

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS POWER-TO-X EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS CON ALTA PENETRACIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

Realizado por

Gabriela Corredor Liberato

Juan Sebastián Osorio Sánchez

Proyecto de grado presentado en cumplimiento del requisito para
optar por el título de Ingeniero Electrónico



Grupo de Investigación MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo)

Sistemas de energía eléctrica

Facultad de Ingeniería Electrónica

División de Ingenierías

Diciembre de 2023

IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS POWER-TO-X EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS CON ALTA PENETRACIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

Realizado por

Gabriela Corredor Liberato
Juan Sebastián Osorio Sánchez

Proyecto de grado presentado en cumplimiento del requisito para
optar por el título de Ingeniero Electrónico

Dirigido por

Mgtr. José Luis Paternina Durán

Co-Dirigido por

Mgtr. Gianina Garrido Silva

Grupo de Investigación MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo)

Sistemas de energía eléctrica

Facultad de Ingeniería Electrónica

División de Ingenierías

Diciembre de 2023

Autoridades de la Universidad

RECTOR GENERAL

R.P. FRAY ALVARO JOSÉ ARANGO RESTREPO, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL

R.P. FRAY HERNÁN YESID RIVERA ROBERTO, O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL

R.P. FRAY MAURICIO ANTONIO CORTES GALLEGO, O.P.

SECRETARIO GENERAL

Dra. INGRID LORENA CAMPOS VARGAS

DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

R.P. FRAY JAVIER ANTONIO HINCAPIÉ ARDILA, O.P.

SECRETARIA DE DIVISIÓN

E.C. LUZ PATRICIA ROCHA CAICEDO

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ING. CARLOS ANDRÉS TORRES PINZÓN, PhD.

Nota de aceptación

Firma del autor

Firma del jurado

Firma del jurado

Advertencia

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado, solo velará por que no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

Capítulo III –Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.

Dedicatoria

Dedicamos este proyecto de grado con profundo agradecimiento a todos aquellos que han sido parte fundamental de este:

A nuestros queridos profesores, cuyos conocimientos, orientación y paciencia han sido la brújula que nos guió a lo largo de este proceso. Sus enseñanzas y sabias palabras han sido la fuente de inspiración que nos impulsó a esforzarnos y crecer como estudiantes y profesionales. Gracias por su dedicación inquebrantable a nuestra educación.

A nuestros valiosos compañeros de clase, quienes compartieron con nosotros cada desafío, logro y momento de alegría durante este recorrido.

A nuestros familiares, cuyo amor, aliento y apoyo incondicional nos han sostenido en los momentos difíciles y han celebrado con nosotros en los momentos de triunfo. Su confianza en nuestro potencial nos ha impulsado a esforzarnos al máximo.

Agradecimientos

Primeramente, queremos agradecer a Dios quien ha sido siempre nuestra guía durante el camino recorrido. A nuestro director Jose Luis Paternina Duran, a nuestra codirectora Gianina Garrido, a nuestra familia, amigos, profesores y todas las personas que influyeron en la realización de este proyecto de grado. Les agradecemos por su sabiduría, orientación y paciencia que permitió desarrollar adecuadamente nuestro proyecto y completar este desafío académico. Estamos sinceramente agradecidos por su confianza y apoyo en este camino hacia la culminación de este ciclo académico.

Índice general

Resumen	IX
Abstract	X
Lista de Figuras	X
Lista de Tablas	XIV
Glosario	XV
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Justificación	3
1.4. Impacto Social	3
2. Estado del Arte	5
2.1. Mecanismo para equilibrar los sistemas eléctricos con penetración de FER	5
2.1.1. Inercia Virtual	5
2.1.2. Mecanismo de respuesta a la demanda	6
2.2. Flexibilidad en la operación de sistemas eléctricos	6
2.3. Tecnologías PtX como mecanismo alternativo de almacenamiento para el equilibrio de la operación de los sistemas eléctricos	7
3. Diseño Metodológico	9
3.1. Revisión bibliográfica de la tecnologías PtX	9
3.2. Identificación de características de estudio de flexibilidad	10
3.3. Establecimiento de criterios de evaluación	10
3.4. Evaluación de operación de los sistemas eléctricos con implementación de PtX	10
4. Marco Teórico	12
4.1. Técnicas para disminuir la incertidumbre de variables climáticas	12
4.1.1. Técnica de Estimación Robusta	12
4.1.1.1. Robustez Cualitativa	12
4.1.1.2. Robustez Cuantitativa	12
4.1.2. Monte Carlo	13
4.1.3. Distribución de probabilidad	13
4.1.3.1. Distribuciones continuas	13
4.1.3.2. Prueba Anderson-Darling	13
4.2. Modelo de Panel Solar	14
4.3. Tecnología PtX	15
4.3.1. PtG - Metano	16
4.3.2. PtL - Biocombustible Líquido	16
4.3.3. PtG - Hidrógeno	16

4.3.3.1.	Electrólisis del agua	16
4.3.3.2.	Tipos de electrolizador	17
4.4.	Sistema Power to Hydrogen (PtH ₂)	17
4.4.1.	Electrolizador de intercambio de protones (PEMEL)	18
4.4.1.1.	Producción de hidrógeno	18
4.4.1.2.	Modelado matemático	19
4.4.1.3.	Flexibilidad de operación	20
4.5.	Flexibilidad en sistemas eléctricos	22
4.5.1.	Flexibilidad Técnica	23
4.5.1.1.	Flexibilidad de parque de generación:	23
4.5.1.2.	Almacenamiento de energía:	23
4.5.1.3.	Flexibilidad de la demanda:	24
4.5.1.4.	Flexibilidad de la red	24
4.5.2.	Flexibilidad Operativa	25
4.5.3.	Región Factible de Operación (FOR)	25
4.5.4.	Criterios de evaluación	27
4.5.4.1.	Índices de flexibilidad	27
5.	Desarrollo Conceptual	29
5.1.	Pronóstico de temperatura e irradiancia por hora	29
5.1.1.	Obtención de datos	29
5.1.2.	Ajuste de distribución de probabilidad	30
5.1.3.	Generación de números aleatorios	31
5.1.4.	Probabilidad de temperatura e irradiancia por hora	32
5.2.	Modelo Panel Solar	32
5.3.	Funcionamiento Sistema PtX	34
5.3.1.	Electrolizador	34
5.4.	Caso de estudio	39
5.4.1.	Sistema eléctrico	39
5.4.2.	Modelo sistema IEEE 34 nodos (Escenario 1)	39
5.4.2.1.	Modelo de cargas	40
5.4.3.	Integración de FER (Escenario 2)	41
5.4.4.	Integración de PtH ₂ (Escenario 3)	42
5.5.	Estudio de flexibilidad	43
5.5.1.	Construcción FOR	43
5.5.2.	Índices de flexibilidad	43
5.5.3.	Comparación de índices de flexibilidad	45
6.	Resultados y Discusión	47
6.1.	Región de operación de la red IEEE de 34 nodos	47
6.2.	Región de operación de la red IEEE con FER	48
6.3.	Región de operación de la red IEEE con FER y PtH ₂	48
6.4.	Análisis de índices de flexibilidad	49
6.5.	Producción de Hidrógeno y Excedentes de FER	52
7.	Conclusiones y Trabajos Futuros	55
7.1.	Conclusiones	55
7.2.	Trabajos Futuros	55
8.	Anexos	57
8.1.	Ajustes de probabilidad	57
8.1.1.	Temperatura	57
8.1.2.	Irradiancia	61
8.2.	Ficha técnica del panel HELIOS PLUS 425-450W	65
8.3.	Valor de R_S y R_P del panel fotovoltaico	67
8.4.	Ficha Técnica del electrolizador	68

8.5. Código Pronóstico de temperatura e irradiancia	70
8.6. Código de generación de números aleatorios	74
8.7. Código para construir las regiones de operación	92
8.8. Código OpenDSS red IEEE 34 nodos sin FER, sin PtH	96
8.9. Código OpenDSS red IEEE 34 nodos con FER, sin PtH	105
8.10. Código OpenDSS red IEEE 34 nodos con FER y PtH	116
8.11. Corrección de los índices	126

Resumen

A nivel global se está realizando una transición energética la cual busca transformar los sistemas energéticos actuales (en la mayoría dependen de combustibles fósiles) a sistemas sostenibles y eficientes, con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Uno de los desafíos de esta transición es diversificar la matriz de generación energética, introduciendo fuentes de energía renovable (FER), que permitan disminuir la dependencia de combustibles fósiles así como aumentar la eficiencia.

Teniendo claro esto, el presente proyecto se enfoca en evaluar como las tecnologías Power to X (PtX), convierten energía eléctrica en otro vector energético y ayudan a gestionar los excedentes producidos por FER y garantizar la disponibilidad del recurso energético.

Para el cumplimiento y desarrollo de los objetivos se toma como base de estudio la red IEEE de 34 nodos. A esta se le agregan FER y un sistema Power to Hydrogen (PtH₂) con el fin de determinar como la inserción de estos elementos afectan a la región flexible de operación conocida como FOR (Feasible Operation Region)

Se identificó que la inclusión de PtH desempeña un papel fundamental al aumentar tanto la adaptabilidad a diversas fuentes de generación, como los sistemas fotovoltaicos, como la capacidad de carga. Estos cambios se traducen en una expansión significativa de las FOR, lo que resalta la relevancia de considerar la implementación de sistemas PtH₂ en la transición hacia sistemas eléctricos más sostenibles y eficientes, con implicaciones importantes para la planificación y la toma de decisiones en el sector energético, promoviendo un futuro más robusto y sostenible en la generación y gestión de energía.

Palabras clave: Fuentes de Energía Renovable, Flexibilidad, Región Flexible de Operación (FOR), Power-to-X (PtX), Electrólisis, Gestión de excedentes, Power to Hydrogen (PtH₂).

Abstract

Currently, a global energy transition is underway with the objective of transforming existing energy systems, most of which rely on fossil fuels, into sustainable and efficient systems in order to mitigate greenhouse gas emissions. A pivotal challenge within this transition is diversifying the energy generation mix by integrating renewable energy sources (RES), thereby reducing dependence on fossil fuels and enhancing overall efficiency.

With this objective in mind, the project focuses on assessing the role of Power-to-X (PtX) technologies. These technologies involve converting electrical energy into alternative energy vectors to effectively manage surplus energy generated by RES and ensure resource availability.

To achieve the research objectives, it takes into account the IEEE 34 node test feeder to emulate the network as the foundation for their study. In this context, the incorporation of RES and a Power to hydrogen system (PtH₂) was examined to understand how the integration of these components impacts the flexible operational region referred to as the 'Flexible Operation Region' (FOR).

The findings underscore the vital contribution of PtH integration, significantly enhancing adaptability to various generation sources, particularly photovoltaic systems, and augmenting load capacity. These enhancements result in a noteworthy expansion of the FOR. This highlights a compelling case for considering PtH₂ implementation in the ongoing transition towards more sustainable and efficient power systems. Such a decision holds substantial implications for strategic planning and decision-making within the energy sector, ultimately fostering a more robust and sustainable future for power generation and management.

Keywords: Renewable Energy Sources, Flexibility, Flexible Operation Region(FOR), Power-to-X (PtX), Electrolysis, Surplus Management, Power to Hydrogen (PtH₂).

Índice de figuras

1.	Metodología de investigación, Fuente propia.	9
2.	Modelo Eléctrico del Panel Solar, Fuente propia.	15
3.	Sistema PtH ₂ , fuente propia.	17
4.	Electrolizador PEM, adaptada de [56]	18
5.	Circuito equivalente Electrolizador PEM, adaptado de [60]	19
6.	Tiempos de respuesta arranque en caliente (a) y frío (b), adaptado de [64].	21
7.	Flexibilidad electrolizador tipo PEM, adaptado de [64].	21
8.	Métricas de Flexibilidad en un sistema eléctrico, adaptado de [68]	25
9.	Región de Operación, adaptado de [68]	26
10.	Principio de polinomio convexo, tomado de Stackexchange	26
11.	Ajuste de probabilidad para la irradiancia en la hora 12, Fuente propia	31
12.	Números aleatorios en irradiancia con ajuste de distribución en la hora 10, Fuente propia.	32
13.	Curva de Potencia del panel de acuerdo a los datos de temperatura e irradiancia, Fuente propia	34
14.	Modelo de simulación PEMEL, Fuente propia.	35
15.	Modelo matemático PEMEL en Simulink, Fuente propia.	37
16.	Curva características Tensión-Corriente, Fuente propia.	38
17.	Curva característica Potencia-Hidrógeno, Fuente propia.	38
18.	Esquema sistema IEEE 34 nodos, Fuente propia.	40
19.	Curva de demanda residencial, tomado de [83].	40
20.	Curva de demanda comercial, tomado de [83].	41
21.	Curva de demanda industrial, tomado de [83].	41
22.	Integración de FER en la red IEEE 34 nodos, Fuente propia.	42
23.	Integración de PtH ₂ en la red IEEE 34 nodos, Fuente propia.	42
24.	Flujo de potencia linea principal Red IEEE 34 nodos. , fuente propia	45
25.	FOR de la red IEEE de 34 nodos, Fuente propia.	47
26.	Integración de PtH ₂ en la red IEEE 34 nodos, Fuente propia.	48
27.	Integración de PtH ₂ en la red IEEE 34 nodos, Fuente propia.	49
28.	Índice de Absorción de FER, Escenario 2 Vs Escenario 3; Fuente propia.	50
29.	Índice de Margen de flexibilidad en las líneas, Fuente propia.	50
30.	Índice de Margen de capacidad, Escenario 1 Vs Escenario 3; Fuente propia.	51
31.	Producción de hidrógeno en 24 horas	52
32.	Excedentes presentes en la Red IEEE 34 nodos en 24 horas, Fuente propia.	52
33.	Comparación de las regiones de operación, Fuente propia.	53
34.	Comparación flujo de potencia, Fuente propia.	53
35.	Pagina 1 ajuste de probabilidad para temperatura en la hora 6,7,8; Fuente propia.	57
36.	Pagina 2 ajuste de probabilidad para temperatura en la hora 9,10,11; Fuente propia.	58
37.	Pagina 3 ajuste de probabilidad para temperatura en la hora 12,13,14; Fuente propia.	59
38.	Pagina 4 ajuste de probabilidad para temperatura en la hora 15,16,17; Fuente propia.	60
39.	Pagina 1 ajuste de probabilidad para irradiancia en la hora 6,7,8; Fuente propia.	61
40.	Pagina 2 ajuste de probabilidad para irradiancia en la hora 9,10,11; Fuente propia.	62
41.	Pagina 3 ajuste de probabilidad para irradiancia en la hora 12,13,14; Fuente propia.	63

42.	Pagina 4 ajuste de probabilidad para irradiancia en la hora 15,16,17; Fuente propia.	64
43.	Ficha Técnica del panel HELIOUS PLUS 450W, tomado de Eco Green Energy	65
44.	Ficha Técnica del panel HELIOUS PLUS 450W, tomado de Eco Green Energy	66
45.	Calculo de R_S y R_P , Fuente propia.	67
46.	Ficha Técnica del electrolizador a), tomado de nel.	68
47.	Ficha Técnica del electrolizador b), tomado de nel.	69
48.	Pagina 1 código pronóstico de temperatura e irradiancia, Fuente propia.	70
49.	Pagina 2 código pronóstico de temperatura e irradiancia, Fuente propia.	71
50.	Pagina 3 código pronóstico de temperatura e irradiancia, Fuente propia.	72
51.	Pagina 4 código de pronóstico de temperatura e irradiancia, Fuente propia.	73
52.	Pagina 1 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	74
53.	Pagina 2 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	75
54.	Pagina 3 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	76
55.	Pagina 4 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	77
56.	Pagina 5 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	78
57.	Pagina 6 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	79
58.	Pagina 7 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	80
59.	Pagina 8 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	81
60.	Pagina 9 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	82
61.	Pagina 10 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	83
62.	Pagina 11 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	84
63.	Pagina 12 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	85
64.	Pagina 13 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	86
65.	Pagina 14 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	87
66.	Pagina 15 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	88
67.	Pagina 16 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	89
68.	Pagina 17 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	90
69.	Pagina 18 código generación de números aleatorios, Fuente propia.	91
70.	Pagina 1 código construcción de regiones de operación, Fuente propia.	92
71.	Pagina 2 código construcción de regiones de operación, Fuente propia.	93
72.	Pagina 3 código construcción de regiones de operación, Fuente propia.	94
73.	Pagina 4 código construcción de regiones de operación, Fuente propia.	95
74.	Pagina 1 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.	96
75.	Pagina 2 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.	97
76.	Pagina 3 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.	98
77.	Pagina 4 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.	99
78.	Pagina 5 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.	100
79.	Pagina 6 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.	101
80.	Pagina 7 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.	102
81.	Pagina 8 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.	103
82.	Pagina 9 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.	104
83.	Pagina 1 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	105
84.	Pagina 2 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	106
85.	Pagina 3 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	107
86.	Pagina 4 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	108
87.	Pagina 5 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	109
88.	Pagina 6 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	110
89.	Pagina 7 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	111
90.	Pagina 8 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	112
91.	Pagina 9 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	113
92.	Pagina 10 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	114
93.	Pagina 11 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.	115
94.	Pagina 1 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	116
95.	Pagina 2 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	117
96.	Pagina 3 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	118

97.	Pagina 4 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	119
98.	Pagina 5 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	120
99.	Pagina 6 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	121
100.	Pagina 7 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	122
101.	Pagina 8 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	123
102.	Pagina 9 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	124
103.	Pagina 10 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	125
104.	Pagina 11 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.	126

Índice de tablas

1.	Características electrolizador AK, PEM y SOEC.	17
2.	Disposición de datos por hora para temperatura.	30
3.	Disposición de datos por hora para irradiancia	30
4.	Ajuste de distribución de probabilidad en temperatura por hora	30
5.	Ajuste de distribución de probabilidad en irradiancia.	30
6.	Funciones MATLAB para números aleatorios.	31
7.	Probabilidad de temperatura e irradiancia	32
8.	Parámetros del panel	33
9.	Constantes	33
10.	Corriente, voltaje y potencia por horas	34
11.	Variaciones de temperatura y presión.	37
12.	Ubicación de elementos eléctricos	39
13.	Límites de corriente.	43
14.	Límites de tensión.	43
15.	Producción fotovoltaica en cada hora.	44
16.	Número de líneas que cumplen las restricciones.	44
17.	Índices de flexibilidad	45
18.	Casos a evaluar en cada índice.	46
19.	Índices de flexibilidad corregidos	127

Glosario

AGPE Auto generación a pequeña escala.

AEL Electrolisis alcalina por su siglas en inglés Alkaline electrolysis.

AD Anderson Darling.

C₂ Carbono.

CO₂ Dióxido de carbono.

CREG Comisión de Regulación de Energía y Gas.

DC Corriente Directa.

DER Recursos energéticos Distribuidos, DER por sus siglas en inglés Distributed Energy Resources.

FER Fuentes de Energía Renovable.

FOR Región factible de operación.

