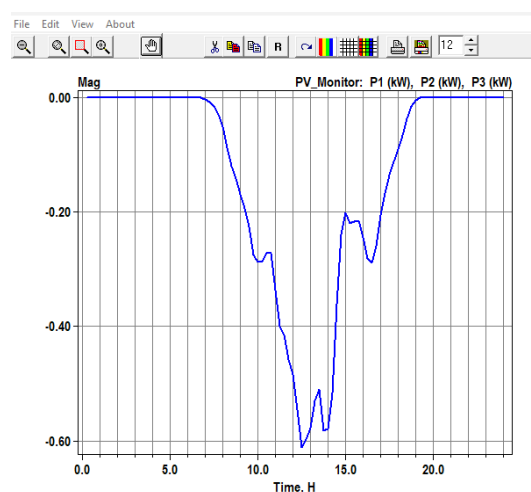


Figura 49 Grafica Generación Microred FV
Fuente: propia

Tabla 6 Datos de generación de la Microred FV máximo nivel de irradiación
Fuente: propia

hour	t(sec)	P1 (kW)	Q1 (kvar)	P2 (kW)	Q2 (kvar)	P3 (kW)	Q3 (kvar)	P4 (kW)	Q4 (kvar)
0	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	900	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	900	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	900	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	900	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	900	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	900	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	-0.0037541	6.12E-09	-0.0037541	5.90E-09	-0.0037541	6.14E-09	0	0
7	900	-0.00813558	-7.22E-08	-0.00813559	-8.38E-08	-0.00813558	-6.90E-08	0	0
7	1800	-0.0157716	1.82E-08	-0.0157716	1.84E-08	-0.0157716	1.85E-08	0	0
7	2700	-0.0292381	5.45E-08	-0.0292381	4.95E-08	-0.0292381	5.49E-08	0	0
8	0	-0.0506321	-7.17E-08	-0.0506321	-7.20E-08	-0.0506321	-7.44E-08	0	0
8	900	-0.0879121	8.67E-07	-0.0879121	8.96E-07	-0.0879121	9.23E-07	0	0
8	1800	-0.119866	-5.08E-07	-0.119868	-1.04E-06	-0.119867	-6.92E-07	0	0
8	2700	-0.141162	9.75E-07	-0.141164	1.20E-07	-0.141162	1.15E-06	0	0
9	0	-0.169037	-6.06E-08	-0.169037	-1.32E-06	-0.169038	-1.38E-06	0	0
9	900	-0.193084	3.78E-07	-0.19308	1.91E-06	-0.193082	7.03E-07	0	0
9	1800	-0.22529	5.65E-07	-0.22529	5.56E-07	-0.22529	5.98E-07	0	0
9	2700	-0.275049	6.26E-07	-0.275049	6.18E-07	-0.275049	6.55E-07	0	0
10	0	-0.287266	1.86E-06	-0.287266	2.00E-06	-0.287266	2.33E-06	0	0
10	900	-0.286429	1.95E-06	-0.286429	1.86E-06	-0.286429	2.09E-06	0	0
10	1800	-0.271284	4.50E-06	-0.271284	4.47E-06	-0.271284	4.90E-06	0	0
10	2700	-0.272281	-2.47E-06	-0.272281	-2.33E-06	-0.272281	-2.65E-06	0	0
11	0	-0.33569	1.00E-06	-0.335689	1.11E-06	-0.335689	1.31E-06	0	0
11	900	-0.39935	-6.71E-07	-0.39935	-5.21E-07	-0.39935	-5.90E-07	0	0
11	1800	-0.414856	-8.62E-07	-0.414856	-7.71E-07	-0.414856	-9.23E-07	0	0
11	2700	-0.457984	1.69E-06	-0.457983	1.69E-06	-0.457983	2.10E-06	0	0
12	0	-0.483785	1.40E-06	-0.483796	-1.40E-06	-0.483788	-2.14E-08	0	0
12	900	-0.545113	3.88E-06	-0.545111	5.23E-06	-0.545123	1.81E-06	0	0
12	1800	-0.611258	-9.86E-06	-0.611258	-9.33E-06	-0.611254	-1.08E-05	0	0
12	2700	-0.597421	-2.45E-06	-0.597397	4.34E-06	-0.597411	-6.90E-07	0	0
13	0	-0.577571	-2.04E-06	-0.577571	-1.80E-06	-0.577571	-2.11E-06	0	0
13	900	-0.529858	-4.11E-06	-0.529858	-3.71E-06	-0.529858	-4.59E-06	0	0
13	1800	-0.509679	-1.24E-06	-0.509679	-1.17E-06	-0.509679	-1.50E-06	0	0
13	2700	-0.582071	-3.09E-06	-0.582072	-2.74E-06	-0.582071	-3.47E-06	0	0
14	0	-0.57859	8.61E-07	-0.57859	6.81E-07	-0.57859	8.70E-07	0	0
14	900	-0.515662	1.25E-06	-0.515662	-7.66E-07	-0.515662	-1.46E-06	0	0
14	1800	-0.360612	1.29E-06	-0.360598	4.63E-07	-0.360608	3.83E-06	0	0
14	2700	-0.239794	-7.56E-07	-0.239793	-7.94E-07	-0.239794	-7.38E-07	0	0
15	0	-0.201897	-4.38E-07	-0.201897	-3.41E-07	-0.201897	-3.84E-07	0	0
15	900	-0.219094	-5.99E-08	-0.219094	-1.29E-07	-0.219094	-1.94E-07	0	0
15	1800	-0.216199	3.38E-07	-0.216206	-1.35E-06	-0.216207	-1.58E-06	0	0
15	2700	-0.214543	-2.95E-06	-0.214534	3.23E-07	-0.214536	-1.50E-06	0	0
16	0	-0.244964	-1.33E-06	-0.244962	-2.58E-07	-0.244965	-1.63E-06	0	0
16	900	-0.280435	-1.61E-07	-0.280435	-1.99E-07	-0.280435	-1.64E-07	0	0
16	1800	-0.289261	1.98E-06	-0.28926	3.29E-06	-0.289262	1.31E-06	0	0
16	2700	-0.258979	-1.38E-06	-0.25898	-2.43E-06	-0.25898	-1.90E-06	0	0
17	0	-0.205818	8.97E-08	-0.205818	1.95E-08	-0.205819	-4.77E-07	0	0
17	900	-0.167021	-5.92E-08	-0.167021	-4.75E-08	-0.167021	-6.32E-08	0	0
17	1800	-0.134895	1.66E-07	-0.134895	6.31E-07	-0.134895	2.39E-07	0	0
17	2700	-0.111649	-1.05E-06	-0.111649	-1.11E-06	-0.111649	-8.67E-07	0	0
18	0	-0.0902616	5.55E-08	-0.0902616	5.69E-08	-0.0902616	5.60E-08	0	0
18	900	-0.0653766	-5.02E-07	-0.0653768	-6.33E-07	-0.065377	-6.98E-07	0	0
18	1800	-0.037423	-2.21E-07	-0.0374228	-1.23E-07	-0.037423	-2.80E-07	0	0
18	2700	-0.0148412	-1.36E-08	-0.0148413	-7.86E-08	-0.0148412	-2.54E-08	0	0
19	0	-0.00515839	-2.57E-09	-0.00515837	1.18E-08	-0.00515838	-9.68E-10	0	0
19	900	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
19	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	900	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
20	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	900	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1800	0	0	0	0	0	0	0	0
21	2700	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la figura 49 se evidencia la gráfica perteneciente al sistema FV en kW con un pico máximo de generación por fase de 0.60 kW , mostrando una eficiencia de generación del 90 %, las cargas del sistema FV pueden ser alimentadas en ciertos intervalos de tiempo pero aun así genera un excedente que se puede inyectar a la red, demostrando que el sistema se encuentra expuesto a condiciones de baja generación fotovoltaica.

1.3.2 Análisis del flujo de potencia y comportamiento del voltaje en la línea de interconexión entre el punto de conexión E (PCC) y la red eléctrica a través del transformador

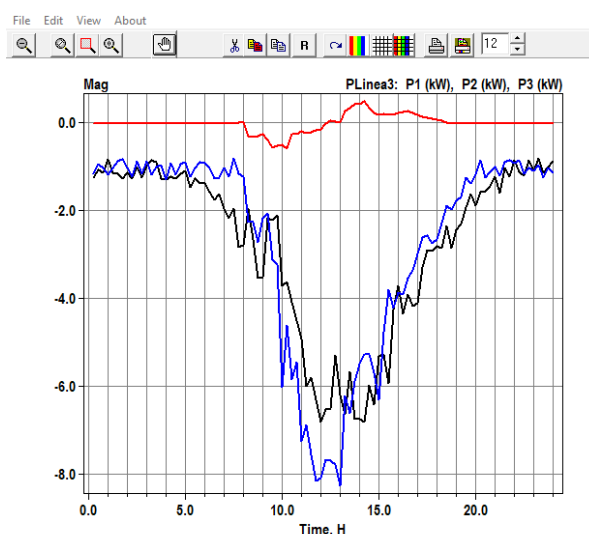


Figura 50 Grafica Línea 3 PQ sistema FV baja irradiación
Fuente: propia

En la Figura 50 correspondiente a la gráfica de la Línea 3 se observa el intercambio de potencia activa entre el E (PCC) y el bus H. Las potencias P1 y P3 presentan una disminución de aproximadamente 1 kW en sus curvas en comparación con la gráfica presentada en la figura 45 en la cual es sistema FV tenía una eficiencia de generación del 0%. El consumo de las cargas en la fase 1 y 3 del E (PCC) han disminuido en un porcentaje mínimo, esto debido a que aunque el sistema se encuentre en funcionamiento su aporte a la red es bajo contribuyendo en un porcentaje mínimo a las cargas del E (PCC) .