GD Generador distribuido.

GEI Gases de Efecto Invernadero.

GS Generador síncrono.

SV Generador síncrono virtual.

GV Generador variable.

H₂ Hidrógeno.

IPCC Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

LCT tecnologías bajas en carbono por sus siglas en inglés Low Carbon Technologies.

MEM Modelado-Electrónica-Monitoreo.

NASA Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio por su siglas en inglés National Aeronautics and Space Administration.

OP Punto de operación por sus siglas en inglés Operation Point.

PEM Membrana de intercambio de protones por su siglas en inglés Proton Exchange Membrane.

PEMEL Electrolizador de Membrana de intercambio de protones por su siglas en inglés Proton Exchange Membrane electrolyzer.

PtG Energía eléctrica a gas por sus siglas en inglés Power to Gas.

PtH₂ Energía eléctrica a hidrógeno por sus siglas en inglés Power to hydrogen.

PtL Energía eléctrica a liquido por sus siglas en inglés Power to Liquid.

PtX Energía eléctrica a X por sus siglas en inglés Power to X.

SNG Gas natural sintético por sus siglas en inglés Synthetic Natural Gas.

SOEC Celda de Electrólisis de Óxido Sólido por sus siglas en inglés Solid Oxide Electrolysis Cell.

USTA Universidad Santo Tomás.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Planteamiento del Problema

El calentamiento global ha sido uno de los problemas de mayor impacto y preocupación durante las últimas dos décadas. Esto se debe al alto consumo de combustibles fósiles que han provocado el aumento de dióxido de carbono (CO_2) [1], el cual es uno de los denominados Gases de Efecto Invernadero (GEI). Estos GEI se encargan de regular la temperatura en la superficie terrestre para facilitar la vida, pero el aumento desmedido de emisiones de CO_2 puede representar cambios drásticos en el clima del planeta [2].

Para mitigar esta problemática, se parte de lo estipulado en la conferencia de las naciones unidas realizada en el año 2015 en París (COP21), en donde se llega a la conclusión de que el nivel de temperatura global no podrá superar 1.5°C [3]. Para cumplir con este objetivo y considerando que una de las mayores fuentes de emisiones proviene de los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) para la producción de energía [1], es necesario el uso de métodos alternativos que proporcionen menor cantidad de GEI, lo que conlleva a que se plantee una transición energética, es decir, un cambio a largo plazo en la manera de generar, transportar, distribuir y comercializar energía [4].

Una de las apuestas es el uso de las fuentes de energías renovables (FER), las cuales son capaces de generar energía eléctrica con una menor huella de carbono, en comparación con los métodos tradicionales [5]. No obstante, este tipo de tecnologías (FER) presentan problemas de intermitencia e incertidumbre, los cuales no permiten tener confiabilidad del suministro de energía. Debido a esto, se debe hacer la implementación de diversas tecnologías en los sistemas eléctricos para que den frente a estas problemáticas [6].

Para ello, se ha dado uso de métodos de almacenamiento (baterías), los cuales son capaces de proporcionar la energía en momentos donde las FER no tengan la capacidad de suplir la demanda, o en el caso en donde los excedentes generados por estas sean superiores y afecten el estado y la operación de la red eléctrica [7]. Por ende, el uso de este medio de almacenamiento ha permitido mejorar la capacidad de las FER a un punto en donde se puedan tomar como fuentes primarias de generación. Sin embargo, el uso excesivo de baterías ha generado nuevos problemas, los cuales están relacionados con los costos de implementación debido al alto valor de las baterías, el mantenimiento y el impacto ambiental, ya que los desechos producidos por estos métodos de almacenamiento no están siendo correctamente manejados y han generado una nueva ola de contaminación [8].

Gracias a las problemáticas mencionadas, surgen nuevos mecanismos de almacenamiento como son las tecnologías Power To X (PtX), las cuales se encargan de gestionar los excedentes de FER para aprovecharlos en otro vector energético (como el hidrógeno, el gas o el calor) [9]. Dentro de estas se encuentra Power to Hydrogen (PtH₂), el cual consiste en realizar el proceso de electrólisis (separa los elementos de un compuesto a través de la electricidad) del agua y obtener hidrógeno [10].

En la actualidad ya se han implementado varias plantas con este mecanismo de almacenamiento, un ejemplo es HyFlexPower en Francia (2020) en donde se demostró que el hidrógeno puede ser usado en plantas combinadas de calor y energía con turbinas de alta potencia, que actualmente usan gas natural [11].

Este tipo de implementación permite la generación de acoples sectoriales y por ende abre paso a contribuir en la transición energética dicha en [3], pues se ha llegado a la siguiente conclusión: la consecución de metas de descarbonización sólo será posible mediante la integración de diferentes vectores energéticos [12]. Por lo mismo, este nuevo paradigma de almacenamiento está siendo estudiado pues parece ser capaz de reducir costos de operación en los sistemas eléctricos (equilibrando oferta y demanda aún en presencia de FER con excedentes) y mejorar el comportamiento del sistema de modo que sea posible crear un red donde se cumpla la meta de descarbonización propuesta en [3],[13].

Por lo anterior, es importante realizar el estudio de sistemas eléctricos dónde existan tanto FER como tecnologías PtX y así, evidenciar el impacto que este nuevo paradigma de almacenamiento puede traer a la operación de los sistemas eléctricos pensados para la transición energética. Considerando esto, a continuación, se propone la siguiente pregunta problema:

¿Cuál es el impacto de las tecnologías PtX en el equilibrio de los sistemas eléctricos pensados para la transición energética y como brinda alternativas para la gestión de excedentes de FER?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Evaluar el impacto de las tecnologías PtX en la operación de sistemas eléctricos para la gestión de excedentes provenientes de FER mediante un estudio de flexibilidad energética.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Establecer las principales características de las tecnologías PtX para su integración en sistemas eléctricos con alta penetración de FER, partiendo de modelos matemáticos ya existentes.
- Identificar las principales características asociadas al estudio de flexibilidad con base en una recopilación de información especializada para su aplicación en sistemas eléctricos con FER.
- Establecer criterios para la evaluación de flexibilidad en sistemas eléctricos con excedentes producidos por FER, teniendo en cuenta los aportes encontrados en la literatura científica.
- Comparar mediante un caso de estudio el impacto que tienen las tecnologías PtX, para la gestión de excedentes provenientes de FER.

1.3. Justificación

Diferentes estudios han manifestado la dificultad de alcanzar las metas de descarbonización proyectadas para el año 2050 desde los enfoques convencionales (mono - energéticos) [14]. Por ende, en los últimos años se ha prestado especial atención a la concepción de los Sistemas Multienergéticos, pues ellos brindan la posibilidad de realizar acople sectorial y aprovechar el arbitraje energético entre diferentes vectores para lograr un efecto en cascada respecto a la disminución de las emisiones de (CO₂) [15].

Por ejemplo, la gestión de los excedentes provenientes de FER (los cuales son nocivos para la operación de un sistema eléctrico convencional, pues provocan desequilibrios [16]) podrían ser aprovechados en otro vector energético (como el gas, hidrógeno o calor) utilizando las tecnologías de acople PtX [17]. Por esto, es necesario realizar estudios como el presente, donde se analice la capacidad de los sistemas eléctricos para responder a los desequilibrios repentinos entre oferta y demanda, más allá de los mecanismos tradicionales (Respuesta a la Demanda y sistemas de almacenamiento [18]).

Es en esta línea donde el tópico de PtX se presenta como una oportunidad de investigación, pues en bases de datos especializadas tipo SCOPUS se observa un crecimiento de los trabajos indexados bajo esta categoría (235 en 2018, 286 en 2019, 347 en 2020, 359 en 2021, 246 en 2022)[19].

Así mismo, el aporte que tendrá en la Universidad Santo Tomás, en el grupo de investigación MEM, será la apertura de nuevas temáticas relacionadas con la gestión de excedentes de FER y nuevos enfoques respecto a la transición energética, específicamente en el área de acople sectorial mediante las tecnologías PtX.

Esto representará nuevas oportunidades de trabajo y relacionamiento con el sector externo pues va en sintonía con propuestas gubernamentales que buscan el fomento de dicho acople sectorial para la reducción de emisiones (como lo es la Ruta del Hidrógeno para Colombia)[20].

1.4. Impacto Social

Según la opinión científica, en los últimos 50 años ha habido un aumento acelerado del calentamiento global debido a la actividad humana, ya que se ha demostrado su estrecha relación con la emisión de (CO₂) [21]. Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), las consecuencias del calentamiento global se sentirán en todos los ecosistemas, en comunidades y economías humanas, lo que conlleva a desplazamientos poblacionales, reducción de la producción agrícola, problemas sanitarios, aumento de la pobreza, entre otros [22]. Por lo anterior se hace pertinente la investigación de nuevos mecanismos de generación y almacenamiento de energía, y así contribuir en la implementación de nuevas políticas ambientales.

Con el desarrollo de este proyecto se espera fortalecer las líneas de investigación adscritas al grupo de investigación MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo) de la Universidad Santo Tomás como: automática y sistema de energía; ya que la transición a métodos novedosos de almacenamiento se hace necesaria a nivel mundial y sería de gran utilidad para la Universidad Santo Tomás (USTA) iniciar el estudio de estas nuevas tecnologías como lo son PtX.

En cuanto al programa de Ingeniería Electrónica de la USTA, se anhela poder generar alianzas estratégicas con el sector público e industrial, en donde haya un intercambio de servicios de interés común, y así ampliar el campo de acción del grupo de investigación MEM, siguiendo la línea interinstitucional de la universidad. Adicionalmente, el acople sectorial propio de las tecnologías PtX podría permitir que diferentes sectores con

poder adquisitivo para la instalación de FER suministren servicios adicionales mediante redes multienergéticas a sectores sin estas facilidades.

Capítulo 2

Estado del Arte

Garantizar el acceso a energía confiable, asequible y limpia a una población mundial en crecimiento, la cual genera mayores demandas al transcurrir el tiempo y sumando a esto, la limitante del aumento de la temperatura global a menos de 2°C, son algunos de los principales desafíos del siglo XXI [3]. Debido a ello, surge la necesidad de una transición energética, en donde los sistemas de generación de energía se basan en fuentes de energía renovable y nuevos mecanismos de almacenamiento que apoyan el desarrollo a gran escala de estas. Por consiguiente, es necesario realizar una revisión de la literatura científica donde se analizan diferentes sistemas eléctricos con penetración de renovables lo cual se muestra a continuación:

2.1. Mecanismo para equilibrar los sistemas eléctricos con penetración de FER

Dentro de la operación de los sistemas eléctricos es necesario garantizar un balance entre la generación y la demanda en todo momento [23]. Por ende, los sistemas que cuentan con presencia de FER deben gestionar los retos relacionados a la naturaleza intermitente de las energías renovables y su impacto tanto técnico como económico en el sistema [2]. Con base en lo anterior, a continuación se muestran algunos mecanismos empleados en la literatura científica para el equilibrio en sistemas eléctricos con penetración de FER.

2.1.1. Inercia Virtual

Uno de los aspectos a tener en cuenta al momento de mantener el equilibrio en la red eléctrica es la variación de frecuencia. Si en algún punto esta cambia su valor nominal, significa que existe un desbalance entre generación y demanda [24]. No obstante, uno de los mecanismos para evitar este fenómeno es la inercia que se obtiene de los generadores síncronos, los cuales son capaces de aumentar su capacidad de generación si es requerido.

Ahora bien, la inclusión de FER genera una disminución de dicha inercia, provocando así incertidumbre en la generación de energía [25]. Por consiguiente, una solución a este problema está en la inclusión de la inercia virtual, la cual permite disminuir en gran medida el desbalance provocado por las diferentes FER. Este mecanismo es una combinación de nuevas técnicas de control, sistemas de almacenamiento y electrónica de potencia, el cual es capaz de recrear la inercia generada comúnmente por un generador síncrono (GS) [26].

Además, es posible tener tres topologías para crear inercia virtual, generador síncrono virtual (GSV) - método derivado de frecuencia, GSV-método de ecuación de oscilación y control de caída [25].

La primera técnica, se basa en determinar el rango en el que la frecuencia cambia con el fin de controlar cuánta energía debe ser inyectada a la red [27]. La segunda técnica, consta de representar la inercia dada por un GS mediante la ecuación de oscilación e introducir el concepto de GSV [28]. La tercera técnica, consta de regular la caída de tensión ya que trabaja en corriente DC; si se comparan las técnicas mencionadas es posible sustentar que mediante diferentes pruebas y resultados, los dos primeros métodos demostraron ser más efectivos ya que son capaces de regular en mejor medida las diferentes variaciones que se presentan debido a la alta penetración de FER [28].

Por consiguiente, el uso de inercia virtual en sistemas con alta incidencia de FER permite regular las variaciones que pueden presentarse en el sistema, evitando así desbalances que ocasionen daños o pérdidas dentro de la operación.

2.1.2. Mecanismo de respuesta a la demanda

Dentro de la red eléctrica se debe tener en cuenta diferentes aspectos para garantizar un buen funcionamiento. Un mecanismo que se emplea para garantizar la confiabilidad del sistema, es la respuesta de la demanda, la cual se define como la variación de consumo final respecto al precio de oferta [29]. Este tipo de programas, pueden generar varios beneficios tanto en el lado de generación como el lado de consumo, estos pueden ser económicos, eficiencia del sistema y contribución a una transición energética, limpia y moderna [3].

Además, posee ciertas características como son el uso en condiciones críticas, presencia en el sistema, poca relevancia en la reducción de la demanda en condiciones normales, no reemplaza la expansión de abastecimiento y no es de carácter permanente. Existen diferentes métodos que permiten reducir la variación mencionada anteriormente [29]. No obstante, algunos métodos tradicionales presentan inconvenientes, tales como la falta de datos; efectos negativos en los estudios, que pueden ser el retraso de datos, falta de análisis y una mala retroalimentación [5].

Por ende, se han propuesto nuevos métodos los cuales implementan diferentes alternativas tales como, cambio de cargas en horas de menor actividad, combinación de refrigeración, calefacción y energía eléctrica mediante centrales eléctricas virtuales correlacionadas con la respuesta de la demanda, ralentización de expansión de plantas, lo que conlleva a la reducción de la contaminación y flexibilización de la carga [4],[6],[8].

2.2. Flexibilidad en la operación de sistemas eléctricos

La transición energética juega un papel fundamental en la descarbonización de la atmósfera. Para lograrlo, se hace la inclusión de: FER, tecnologías bajas en carbono (LCT por sus siglas en inglés Low Carbon Technologies), recursos energéticos distribuidos (DER) y el aumento de la eficiencia energética [9],[30]. El hecho de integrar sistemas FER y DER en la red, implica enfrentar la variación (cambios regidos en la generación de electricidad) e incertidumbre (incapacidad de predecir la salida futura de las FER) que estas generan.

Desde hace tiempo los sistemas eléctricos manejan como requisito la flexibilidad, esta permite ajustar la demanda eléctrica rápidamente, según lo solicitado, para igualar el suministro de electricidad [31]. Sin embargo, frente a la integración de sistemas FER y DER el comportamiento de oferta y demanda no es algo conocido o

predecible, debido a ello en diferentes investigaciones se han realizado alternativas que permitan darle flexibilidad al sistema. Es debido a ello que en [32] buscan equilibrar la generación y demanda de la red eléctrica por medio de cargas termostáticamente controladas, que se administran haciendo uso de una batería virtual; de este modo reducen la variabilidad de las fuentes de energía renovable, y se hace uso de una nueva alternativa de almacenamiento.

Finalmente en [33] realizan el modelado y evaluación de diversas características de flexibilidad de los DER, teniendo en cuenta la potencia reactiva y las restricciones de la red, lo cual es útil para el desarrollo de este estudio.

2.3. Tecnologías PtX como mecanismo alternativo de almacenamiento para el equilibrio de la operación de los sistemas eléctricos

Como se ha mencionado anteriormente, los cambios drásticos en el clima se han dado debido al aumento de la actividad humana, afectando el desarrollo sostenible y de futuras generaciones. Esto implica reducir drásticamente los niveles de GEI y hacer frente a las consecuencias ya presentes en el calentamiento global [34]. Para esto se han hecho esfuerzos a nivel mundial, en donde se proponen estrategias y acuerdos para iniciar una transición energética (COP21) y así limitar el aumento de la temperatura global a 1.5 °C máximo 2 °C [35].

Con la transición energética se ha logrado aumentar gradualmente la participación de FER en el sistema eléctrico [31], reduciendo las emisiones de CO₂ por parte de la generación eléctrica. No obstante, para cumplir los objetivos y reducir significativamente la emisión de CO₂, los excedentes de energía producidos por FER deben ser usados para desfosilizar no sólo el vector de electricidad, sino también los diferentes vectores energéticos tales como, sectores térmicos, movilidad y la industria [36]. Debido a lo anterior, se hace necesario explorar nuevas técnicas o metodologías de almacenamiento que aprovechen al máximo los excedentes generados por la producción energética en momentos en donde no podrá ser consumida [11].

En 2017 la mayoría de los expertos coinciden en que el cambio completo de los combustibles fósiles a la electricidad no era viable ni deseable, debido a que el sector de transporte (aviones, camiones, buses para viajes de larga distancia) depende de combustibles de alta densidad energética. Debido a la necesidad de implementar nuevas alternativas, se hace la integración de baterías, las cuales traen consigo diferentes deficiencias como lo son, su escasa capacidad de almacenamiento, su elevado costo e insuficiente infraestructura de carga [37]. Debido a ello, durante varios años se han investigado nuevas formas de almacenamiento, con el fin de que sean efectivos, óptimos y aventajados respecto a los métodos tradicionales.

Sumado a esto, el almacenamiento de energía se puede clasificar físicamente en: energía eléctrica, térmica, mecánica, electroquímica y química; en el caso de los sistemas de almacenamiento químico, contienen fuentes de energía primaria o secundaria convertida en vectores energéticos (gases, líquidos y sólidos), con una alta densidad de energía. Para la descarga de energía se hace uso de procesos de combustión, el cual transforma la energía química en energía térmica y posteriormente en mecánica o eléctrica [11].

Estos sistemas basan su funcionamiento en tres elementos cruciales para la industria química como son el carbono (C), el hidrógeno (H₂) y el oxígeno (O₂). Dentro de estos sistemas de almacenamiento encontramos los sistemas PtG (Power to Gas) y los sistemas PtL (Power to Liquid) [11].

Debido a lo anterior el acoplamiento de sistemas eléctricos es posible y viable ya que convierte la producción energética en un ciclo sostenible que ayuda y reduce las emisiones de carbono a la atmósfera.

Capítulo 3

Diseño Metodológico

La metodología de investigación utilizada para el desarrollo del presente proyecto se basa en un caso de estudio, el cual promueve el pensamiento crítico y la toma de decisiones, en lugar de la memorización como aprendizaje [38]. Además, por medio de escenarios, ya sean reales o simulados se puede evaluar, analizar y concluir acerca del área de investigación a desarrollar [39]. Por ende, para la realización y cumplimiento del presente proyecto, se evaluará la operación de sistemas eléctricos con y sin implementación de tecnologías *PtX*. Para ello, el proceso se divide en cuatro fases las cuales son, Investigar, Caracterizar, Establecer y Evaluar.