Por otro lado en P2 se observa un flujo de potencia positiva baja, indicando un aporte mínimo del sistema FV a la red, las cargas de la fase 2 del E (PCC) son alimentas por el sistema FV en ciertos intervalos de tiempo y en otros por la red.

Tabla 7 Datos mediciones línea 3 E (PCC)
Fuente: propia

hour	t(sec)	P1 (kW)	Q1 (kvar)	P2 (kW)	Q2 (kvar)	P3 (kW)	Q3 (kvar)
0	900	-1.2685	-7.33E-07	-0.0385031	-7.37E-07	-1.1685	-7.32E-07
0	1800	-1.07851	-9.50E-07	-0.0385032	-6.91E-07	-0.948506	-8.94E-07
0	2700	-1.1485	1.54E-08	-0.0385031	-9.95E-07	-1.0285	9.95E-08
1	0	-0.848505	6.95E-07	-0.0385031	-7.76E-07	-1.1885	-8.56E-07
1	900	-1.1585	-1.72E-06	-0.0385031	-4.63E-07	-1.0385	-1.76E-06
1	1800	-1.1685	-5.93E-07	-0.0385032	-8.25E-07	-0.888504	1.07E-07
1	2700	-1.2785	-8.85E-07	-0.0385031	-8.59E-07	-0.848502	4.08E-07
2	0	-1.1485	-7.73E-07	-0.0385031	-7.37E-07	-1.0385	-7.80E-07
2	900	-1.2785	-1.14E-06	-0.0385031	-1.01E-06	-1.2385	-1.57E-06
2	1800	-1.00851	-7.46E-07	-0.0385032	-7.25E-07	-0.878508	-3.43E-07
2	2700	-1.2685	-5.31E-07	-0.0385031	-5.90E-07	-1.1785	-4.11E-07
3	0	-0.998505	6.31E-07	-0.0385032	-8.79E-07	-0.888507	8.95E-07
3	900	-0.858504	-5.50E-07	-0.0385031	-7.06E-07	-1.1985	-6.43E-07
3	1800	-0.898503	-2.04E-06	-0.0385032	-6.66E-07	-1.0085	-1.14E-06
3	2700	-1.28849	-1.20E-07	-0.0385031	-4.96E-07	-0.968499	-2.37E-06
4	0	-1.2985	-8.09E-07	-0.0385031	-7.46E-07	-1.2985	-3.93E-07
4	900	-1.2285	-7.38E-07	-0.0385032	-8.10E-07	-0.938508	1.01E-07
4	1800	-1.2885	-1.03E-06	-0.0385031	-8.80E-07	-1.1985	-1.00E-06
4	2700	-1.1685	-8.43E-07	-0.0385032	-7.02E-07	-0.948506	-8.27E-07
5	0	-1.0985	-6.11E-07	-0.0385032	-7.63E-07	-0.908504	-5.20E-07
5	900	-1.48849	1.38E-06	-0.0385031	-5.59E-07	-1.22849	2.01E-07
5	1800	-1.28851	-1.26E-06	-0.0385032	-9.90E-07	-1.03851	2.60E-07
5	2700	-1.3985	9.76E-07	-0.0385031	-4.77E-07	-0.898502	-2.91E-06
6	0	-1.3985	-1.83E-06	-0.0385031	-9.31E-07	-0.928503	5.60E-07
6	900	-1.5885	-6.06E-07	-0.0385031	-7.33E-07	-1.0485	-7.87E-07
6	1800	-1.7585	-4.70E-07	-0.0385031	-7.29E-07	-1.2785	-6.72E-07
6	2700	-1.6385	1.20E-06	-0.0385031	-5.83E-07	-1.2485	-1.78E-07
7	0	-1.96475	6.31E-07	-0.0347483	-5.21E-07	-1.03475	-7.29E-07
7	900	-2.17037	-8.73E-06	-0.0303661	-5.89E-07	-1.24037	-1.31E-06
7	1800	-1.96273	6.96E-07	-0.0227291	-1.33E-07	-0.822729	-5.17E-07
7	2700	-2.82926	2.98E-06	-0.00926186	-4.87E-10	-1.17926	8.82E-08
8	0	-2.79787	-2.67E-06	0.0121302	-4.15E-07	-1.22787	-5.98E-07
8	900	-1.96743	-9.91E-06	-0.310773	-5.52E-06	-2.26861	7.33E-06
8	1800	-2.65542	-1.60E-05	-0.328797	-6.58E-06	-2.27663	-8.03E-06
8	2700	-3.54406	9.94E-06	-0.307487	-1.38E-06	-2.73528	1.29E-05
9	0	-3.51623	-3.25E-06	-0.279605	-2.18E-06	-2.17747	-8.61E-06
9	900	-2.18612	-4.26E-05	-0.411644	-1.12E-05	-2.07749	-9.84E-07
9	1800	-2.2238	-2.92E-05	-0.5794	-6.93E-06	-3.13523	4.21E-06
9	2700	-2.11399	-1.44E-05	-0.529603	-3.10E-07	-3.23545	5.17E-06
10	0	-3.72178	2.70E-06	-0.517383	3.04E-06	-6.02326	3.95E-05
10	900	-3.62334	-3.26E-05	-0.604052	-6.41E-06	-4.61169	2.51E-05
10	1800	-4.09854	-8.55E-06	-0.269217	-9.34E-06	-5.8469	8.38E-05
10	2700	-4.49746	-8.48E-05	-0.268211	-1.55E-05	-5.45579	-4.32E-05
11	0	-4.91402	-1.84E-05	-0.204745	-1.58E-06	-7.25241	2.40E-05
11	900	-6.00839	-3.76E-05	-0.246796	-1.59E-05	-6.88675	-2.05E-05
11	1800	-5.81286	-3.41E-05	-0.231274	-1.25E-05	-7.55123	-2.32E-05
11	2700	-6.30972	5.55E-06	-0.188112	-3.95E-06	-8.1581	2.95E-05
12	0	-6.80373	8.57E-06	-0.162286	-2.22E-06	-8.09214	-7.92E-07
12	900	-6.51589	3.26E-05	-0.0334085	-3.28E-06	-7.66406	2.08E-05
12	1800	-6.49969	-0.00010432	0.0326939	-1.44E-05	-7.68761	-0.00012816
12	2700	-5.29383	-3.05E-05	0.0188443	-1.22E-05	-7.77176	-1.49E-05
13	0	-6.20336	-2.84E-05	-0.00096436	-8.14E-06	-8.26134	-3.13E-05
13	900	-6.64613	-0.00016873	0.260852	-0.00011506	-6.21159	-0.00016849
13	1800	-5.67628	-0.0001228	0.330727	-0.00010356	-6.61173	-0.0001265
13	2700	-6.74408	-0.00019447	0.402909	-0.00015105	-5.89954	-0.00019089
14	0	-6.74759	-0.00015319	0.399439	-0.00015084	-5.49304	-0.00015147
14	900	-6.80375	-0.00020975	0.476243	-0.00021378	-5.28376	-0.00023811
14	1800	-5.96869	-6.95E-05	0.321669	-0.00010043	-5.26859	-4.92E-05
14	2700	-6.41889	-5.80E-05	0.20112	-3.98E-05	-5.69889	-5.65E-05
15	0	-5.32673	-3.68E-05	0.16328	-2.71E-05	-6.30673	-3.85E-05
15	900	-5.26955	-3.49E-05	0.180453	-3.29E-05	-4.75955	-3.76E-05
15	1800	-5.94225	-2.67E-05	0.177569	-3.08E-05	-3.8125	-5.16E-05
15	2700	-4.27433	-7.16E-05	0.1759	-3.18E-05	-4.21415	-5.44E-05
16	0	-3.71377	-5.59E-05	0.20628	-4.25E-05	-3.8738	-6.09E-05
16	900	-4.34831	-6.07E-05	0.241689	-5.76E-05	-3.90831	-6.13E-05
16	1800	-3.90952	-4.49E-05	0.250496	-6.49E-05	-3.53955	-5.26E-05
16	2700	-4.16971	-6.47E-05	0.220274	-4.62E-05	-3.35974	-6.57E-05
17	0	-4.1228	-2.80E-05	0.167196	-2.86E-05	-2.99283	-3.36E-05
17	900	-3.30155	-1.85E-05	0.128447	-1.75E-05	-2.61155	-1.85E-05
17	1800	-2.90367	-8.38E-06	0.0963509	-1.08E-05	-2.58366	-7.99E-06
17	2700	-2.91689	-2.20E-05	0.0731218	-5.49E-06	-2.74688	-1.87E-05
18	0	-2.81825	-2.56E-06	0.0517468	-3.53E-06	-2.65825	-2.62E-06
18	900	-2.86313	-1.37E-05	0.0268714	-8.86E-07	-2.28315	-1.35E-05
18	1800	-2.3511	-6.67E-06	-0.00107759	-4.31E-08	-1.8911	-5.76E-06
18	2700	-2.86363	-1.67E-06	-0.0236595	-2.42E-07	-1.98365	-1.64E-06
19	0	-2.44336	-1.12E-06	-0.0333438	-4.45E-07	-1.79335	-6.26E-07
19	900	-2.3185	9.43E-06	-0.0385031	-4.42E-07	-1.6985	4.44E-06

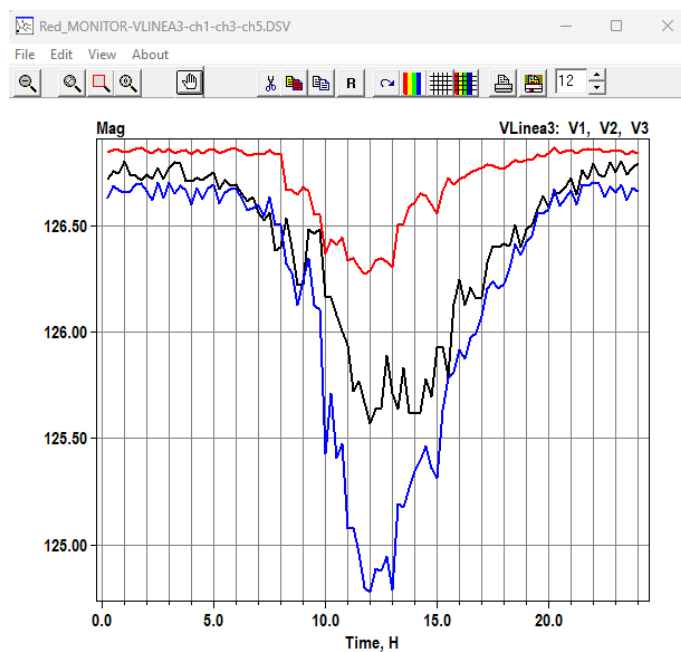


Figura 51 Grafica Línea 3 V sistema FV baja irradiación
Fuente: propia

En la gráfica de voltajes de la línea 3 cuando el sistema PV tiene baja generación se puede observar que los voltajes no tienen variaciones significativas manteniéndose en los márgenes de funcionamiento, pero aun así el sistema tiende a ser todavía sensible a fluctuaciones de tensión pero en menor margen. (Figura 51)

1.3.3 Análisis del Flujo de potencia y comportamiento del voltaje desde el sistema FV (bus H)

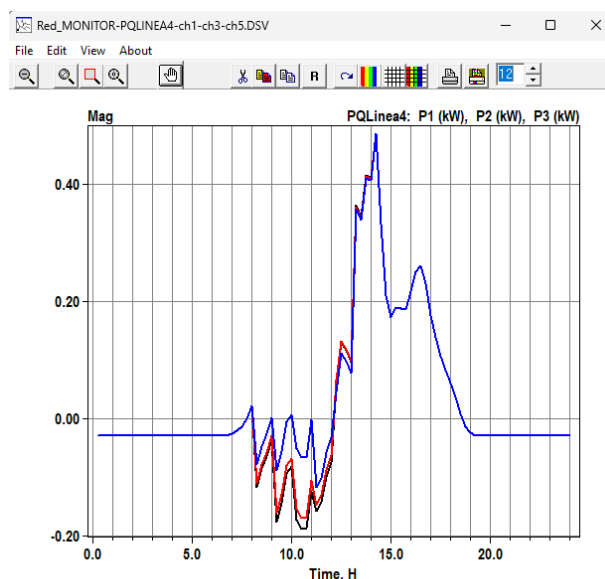


Figura 52 Grafica Línea 4 PQ sistema FV deshabilitado
Fuente: propia

Tabla 8 Datos mediciones línea 4 error de medición de 0.0285 kW

Fuente: propia

hour	t(sec)	P1 (kW)	Q1 (kvar)	P2 (kW)	Q2 (kvar)	P3 (kW)	Q3 (kvar)
0	900	-0.0285	1.32E-08	-0.0285	7.93E-09	-0.0285	1.68E-08
0	1800	-0.0285	3.68E-08	-0.0285	5.41E-08	-0.0285	2.15E-08
0	2700	-0.0285	-2.48E-07	-0.0285	-2.50E-07	-0.0285	-2.27E-07
1	0	-0.0285	-1.05E-07	-0.0285	-3.00E-08	-0.0285	-5.40E-08
1	900	-0.0284999	3.59E-07	-0.0285	2.82E-07	-0.0285	2.99E-07
1	1800	-0.0285	-6.58E-08	-0.0285	-7.99E-08	-0.0285	-9.85E-08
1	2700	-0.0285	-8.79E-08	-0.0285	-1.14E-07	-0.0285	-1.14E-07
2	0	-0.0285	8.03E-09	-0.0285	8.06E-09	-0.0285	8.35E-09
2	900	-0.0285	-2.55E-07	-0.0285	-2.60E-07	-0.0284999	-2.20E-07
2	1800	-0.0285	1.57E-10	-0.0285	2.02E-08	-0.0285001	-4.50E-08
2	2700	-0.0284999	1.82E-07	-0.0285	1.55E-07	-0.0284999	2.15E-07
3	0	-0.0285	-1.64E-07	-0.0285	-1.33E-07	-0.0285001	-1.89E-07
3	900	-0.0285	-1.48E-08	-0.0285	3.98E-08	-0.0285	4.77E-08
3	1800	-0.0285	1.08E-07	-0.0285	8.01E-08	-0.0285	8.78E-08
3	2700	-0.0284999	3.30E-07	-0.0285	2.49E-07	-0.0284999	2.78E-07
4	0	-0.0285	-2.70E-08	-0.0285	-3.56E-10	-0.0284999	6.10E-08
4	900	-0.0285	-4.86E-08	-0.0285	-6.53E-08	-0.0285001	-1.23E-07
4	1800	-0.0285	-1.47E-07	-0.0285	-1.35E-07	-0.0285	-1.08E-07
4	2700	-0.0285	4.06E-08	-0.0285	4.28E-08	-0.0285	1.15E-08
5	0	-0.0285	-2.83E-08	-0.0285	-1.78E-08	-0.0285	-2.90E-08
5	900	-0.0284999	2.36E-07	-0.0285	1.86E-07	-0.0284999	2.83E-07
5	1800	-0.0285	-2.68E-07	-0.0285	-2.44E-07	-0.0285001	-3.00E-07
5	2700	-0.0284999	2.97E-07	-0.0285	2.67E-07	-0.0285	2.60E-07
6	0	-0.0285	-1.87E-07	-0.0285	-1.87E-07	-0.0285	-1.80E-07
6	900	-0.0285	1.15E-08	-0.0285	1.12E-08	-0.0285	1.16E-08
6	1800	-0.0285	1.51E-08	-0.0285	1.49E-08	-0.0285	1.58E-08
6	2700	-0.0285	1.37E-07	-0.0285	1.61E-07	-0.0285	1.41E-07
7	0	-0.0247459	4.03E-08	-0.0247459	3.89E-08	-0.0247459	4.05E-08
7	900	-0.0203644	-1.81E-07	-0.0203645	-2.10E-07	-0.0203644	-1.73E-07
7	1800	-0.0127284	1.47E-08	-0.0127284	1.48E-08	-0.0127284	1.50E-08
7	2700	0.00073814	-1.37E-09	0.00073814	-1.25E-09	0.00073814	-1.39E-09
8	0	0.0221321	3.13E-08	0.0221321	3.15E-08	0.0221321	3.25E-08
8	900	-0.117385	1.16E-06	-0.110729	1.13E-06	-0.0785844	8.25E-07
8	1800	-0.0854286	-3.62E-07	-0.078774	-6.86E-07	-0.046629	-2.69E-07
8	2700	-0.0641311	4.43E-07	-0.0574767	4.88E-08	-0.0253317	2.06E-07
9	0	-0.036259	-1.30E-08	-0.0296036	-2.31E-07	0.00254108	2.07E-08
9	900	-0.175927	3.45E-07	-0.161553	1.60E-06	-0.0874168	3.18E-07
9	1800	-0.143713	3.61E-07	-0.129343	3.19E-07	-0.0552055	1.47E-07
9	2700	-0.0939536	2.14E-07	-0.0795834	1.79E-07	-0.00544617	1.30E-08
10	0	-0.0817382	5.29E-07	-0.0673679	4.69E-07	0.00676945	-5.48E-08
10	900	-0.173206	1.18E-06	-0.153973	1.00E-06	-0.0516548	3.77E-07
10	1800	-0.188354	3.12E-06	-0.169121	2.79E-06	-0.0668024	1.21E-06
10	2700	-0.18735	-1.70E-06	-0.168117	-1.44E-06	-0.0657999	-6.39E-07
11	0	-0.123945	3.70E-07	-0.104712	3.46E-07	-0.00239401	9.31E-09
11	900	-0.158298	-2.66E-07	-0.146716	-1.91E-07	-0.116703	-1.72E-07
11	1800	-0.142793	-2.97E-07	-0.13121	-2.44E-07	-0.101197	-2.25E-07
11	2700	-0.0996668	3.68E-07	-0.0880842	3.25E-07	-0.0580715	2.66E-07
12	0	-0.0738533	2.14E-07	-0.0622723	-1.80E-07	-0.032259	-1.43E-09
12	900	0.0641978	-4.56E-07	0.0666082	-6.39E-07	0.0462028	-1.53E-07
12	1800	0.130349	2.10E-06	0.13276	2.03E-06	0.112353	1.99E-06
12	2700	0.116491	4.78E-07	0.118897	-8.64E-07	0.0984932	1.14E-07
13	0	0.0966614	3.42E-07	0.0990719	3.09E-07	0.0786657	2.87E-07
13	900	0.364351	2.83E-06	0.361359	2.53E-06	0.358894	3.11E-06
13	1800	0.344172	8.37E-07	0.341179	7.86E-07	0.338714	9.96E-07
13	2700	0.416564	2.21E-06	0.413572	1.95E-06	0.411107	2.45E-06
14	0	0.413083	-6.15E-07	0.41009	-4.83E-07	0.407625	-6.13E-07
14	900	0.487162	-1.18E-06	0.487162	7.24E-07	0.487162	1.38E-06
14	1800	0.33211	-1.19E-06	0.332097	-4.27E-07	0.332107	-3.52E-06
14	2700	0.211294	6.66E-07	0.211293	7.00E-07	0.211294	6.50E-07
15	0	0.173397	3.76E-07	0.173397	2.93E-07	0.173397	3.30E-07
15	900	0.190594	5.21E-08	0.190594	1.12E-07	0.190594	1.68E-07
15	1800	0.1877	-2.94E-07	0.187706	1.18E-06	0.187707	1.37E-06
15	2700	0.186042	2.56E-06	0.186034	-2.80E-07	0.186036	1.30E-06
16	0	0.216464	1.17E-06	0.216462	2.28E-07	0.216465	1.44E-06
16	900	0.251935	1.44E-07	0.251935	1.79E-07	0.251935	1.47E-07
16	1800	0.260761	-1.78E-06	0.26076	-2.96E-06	0.260762	-1.18E-06
16	2700	0.230479	1.23E-06	0.23048	2.16E-06	0.23048	1.69E-06
17	0	0.177318	-7.73E-08	0.177318	-1.68E-08	0.177319	4.11E-07
17	900	0.138521	4.91E-08	0.138521	3.94E-08	0.138521	5.25E-08
17	1800	0.106395	-1.31E-07	0.106395	-4.98E-07	0.106395	-1.88E-07
17	2700	0.0831487	7.82E-07	0.0831486	8.30E-07	0.0831486	6.45E-07
18	0	0.0617616	-3.80E-08	0.0617616	-3.90E-08	0.0617616	-3.83E-08
18	900	0.0368766	2.83E-07	0.0368767	3.57E-07	0.0368768	3.94E-07
18	1800	0.00892279	5.27E-08	0.00892275	2.93E-08	0.0089228	6.67E-08
18	2700	-0.0136586	-1.26E-08	-0.0136587	-7.24E-08	-0.0136587	-2.34E-08
19	0	-0.0233417	-1.16E-08	-0.0233416	5.35E-08	-0.0233417	-4.38E-09
19	900	-0.0285	2.66E-07	-0.0285	3.01E-07	-0.0285	2.59E-07
19	1800	-0.0285001	-1.52E-07	-0.0285	-1.09E-07	-0.0285002	-2.23E-07
19	2700	-0.0285	2.97E-07	-0.0284999	3.76E-07	-0.0284999	3.44E-07