FIGURA 1: Metodología de investigación, Fuente propia.

3.1. Revisión bibliográfica de la tecnologías PtX

La primera fase se centra en la discretización de temáticas a tener en cuenta dentro de las tecnologías PtX, por medio de ecuaciones de búsqueda y bases de datos especializadas, que facilitan la recopilación de información relevante y detallada de modelos matemáticos que contemplen la integración de estas tecnologías en el sistema eléctrico con presencia de FER. En esta fase, se realizarán 5 tareas las cuales darán como resultado la simulación

del sistema PtX de acuerdo a su definición, funcionamiento e implementación. A continuación, se mencionan las tareas asignadas:

- Definición en cuanto a los criterios de búsqueda para la recopilación de información.
- Recopilación de información.
- Estudio de información con base a la definición, uso e implementación.
- Definición de aspectos a tener en cuenta para el estudio en la operación de sistemas eléctricos.
- Simulación de un sistema PtX.

3.2. Identificación de características de estudio de flexibilidad

En la fase dos, se identifican las características relevantes de los estudios de flexibilidad realizados en sistemas eléctricos con alta penetración de FER. Las características se extraerán con base a los análisis y conclusiones de artículos de investigación, encontrados gracias a la búsqueda especializada que se realizó. Esta fase cuenta con tres tareas las cuales permitirán el cumplimiento del segundo objetivo general. Se describen las tareas resultantes para esta fase:

- Recopilación de estudios de flexibilidad en sistemas eléctricos con FER.
- Simulación de un sistema eléctrico con penetración de FER.
- Análisis y definición de características relevantes a tener en cuenta en los estudios de sistemas eléctricos.

3.3. Establecimiento de criterios de evaluación

Tras la investigación de flexibilidad en sistemas con presencia de FER y de las tecnologías PtX, se establecen criterios o métodos de evaluación, teniendo en cuenta diferentes fuentes consultadas (normativas, investigaciones) que permitan analizar y evaluar el comportamiento de la flexibilidad en cada uno de estos sistemas eléctricos. Para el cumplimiento de la fase se realizan las siguientes tareas:

- Búsqueda en diferentes medios de información (normalización, investigaciones, métodos establecidos de evaluación) acerca de la forma de evaluar a los sistemas eléctricos en cuanto al comportamiento de la flexibilidad.
- Identificación de criterios de evaluación que se adecuan al objeto de estudio de este proyecto (a flexibilidad en sistemas con impacto de FER y tecnologías PtX).

3.4. Evaluación de operación de los sistemas eléctricos con implementación de PtX

Como última fase se hace uso de las investigaciones anteriormente mencionadas y los criterios de evaluación, para realizar un comparativo del comportamiento de la flexibilidad en sistemas con tecnologías PtX y alta

penetración de FER con respecto a sistemas acoplados en donde se integran los dos sistemas mencionados. Para la simulación del sistema acoplado se hace uso de un caso de estudio en donde se cuente con la participación de estos dos sistemas. Para el cumplimiento de esta fase es necesario el desarrollo de las siguientes actividades:

- Construir un caso de estudio (mediante simulación) que permita el acople de sistemas con alta penetración de FER y tecnologías PtX.
- Simulación del sistema eléctrico acoplado con PtX y FER.
- Análisis del comportamiento de la flexibilidad en el sistema acoplado.
- Comparar el comportamiento de la flexibilidad entre el sistema acoplado y los sistemas desacoplados.
- Determinar cómo las tecnologías PtX aportan al manejo de excedentes en sistemas que cuentan con alta penetración de FER.

Capítulo 4

Marco Teórico

4.1. Técnicas para disminuir la incertidumbre de variables climáticas

La reducción de incertidumbre en los datos meteorológicos es fundamental para mejorar la predicción de variables climáticas que son fundamentales en diferentes campos de estudio, como la agricultura, la aviación, la previsión de desastres y últimamente en la producción de energía eléctrica a partir de FER. En este apartado se muestran algunos de los métodos usados para reducir la incertidumbre de las variables climáticas y mejorar la precisión de las predicciones meteorológicas [40][41].

4.1.1. Técnica de Estimación Robusta

El manejo de datos a avanzado; actualmente se hace uso de métodos clásicos como los modelos probabilísticos fijos que no hacen uso de toda la información de la muestra, debido a ello se han estudiado otros métodos como los robustos. En 1953 Box dio el significado de robusto entendiéndolo como un procedimiento que es insensible a las desviaciones o a los supuestos iniciales de los que depende un modelo, posteriormente Huber y Hampel dieron aportaciones a la robustez cualitativa y cuantitativa [42][41].

4.1.1.1. Robustez Cualitativa

Se refiere a la capacidad de un método o estimador para mantener su desempeño en situaciones donde las suposiciones teóricas no se cumplen a cabalidad, por tanto el método estadístico cualitativamente robusto es capaz de proporcionar resultados estables y precisos en presencia de datos atípicos, desviaciones o condiciones que podrían afectar a métodos mas sensibles [42].

4.1.1.2. Robustez Cuantitativa

Es un concepto en estadísticas que se refiere a la capacidad de un método estadístico o un estimador para mantener su precisión y confiabilidad en la presencia de valores atípicos o perturbaciones en los datos numéricos. A diferencia de la robustez cualitativa", que se centra en las suposiciones subyacentes del modelo estadístico, la robustez cuantitativa se enfoca en cómo un método numérico responde a desviaciones inesperadas o extremas en los datos [42].

4.1.2. Monte Carlo

El término "Monte Carlo" se utiliza para describir un conjunto de métodos matemáticos que se comenzaron a utilizar en la década de 1940 en el contexto del desarrollo de armas nucleares. Estos métodos se empezaron a usar ampliamente con la llegada de los ordenadores digitales modernos ya que mejoraban el rendimiento y la aplicación de los métodos estadísticos. Este implica la resolución de un problema mediante la creación de experimentos aleatorios que imitan el comportamiento de algún fenómeno real gobernado por una distribución de probabilidad (por ejemplo, un proceso físico) o que se utilizan para realizar cálculos (como la evaluación de una integral).

Desde una perspectiva más técnica, un método de Monte Carlo es un proceso numérico estocástico, lo que significa que consiste en una secuencia de estados cuya evolución está determinada por eventos aleatorios. Es importante recordar que un evento aleatorio es un conjunto de resultados que ocurren con cierta probabilidad. [43].

4.1.3. Distribución de probabilidad

El estudio formal de la probabilidad surge a mediados del siglo XVI como resultado del análisis matemático de los juegos de azar pero es en el siglo XVIII en donde se demuestra la "ley débil de los grandes números" la cual indica que al aumentar el número de pruebas, la frecuencia de un suceso tiende a aproximarse a un número fijo denominado probabilidad; posteriormente en el siglo XX el matemático Andrei Nikolaevich formula la teoría axiomática de probabilidad, en donde se define a la probabilidad como una función que asigna a cada posible resultado de un experimento aleatorio, un valor no negativo, cumpliéndose la propiedad aditiva.

De esta manera es que por medio de la probabilidad es posible tener un acercamiento cuantitativo de la realidad, permitiendo describir sucesos o procesos de manera tangible y además poder encapsular aquello en diferentes modelos (aceptados por las diferentes instituciones) los cuales resultan extremadamente útiles siempre y cuando se represente adecuadamente las propiedades más importantes del mundo que nos rodea. Es así como por medio de un modelo de probabilidad se pueden representar sucesos del mundo cuantitativamente permitiendo generar pronósticos o simulaciones de eventos futuros [44].

4.1.3.1. Distribuciones continuas

En las distribuciones continuas de probabilidad la variable puede tomar cualquier valor de un intervalo y por medio de la distribución de probabilidad se puede determinar las probabilidades correspondientes a subintervalos de valores (regla de Scott) [44]. Algunas de las distribuciones de probabilidad son:

- | | | |
|-----------------|--------------|----------------|
| ■ Normal. | ■ Lognormal. | ■ Logística. |
| ■ Beta. | ■ Gamma. | ■ Exponencial. |
| ■ t de Student. | ■ Weibull. | ■ Poisson. |

4.1.3.2. Prueba Anderson-Darling

Para definir qué distribución de probabilidad se ajusta a una muestra aleatoria, se realizan las pruebas de bondad, las cuales verifican si hay diferencias significativas entre la distribución observada (distribución que sigue el evento) y la distribución teórica asumida; si la distribución teórica supuesta se ajusta a los datos, esta

puede ser utilizada para realizar predicciones y tomar decisiones [45]. Algunas de las pruebas de bondad más usadas son:

- Chi- cuadrado.
- Kolmogorov-Smirnov.
- Anderson-Darling.
- Lilliefors.
- Shapiro-Wilk.
- Cramér-Von Mises.

La prueba a utilizar en este proyecto será la de Anderson Darling (AD) ya que esta se puede utilizar para evaluar si una distribución continua de probabilidad pertenece a una distribución específica (Normal, Beta, Gamma, etc). Esta prueba se basa en la comparación de la distribución empírica con la distribución esperada y dependiendo del resultado se puede determinar si se tiene la suficiente evidencia para rechazar o aprobar la hipótesis nula (afirmación de que no hay diferencia entre las variables) [45][46].

El estadístico de AD (A^2) está dada por:

$$A^2 = -N - S \quad (4.1)$$

Donde N es el número de casos y S la desviación estándar.

4.2. Modelo de Panel Solar

En la figura 2 se muestra el circuito eléctrico equivalente de un panel solar, el cual se compone de: 2 resistencias, una en serie R_s que representa la resistencia interna del semiconductor y los contactos metálicos; una resistencia en paralelo o shunt R_p , la cual representa las no linealidades e impurezas cerca de la unión n-p; una fuente de corriente I_L , representa la corriente generada por la radiación solar y un diodo conectado en paralelo que representa la curva característica de corriente-voltaje (I-V). El comportamiento de la curva I-V de la célula fotovoltaica esta descrita por las siguientes ecuaciones [47]:

$$I = I_L(G_x, T_x) - N_P \cdot I_o(G_x, T_x) \cdot \left(e^{\frac{V + IR_s}{V_t(T_x)}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (4.2)$$

$$V_t(T_x) = m \cdot N_S \cdot k \cdot \frac{T_x + 273}{qe} \quad (4.3)$$

$$I_o(G_x, T_x) = \frac{I_{SC}(G_x, T_x) - \frac{V_{oc}(G_x, T_x)}{R_p}}{e^{\frac{V_{oc}(G_x, T_x)}{V_t(T_x)}} - 1} \quad (4.4)$$

En donde:

V_t es el tensión térmica en voltios. N_S es el número de celdas en serie que compone un modulo o arreglo de paneles.

N_p es el número de celdas en paralelo que compone un modulo o arreglo de paneles.

k es la constante de Boltzman.

qe es la carga del electrón.

m es el factor de idealidad del diodo; cercano a 1.

T_x es la temperatura variable en el tiempo en $^{\circ}C$.

G_x es la irradiancia variable en el tiempo W/m^2 R_s es la resistencia en serie del panel solar.

R_p es la resistencia en paralelo del panel solar.

I_L corriente fotogenerada.

I_o es la corriente inversa de saturación del diodo.

V_{oc} es la tensión de circuito abierto del panel solar.

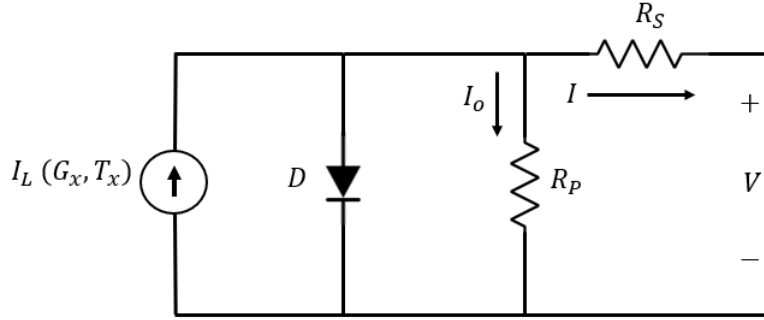


FIGURA 2: Modelo Eléctrico del Panel Solar, Fuente propia.

Con el fin de mejorar la precisión de los valores de I_{sc} , I_L y V_{oc} , se realizan correcciones por temperatura; esto se realiza teniendo el coeficiente de esta, el cual es entregado por el fabricante en la hoja de datos para una temperatura e irradiancia estándar de 25°C y 1000 W/m^2 . La corrección está dada por las siguientes ecuaciones [47]:

$$I_{sc}(G_x, T_x) = N_p \cdot I_{sc} \frac{G_x}{G_{STD}} + \alpha \cdot I_{sc} \cdot (T_x - T_{STD}) \quad (4.5)$$

$$I_L(G_x, T_x) = N_p \cdot I_L \cdot \frac{G_x}{G_{STD}} + \alpha \cdot I_L \cdot (T_x - T_{STD}) \quad (4.6)$$

$$V_{oc}(G_x, T_x) = V_{oc} + V_t \cdot \ln \frac{G_x}{G_{STD}} + \beta \cdot V_{oc} \cdot (T_x - T_{STD}) \quad (4.7)$$

En donde:

α es el coeficiente de temperatura para I_{SC} .

β es el coeficiente de temperatura para V_{OC} .

4.3. Tecnología PtX

Las tecnologías PtX son un conjunto de sistemas integrados, que permiten la transformación de energía eléctrica generada a partir de FER, tales como la solar o eólica, en otros vectores energéticos que pueden ser convertidos en combustibles o productos químicos; con el fin de reducir la dependencia actual a los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático[48].

Además, las tecnologías PtX han sido utilizadas como una forma de almacenamiento, ya que permiten mantener a largo plazo la producción intermitente de energía que las FER generan; por ende se han concentrado en tres elementos químicos importantes para la industria, como lo son: C_2 , H_2 y el O_2 ; a ello se debe que los sistemas PtG y PtL sean los más usados como sistemas de almacenamiento de energía [48][49].

4.3.1. PtG - Metano

Las plantas para la producción de metano se componen básicamente por un electrolizador de agua, una unidad de separación de CO_2 y un módulo de metanización, dando lugar a un gas compuesto por CH_4 y H_2O , que se puede denominar como Synthetic Natural Gas (SNG) por sus siglas en ingles [50].

4.3.2. PtL - Biocombustible Líquido

Para la obtención de un hidrocarburo líquido se tienen dos métodos: síntesis y actualización de Fischer - Tropsch, o la síntesis y conversión del metanol [11].

El método de Fischer – Tropsch contempla los siguientes pasos:

- Absorción de CO_2 sobre la superficie del catalizador.
- Iniciación de la polimerización mediante formación de radical metilo (por disociación del CO e hidrogenación).
- Polimerización por condensación (adición de CO , H_2 y liberación de agua).
- Terminación.
- Desorción del producto.

Por otro lado el método de síntesis y conversión del metanol, realiza un procedimiento similar al método de Fischer - Tropsch, pero en este caso no es necesario realizar ningún tratamiento al CO_2 [11].

4.3.3. PtG - Hidrógeno

Para la producción de hidrógeno a partir de FER se le realiza al agua un proceso electroquímico (*electrólisis*); para ello se hace uso de electrolizadores que se componen por dos electrodos (ánodo y cátodo) y un electrolito (sustancia que se comporta como un conductor eléctrico) [51]. Dependiendo de las características de estas partes y de las condiciones de operación del electrolizador, se pueden encontrar diferentes tipos de electrolizadores (Alcalino, membrana polimérica y óxido sólido) [52].

4.3.3.1. Electrólisis del agua

La electrólisis del agua es un proceso químico por el cual las moléculas de agua se descomponen en hidrógeno y oxígeno, cuando es sometida a una diferencia de potencial procedente de FER [11]. La reacción electroquímica del agua puede presentarse de la siguiente manera:



Donde F denota 1 mol de carga eléctrica, definida por la constante de Faraday $F = N_A e$ donde $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ es el número de Avogadro y $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ es la carga elemental. De forma general, los componentes

claves para división electroquímica del agua, son: los electrodos (positivo, negativo), el electrolito (transporte de iones) y una fuente de alimentación DC. Dependiendo el tipo de electrolito se puede tener diferentes procesos de electrólisis del agua [53].

4.3.3.2. Tipos de electrolizador

Teniendo en cuenta que según el tipo de electrolito, se tienen diferentes procesos de electrólisis. Los principales electrolizadores implementados actualmente se clasifican en electrólisis alcalina (AEL), Membrana de intercambio de protones (PEM) y célula de óxido sólido (SOEC). Estos, varían en ciertas características como eficiencia, costo y utilidad [54]. El electrolizador AEL, fue el primer electrolizador implementado a nivel industrial, por tanto, su nivel de desarrollo es el mayor entre los tres; sin embargo, su eficiencia y rapidez de producción no es la mejor [55].

El siguiente tipo es el electrolizador tipo PEM. Este ha tenido un aumento en el desarrollo e implementación en los últimos años, debido a su eficiencia, rapidez y a su flexibilidad de carga de 0 a 100 %. Además, tiene la capacidad de arrancar en frío en menos de 15 minutos y en caliente en menos de 10 segundos; esto permite que sea usado en aplicaciones en donde la entrada de energía varía en el tiempo, como por ejemplo, la intermitencia de generación de FER [49].

Finalmente, se encuentra el electrolizador de SOEC, este posee la mejor eficiencia de los tres tipos, pero debido a su desarrollo prematuro, su implementación requiere de una gran inversión económica [49]. Con el fin de seleccionar cuál de los electrolizadores es el mejor en cuanto a sus diferentes características de operación, se realizó un cuadro comparativo en donde se contemplan algunas de estas (Tabla 1).

Electrolizador	Características						
	Eficiencia (%)	Consumo kWh/kg	Temperatura (°C)	Presión (Bar)	Costo (USD/kW)	Tiempo de vida (h)	Puesta en marcha (h)
Electrolizador alcalino (AK)	50-60	50-49	65-100	10-30	855-1603	55000-120000	1-2
Electrolizador de intercambio de protones (PEMEL)	65-70	55-52	70-90	20-50	1496-2244	60000-100000	0,08-0,16
Electrolizador de óxido sólido (SOEC)	90-95	40-39	600-900	1-15	>2137	8000-20000	>2

TABLA 1: Características electrolizador AK, PEM y SOEC.

4.4. Sistema Power to Hydrogen (PtH₂)

Siguiendo lo mencionado en la sección 4.3.3, la producción de hidrógeno se realiza a través de un electrolizador que opera en corriente continua. La cantidad de producción de H₂ está directamente relacionada con la intensidad de esta corriente.