En la figura 52 se identifica la gráfica del intercambio del flujo de potencia del bus H al E (PCC). Se identifica que existe la presencia de pequeñas curvas negativas como positivas al inicio del día lo que indica que la generación del sistema FV no es suficiente para alimentar a sus cargas en ciertos intervalos de tiempo, aproximadamente de 12:00 a 14:00 se visualiza aportes significativos por parte del sistema FV a la red teniendo un pico máximo de 0.515 kW, en el resto del día el excedente que se aporta a la red disminuye hasta llegar a 0.

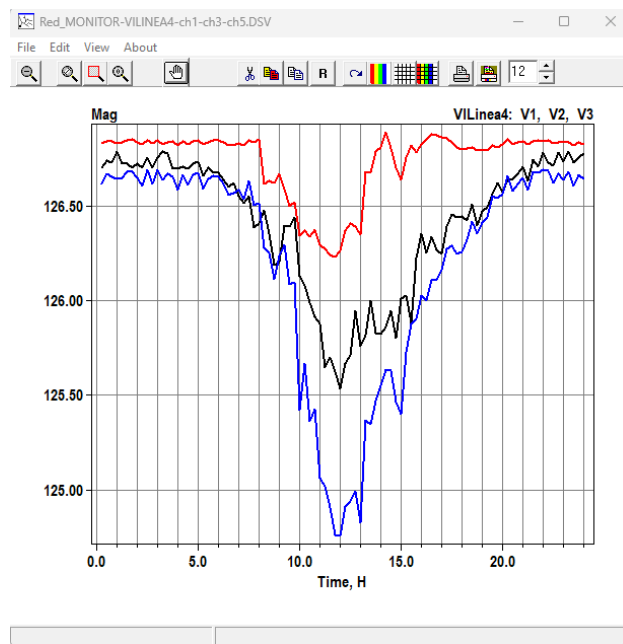


Figura 53 Gráfica Línea 4 voltaje sistema FV baja irradiación
Fuente: propia

En la gráfica de voltajes de la línea 4 cuando el sistema PV tiene baja generación se puede observar que los voltajes tienden a tener variaciones menores de 125.5V a 126.6V lo cual es óptimo para el funcionamiento del sistema pero todavía sigue siendo sensible ante fallos de variaciones bruscas de voltaje. (Figura 53)

1.4 Escenario 4 Sistema FV generación máxima

Para el cuarto escenario se plantean condiciones de irradiación ideales es decir el pico más alto de irradiación, en este escenario se pudo observar lo siguiente:

1.4.1 Generación total del Sistema Fotovoltaico (FV)

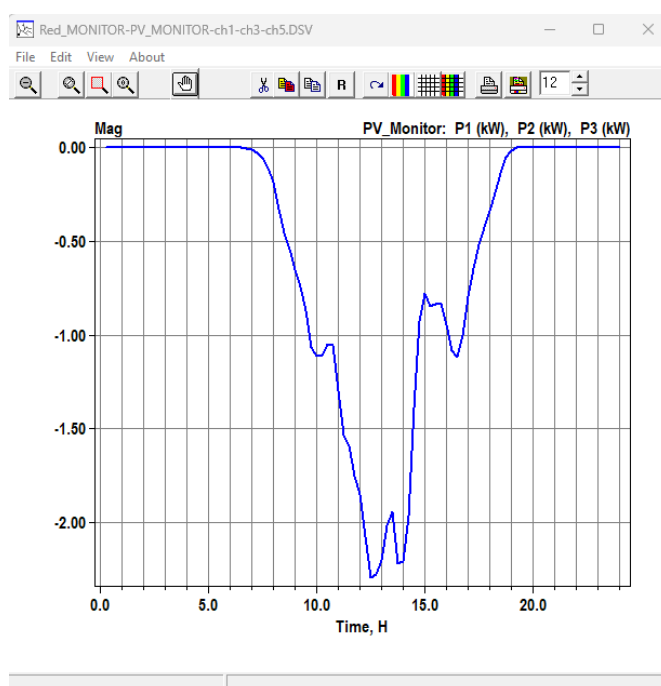


Figura 54 Gráfica de generación Microred FV máxima irradiación
Fuente: propia

Tabla 9 Datos de generación de la Microred FV máximo nivel de irradiación
Fuente: propia

7	2700	-0.106826	1.99E-07	-0.106826	1.82E-07	-0.106826	2.01E-07	0	0
8	0	-0.186941	-2.70E-07	-0.186941	-2.70E-07	-0.186941	-2.80E-07	0	0
8	900	-0.330349	3.31E-06	-0.330349	3.42E-06	-0.330349	3.51E-06	0	0
8	1800	-0.456991	-2.06E-06	-0.456995	-3.98E-06	-0.456995	-3.06E-06	0	0
8	2700	-0.543068	4.02E-06	-0.543075	7.02E-07	-0.543071	4.33E-06	0	0
9	0	-0.651169	1.10E-07	-0.651169	-4.22E-06	-0.651173	-5.27E-06	0	0
9	900	-0.744637	-4.41E-07	-0.744626	7.16E-06	-0.744628	1.71E-06	0	0
9	1800	-0.870128	2.03E-06	-0.870128	1.97E-06	-0.870128	2.11E-06	0	0
9	2700	-1.06466	2.23E-06	-1.06466	2.18E-06	-1.06466	2.30E-06	0	0
10	0	-1.11254	6.72E-06	-1.11254	7.05E-06	-1.11254	8.05E-06	0	0
10	900	-1.10926	6.95E-06	-1.10926	6.72E-06	-1.10926	7.56E-06	0	0
10	1800	-1.04991	1.64E-05	-1.04991	1.62E-05	-1.04991	1.77E-05	0	0
10	2700	-1.05382	-8.98E-06	-1.05382	-8.42E-06	-1.05382	-9.56E-06	0	0
11	0	-1.29556	3.74E-06	-1.29556	3.90E-06	-1.29556	4.40E-06	0	0
11	900	-1.53423	-2.55E-06	-1.53423	-1.68E-06	-1.53423	-2.14E-06	0	0
11	1800	-1.59207	-2.87E-06	-1.59207	-2.73E-06	-1.59207	-3.29E-06	0	0
11	2700	-1.75235	5.88E-06	-1.75235	5.80E-06	-1.75235	6.98E-06	0	0
12	0	-1.84785	6.84E-06	-1.84787	-3.33E-06	-1.84786	1.29E-06	0	0
12	900	-2.07463	1.23E-05	-2.07462	2.07E-05	-2.07467	-2.10E-06	0	0
12	1800	-2.29331	-3.38E-05	-2.2933	-2.75E-05	-2.2933	-3.92E-05	0	0
12	2700	-2.27732	-1.88E-05	-2.27729	1.43E-05	-2.27729	-9.15E-06	0	0
13	0	-2.20037	-6.87E-06	-2.20037	-6.01E-06	-2.20037	-7.19E-06	0	0
13	900	-2.01763	-1.42E-05	-2.01763	-1.25E-05	-2.01762	-1.48E-05	0	0
13	1800	-1.94338	-3.95E-06	-1.94338	-3.92E-06	-1.94338	-4.97E-06	0	0
13	2700	-2.21782	-1.02E-05	-2.21782	-8.98E-06	-2.21782	-1.09E-05	0	0
14	0	-2.20432	2.71E-06	-2.20432	2.16E-06	-2.20432	2.78E-06	0	0
14	900	-1.96541	6.42E-06	-1.96541	-9.20E-07	-1.96541	-2.36E-06	0	0
14	1800	-1.38923	-1.28E-05	-1.38921	-1.89E-05	-1.38922	4.40E-06	0	0
14	2700	-0.926748	-3.04E-06	-0.926748	-3.27E-06	-0.926748	-2.91E-06	0	0
15	0	-0.778947	-1.73E-06	-0.778946	-1.43E-06	-0.778947	-1.50E-06	0	0
15	900	-0.845959	-3.18E-07	-0.845959	-5.26E-07	-0.84596	-7.43E-07	0	0
15	1800	-0.834677	1.83E-06	-0.834693	-5.80E-06	-0.834699	-7.48E-06	0	0
15	2700	-0.828204	-1.36E-05	-0.828184	9.56E-07	-0.828185	-5.53E-06	0	0
16	0	-0.946945	-6.66E-06	-0.946939	-1.43E-06	-0.946948	-9.11E-06	0	0
16	900	-1.08577	-7.68E-07	-1.08577	-9.24E-07	-1.08577	-7.50E-07	0	0
16	1800	-1.12021	8.38E-06	-1.12021	1.40E-05	-1.12021	4.70E-06	0	0

Como se puede observar en la Figura 54 correspondiente a la generación en kW del sistema FV, presentando una eficiencia del 100%, con un pico máximo de generación por fase de 2.293 kW. Las cargas que alimenta el sistema FV resultan significativamente inferiores a la energía generada lo cual permite que la mayor parte de dicha generación sea inyectada a la red.

1.4.2 Análisis del flujo de potencia y comportamiento del voltaje en la línea de interconexión entre el punto de conexión E (PCC) y la red eléctrica a través del transformador

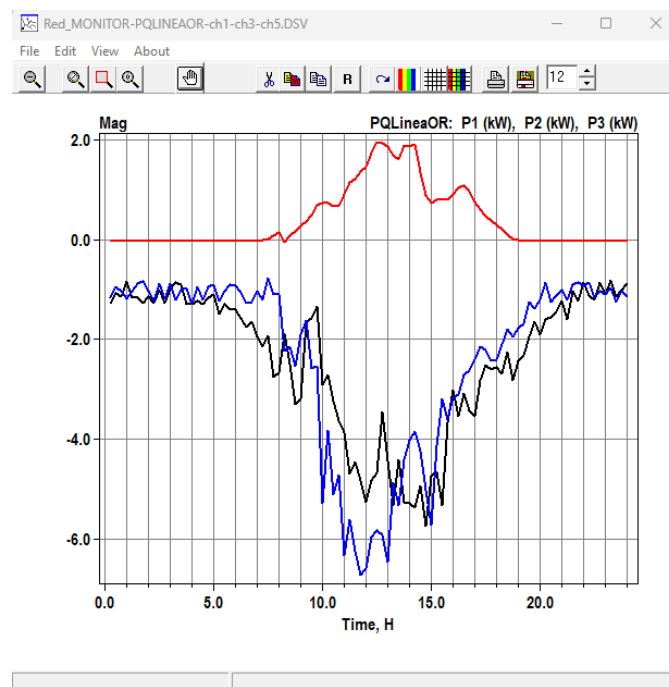


Figura 55 Gráfica línea 3 PQ máxima irradiación Simulación 4
Fuente: propia

En la Figura 55 correspondiente a la gráfica de la Línea 3 se observa el intercambio de potencia activa entre el E (PCC) y el bus H. Las potencias P1 y P3 en sus curvas presenta una disminución sumamente que el que se presenta en la figura 37 del escenario 1. El consumo de las cargas en la fase 1 y 3 del E (PCC) han disminuido significativamente esto debido a que el sistema FV al tener un nivel de generación alto, su excedente es inyectado a la red y permiten E (PCC) tome parte de este excedente para sus cargas .

Por otro lado en P2 se observa un flujo de potencia positivo sumamente alta indicando un aporte por parte del sistema FV a la red, las cargas de la fase 2 del E (PCC) vuelven hacer alimentadas por dicho sistema en su totalidad. .

Tabla 10 Datos mediciones línea 3 E (PCC)
Fuente: propia

hour	t(sec)	P1 (kW)	Q1 (kvar)	P2 (kW)	Q2 (kvar)	P3 (kW)	Q3 (kvar)
0	900	-1.2685	-7.33E-07	-0.0385031	-7.37E-07	-1.1685	-7.32E-07
0	1800	-1.07851	-9.50E-07	-0.0385032	-6.91E-07	-0.948506	-8.94E-07
0	2700	-1.1485	1.54E-08	-0.0385031	-9.95E-07	-1.0285	9.95E-08
1	0	-0.848505	6.95E-07	-0.0385031	-7.76E-07	-1.1885	-8.56E-07
1	900	-1.1585	-1.72E-06	-0.0385031	-4.63E-07	-1.0385	-1.76E-06
1	1800	-1.1685	-5.93E-07	-0.0385032	-8.25E-07	-0.888504	1.07E-07
1	2700	-1.2785	-8.85E-07	-0.0385031	-8.59E-07	-0.848502	4.08E-07
2	0	-1.1485	-7.73E-07	-0.0385031	-7.37E-07	-1.0385	-7.80E-07
2	900	-1.2785	-1.14E-06	-0.0385031	-1.01E-06	-1.2385	-1.57E-06
2	1800	-1.00851	-7.46E-07	-0.0385032	-7.25E-07	-0.878508	-3.43E-07
2	2700	-1.2685	-5.31E-07	-0.0385031	-5.90E-07	-1.1785	-4.11E-07
3	0	-0.998505	6.31E-07	-0.0385032	-8.79E-07	-0.888507	8.95E-07
3	900	-0.858504	-5.50E-07	-0.0385031	-7.06E-07	-1.1985	-6.43E-07
3	1800	-0.898503	-2.04E-06	-0.0385032	-6.66E-07	-1.0085	-1.14E-06
3	2700	-1.28849	-1.20E-07	-0.0385031	-4.96E-07	-0.968499	-2.37E-06
4	0	-1.2985	-8.09E-07	-0.0385031	-7.46E-07	-1.2985	-3.93E-07
4	900	-1.2285	-7.38E-07	-0.0385032	-8.10E-07	-0.938508	1.01E-07
4	1800	-1.2885	-1.03E-06	-0.0385031	-8.80E-07	-1.1985	-1.00E-06
4	2700	-1.1685	-8.43E-07	-0.0385032	-7.02E-07	-0.948506	-8.27E-07
5	0	-1.0985	-6.11E-07	-0.0385032	-7.63E-07	-0.908504	-5.20E-07
5	900	-1.48849	1.38E-06	-0.0385031	-5.59E-07	-1.22849	2.01E-07
5	1800	-1.28851	-1.26E-06	-0.0385032	-9.90E-07	-1.03851	2.60E-07
5	2700	-1.3985	9.76E-07	-0.0385031	-4.77E-07	-0.898502	-2.91E-06
6	0	-1.3985	-1.83E-06	-0.0385031	-9.31E-07	-0.928503	5.60E-07
6	900	-1.5885	-6.06E-07	-0.0385031	-7.33E-07	-1.0485	-7.87E-07
6	1800	-1.7585	-4.70E-07	-0.0385031	-7.29E-07	-1.2785	-6.72E-07
6	2700	-1.63447	1.37E-06	-0.0344721	-4.10E-07	-1.24447	-3.41E-09
7	0	-1.95496	9.75E-07	-0.02496	-1.81E-07	-1.02496	-3.85E-07
7	900	-2.14909	-8.23E-06	-0.0090895	9.15E-09	-1.21909	-7.52E-07
7	1800	-1.92127	3.29E-08	0.0187332	-7.89E-07	-0.781266	-1.18E-06
7	2700	-2.7517	-2.87E-06	0.0683021	-5.73E-06	-1.1017	-5.74E-06
8	0	-2.66166	-2.53E-05	0.148343	-2.27E-05	-1.09166	-2.32E-05
8	900	-1.72501	-4.78E-06	-0.0683634	-1.85E-05	-2.02624	-1.77E-05
8	1800	-2.31852	-5.41E-05	0.00808672	-6.71E-05	-1.93982	-8.76E-05
8	2700	-3.14259	-8.02E-05	0.0939654	-0.00011666	-2.33392	-0.00012804
9	0	-3.03488	-0.00016779	0.201725	-0.00019603	-1.69623	-0.00022892
9	900	-1.63499	-9.66E-05	0.139377	-0.00016163	-1.5267	-0.00021256
9	1800	-1.57986	-0.00018615	0.0644311	-0.00027122	-2.49168	-0.00033794
9	2700	-1.32622	-0.00038239	0.258034	-0.00049922	-2.44816	-0.00059183
10	0	-2.89863	-0.0004312	0.305627	-0.00056654	-5.20063	-0.00064736
10	900	-2.80204	-0.00030016	0.217062	-0.00045857	-3.79108	-0.00057137
10	1800	-3.32113	-0.00021581	0.508009	-0.00039151	-5.07015	-0.00044016
10	2700	-3.71716	-0.00027652	0.511907	-0.00038338	-4.67616	-0.00054802
11	0	-3.95681	-0.00053312	0.752245	-0.00072916	-6.29604	-0.00089377
11	900	-4.87712	-0.00084887	0.884365	-0.00090935	-5.75586	-0.00099922
11	1800	-4.63973	-0.00095109	0.941744	-0.00101716	-6.37849	-0.0011222
11	2700	-5.02085	-0.00125251	1.10063	-0.00135018	-6.8697	-0.00144277
12	0	-5.44613	-0.0014725	1.19523	-0.00155873	-6.73505	-0.00170359
12	900	-4.99614	-0.00233075	1.48637	-0.00228725	-6.14427	-0.00231981
12	1800	-4.83022	-0.00309864	1.70222	-0.00291134	-6.0182	-0.00311371
12	2700	-3.62619	-0.00297199	1.68641	-0.00290136	-6.10418	-0.00297068
13	0	-4.5919	-0.00274751	1.61052	-0.00264114	-6.6499	-0.00274639
13	900	-5.17105	-0.00319316	1.73606	-0.00303272	-4.73662	-0.00323082
13	1800	-4.25426	-0.00290528	1.75282	-0.00280678	-5.18985	-0.00296693
13	2700	-5.12384	-0.0038991	2.02333	-0.00371403	-4.27943	-0.00393805
14	0	-5.13717	-0.00382542	2.01005	-0.00367456	-3.88273	-0.00385458
14	900	-5.36752	-0.00344657	1.91262	-0.00333339	-3.84767	-0.00350768
14	1800	-4.94672	-0.00168485	1.34361	-0.00164057	-4.24669	-0.00168787
14	2700	-5.7349	-0.00076333	0.885137	-0.00072314	-5.01493	-0.00077427
15	0	-4.75174	-0.0005274	0.738268	-0.00050822	-5.73178	-0.00054272
15	900	-4.64513	-0.00061972	0.804884	-0.00060274	-4.13516	-0.00063061
15	1800	-5.32618	-0.00060081	0.793692	-0.00057977	-3.1964	-0.00062108
15	2700	-3.66297	-0.00061921	0.78722	-0.00057937	-3.60286	-0.00061611
16	0	-3.01486	-0.00078314	0.905195	-0.00076157	-3.17491	-0.00079969
16	900	-3.54705	-0.00103033	1.04297	-0.00100654	-3.10709	-0.00104325
16	1800	-3.0829	-0.00108201	1.07714	-0.00108844	-2.71295	-0.00109972
16	2700	-3.4039	-0.00088471	0.959619	-0.00084387	-2.62043	-0.00089037
17	0	-3.53654	-0.0005399	0.753465	-0.00052952	-2.40658	-0.00054648
17	900	-2.82662	-0.00034931	0.603385	-0.00034274	-2.13663	-0.00035147
17	1800	-2.52174	-0.00021845	0.478278	-0.00021991	-2.20173	-0.00021971
17	2700	-2.60501	-0.0001569	0.384996	-0.0001381	-2.43501	-0.00015504
18	0	-2.56933	-8.85E-05	0.300671	-8.84E-05	-2.40933	-8.93E-05
18	900	-2.68559	-5.34E-05	0.204412	-3.98E-05	-2.10561	-5.26E-05
18	1800	-2.25128	-1.66E-05	0.0987376	-1.04E-05	-1.79128	-1.55E-05