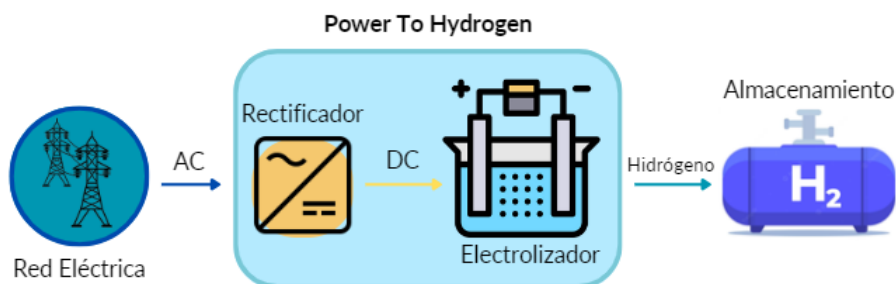


FIGURA 3: Sistema PtH₂, fuente propia.

Dado el enfoque de este estudio, el electrolizador será integrado a la red eléctrica. Por lo cual, implica la necesidad de emplear un rectificador previo al electrolizador, el cual convierte la corriente alterna en corriente continua. Esta conversión es esencial para permitir la correcta integración y conexión del electrolizador con el sistema eléctrico. En la figura 3 se muestra el esquema de conexión.

4.4.1. Electrolizador de intercambio de protones (PEMEL)

Teniendo en cuenta la tabla 1, se hace la selección del electrolizador tipo PEM como productor de hidrógeno en el sistema PtH₂. Esta tecnología, se compone de una membrana, la cual tiene un espesor de aproximadamente de 100 a 200 μm . Normalmente, para este tipo de aplicaciones es utilizado El *Nafion*, el cual es un electrolito, con altas capacidades químicas y eléctricas [56]. Sumado a esto, dos catalizadores en cada electrodo (Ánodo y cátodo), se ubican en una capa fina. Todo lo anterior, conforman el centro de la celda, lugar en donde ocurre toda la transformación del agua en oxígeno e hidrógeno gaseoso [53]. Por otra parte, uno de los aspectos a tener en cuenta es la capacidad que tiene el electrolizador para absorber la energía que genera las FER, durante los periodos transitorios. Debido a esto, la tecnología PEM sobresale respecto a la AEL y da como resultado una mayor capacidad de proveer flexibilidad [57].

4.4.1.1. Producción de hidrógeno

La producción de hidrógeno inicia una vez el agua es inyectada a través del ánodo, es allí donde el catalizador empieza a oxidar el H₂O, dando así inicio al proceso de electrólisis [53]. Durante la oxidación, el H₂O es dividido para formar O₂, protones (H^+) y electrones (e^-). Seguido de esto, las moléculas H^+ viajan a través de la membrana, mientras que los e^- fluyen mediante un circuito externo [58]. Finalmente, tanto el H^+ como los e^- se encuentran en el cátodo para formar hidrógeno gaseoso (H₂) [56]. Todo el proceso es posible observarlo en la figura 4.

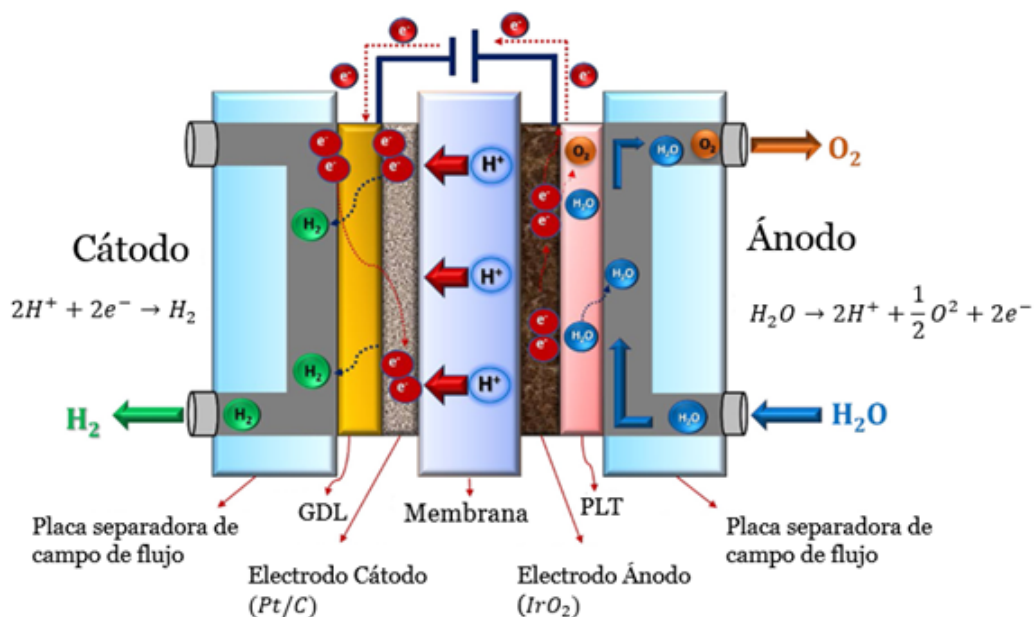


FIGURA 4: Electrolizador PEM, adaptada de [56]

4.4.1.2. Modelado matemático

Con el fin de implementar y evaluar el funcionamiento del electrolizador tipo *PEM* dentro de un sistema distribuido, es necesario realizar su respectivo modelado; para esto, se realiza un modelo eléctrico equivalente (figura 5). Este contiene una resistencia R_i la cual es la equivalencia a las pérdidas de calor generadas en la membrana, V_i es la tensión mínima requerida para dar inicio al proceso de electrolisis, e_{rev} hace referencia a la tensión del electrolizador cuando se encuentra en circuito abierto. Sumando a esto, para el modelado se tienen en cuenta ciertos aspectos basados en los fundamentos de la termodinámica [59].

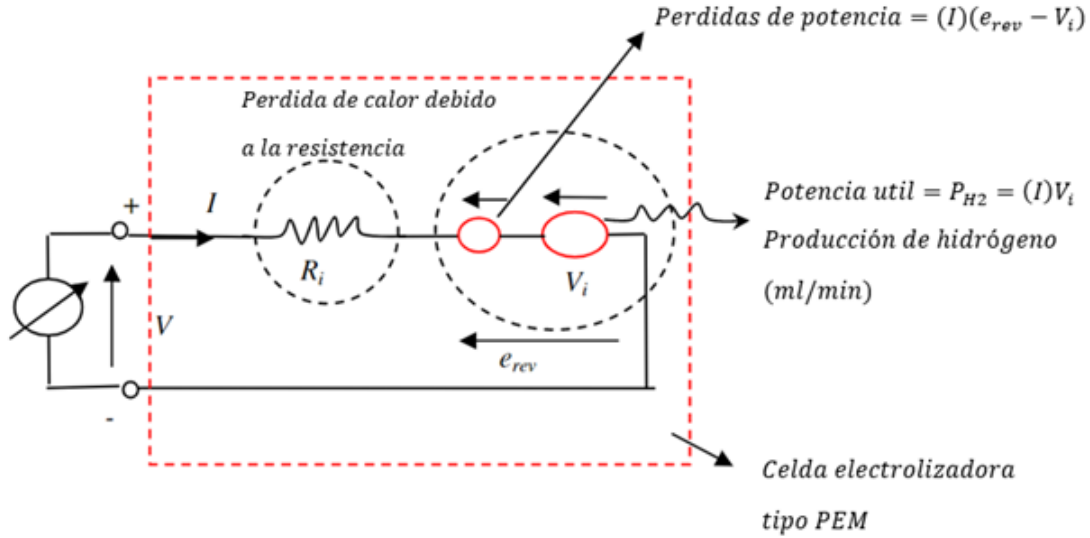


FIGURA 5: Circuito equivalente Electrolizador PEM, adaptado de [60]

De acuerdo con [53], [57] y [61], debe existir una tensión mínima de operación de la celda electrolizadora para generar el proceso electroquímico, la cual es la tensión ideal. Esta, depende de la energía libre de Gibbs y de la constante de Faraday [62]. Por tanto se define como:

$$V_i = \frac{\Delta G}{2F} \quad (4.9)$$

Teniendo en cuenta que la inyección de agua será en estado líquido, se puede definir que la energía libre de Gibbs es [60]:

$$\Delta G = 285,340 - 163,2(273 + T), \quad T \rightarrow ^\circ C \quad (4.10)$$

Ahora bien, teniendo en cuenta lo dicho en [60] y [63], la producción de hidrógeno en *ml/min* se expresa, dependiente de la corriente que fluye en la celda, de la siguiente manera:

$$v_H = v_M(10^3)(60)\frac{I}{2F} \quad (4.11)$$

Donde v_M es el volumen molar en *L/mol*, y se deduce de la ecuación de los gases ideales:

$$v_M = \frac{R(273 + T)}{p} \quad (4.12)$$

R hace referencia a la constante de los gases ideales ($0,08206 \text{ L} \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{K}$), T la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ y p la presión en atm . También es posible determinar cuanta potencia eléctrica genera la salida de electrolizador por cada mil / min de hidrógeno producido teniendo en cuenta la ecuación 4.11 y 4.12 [60], y se expresa:

$$P_{H_2} = \frac{v_H \Delta G}{v_M} \quad (4.13)$$

Remplazando 4.11 y 4.12 en 4.13, y a su vez simplificando 4.13 se obtiene:

$$P_{H_2} = IV_i \quad (4.14)$$

Por otro lado, la expresión que permite calcular la resistencia equivalente R_i dependiente de presión y temperatura esta dada por:

$$R_i = R_{i0} + k \ln\left(\frac{p}{p_0}\right) + dR_t(T - T_0) \quad (4.15)$$

Donde R_{i0} es la resistencia de referencia, k es el parámetro de ajuste, dR_t es el coeficiente de variación de resistencia debido a la temperatura, p_0 y T_0 son la presión y temperatura de referencia respectivamente. Sumado a esto, la tensión en circuito abierto, la cual varia debido a la temperatura y presión es posible expresarla de la siguiente manera:

$$e_{rev}(T, p) = e_{rev0} + \frac{R(273 + T)}{2F} \ln\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad (4.16)$$

Finalmente es posible determinar la tensión V , aplicando ley de Kirchhoff, entonces:

$$V(T, p) = IR_i(T, p) + e_{rev}(T, p) \quad (4.17)$$

Sin embargo, es necesario expresar la ecuación 4.17 para n numero de celdas, por lo tanto, se reescribe de la siguiente manera:

$$V(T, p) = \frac{n_s}{n_p} IR_i(T, p) + n_s e_{rev}(T, p) \quad (4.18)$$

Donde n_s son el numero del celdas en serie y n_p el número de celdas en paralelo.

4.4.1.3. Flexibilidad de operación

Debido a la rapidez de respuesta que tiene el PEMEL para adaptarse a los cambios de energía proveniente de FER, su capacidad de proveer flexibilidad se convierte en un factor de gran importancia para su integración en redes de distribución [64]. Para determinar su flexibilidad, es posible aplicar tres patrones de sistemas eléctricos que se adaptan a electrolizadores [65], los cuales son:

- **Perfiles energéticos alternativos:** son las diferentes formas para realizar una misma tarea, manteniendo el mismo tipo de energía. Aplicado a la electrolisis, hace referencia a la capacidad de respuesta del stack de celdas PEM a los cambios de corriente de FER.
- **Modulación de potencia:** define el cambio de demanda; para este caso, es el cambio de producción de hidrógeno.
- **Energía amortiguadora:** es el almacenamiento de energía eléctrica en otro tipo de energía, puntualmente en este estudio, a través del hidrógeno.

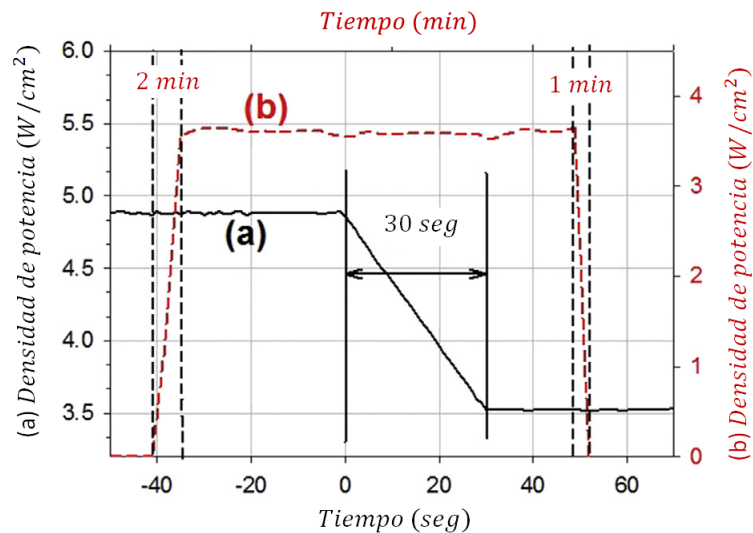


FIGURA 6: Tiempos de respuesta arranque en caliente (a) y frío (b), adaptado de [64].

Como resultado, estos tres patrones corresponden a los tiempos de puesta en marcha y apagado, así como su capacidad de carga. Para el tiempo de encendido, se tiene en cuenta que puede ser en arranque frío o arranque caliente. En la figura 6 se puede observar como es el comportamiento del PEMEL para ambos tipos de encendido, en la cual, la figura 6a muestra que el tiempo de adaptación a un cambio abrupto de corriente es de tan solo 30 segundos. Por otro lado, la figura 6b ilustra que el tiempo de arranque en frío son 2 minutos y su tiempo de apagado es tan solo de 1 minuto [64], [66].

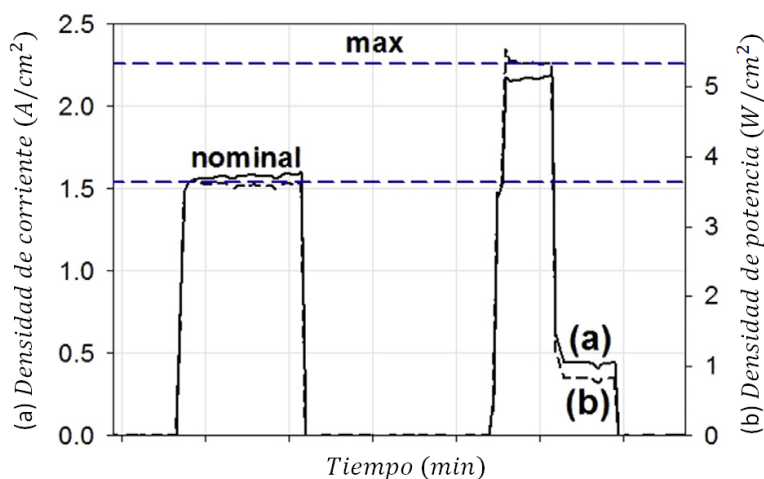


FIGURA 7: Flexibilidad electrolizador tipo PEM, adaptado de [64].

Otro comportamiento que puede sobresalir del PEMEL es la capacidad de carga, es decir, mantenerse fuera de funcionamiento el tiempo necesario y empezar a operar a condiciones nominales o máximas sin necesidad de largos tiempos de acondicionamiento. Estas características se ilustra en la figura 7, donde la capacidad del PEMEL para seguir los cambios de corriente sin ningún tipo de retraso son lo que permiten que este tipo de tecnología sea la mas idónea para generar hidrógeno al ser integrado a la red distribuida y así tomar los excedentes proveniente de FER [64], [65], [66].

4.5. Flexibilidad en sistemas eléctricos

Para el adecuado funcionamiento del sistema eléctrico, Colombia cuenta con 2 entidades que supervisan, regulan y coordinan la operación del recurso energético; estas son: la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y el operador del sistema de transmisión (XM compañía de expertos en mercados), el cual cuenta con diferentes organismos encargados de controlar cada una de las fases de generación, transmisión, distribución y comercialización del sistema eléctrico.

El centro nacional de despacho (CND) bajo la dirección de XM, desempeña un papel fundamental al coordinar y operar en tiempo real el sistema eléctrico del país, con el fin de garantizar la confiabilidad, seguridad y estabilidad de este suministro satisfaciendo la demanda de los consumidores [67]. Para ello se evalúa constantemente la generación de electricidad, la carga eléctrica y la operación de red de transmisión, con el fin de programar la operación de las centrales eléctricas para que generen la cantidad necesaria de electricidad en función de la demanda prevista. Esta forma de operar le da al sistema eléctrico flexibilidad, ya que maneja sus recursos de tal forma que pueda suplir la demanda actual.

Formalmente la flexibilidad eléctrica ha sido definida como: *"la habilidad de un sistema eléctrico para cambiar su potencia de salida en respuesta a los cambios en la carga y en la generación"* [68].

Ahora bien debido a la creciente integración de FER en los sistemas eléctricos, la operación del sistema aumenta en complejidad al introducirse niveles adicionales de variabilidad e incertidumbre en la llamada carga neta [31], teniendo en cuenta esto, se llega a la definición de dos tipos de flexibilidad, que permiten gestionar la variabilidad e intermitencia que estas generan; por un lado está la **flexibilidad de estado estacionario** (para manejar interrupciones prolongadas o cambios planificados) que se define como *"la capacidad de operar dentro de ciertas regiones operativas factibles FOR"* [69], basadas en las restricciones del estado estacionario y la **flexibilidad dinámica** que se basa en que tan rápido se puede alcanzar un punto de operación (OP), por cuanto tiempo se puede mantener y cuál es el tiempo estimado para llegar a un nuevo OP [69],[70],[71].

Teniendo en cuenta lo mencionado la flexibilidad de sistema eléctricos que cuenten con FER se puede definir como: *"la capacidad de un sistema para regular la oferta, demanda multienergética y el flujo de energía, teniendo en cuenta las restricciones dinámicas y de estado estacionario, mientras opera dentro de las regiones límite predefinidas o deseadas, para determinados vectores energéticos"* [30].

A continuación se abordan las características principales de las fuentes de flexibilidad que deben considerarse para la planificación de esta en un sistema eléctrico en donde se contempla la penetración de FER.

Estas características se dividen teniendo en cuenta la flexibilidad técnica y operativa de un sistema eléctrico, a continuación se desarrolla cada una de estas:

4.5.1. Flexibilidad Técnica

Esta se encuentra relacionada con la estructura física del sistema, en la cual se contempla 1) la capacidad de la oferta para seguir los cambios de la carga, 2) la capacidad de demanda para seguir los cambios en el suministro, 3) la capacidad de almacenamiento de energía para equilibrar los desajustes entre oferta y demanda en todas las escalas de tiempo [31]. Estas características, se expresan a partir de la flexibilidad en: parque de generación; demanda; almacenamiento de energía; red.

4.5.1.1. Flexibilidad de parque de generación:

Para determinar cual es la capacidad de un generador para proveer flexibilidad al sistema, se contemplan ciertas características operativas en cuanto a la capacidad del generador.