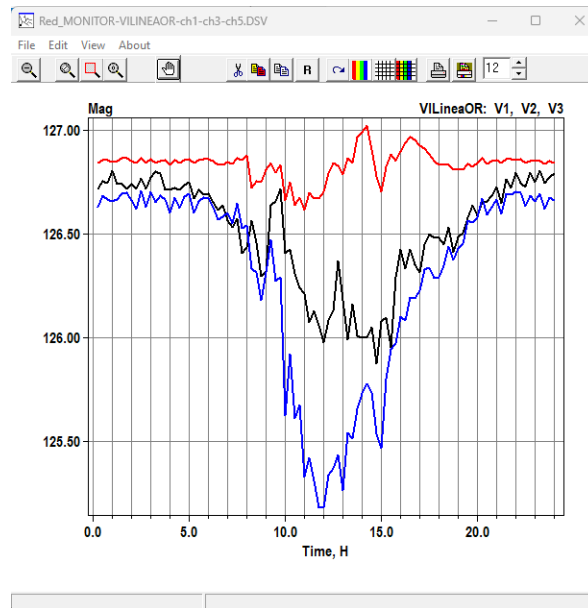


Figura 56 Grafica línea 3 V máxima irradiación
Fuente: propia

En la gráfica de voltajes de la línea 3 cuando el sistema PV con alta generación los voltajes son estables lo cual permite un mayor equilibrio en la red, asegurando un buen acoplamiento entre la generación y las cargas. (Figura 56)

1.4.3 Análisis del Flujo de potencia y comportamiento del voltaje desde el sistema FV (bus H)

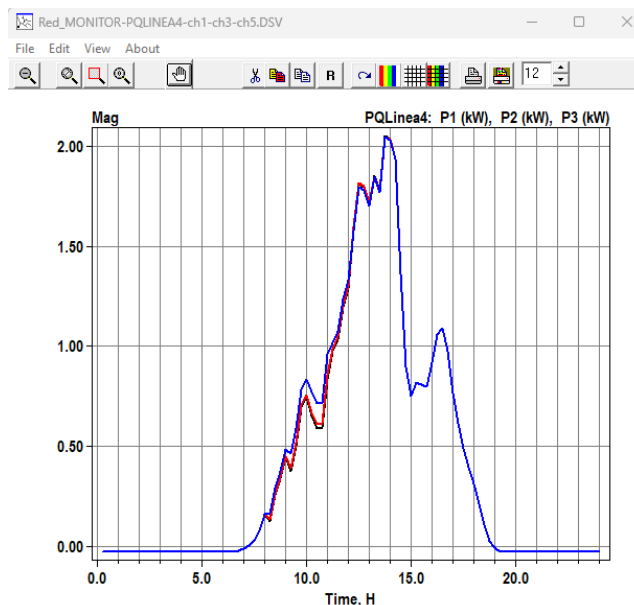
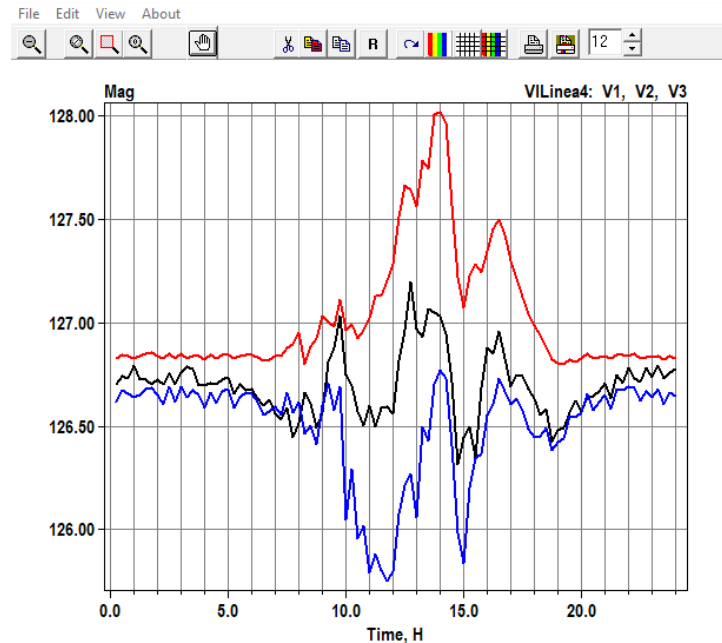


Figura 57 Grafica línea 4 PQ máxima irradiación
Fuente: propia

Tabla 11 Datos mediciones línea 4 error de medición de 0.0285 kW
Fuente: propia

hour	t(sec)	P1 (kW)	Q1 (kvar)	P2 (kW)	Q2 (kvar)	P3 (kW)	Q3 (kvar)
0	900	-0.0285	1.32E-08	-0.0285	7.93E-09	-0.0285	1.68E-08
0	1800	-0.0285	3.68E-08	-0.0285	5.41E-08	-0.0285	2.15E-08
0	2700	-0.0285	-2.48E-07	-0.0285	-2.50E-07	-0.0285	-2.27E-07
1	0	-0.0285	-1.05E-07	-0.0285	-3.00E-08	-0.0285	-5.40E-08
1	900	-0.0284999	3.59E-07	-0.0285	2.82E-07	-0.0285	2.99E-07
1	1800	-0.0285	-6.58E-08	-0.0285	-7.99E-08	-0.0285	-9.85E-08
1	2700	-0.0285	-8.79E-08	-0.0285	-1.14E-07	-0.0285	-1.14E-07
2	0	-0.0285	8.03E-09	-0.0285	8.06E-09	-0.0285	8.35E-09
2	900	-0.0285	-2.55E-07	-0.0285	-2.60E-07	-0.0284999	-2.20E-07
2	1800	-0.0285	1.57E-10	-0.0285	2.02E-08	-0.0285001	-4.50E-08
2	2700	-0.0284999	1.82E-07	-0.0285	1.55E-07	-0.0284999	2.15E-07
3	0	-0.0285	-1.64E-07	-0.0285	-1.33E-07	-0.0285001	-1.89E-07
3	900	-0.0285	-1.48E-08	-0.0285	3.98E-08	-0.0285	4.77E-08
3	1800	-0.0285	1.08E-07	-0.0285	8.01E-08	-0.0285	8.78E-08
3	2700	-0.0284999	3.30E-07	-0.0285	2.49E-07	-0.0284999	2.78E-07
4	0	-0.0285	-2.70E-08	-0.0285	-3.56E-10	-0.0284999	6.10E-08
4	900	-0.0285	-4.86E-08	-0.0285	-6.53E-08	-0.0285001	-1.23E-07
4	1800	-0.0285	-1.47E-07	-0.0285	-1.35E-07	-0.0285	-1.08E-07
4	2700	-0.0285	4.06E-08	-0.0285	4.28E-08	-0.0285	1.15E-08
5	0	-0.0285	-2.83E-08	-0.0285	-1.78E-08	-0.0285	-2.90E-08
5	900	-0.0284999	2.36E-07	-0.0285	1.86E-07	-0.0284999	2.83E-07
5	1800	-0.0285	-2.68E-07	-0.0285	-2.44E-07	-0.0285001	-3.00E-07
5	2700	-0.0284999	2.97E-07	-0.0285	2.67E-07	-0.0285	2.60E-07
6	0	-0.0285	-1.87E-07	-0.0285	-1.87E-07	-0.0285	-1.80E-07
6	900	-0.0285	1.15E-08	-0.0285	1.12E-08	-0.0285	1.16E-08
6	1800	-0.0285	1.51E-08	-0.0285	1.49E-08	-0.0285	1.58E-08
6	2700	-0.0244698	1.17E-07	-0.0244698	1.39E-07	-0.0244698	1.20E-07
7	0	-0.0149591	2.44E-08	-0.0149591	2.36E-08	-0.0149591	2.45E-08
7	900	0.00091054	8.16E-09	0.00091054	9.38E-09	0.00091053	7.84E-09
7	1800	0.0287364	-3.33E-08	0.0287364	-3.37E-08	0.0287364	-3.39E-08
7	2700	0.0783258	-1.46E-07	0.0783258	-1.34E-07	0.0783258	-1.47E-07
8	0	0.158441	2.29E-07	0.158441	2.29E-07	0.158441	2.37E-07
8	900	0.125052	-1.25E-06	0.131708	-1.36E-06	0.163852	-1.74E-06
8	1800	0.251696	1.13E-06	0.258354	2.25E-06	0.290498	1.94E-06
8	2700	0.337774	-2.50E-06	0.344434	-4.45E-07	0.376576	-3.00E-06
9	0	0.445873	-7.53E-08	0.452529	2.93E-06	0.484676	3.92E-06
9	900	0.375627	2.23E-07	0.389992	-3.75E-06	0.464131	-1.07E-06
9	1800	0.501125	-1.17E-06	0.515495	-1.17E-06	0.589632	-1.43E-06
9	2700	0.695659	-1.46E-06	0.71003	-1.46E-06	0.784167	-1.70E-06
10	0	0.743536	-4.49E-06	0.757906	-4.80E-06	0.832044	-6.02E-06
10	900	0.649625	-4.07E-06	0.668858	-4.05E-06	0.771177	-5.25E-06
10	1800	0.590275	-9.23E-06	0.609508	-9.42E-06	0.711828	-1.20E-05
10	2700	0.594189	5.06E-06	0.613422	4.90E-06	0.715738	6.49E-06
11	0	0.835926	-2.41E-06	0.855159	-2.57E-06	0.957477	-3.25E-06
11	900	0.976583	1.62E-06	0.988165	1.08E-06	1.01818	1.42E-06
11	1800	1.03442	1.87E-06	1.046	1.79E-06	1.07602	2.22E-06
11	2700	1.1947	-4.01E-06	1.20628	-3.99E-06	1.2363	-4.92E-06
12	0	1.29021	-4.78E-06	1.3018	2.35E-06	1.33181	-9.27E-07
12	900	1.59372	-9.44E-06	1.59612	-1.60E-05	1.57576	1.59E-06
12	1800	1.8124	2.67E-05	1.81481	2.17E-05	1.7944	3.07E-05
12	2700	1.7964	1.48E-05	1.79879	-1.13E-05	1.77838	7.15E-06
13	0	1.71946	5.37E-06	1.72187	4.71E-06	1.70147	5.56E-06
13	900	1.85212	1.30E-05	1.84913	1.15E-05	1.84666	1.36E-05
13	1800	1.77787	3.62E-06	1.77488	3.58E-06	1.77241	4.53E-06
13	2700	2.05231	9.47E-06	2.04932	8.29E-06	2.04686	1.01E-05
14	0	2.03882	-2.51E-06	2.03582	-2.00E-06	2.03336	-2.56E-06
14	900	1.93691	-6.33E-06	1.93691	9.07E-07	1.93691	2.32E-06
14	1800	1.36073	1.26E-05	1.36071	1.85E-05	1.36072	-4.31E-06
14	2700	0.898248	2.94E-06	0.898248	3.17E-06	0.898248	2.82E-06
15	0	0.750447	1.67E-06	0.750446	1.38E-06	0.750447	1.44E-06
15	900	0.817459	3.08E-07	0.817459	5.08E-07	0.81746	7.18E-07
15	1800	0.806178	-1.77E-06	0.806193	5.61E-06	0.806199	7.23E-06
15	2700	0.799703	1.31E-05	0.799684	-9.23E-07	0.799685	5.34E-06
16	0	0.918445	6.46E-06	0.918439	1.39E-06	0.918448	8.83E-06
16	900	1.05727	7.48E-07	1.05727	9.00E-07	1.05727	7.30E-07
16	1800	1.09171	-8.17E-06	1.09171	-1.37E-05	1.09171	-4.58E-06
16	2700	0.973254	5.60E-06	0.973257	1.07E-05	0.973257	7.15E-06
17	0	0.765718	-9.65E-07	0.76572	5.78E-07	0.76572	8.97E-07
17	900	0.614842	2.32E-07	0.614842	2.00E-07	0.614842	2.41E-07
17	1800	0.489202	-8.30E-07	0.489202	-2.24E-06	0.489201	-1.31E-06
17	2700	0.395601	3.96E-06	0.3956	4.44E-06	0.3956	3.24E-06
18	0	0.311045	-2.01E-07	0.311045	-2.06E-07	0.311045	-2.03E-07
18	900	0.214589	1.65E-06	0.21459	2.23E-06	0.214591	2.28E-06
18	1800	0.108784	6.23E-07	0.108783	3.96E-07	0.108784	7.59E-07
18	2700	0.0253348	1.44E-08	0.025335	1.40E-07	0.0253349	3.03E-08
19	0	-0.00988064	-3.58E-09	-0.0098806	2.20E-08	-0.00988062	4.77E-10
19	900	-0.0285	2.68E-07	-0.0285	3.00E-07	-0.0285	2.63E-07
19	1800	-0.0285001	-1.52E-07	-0.0285	-1.09E-07	-0.0285002	-2.23E-07

En la figura 57 se identifica la gráfica del intercambio del flujo de potencia del bus H al E (PCC). Se visualiza que al presentarse condiciones favorables para el sistema FV este llega a aportar a la red aproximadamente entre 1.7 kW a 2 kW tomando en cuenta que esto es el excedente generado ya una vez alimentado sus propias cargas.



*Figura 58 Grafica línea 4 V máxima irradiación
Fuente: propia*

En la gráfica de voltajes de la línea 4 cuando el sistema PV con alta generación los voltajes son más estables con variaciones entre 126.5V y 128V, esta subida de voltaje puede deberse a un momento de baja demanda del sistema donde las pérdidas por carga son menores.(Figura 58)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1 Conclusiones

Tras el desarrollo e implementación de este proyecto se puede concluir que:

- OpenDSS es un software de gran utilidad puesto que permite el modelado y análisis de escenarios variados, esto lo ha llevado a ser utilizado en gran medida en la industria y la investigación sin embargo puede resultar de gran complejidad para usuarios nuevos e inexpertos debido a que utiliza un lenguaje de programación propio además para lograr resultados más precisos se requiere mucho tiempo lo cual puede resultar abrumador para los principiantes.
- El modelado del sistema entendido como la creación de representaciones virtuales de la red permite la simulación del comportamiento de esta bajo diferentes condiciones operativas lo cual permite evaluar el impacto de cambios en la configuración a fin de mejorar la confiabilidad y seguridad del suministro, además es posible identificar puntos de mejora para la maximización del funcionamiento del sistema.
- En un escenario sin alteraciones las condiciones de funcionamiento son óptimas siendo su eficiencia cerca al 95% lo cual es un indicador de su capacidad para satisfacer las cargas de la red, se evidencia fluctuaciones dentro de un rango aceptable con un intercambio energético activo entre los buses E y H, dentro de este contexto las baterías tienen un rol pasivo siendo las fuentes energéticas de respaldo ante posibles alteraciones en el suministro.
- En un escenario donde el sistema fotovoltaico se encuentra inhabilitado la generación energética desciende exponencialmente imposibilitando la alimentación de las cargas del sistema, al producirse este desperfecto la alimentación de las cargas pasa a ser responsabilidad de la red eléctrica, a través de esta acción se garantiza un suministro eléctrico estable.
- En condiciones ideales donde la irradiación se encuentra en su pico máximo el sistema funciona a un nivel superior en comparación a un escenario con condiciones normales, pues la generación energética alcanza sus picos máximos siendo capaces de alimentar las cargas eficientemente.