- **Velocidad de rampa:** Capacidades de rampa ascendente y descendente para adaptarse a la variación de la red con el fin de ajustar su producción rápidamente para cumplir los requisitos de flexibilidad del sistema [72].
- **Tiempo mínimo de subida/bajada:** El tiempo mínimo de subida/bajada indica que un generador debe mantener el mismo estado de funcionamiento durante un periodo mínimo al menos cuando una unidad arranca o se apaga. Un generador con un tiempo mínimo de subida/bajada corto significa que el estado de funcionamiento de este generador es fácil de cambiar; en otras palabras, este generador puede aportar más flexibilidad a los sistemas de energía [72].
- **Generación mínima estable (GEM):** Esta característica determina el rango máximo permitido en el que un generador puede cambiar su potencia de salida. Por ejemplo, la unidad que genera electricidad entre el 30 % y el 100 % de su capacidad nominal admite más flexibilidad que la otra unidad que genera electricidad entre el 60 % y el 100 % de su capacidad nominal [72].
- **Tiempo de arranque:** El tiempo de arranque indica el tiempo que tarda un generador en cambiar su estado operativo de desconectado a conectado. Un tiempo de arranque corto aumenta la flexibilidad operativa del sistema y reduce la incertidumbre sobre el compromiso de las unidades. Si un sistema eléctrico incluye muchos generadores con un tiempo de arranque corto, se reducirá la necesidad de capacidad de reserva de rampa ascendente o descendente [72].
- **Estado de reposo:** El estado de reposo significa que un generador tiene la capacidad de mantener su funcionamiento en línea, pero su producción es nula. En otras palabras, este tipo de generador sólo proporciona reserva de giro a los sistemas de energía, lo que proporciona recursos potenciales para la flexibilidad del sistema [72].

4.5.1.2. Almacenamiento de energía:

Tradicionalmente se han usado los sistemas de almacenamiento (hidráulico por bombeo) para desplazar la programación del suministro de electricidad al almacenar electricidad cuando su valor es el más bajo y descargar cuando el valor es el más alto. Debido al desarrollo de los mercados hacia sistemas multienergéticos se ha hecho uso del almacenamiento como facilitador para el manejo de incertidumbre y variabilidad de los sistemas renovables de energía (solar, eólico) mitigando el impacto de FER en las operaciones de la red. Los impactos de la FER en la red se ven reflejados en el retraso o alteración en las escalas de tiempo, es debido a ello que

una tecnología de almacenamiento debe tener las características técnicas adecuadas en cuanto 1) al tiempo de respuesta 2) capacidad de potencia y 3) capacidad de energía [31].

A niveles muy altos de integración de FER, surgirá la necesidad de almacenamiento estacional. Cuando no se dispone de almacenamiento de energía gran escala, el almacenamiento de hidrógeno producido a partir de electricidad renovable puede proporcionar un combustible renovable a sectores que de otra manera serían difíciles de descarbonizar mediante electrificación [31].

4.5.1.3. Flexibilidad de la demanda:

Con el propósito de promover la flexibilidad desde el lado de la demanda, se han implementado programas que permiten regular el comportamiento de esta, con el fin de equilibrar el sistema y asegurar una flexibilidad adecuada [31]. Esto, a su vez, contribuye a mantener una operación segura y estable del sistema.

- **Programas de control directo:** Estos hacen referencia a la capacidad que tienen las compañías comercializadoras de energía para gestionar cargas residenciales y/o industriales. Esto se lleva a cabo con el objetivo de proporcionar flexibilidad a la red y equilibrar la demanda respecto a la oferta [31].
- **Respuesta a la demanda:** Se refiere a programas específicos que buscan ajustar el comportamiento de la demanda para que se alinee mejor con los perfiles de suministro disponibles. Además, constituye un método eficaz que busca incentivar la participación activa de los consumidores mediante incentivos económicos [31].
- **Deslaste de cargas:** Este método implica la desconexión selectiva de ciertos tipos de cargas. Su finalidad es evitar sobrecargas en el sistema que puedan afectar su operación, especialmente en sistemas con una alta penetración de FER [73].
- **Tarifa por tiempo de uso:** En este caso, las tarifas por tiempo de uso tienen como objetivo reducir el consumo durante los periodos de mayor demanda. Para lograrlo, se establecen tarifas específicas que respaldan la utilización de FER, permitiendo así ajustar el perfil de demanda en momentos de generación excesiva de energía [31].

4.5.1.4. Flexibilidad de la red

Para lograr una adecuada flexibilidad, es imperativo que la red tenga la capacidad de afrontar los cambios en la generación y demanda de energía. En este sentido, contar con una red de transmisión robusta se vuelve de vital importancia para equilibrar la oferta y la demanda. Además, una comunicación eficaz entre todos los dispositivos del sistema promueve un incremento en la flexibilidad operativa. Todo esto es posible gracias a la implementación de métodos de control automatizado en los generadores, así como la activación automática de programas de respuesta a la demanda.

En esencia, la red actúa como un puente esencial entre la flexibilidad proporcionada por la generación y la que puede ser generada por la demanda. Por lo tanto, una red poco flexible limita las capacidades que se pueden obtener del parque de generación, así como las adaptaciones que la demanda puede llevar a cabo.

4.5.2. Flexibilidad Operativa

Este tipo de flexibilidad hace referencia a como se realiza la operación de los activos en el sistemas eléctrico; la cual depende de la capacidad de cada tecnología, del entorno regulatorio y del mercado que rodea al sistema físico.

En algunos casos el intercambio de electricidad entre centrales eléctricas limitan la flexibilidad en la red debido a la falta de coordinación eficiente, y como resultado, una parte de la flexibilidad se pierde. Para abordar estos problemas de flexibilidad se realiza la programación de intercambios de electricidad basados en señales de precios.

A largo plazo el sistema debe garantizar la flexibilidad operativa suficiente para poder adecuarse a la penetración de FER. En el largo y mediano plazo, el sistema debe equilibrar la variabilidad energética interanual y estacional que tradicionalmente se logra con la programación hidráulica. Para mediano o corto plazo la asignación y el despacho económico de las unidades de generación deben planificarse antes de la generación en tiempo real, una de las medidas para lograr esto es reduciendo los tiempos de liquidación y de cambio de precios zonales a nodales. Finalmente, en el corto y muy corto plazo se ve la necesidad de adquirir servicios de red para compensar los desequilibrios repentinos entre la oferta y la demanda. En este caso, los reguladores deben definir las reservas operativas de manera que se incentive la participación de recursos flexibles.

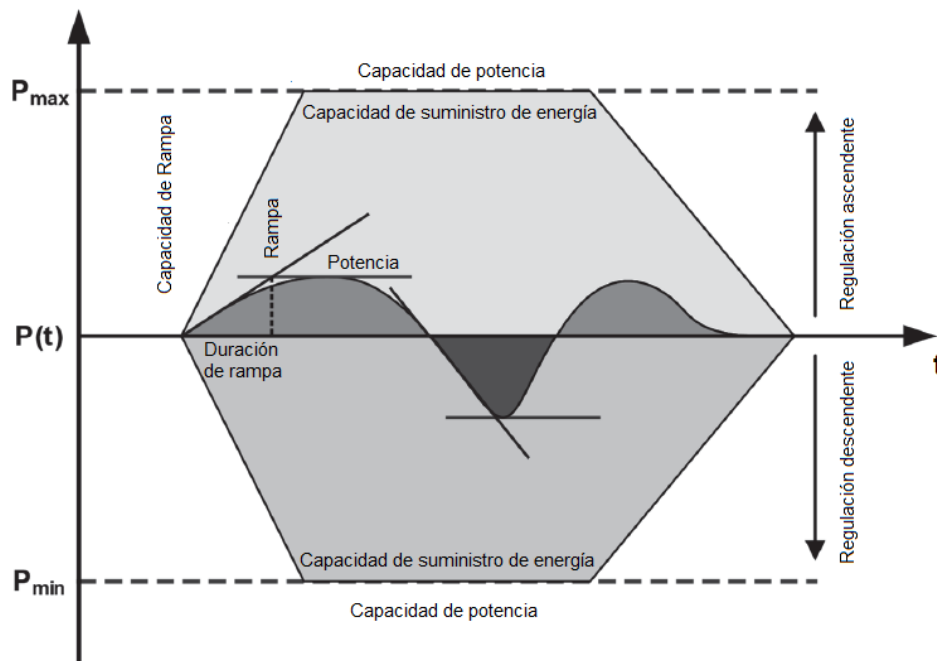


FIGURA 8: Métricas de Flexibilidad en un sistema eléctrico, adaptado de [68]

4.5.3. Región Factible de Operación (FOR)

Teniendo en cuenta el aumento de FER en las redes de distribución eléctrica, los operadores de red necesitan contar con diferentes herramientas que permitan tomar decisiones efectivas en la evaluación de la disponibilidad del recurso energético de las diferentes centrales interconectadas al sistema. Una de las herramientas que se aplicaban en años anteriores (1987) era el uso de gráficos de capacidad (Figura 9) para describir la operación del sistema de energía eléctrica [74], mas tarde a esto, se denominó como la región de operación factible"(*FOR*). Esta región representa todas las combinaciones de potencia compleja disponibles simultáneamente desde las

diferentes barras colectoras del sistema eléctrico, además considera las restricciones de la red eléctrica en el cálculo de la región. [68].

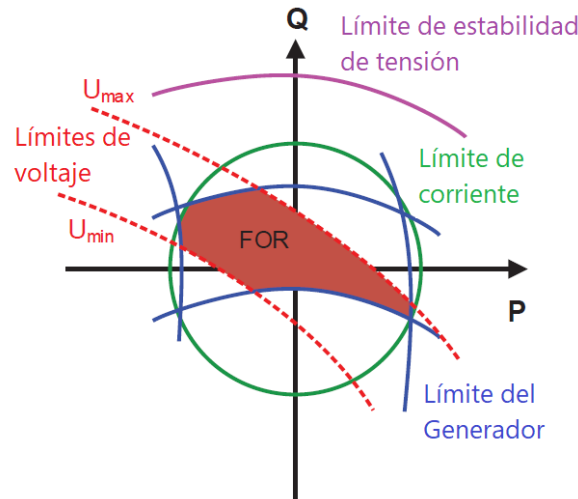


FIGURA 9: Región de Operación, adaptado de [68]

Anteriormente se realizaba el cálculo de la región de operación con representaciones gráficas realizadas a mano, haciendo uso de un método de trazado de contornos para el cual es necesario construir una secuencia de acciones o eventos que ocurren en el sistema eléctrico ; este método para la época fue de gran utilidad y efectivo, pero computacionalmente ineficiente; es por esto que diferentes investigadores se han dedicado a desarrollar métodos novedosos para realizar el cálculo de esta región de forma eficiente.

Gracias a las investigaciones de Graham, Marcha, Quickhull y Chan se desarrolló el campo de la geometría computacional, la cual se enfoca en estudiar algoritmos y técnicas que resuelvan problemas geométricos eficientemente, se ha impactado positivamente diferentes disciplinas; puntualmente ayudó en la definición de la región de operación teniendo en cuenta el principio del polígono convexo más pequeño [75], en la figura 10 se puede observar este principio.

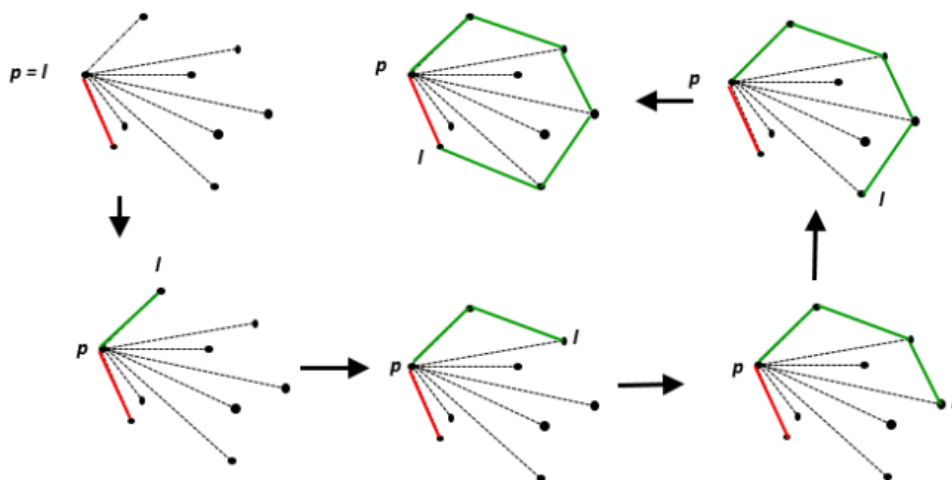


FIGURA 10: Principio de polígono convexo, tomado de Stackexchange

Ahora bien, la forma y tamaño de la región va a depender de la capacidad del sistema, el número de DER y el nivel de carga. De acuerdo con [68], cuando el sistema contiene una gran cantidad de DER, su potencia entregada se aproxima a los límites de la subestación principal, la FOR se reducirá considerablemente. Por

ende, es necesario tener en cuenta el porcentaje de DER que se inyectara en el sistema, para así beneficiar la estabilidad y capacidad del sistema.

4.5.4. Criterios de evaluación

Existen algunos criterios de flexibilidad como las pérdidas de carga, la energía esperada no servida, la pérdida de la unidad más grande o la expectativa de recurso de rampa insuficiente, que permiten analizar la capacidad de sistemas masivos para hacer frente a escenarios cambiantes de penetración de FER. En diferentes estudios [76], [77], [78], se basan en tres perspectivas puntuales para evaluar la flexibilidad: Generación, Demanda y red de distribución. Sin embargo, no existe una métrica estandarizada que permita determinar la flexibilidad de un sistema, por lo cual aun existe un deficit en este tipo de evaluaciones.

Como consecuencia, sigue siendo infalible desarrollar métodos generales que permitan evaluar la flexibilidad. Ahora bien, es necesario comprender los tipos de índices que se establecen en cada uno de los aspectos y como deben ser considerados para determinar la flexibilidad. Cada uno de los índices, hace referencia a ciertas características, tales como: capacidad, rapidez, variabilidad, participación, etc.

4.5.4.1. Índices de flexibilidad

Para llevar a cabo un estudio de la red eléctrica, es crucial contar con índices precisos que evalúen su flexibilidad. En este sentido, se han identificado un total de diez índices, distribuidos en tres categorías: generación, red de distribución y demanda. Sin embargo, con el fin de asegurar la eficacia y pertinencia del proyecto, se ha realizado una selección, optando únicamente por aquellos índices que mejor se ajustan a las necesidades y objetivos planteados.

- **Índice 1:** Para la primera categoría, en [76] y [77] se tiene cuatro índices que permiten evaluar la flexibilidad de la generación. Sin embargo, el índice que se ajusta para este proyecto es el índice de consumo de energía renovable, el cual, describe cual es la habilidad por parte de la red de distribución para absorber la energía de FER (ecuación 4.19).

$$\lambda_a = \frac{\sum P_{dg}}{P_{max}} \cdot 100 \% \quad (4.19)$$

En 4.19, el símbolo λ_a representa el porcentaje de energía absorbida por la red proveniente de DER. Mientras tanto, P_{dg} denota la potencia total generada por todos los DER, y P_{max} indica el transporte de potencia permitido en la red de distribución.

- **Índice 2:** En la segunda categoría, tal como se aborda en las referencias [76], [77] y [78], y al igual que en la primera categoría, se presentan tres índices. Entre estos, el índice que evalúa el cumplimiento de las líneas con la tasa de margen de flexibilidad (ecuación 4.20), es el que se ajusta al propósito de este proyecto. Este proporciona el porcentaje de líneas que satisfacen el margen de flexibilidad, es decir, las restricciones del sistema.

$$\lambda_{HL} = \frac{N'_{HL}}{N_{HL}} \cdot 100 \% \quad (4.20)$$

En la ecuación 4.20, el parámetro λ_{HL} determina el porcentaje de líneas que cumplen con los márgenes de flexibilidad, mientras que N'_{HL} representa el número de líneas que satisfacen las restricciones, y N_{HL} corresponde al total de líneas presentes.

- **Índice 3:** En la última categoría, según se expone en [76] y [77], se presentan cuatro índices destinados a evaluar la demanda. Sin embargo, considerando los objetivos específicos de este proyecto, el índice de flexibilidad y tasa de capacidad de carga de Línea (ecuación 4.21) destaca como el más pertinente. Este indicador proporciona el porcentaje de carga adicional que se le puede pedir a la alimentación de la red principal, lo cual resulta crucial para el propósito de nuestra investigación.

$$\lambda_{HL(t)} = \frac{P_{max,HL} - P_{HL}(t)}{P_{max,HL}} \cdot 100 \% \quad (4.21)$$

En la ecuación 4.27, $\lambda_{HL(t)}$ representa el margen de flexibilidad y capacidad de a carga en la línea, $P_{max,HL}$ corresponde a la potencia máxima de la línea i, y $P_{HL}(t)$ indica la potencia en el tiempo t para dicha línea. Con estos tres indicadores, es posible determinar qué tan flexible es la red y cual son su cambios de comportamiento ante las diferentes situaciones que se presentarán.

Capítulo 5

Desarrollo Conceptual

5.1. Pronóstico de temperatura e irradiancia por hora

Con el fin de crear las diferentes zonas de operación necesarias para realizar el estudio de flexibilidad en cada hora, es necesario obtener, generar y pronosticar datos de temperatura e irradiancia, debido a que el modelo matemático del panel que se integra a la red IEEE de 34 nodos, depende de estos parámetros. Para esto, es indispensable partir de datos ya existentes. Seguido de esto, se hará uso de las funciones de probabilidad ya explicadas en la sección 3.1. Por último, se obtendrá una mayor cantidad de datos que den la confiabilidad necesaria para el pronóstico final de temperatura e irradiancia en cada hora.

Lo anterior se divide en cuatro etapas, organización de datos, ajuste de probabilidad, generación de números aleatorios y pronóstico de temperatura e irradiancia. Una vez concluidas las cuatro etapas, se tiene el valor de temperatura e irradiancia más probable en cada hora.

5.1.1. Obtención de datos

En esta primera parte, se obtienen los datos de temperatura e irradiancia por hora, durante un periodo de dos años en la ciudad de Bogotá (Latitud: 4.6097, Longitud: -74.0817). Para esto, se hizo uso de la base de datos de la NASA (Power Data Access Viewer) [79], este proporciona un archivo tipo csv el cual contiene los datos de temperatura e irradiancia. Sin embargo, es necesario reorganizar los datos ya que estos vienen en una disposición que no es la adecuada para el estudio. Por ende, con el uso del software MATLAB, se organizan los datos en el lapso de 24 horas (0-23) para cada día de los 2 años, teniendo 731 datos en temperatura como en irradiancia para cada hora, lo que daría un total de 35.088 datos.

En las tablas 2 y 3 se ilustra como es la disposición necesaria de los datos por hora tanto de temperatura como de irradiancia para poder iniciar la revisión del comportamiento probabilístico de los datos en cada hora. En el anexo 8.5 es posible observar el código implementado para la recolección de datos y el cálculo de las estadísticas obtenidas.

Día	Horas °C																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	16.11	16.05	15.87	15.62	15.40	15.30	15.77	17.67	19.64	21.35	22.50	23.12	23.47	23.31	22.83	22.07	21.08	19.56	18.26	17.62	17.29	16.84	16.47	16.23
2	16.69	16.24	15.81	15.56	15.51	15.38	15.97	17.66	19.12	20.59	22.27	23.70	24.47	24.80	24.59	23.62	22.33	20.21	18.46	17.94	17.76	17.58	17.39	17.12
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
731	16.93	16.76	16.67	16.58	16.44	16.26	16.71	18.52	20.88	22.83	24.49	25.68	26.26	26.07	25.45	24.44	23.06	21.33	19.83	18.58	18.08	17.76	17.45	17.19

TABLA 2: Disposición de datos por hora para temperatura.

Día	Horas W/m^2																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	2.33	12.99	28.13	39.15	47.31	50.57	48.91	41.38	34.65	23.22	11.38	2.47	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	2.26	13.55	29.73	42.60	52.60	58.70	57.12	53.09	41.12	28.08	13.78	2.68	0	0	0	0	0	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
731	0	0	0	0	0	0	2.38	9.60	23.47	39.48	48.89	54.16	50.98	45.28	39.16	21.35	9.45	2.67	0	0	0	0	0	0

TABLA 3: Disposición de datos por hora para irradiancia

5.1.2. Ajuste de distribución de probabilidad

Una vez los datos se encuentran organizados en las tablas 2 y 3, es necesario encontrar la distribución de probabilidad que mas se ajusta a la disposición de los datos por cada hora. Por lo tanto, se requiere realizar una prueba que permita conocer que tipo de distribución es la más adecuada. Para este caso, se toma como referente la prueba Anderson Darling (AD), mencionada en la sección 3.1.1, la cual se aplica, a través de dos software (MATLAB y CrystalBall) y posteriormente se compara el resultado de cada uno de ellos. Estos resultados se observan en las Tablas 4 y 5.

Software	Horas											
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Matlab	Weibull	Normal	Beta	Weibull	Extremo Valor	Weibull	Beta	Beta	Beta	Normal	Normal	Normal
CrystalBall	Weibull	Normal	Beta	Mínimo Extremo Valor	Mínimo Extremo Valor	Beta	Beta	Beta	Beta	Beta	Beta	Beta

TABLA 4: Ajuste de distribución de probabilidad en temperatura por hora

Software	Horas											
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Matlab	Beta	Normal	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Normal	Logistica	Normal	Student's	Gamma	Weibull
CrystalBall	Beta	LogNormal	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Logistica	Student's	Student's	Gamma	Weibull

TABLA 5: Ajuste de distribución de probabilidad en irradiancia.

En este comparativo, solo se tiene en cuenta los datos de la hora 6 hasta la hora 17, ya que en esta franja se presenta irradiancia mayor a $0 W/m^2$. De acuerdo a las tablas 4 y 5, se observa que en la mayor parte de los datos por hora, ambos software concuerdan en el tipo de distribución que mejor se ajusta a los datos. Sin embargo, para los casos en donde existe diferencia, se tiene en cuenta la distribución dada por Crystaball, puesto que se evalúa el valor p , según el test AD, que ambos entregan y se toman el de mayor valor, el cual en este comparativo siempre es mayor en el software Crystalball.

Con el fin de observar el ajuste de distribución de probabilidad, la figura 11 ilustra el comportamiento de la función de distribución respecto a una hora específica, en este caso, la hora 12 se toma como referencia para su representación. Para observar todos los ajustes vaya al anexo 8.1.

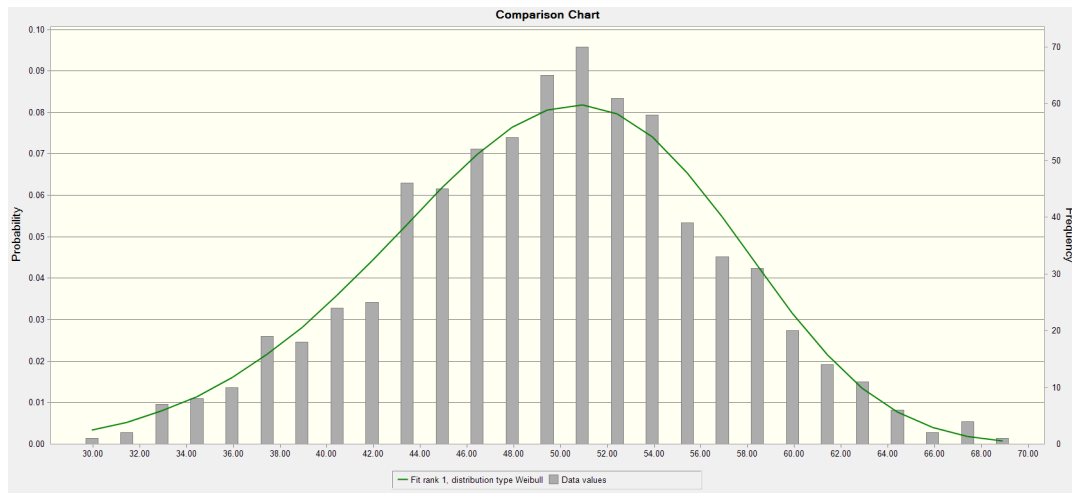


FIGURA 11: Ajuste de probabilidad para la irradiancia en la hora 12, Fuente propia

5.1.3. Generación de números aleatorios

Con los ajustes de probabilidad por cada hora, se requiere ahora obtener una mayor cantidad de datos, esto se debe a que el número de 731 datos por hora no es suficiente para pronosticar cual será el valor más probable. Por ende, se generan una nueva serie de números, específicamente 10.000 datos de manera aleatoria por hora. Además, se tiene en cuenta en cuenta que estos seguirán la distribución de probabilidad determinada anteriormente.

Para lograr dicho cometido, el software MATLAB nuevamente toma un papel importante, ya que cuenta dentro de sus estándares, diferentes funciones para la generación de números aleatorios basados en una distribución específica, la tabla 6 muestra la relación entre la funciones del software y las diferentes distribuciones.

Distribución	Función MATLAB
Beta	betarnd
Gamma	gamrnd
Logística	makedist,random
LogNormal	lognrnd
Mínimo Extremo Valor	evrnd
Normal	normrnd
Student's	makedist,random
Weibull	wblrnd

TABLA 6: Funciones MATLAB para números aleatorios.

Una vez se obtenga la totalidad de números aleatorios, organizados de acuerdo a la tabla ??, es necesario corroborar que estos sigan la distribución correspondiente. Para esto, se realiza el histograma como la línea de distribución. Como ejemplo, se toma la irradiancia en la hora 10 y se observa en la figura 12 como es el comportamiento de los números generados respecto a la distribución de probabilidad. Para ver todos los casos, en temperatura e irradiancia, vaya al anexo 8.6.

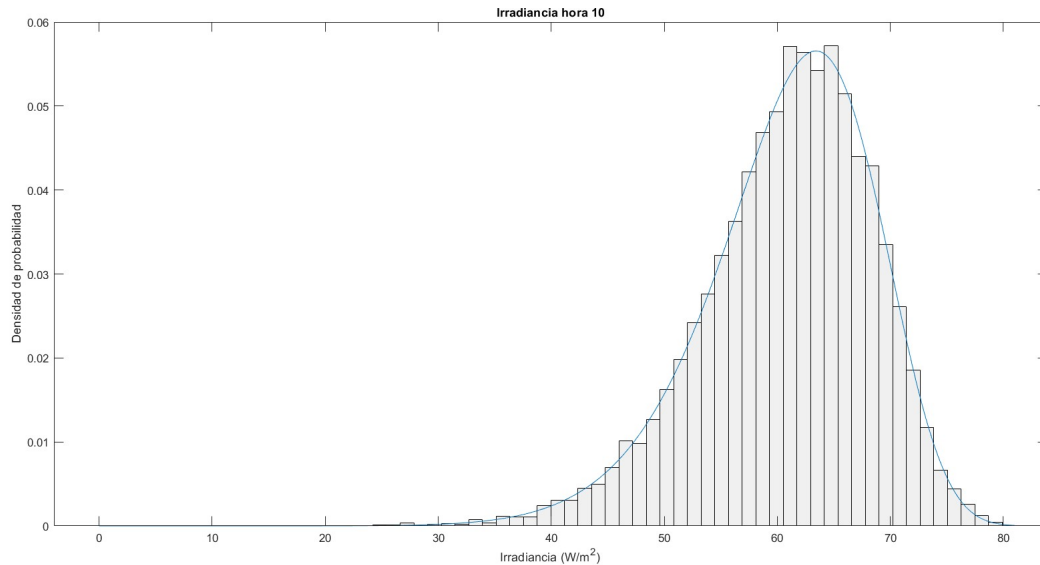


FIGURA 12: Números aleatorios en irradiancia con ajuste de distribución en la hora 10, Fuente propia.

5.1.4. Probabilidad de temperatura e irradiancia por hora

Una vez se han examinado todos los casos, siguiendo el proceso de representación tal como se muestra en la Figura 12, es crucial avanzar al último paso para determinar el valor más probable de temperatura e irradiancia en cada hora. De acuerdo con [80], este valor se determina a través del cálculo de la moda (valor más frecuente), que se realiza mediante la función "*mode*" en MATLAB. El resultado se presenta en la Tabla 7, y estos valores se emplearán como parámetros para el modelo del panel, el cual se detallará en la sección 5.2.

Hora (h)	Irradiancia (W/m^2)	Temperatura ($^{\circ}C$)
6	1.73700	11.54920
7	12.02540	17.88840
8	24.52820	20.70855
9	40.03065	22.26675
10	64.02155	23.67285
11	42.94775	24.40770
12	31.16725	25.92183
13	43.46900	24.66431
14	34.00005	24.28733
15	23.55385	23.31945
16	10.43360	18.34429
17	4.20302	20.52729

TABLA 7: Probabilidad de temperatura e irradiancia

5.2. Modelo Panel Solar

Se realiza el modelado del panel con el fin de encontrar la curva de potencia de este y así conectarlo a la red IEEE de 34 nodos, teniendo en cuenta los datos de temperatura e irradiancia hallados en la sección anterior 5.1. Para ello, se hace uso de las ecuaciones 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y los parámetros de funcionamiento del panel a trabajar, en este caso es un panel Helios Plus de 450 W (anexo 8.2), en la tabla 8 se recopilan los parámetros de este. A causa de que los valores de las resistencias en serie y en paralelo no son entregados por el fabricante se

hace uso de Matlab (Software disponible por la universidad), ya que por medio de esta herramienta se pueden determinar los valores de las resistencias teniendo en cuenta los parámetros específicos del panel (Anexo 8.3). Una vez hallados los valores de R_S y R_P se realiza el cálculo de corriente y voltaje en función de la irradiancia y temperatura.

En las tablas 8 y 9 se encuentran los datos necesarios para realizar el cálculo de la corriente y voltaje en función de la irradiancia y temperatura.

Parámetro	Valor
I_{SC}	11.44 [A]
V_{OC}	50 [V]
I_{mp}	10.87 [A]
V_{mp}	11.44
α	0.05 %/°C
β	-0.3 %/°C
NC_{eldas}	144
R_S	0.33942 Ω
R_P	337.09 Ω

TABLA 8: Parámetros del panel

Parámetro	Valor
k	1.3805×10^{-19}
V_t	0.7
qe	-1.6×10^{-19}
m	0.511
G_{STD}	1000 W/m ²
T_{STD}	25°C

TABLA 9: Constantes

Para realizar el cálculo de la corriente y voltaje máximo (I_{mp} y V_{mp}) en cada una de las horas a trabajar (6 a 17), se realiza lo siguiente:

1. Se determinan los valores de $V_t(T_x)$ haciendo uso de la ecuación 4.3

$$V_t(T_x) = (0.511)(1.3805 \times 10^{-19}) \left(\frac{T_x + 273}{-1.6 \times 10^{-19}} \right) \quad (5.1)$$

2. Se hallan los valores de V_{OC} y V_{mp} , el cual se determina haciendo uso de la ecuación 4.7, solo que en vez de tomar el valor de V_{OC} se le da el valor de V_{mp}

$$V_{oc}(G_x, T_x) = 50 + 0.7 \left(\ln \frac{G_x}{1000} \right) - (0.003)(50)(T_x - 25) \quad (5.2)$$

$$V_{mp}(G_x, T_x) = 41.4 + 0.7 \left(\ln \frac{G_x}{1000} \right) - (0.003)(41.4)(T_x - 25) \quad (5.3)$$

3. Finalmente se hallan I_{SC} y I_{mp} de 4.5

$$I_{sc}(G_x, T_x) = 11.44 \cdot \frac{G_x}{1000} + (0.0005)(11.44)(T_x - 25) \quad (5.4)$$

$$I_{mp}(G_x, T_x) = 10.87 \cdot \frac{G_x}{1000} + (0.0005)(10.87)(T_x - 25) \quad (5.5)$$

Con los valores de I_{mp} y V_{mp} se determina la potencia máxima (P_{mp}) para cada hora como se observa en la tabla

Con base en la tabla 10 se gráfica la curva de potencia por horas del panel Helious Plus, esta se puede ver en la continuación (Figura 13)

Con esta gráfica se hace posible la integración del panel solar a la red IEEE de 34 nodos, trabajada en el software OpenDSS.

Hora (h)	$V_{mp}[V]$	$I_{mp}[A]$	$P_{mp}[W]$
6	43.15	0	0
7	42.33	0.09	3.90
8	41.98	0.24	10.21
9	41.78	0.42	17.56
10	41.60	0.69	28.65
11	41.51	0.46	19.25
12	41.33	0.34	14.21
13	41.48	0.47	19.53
14	41.53	0.37	15.19
15	41.65	0.25	10.29
16	42.28	0.08	3.27
17	42.02	0.02	0

TABLA 10: Corriente, voltaje y potencia por horas

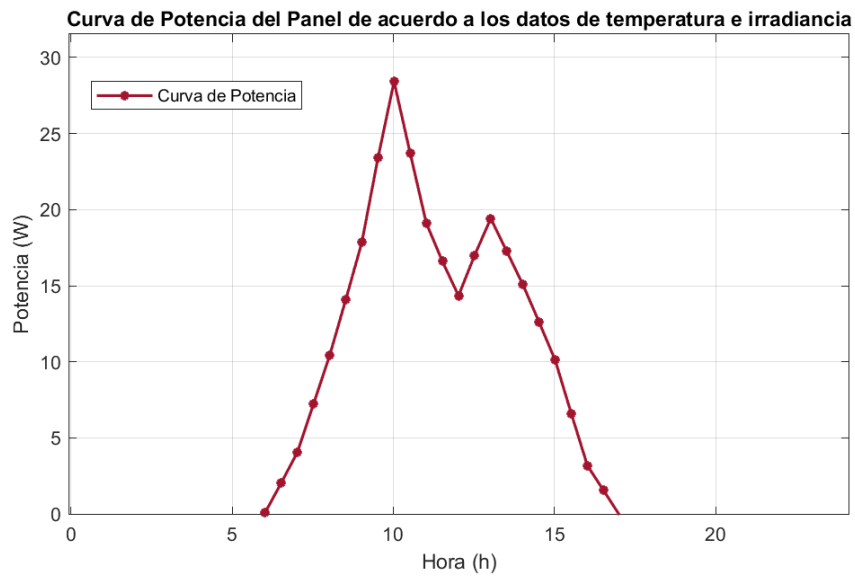


FIGURA 13: Curva de Potencia del panel de acuerdo a los datos de temperatura e irradiancia, Fuente propia

5.3. Funcionamiento Sistema PtX

Para la integración del sistema PtH₂ a la red distribuida con el fin de gestionar los excedentes presentes, es necesario conocer como es su comportamiento en diferentes ambientes. Para esto, se realiza una simulación del electrolizador tipo PEM. Todo esto, con base en una referencia comercial la cual dará las pautas para modelar y calcular todos los parámetros descritos en la sección 4.4.1.

Como resultado se obtendrá las curvas características de funcionamiento y la equivalencia de celdas necesarias para conformar el stack que permita realizar la gestión de excedentes de FER. Además, se observará el comportamiento respecto a la flexibilidad que puede ofrecer mediante la producción de hidrógeno.

5.3.1. Electrolizador

Teniendo en cuenta el modelo matemático presentado en la sección 4.4.1.2, se realiza su implementación a través del software MATLAB/Simulink, donde se observa el comportamiento en la producción de hidrógeno

(Figura 14) teniendo en cuenta las variaciones de temperatura, presión y flujo de corriente.

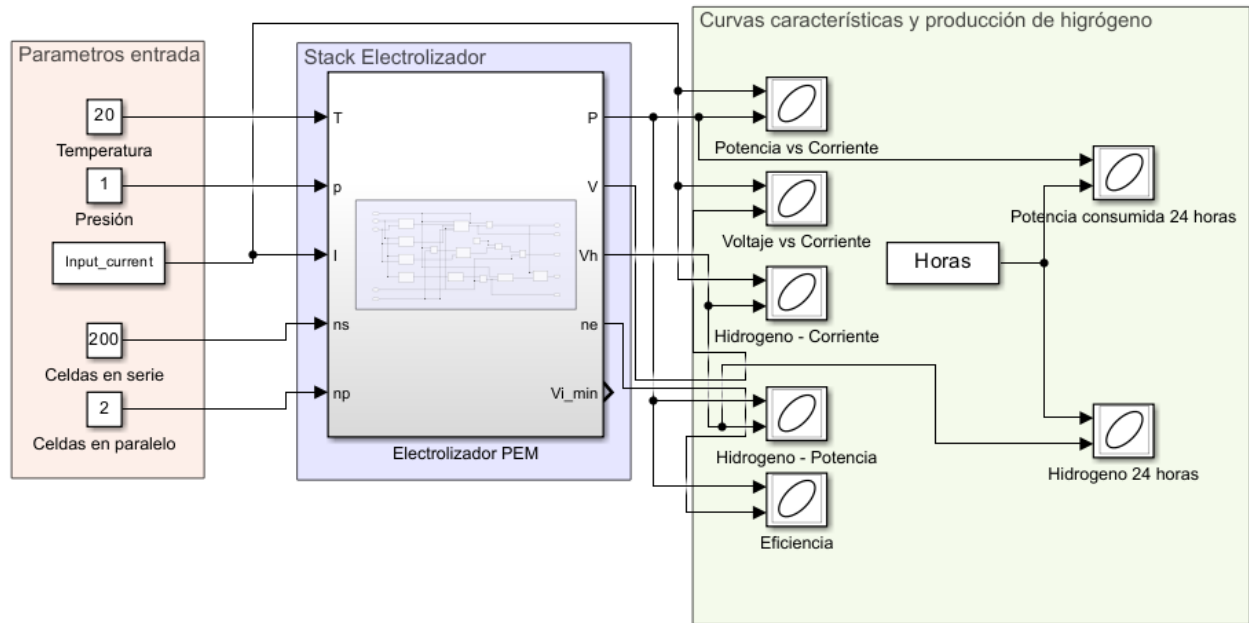


FIGURA 14: Modelo de simulación PEMEL, Fuente propia.