2. Recomendaciones

Pese a que no se presentaron percances significativos durante el desarrollo de este proyecto se recomienda lo siguiente:

- Establecer programas de capacitación continua que aborden conceptos básicos y aplicaciones avanzadas de OpenDSS a fin de asegurar que tanto estudiantes como docentes dominen esta herramienta impulsando la innovación y el desarrollo de futuros proyectos y maximización de los beneficios ofrecidos por el programa.
- Realizar un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos procurando vaya más allá de la simple observación es decir se debe hacer una evaluación detallada de los datos para identificar patrones, anomalías y posibles puntos débiles en el sistema a fin de generar soluciones a posibles inconvenientes presentados durante las simulaciones
- Tomar los resultados obtenidos a través de las simulaciones como puntos de partida para la maximización del desempeño del sistema a través de la identificación de áreas de mejora y aplicación de soluciones adecuadas logrando un rendimiento óptimo del sistema, reduciendo pérdidas, mejorando la eficiencia y garantizando la confiabilidad
- Considerar la escalabilidad del sistema para un aumento progresivo en la demanda de energía a través de la realización de simulaciones que permitan evaluar el impacto de la adición de nuevas cargas o la integración de generación distribuida adicional.
- Realizar mantenimiento preventivo en los elementos del sistema a través de inspecciones periódicas, reemplazo de componentes con signos visibles de desgaste a fin de garantizar el funcionamiento óptimo del sistema y reducir el riesgo de fallas inesperadas.

BIBLIOGRAFIA

alusin Solar. (9 de Enero de 2020). *Principales componentes de una instalación fotovoltaica*.

Obtenido de Alusin Solar: <https://alusinsolar.com/principales-componentes-de-una-instalacion-fotovoltaica/>

Arias, A., Castillo, A., Roa, Á., Bidó, E., García, J., Mariano, D., & Aybar, M. (2021).

Protocolos y topologías utilizadas en los sistemas de comunicación de las microrredes eléctricas. Obtenido de Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones: <https://revistas.intec.edu.do/index.php/cite/article/view/1712/2645>

AutoSolar. (s.f.). *¿Que es un regulador de carga?* Obtenido de AutoSolar:

<https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga>

Crystal. (23 de Marzo de 2018). *Descripción general del control V/F*. Obtenido de VEICHI:

<https://es.veichi.com/knowledge/v-f-control.html#:~:text=V%2FF%20es%20la%20abreviatura,d%C3%A9bil%20y%20de%20saturaci%C3%B3n%20magn%C3%A9tica>.

DESCONEXT. (2024). *Acumuladores de energía solar*. Obtenido de DESCONEXT:

<https://www.desconext.com/fotovoltaica/acumuladores-energia-solar/>

DOWELLESS. (1 de Noviembre de 2024). *¿Qué son las soluciones de microrredes híbridas?* Obtenido de DOWELLESS:

<https://www.dowellelectronic.com/es/blogs/what-are-hybrid-microgrid-solutions/>

Encilopedia de Energia. (2024). *Acceso a la electricidad - Enciclopedia de Energia*.

Obtenido de Energy Education: https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Acceso_a_la_electricidad

enlight. (12 de Junio de 2024). *Microrredes: ¿Qué son y cómo funcionan?* Obtenido de

enlight.mx: <https://www.enlight.mx/blog/microrredes-que-son-y-como-funcionan>

ESIC. (Mayo de 2024). *¿Qué son y cómo se analizan las series temporales?* Obtenido de esic.edu: <https://www.esic.edu/rethink/tecnologia/series-temporales-que-son-c>

finePROXY. (2021). *Descomposición de series temporales*. Obtenido de fineproxy.org: https://fineproxy.org/es/wiki/time-series-decomposition/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

GEOS. (27 de Marzo de 2024). *¿Qué es una microred y cómo puede ayudar a mi empresa?* Obtenido de Geos ENERGIA: <https://geosenergia.com/cfe/que-es-una-microred-y-como-puede-ayudar-a-mi-empresa/#:~:text=En%20la%20energ%C3%ADa%20solar%2C%20una%20microrred%20es,en%20electricidad%20de%20manera%20sostenible%20y%20renovable>.

Gonzalez, H. (13 de Septiembre de 2021). *Herramientas para Pronósticos de Series de Tiempo en Python — Parte 2: Holt-Winters*. Obtenido de Medium: <https://medium.com/tacosdedatos/herramientas-para-pron%C3%B3sticos-de-series-de-tiempo-en-python-parte-2-holt-winters-adb1bd0d7b84>

IBM . (30 de Septiembre de 2024). *Introducción a las series temporales*. Obtenido de IBM : <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=forecasting-introduction-time-series>

Manitoba. (2024). *PSCAD*. Obtenido de Manitoba Hidro International: <https://www.mhi.ca/products/pscad>

Mina, J., & Echeverry, D. L. (Junio de 2021). *Modelo conceptual para la concepción técnica de micro-redes: un caso de estudio en Colombia*. Obtenido de SciELO: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052021000200199

Noble, J. (24 de Mayo de 2024). *Presentamos los modelos ARIMA*. Obtenido de ibm.com: <https://www.ibm.com/es-es/topics/arima-model>

- San Juan, P. (27 de Agosto de 2018). *Microredes y Energía Solar: ¿Que son y dónde utilizarlas?* Obtenido de SuriaEnergy: <https://www.suriaenergy.com/microredes-y-energia-solar-que-son-y-donde-utilizarlas#:~:text=Conexi%C3%B3n%20a%20la%20red%20tradicional,a%20limitaciones%20t%C3%A9cnicas%20o%20econ%C3%B3micas>.
- Solartia. (31 de Mayo de 2019). *¿Qué es una Microrred?* Obtenido de Solartia: <https://solartia.com/que-es-una-microrred/>
- Sotysolar. (20 de Diciembre de 2023). *Inversores solares*. Obtenido de Sotysolar: <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>
- STI. (9 de Junio de 2017). *Sistemas fotovoltaicos tipo isla*. Obtenido de STI SOLAR TECHNOLOGY: https://www.solartechnology.com.mx/pdf/Inversores_aislados/Sistemas_Isla.pdf
- StudysMarter. (s.f.). *análisis cuasi-estático*. Obtenido de StudysMarter: <https://www.studysmarter.es/resumenes/ingenieria/ingenieria-mecanica/analisis-cuasi-estatico/>
- StudySmarter. (s.f.). *Análisis cuasi-estático*. Obtenido de StudySmarter: <https://www.studysmarter.es/resumenes/ingenieria/ingenieria-mecanica/analisis-cuasi-estatico/>
- UNIR. (23 de Diciembre de 2021). *¿Qué es la gestión energética? Estos son sus beneficios*. Obtenido de UNIR Revista: <https://www.unir.net/revista/ingenieria/gestion-energetica/>
- Vera, L., Gonzales, A., Caceres, M., Firman, A., & Busso, A. (16 de Agosto de 2022). *MICRORRED HÍBRIDA AISLADA PARA ACCESO A LA ELECTRICIDAD*. Obtenido de Anais Congresso Brasileiro De Energia Solar: <https://doi.org/10.59627/cbens.2022.1237>

- Yepes, J. P., Sosapanta, J., Saldarriaga, S., & Zuluaga, C. (Abril de 2024). *Análisis dinámico de una microrred DC*. Obtenido de Dialnet: <https://doi.org/10.22430/22565337.2932>
- Amaris, G., Ávila, H., & Guerrero, T. (2017). Aplicación de modelo ARIMA para el análisis de series de volúmenes anuales en el río Magdalena. *Tecnura*, 21(52), 88-101.
- Aybar Mejía, M., Arias Martijena, A., Castillo Ruíz, A. A., Roa Arias, Á. I., Bidó Cuello, E., García Maimó, J., & Mariano-Hernández, D. (2021). Protocolos y topologías utilizadas en los sistemas de comunicación de las microrredes eléctricas. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 4(1), 81-95. <https://doi.org/10.22206/cyap.2021.v4i1.pp81-95>
- De La Cruz Cabrales Avila, F., & Otero, R. A. M. (2022). *Sistemas fotovoltaicos: Solución energética en las comunidades aisladas*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7461726>
- Eduardo. (s. f.). *Progettare e simulare in digsilent powerfactory*. Fiverr.com. Recuperado 8 de enero de 2025, de <https://www.fiverr.com/edumntg/design-and-simulate-in-digsilent-powerfactory>
- López, J. F. (2018, noviembre 8). *Tipos de series temporales*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/tipos-de-series-temporales.html>
- Párraga, D. P., Cubillos, L. A., & Correa-Ramirez, M. A. (2010). Variaciones espacio-temporales de la captura por unidad de esfuerzo en la pesquería artesanal costera del pargo rayado *Lutjanus synagris*, en el Caribe colombiano y su relación con variables ambientales. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45(1). <https://doi.org/10.4067/S0718-19572010000100007>
- PSCAD (Director). (2016, noviembre 25). *Modelling Cables and Transmission Lines with PSCAD/EMTDC* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=PoM2Yu5fS00>