Sin embargo, previo a la simulación es necesario reescribir las ecuaciones 4.9 y 4.11, ya que expresan la producción de H_2 y la tensión mínima en ml/min y V de una única celda respectivamente. Como resultado, se obtendrá las expresiones en unidades de kg/h y V de $ns * np$ celdas. Primeramente, se reescribe la ecuación 4.11:

$$v_H \left[\frac{kg}{h} \right] = v_H \left(\frac{ml}{min} \right) \cdot \left(\frac{1 \times 10^{-6} m^3}{1 ml} \right) \cdot \left(\frac{60 min}{1 h} \right) \cdot \rho_{H_2} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad (5.6)$$

Donde ρ_{H_2} es la densidad de H_2 dependiente de T y p (ecuación 5.12), la cual puede definirse a partir de la ley de los gases ideales de la siguiente manera:

$$n = \frac{m}{PM} \quad (5.7)$$

$$PV = n \cdot R \cdot T \quad (5.8)$$

Despejando V en 5.8:

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} \quad (5.9)$$

Ahora se reemplaza 5.7 en 5.9:

$$V = \frac{m}{PM} \cdot \frac{R \cdot T}{P} \quad (5.10)$$

Teniendo en cuenta que la densidad es masa sobre volumen (m/V) expresamos 5.10:

$$\frac{m}{V} = \frac{P \cdot PM}{R \cdot T} \quad (5.11)$$

$$\rho = \frac{P \cdot PM}{R \cdot T} \quad (5.12)$$

En la ecuación 5.12 El peso molecular (PM) de H_2 es de $2,016 kg/m^3$. Ahora bien, es necesario expresar la ecuación 5.6 en términos de n_s y n_p :

$$v_H(T, p) \left[\frac{kg}{h} \right] = v_M \cdot (1 \times 10^{-3}) \cdot 60 \cdot \frac{I}{n_p} 2F \cdot n_s \cdot n_p \cdot (1 \times 10^{-6}) \cdot 60 \cdot \rho \quad (5.13)$$

Simplificando 5.13:

$$v_H(T, p) \left[\frac{kg}{h} \right] = v_M \cdot (1 \times 10^{-3}) \cdot 3600 \cdot \frac{I}{2F} \cdot n_s \cdot \rho \quad (5.14)$$

En 5.15 se despeja n_s y así obtener el numero de celdas en serie del stack:

$$n_s = \frac{v_H(T, p) \cdot 2F}{v_M \cdot 1 \times 10^{-3} \cdot 3600 \cdot I \cdot \rho} \quad (5.15)$$

Para determinar el número de celdas en serie (n_s) y paralelo (n_p) que tendrá la simulación, será con base al electrolizador MC250 del fabricante "nel", el cual tiene una capacidad de $1.25 MW$, una tensión de funcionamiento de $6,6 - 35 kV AC$ y una producción de $22,11 kg/h$ a condiciones estándar ($0^\circ C$ y $1 bar$) para un total de $531 kg/24h$ de acuerdo a la especificaciones técnicas del fabricante, para más información vaya al anexo 8.4.

$$n_s = \frac{22,11 \cdot 2 \cdot 96,485 \times 10^3}{22,386 \cdot 1 \times 10^{-3} \cdot 3600 \cdot 83,3 \cdot 90,05 \times 10^{-3}} \quad (5.16)$$

Posteriormente, con el valor de n_s es posible determinar el valor de n_p , despejando de la ecuación 4.18:

$$V(T, p) = n_s \left(\frac{I}{n_p} \cdot R_i(T, p) + e_{rev}(T, p) \right) \quad (5.17)$$

$$\left(\frac{V}{n_s} - e_{rev}(T, p) \right) = \frac{I}{n_p} \cdot R_i(T, p) \quad (5.18)$$

$$n_p = \frac{I \cdot R_i(T, p)}{\frac{V}{n_s} - e_{rev}(T, p)} \quad (5.19)$$

Como resultado, el stack se conforma de 7056 celdas en serie y 52 celdas en paralelo. Por otro lado, para la ecuación 4.16 es necesario multiplicar n_s por V_i . Como resultado:

$$V_i = n_s \frac{\Delta G}{2F} \quad (5.20)$$

Una vez obtenidas las ecuaciones necesarias (4.10, 4.12, 4.13, 4.15, 4.17, 5.12, 5.15, 5.20), se implementan a través de bloques "MATLAB Function", dando como resultado el subsistema de la figura 15.

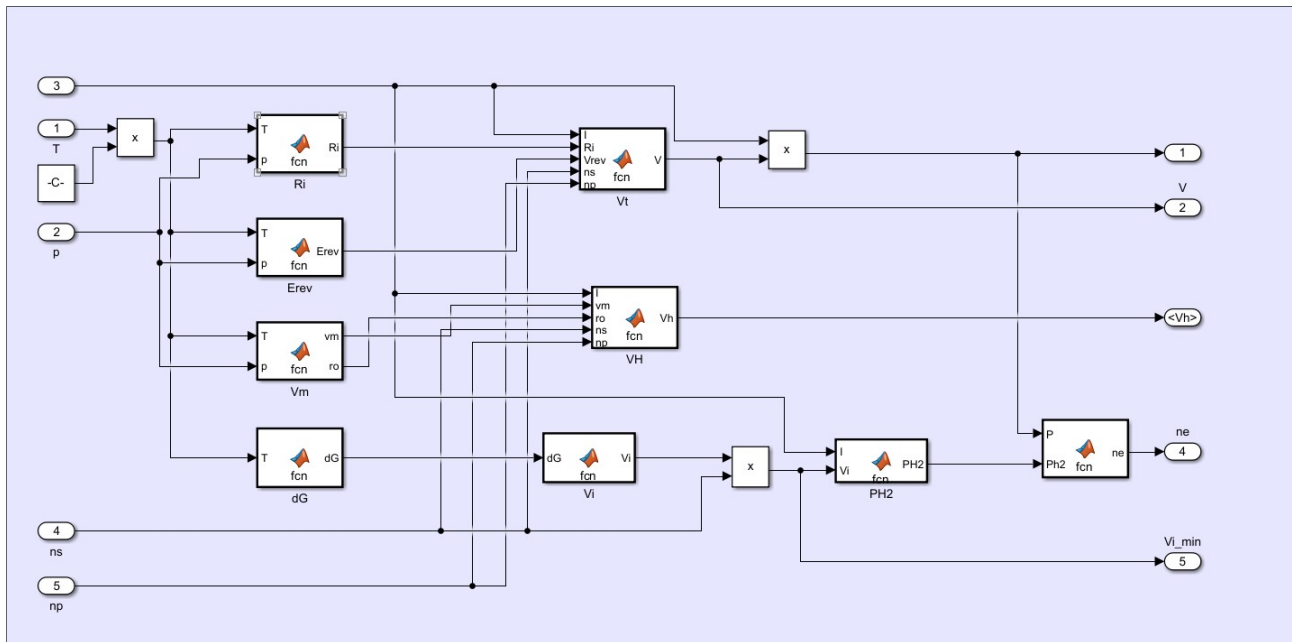


FIGURA 15: Modelo matemático PEMEL en Simulink, Fuente propia.

Para la simulación, se considera una corriente de entrada que varía en forma de rampa dentro del rango de 0 a 100 A, dado que los flujos presentes en la red de distribución no exceden este intervalo. Como resultado, se obtienen las curvas características que relacionan voltaje-corriente y potencia-producción de hidrógeno (figura 16 y 17). Asimismo, para obtener una mejor caracterización se realizan variaciones de temperatura y presión, teniendo en cuenta las condiciones estándar y normales de operación (0°C , 1bar y 20°C , 1bar). A partir de estas, se realizan cuatro variaciones teniendo en cuenta la tabla 1 donde se encuentra los rangos de operación en temperatura y presión del PEMEL. En la tabla 11 se observa las cuatro variaciones dispuesta para observar la incidencia de estas dos variables, tanto para la tensión de alimentación, como para la producción de hidrógeno.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Presión (bar)
0	1
20	1
50	1
70	1
20	20
20	50

TABLA 11: Variaciones de temperatura y presión.

En la figura 16, el aumento de temperatura provoca una disminución de tensión para una misma corriente. En este caso, para condiciones estándar, una corriente de $80A$ requiere una tensión de $15kV$, mientras que para una temperatura de $70^{\circ}C$ disminuye a $12kV$. Caso contrario ocurre al aumentar la presión, donde se evidencia el aumento de tensión para la misma corriente de $80A$ a $50bar$ de presión respecto a las condiciones normales.

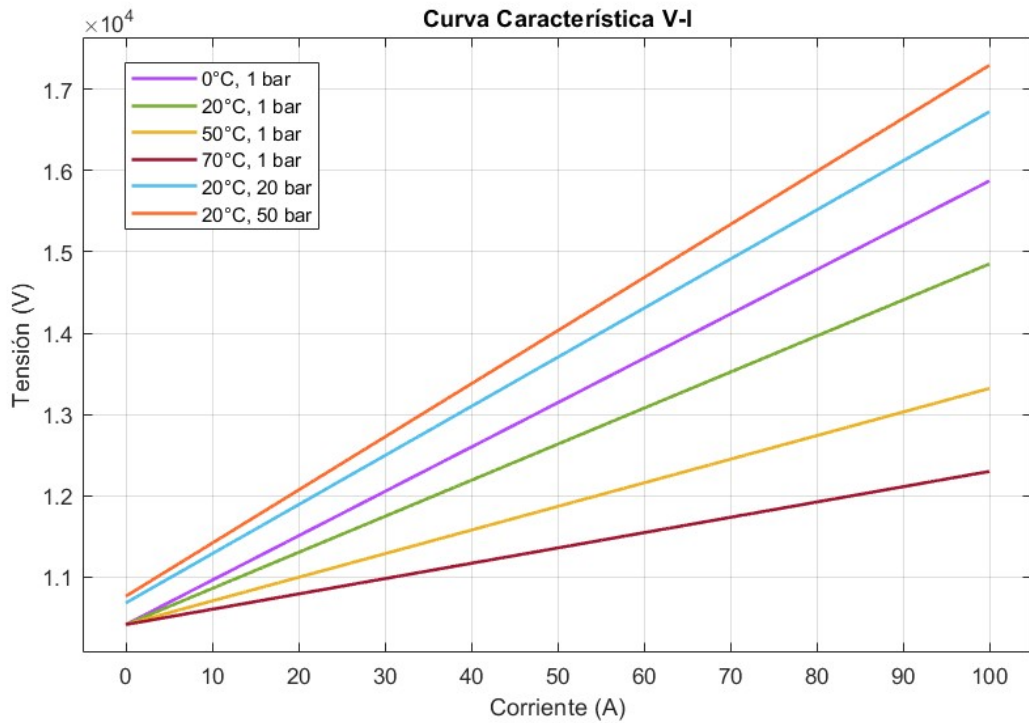


FIGURA 16: Curva características Tensión-Corriente, Fuente propia.

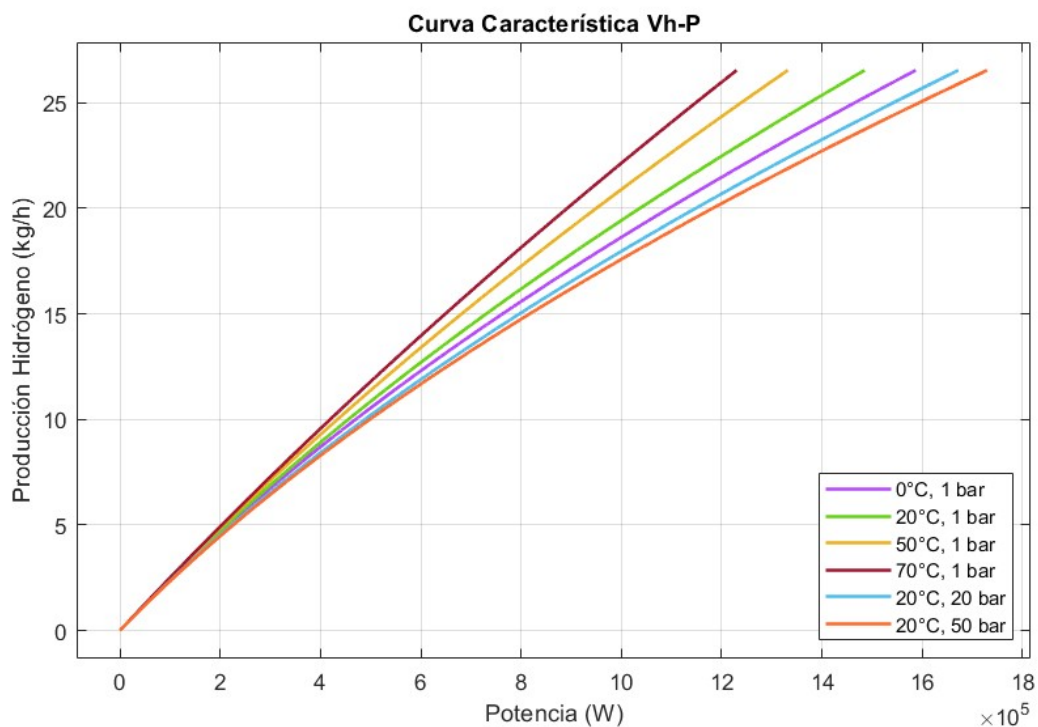


FIGURA 17: Curva característica Potencia-Hidrógeno, Fuente propia.

Por otra parte, para la producción de H_2 , el aumento de temperatura provoca disminución en el consumo de potencia eléctrica. Nuevamente y de acuerdo a la figura 17, se compara en condiciones estándar y como resultado se necesita 1.25 MW para producir 22,11 kg/h. Si la temperatura aumenta, por ejemplo 50°C, se producen 26,5 kg/h con la misma potencia. Del mismo modo, el aumento de presión incide negativamente ya que a una presión de 50 bar los kg/h de H_2 se establecen próximo a los 20 kg/h.

5.4. Caso de estudio

Para conocer cual es el impacto que tienen los sistema PtH₂ y los sistemas de generación renovable en la redes de distribución, se plantea un caso de estudio constituido con tres diferentes escenarios. El primero, será el comportamiento natural del sistema distribuido sin ningún tipo de generador fotovoltaico (FV) ni PtH₂. El segundo escenario, estará dado por la integración masiva de generadores FV (70 %). Finalmente, se tendrá el funcionamiento del sistema PtH₂ como gestor de excedentes dentro de la red. Cada uno de estos darán como resultado una región de operación, las cuales se evaluarán para determinar el comportamiento de flexibilidad en la red de acuerdo a los elementos que la componen.

5.4.1. Sistema eléctrico

Para observar el comportamiento de los generadores FV y el sistema PtH₂ como actores principales en el estudio de flexibilidad, es necesario integrar ambos a una red de distribución. Por consiguiente, es pertinente seleccionar un red que permita realizar todas la pruebas necesarias con el fin de recrear los diferentes escenarios y comparar sus diferencias.

Para este estudio, el sistema IEEE 34 nodos es el seleccionado por su diferentes características, ya que todos los elementos que la componen dan la representación de una red típica de distribución [81]. Por tal motivo, la primera parte será el modelado del sistema de distribución y posteriormente, se realizará, paulatinamente, la integración de generadores FV y PtH₂.

5.4.2. Modelo sistema IEEE 34 nodos (Escenario 1)

Para modelar el sistema IEEE 34 nodos, se hará uso del software OpenDSS, el cual proporciona las herramientas necesarias para recrear y adaptar el sistema a las necesidades puntuales de este trabajo. En este caso, la red estará compuesta por tres tipos de carga: residencial, industrial y comercial. Además, el sistema cuenta con dos transformadores, dos reguladores de tensión y dos bancos de capacitores. La ubicación de cada elemento se puede detallar en la tabla 12 y observar en la figura 18.

Dispositivo	Nodo
Transformador	800 y 832
Regulador de tensión	814 y 852
Banco de capacitores	844 y 848

TABLA 12: Ubicación de elementos eléctricos

La tensión de operación del sistema es de 15 kV y potencia de 25 MVA, de acuerdo al transformador de la subestación (Nodo 800). Por otro lado, para la ubicación de las cargas se tiene en cuenta que en [82], se

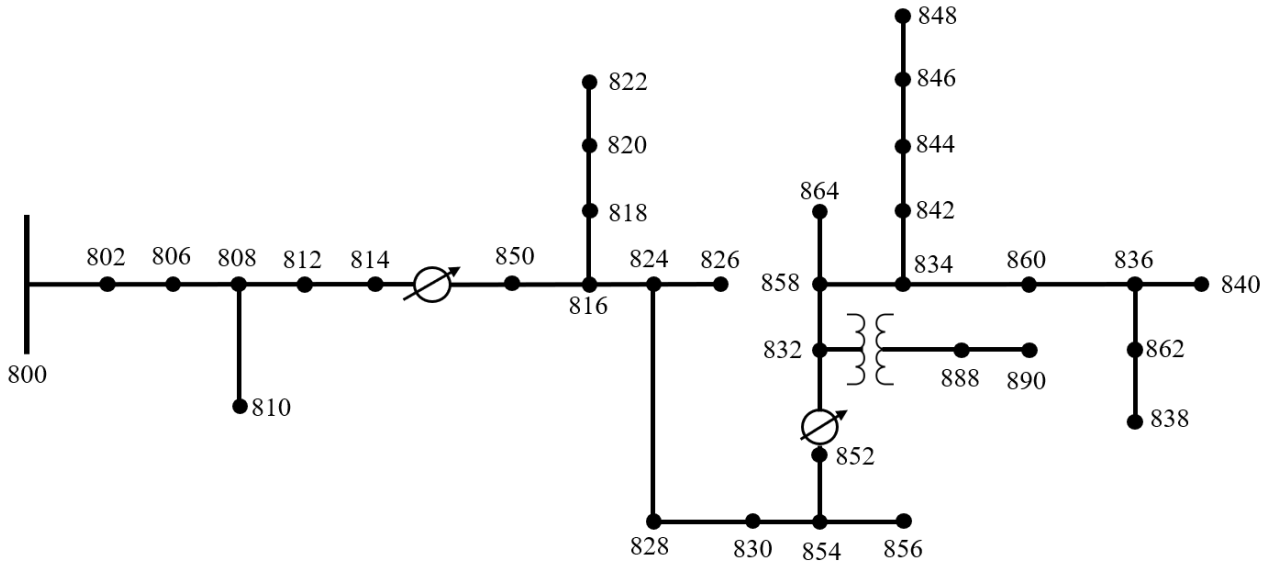


FIGURA 18: Esquema sistema IEEE 34 nodos, Fuente propia.

establece seis cargas puntuales, las cuales están ubicadas en los nodos: 860, 840, 844, 848, 890, 830, y treinta y tres cargas distribuidas (Figura 18). El tipo de carga en cada nodo estará asignado de manera aleatoria así como los generadores distribuidos. De acuerdo a [83], el 41 % corresponde a uso residencial, el 32 % uso industrial y 23 % para uso comercial. Además, una proyección del ministerio de minas y energía, indica que para el 2025 el 43 % de consumo será del sector residencial [84]. No obstante, el comportamiento de la carga será mayormente de tipo industrial.

5.4.2.1. Modelo de cargas

Para el caso de estudio de este proyecto se hace uso de las curvas características de demanda en cada sector, industrial, comercial y residencial en Colombia [83], con el fin de evaluar la respuesta del sistema en horarios de alto y bajo consumo de potencia. Las curvas integradas al sistema eléctrico se pueden ver en las figuras 19, 20 y 21.

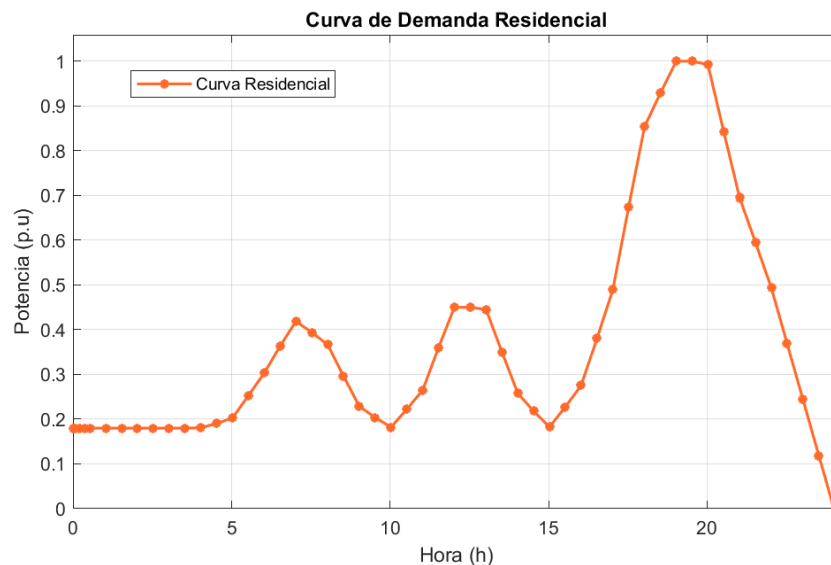


FIGURA 19: Curva de demanda residencial, tomado de [83].

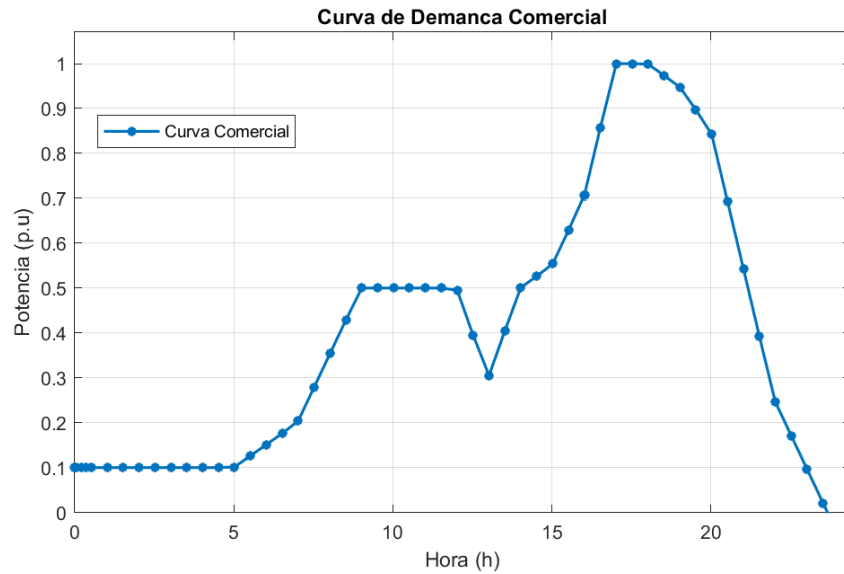


FIGURA 20: Curva de demanda comercial, tomado de [83].

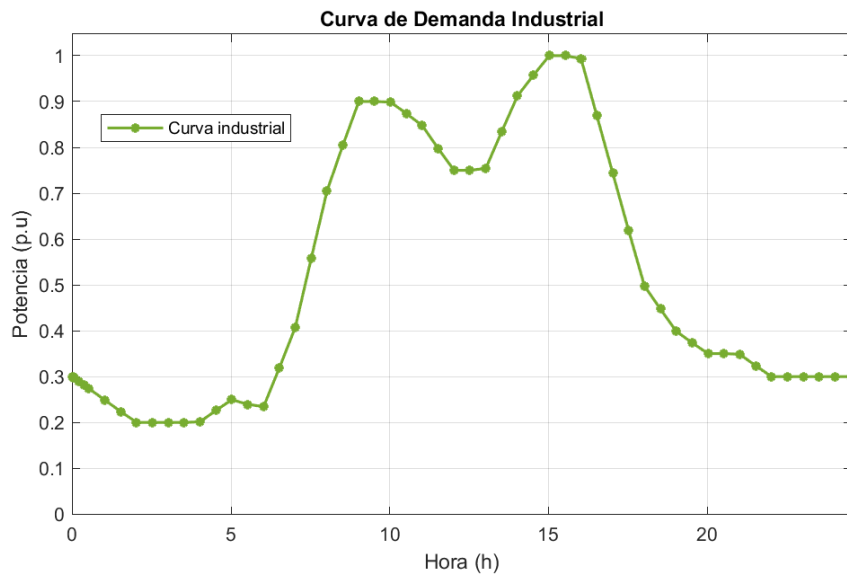


FIGURA 21: Curva de demanda industrial, tomado de [83].

5.4.3. Integración de FER (Escenario 2)

Con el objetivo de observar el comportamiento del sistema eléctrico con generación distribuida, es necesario tener en cuenta la resolución 030 de 2018 de la CREG, en el artículo 5. ESTÁNDARES TÉCNICOS DE DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA EN EL NIVEL DE TENSIÓN, en el apéndice a indica que: "La sumatoria de la potencia instalada de los GD o AGPE que entregan energía a la red debe ser igual o menor al 15 % de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde se solicita el punto de conexión. La capacidad nominal de una red está determinada por la capacidad del transformador"[85].

No obstante, para este estudio se considerará que la sumatoria de potencia instalada será del 70 % respecto a la capacidad máxima de la subestación, con el fin de obtener una alta penetración de FER y así mismo observar el comportamiento de la red distribuida ante la presencia de excedentes de energía eléctrica. Además, dicha integración se dará de manera aleatoria dentro del sistema. La figura 22 ilustra la propuesta de ubicación de los diferentes GD.

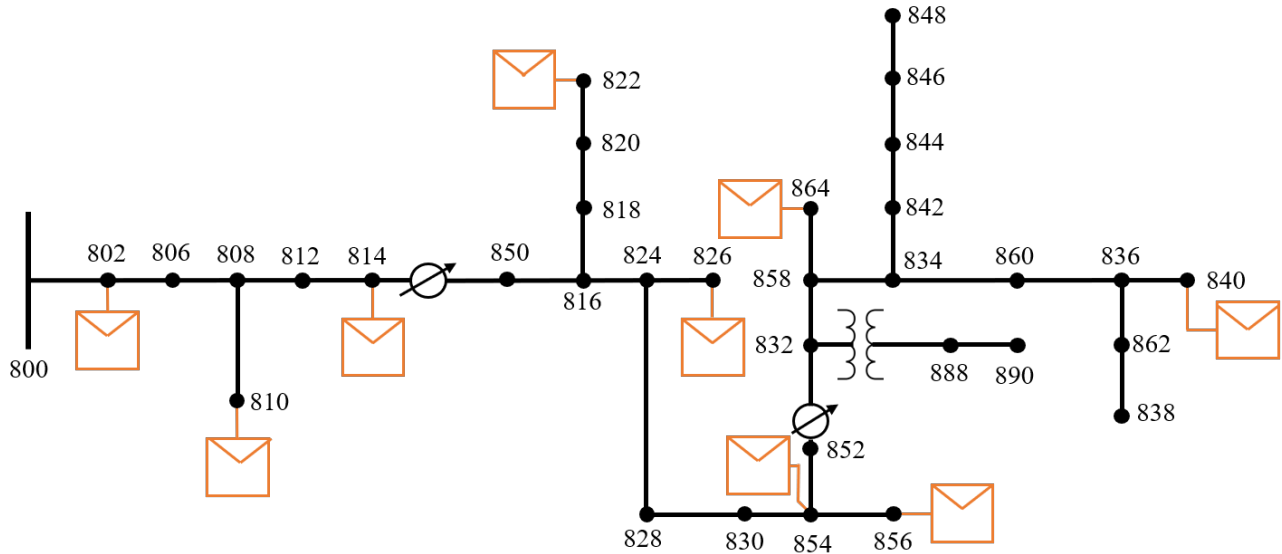


FIGURA 22: Integración de FER en la red IEEE 34 nodos, Fuente propia.

5.4.4. Integración de PtH₂ (Escenario 3)

Para integrar el sistema PtH₂, en primer lugar se tiene en cuenta que este actuará como una carga variable dentro de la red distribuida [86] y su curva de operación estará sujeta al valor de corriente máximo que se presente en los excedentes generados durante la franja horaria de producción de FER. Adicionalmente, para seleccionar los nodos de conexión se contemplan tres aspectos: línea con mayor cantidad de excedentes, generador FV con mayor potencia y ramal con menor cantidad de FER.

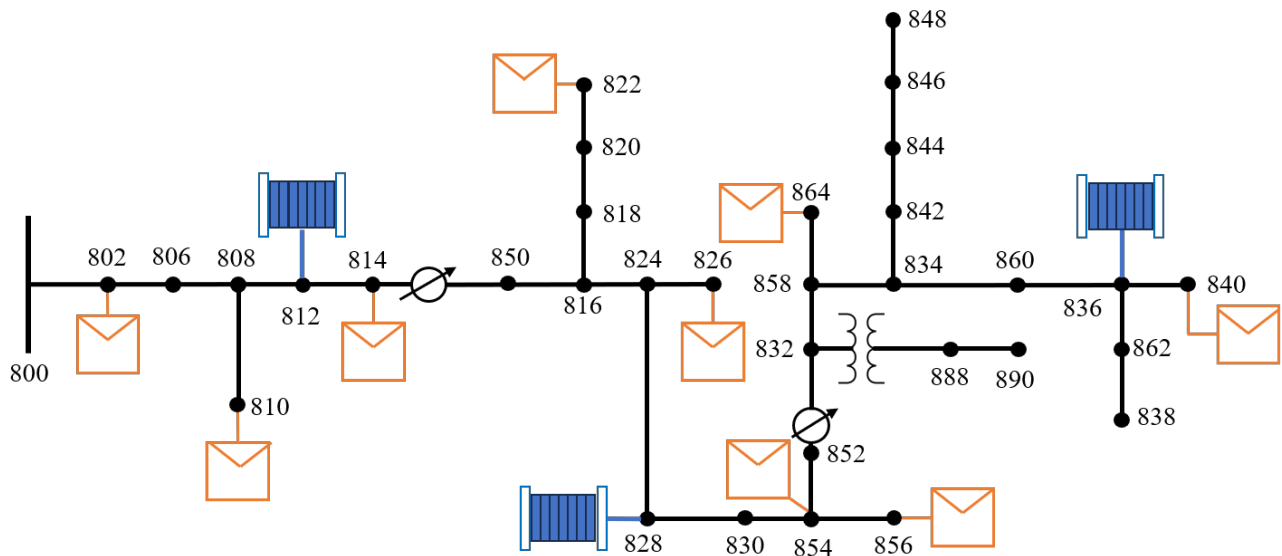


FIGURA 23: Integración de PtH₂ en la red IEEE 34 nodos, Fuente propia.

Como resultado, la figura 23 ilustra la ubicación final de los sistemas PtH₂. La Línea entre los dos nodos 812 y 814 contiene la mayor cantidad de excedentes por lo que será la primera ubicación. El segundo lugar será el nodo 836, el cual tiene el generador FV con mayor potencia (3.75 MW). Finalmente, el ramal con menor generación de FER es el nodo 828, por lo que será la última ubicación de sistema productor de hidrógeno.

5.5. Estudio de flexibilidad

Después de definir los tres escenarios, el estudio de flexibilidad se lleva a cabo a través de la construcción de la FOR y el cálculo de los índices de flexibilidad en cada uno de ellos. Este proceso se realiza utilizando el software MATLAB, el cual es la herramienta principal para llevar a cabo todos los cálculos necesarios y para generar las FOR.

En primer lugar, se construye la FOR, la cual proporcionará una representación gráfica de los puntos factibles en la red de distribución en cada escenario. Posteriormente, se realiza el cálculo de los índices de flexibilidad, los cuales ofrecerán una medida cuantitativa de la capacidad del sistema para adaptarse a diferentes condiciones.

Finalmente, se lleva a cabo una comparación detallada entre los índices de flexibilidad calculados y las regiones construidas en cada escenario. Este análisis permite determinar de manera precisa el impacto de las tecnologías PtH₂ en la operación de sistema eléctricos con alta penetración de FER.

5.5.1. Construcción FOR

Para calcular la FOR, en primer lugar, se deben determinar los puntos factibles en la línea principal. Este proceso implica la evaluación de todos los nodos y líneas de la red distribuida a cada hora. En el caso de que alguna de estas no cumpla con los límites establecidos para esa hora específica, se excluye el punto de operación. Una vez obtenidos los puntos factibles y de acuerdo a la sección 4.5.3, se determina el polígono convexo; esto se logra a través del uso de la función "*convhull*" de MATLAB. Para una revisión detallada del código implementado, se puede consultar el anexo 8.7.

Configuración	Calibre	Corriente Máx. (A)
300	1/0	230
301	#2 6/1	180
302	#4 6/1	140
303	#4 6/1	140
304	#2 6/1	180

TABLA 13: Límites de corriente.

Tensión	Valor (kV)
Nominal	15
Máxima	16.5
Mínima	13.5

TABLA 14: Límites de tensión.

Para este estudio se tiene en cuenta dos restricciones, tensión y corriente. En Los límites de tensión (Tabla 14), se tiene en cuenta la resolución 024 de 2005 de la CREG, en el anexo 1 numeral 6.2.1.1 DESVIACIONES DE LA FRECUENCIA Y MAGNITUD DE TENSIÓN ESTACIONARIA: "Las tensiones en estado estacionario a 60 Hz no podrán ser inferiores al 90 % de la tensión nominal ni ser superiores al 110 % de esta durante periodo superior a un minuto. En el caso de sistemas con tensión nominal mayor o igual a 500kV, no podrán ser superiores al 105 %, durante un periodo superior a un minuto"[87]. Por otro lado, para los límites de corriente se tiene en cuenta la hoja de datos del cable tipo ACSR y el tipo de configuración de las líneas (Tabla 13) [82], [88].

5.5.2. Índices de flexibilidad

Ahora bien, se procede al cálculo de los índices de flexibilidad:

- Para el **primer índice**, se obtiene la totalidad de producción de FER en cada hora, de acuerdo con la ecuación 4.19, y se evalúa en relación a la capacidad máxima del transformador principal, la cual en este

estudio es de 21,6MW. En la tabla 15 se presenta la totalidad de producción fotovoltaica en la franja horaria donde la irradiancia es diferente de cero.

Horas	Potencia (MW)
6	0
7	2,11
8	4,01
9	5,22
10	4,52
11	5,07
12	4,16
13	5,16
14	4,59
15	3,48
16	1,64
17	0,2

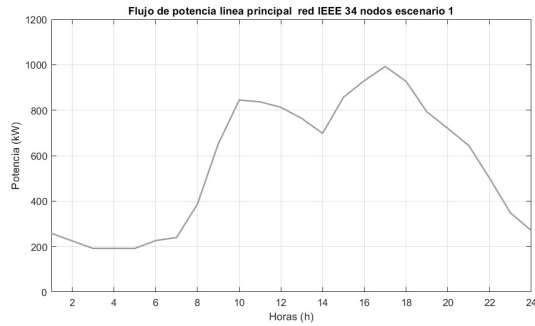
TABLA 15: Producción fotovoltaica en cada hora.

- Para el **segundo indicador**, se procede a calcular cuántas líneas cumplen con los límites en cada hora, de acuerdo con la ecuación 4.20. Estas, representan el número de líneas que cumplen con el margen flexible y se evalúa en relación al total de líneas, que en este caso es de 51. La tabla 16 muestra el número de líneas que cumplen el margen flexible entre las horas 6 a 17, debido a que en esta franja horaria se presentan violación de las restricciones.

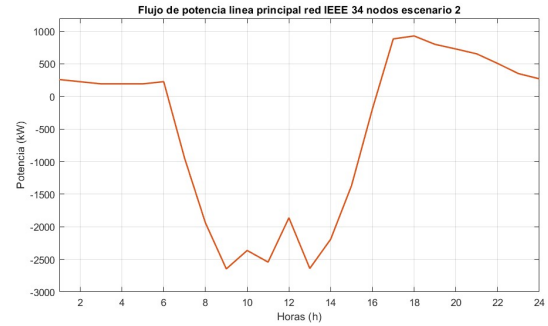
Horas	Número de líneas que cumplen las restricciones		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
6	51	51	51
7	51	50	51
8	51	8	51
9	51	3	51
10	51	5	51
11	51	5	51
12	51	37	51
13	51	5	51
14	51	6	51
15	51	43	51
16	51	51	51
17	50	51	51

TABLA 16: Número de líneas que cumplen las restricciones.

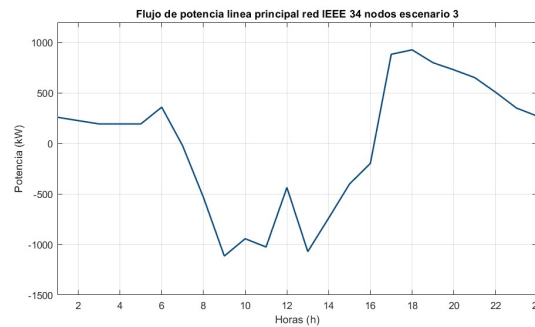
- En el **tercer indicador**, se tiene en cuenta el flujo de potencia en la línea principal en todos los escenarios (figura 24) de la red de distribución y se evalúa de acuerdo a la ecuación 4.21, donde se verá reflejado cual es el margen de capacidad de carga de la línea a lo largo del día.



(a) Escenario 1.



(b) Escenario 2



(c) Escenario 3

FIGURA 24: Flujo de potencia línea principal Red IEEE 34 nodos. , fuente propia

5.5.3. Comparación de índices de flexibilidad

Teniendo en cuenta los índices calculados y las FOR se realiza un análisis del comportamiento de cada una de ellas en los diferentes escenarios planteados. Se recopila la información de estos índices en la tabla 17, con el fin de analizar la importancia y las implicaciones que estos tienen en el comportamiento flexible de la red IEEE de 34 nodos.

Hora	Índice 1 (%)		Índice 2 (%)			Índice 3 (%)		
	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
6	0	0	100	100	100	84,6	84,5	75,6
7	8,43	8,43	100	98	100	83,8	164,3	101,5
8	16,05	16,05	100	16	100	73,7	231,8	136,2
9	20,89	20,89	100	6	100	55,8	279,7	175,6
10	18,09	18,09	100	10	100	42,7	260,5	164,0
11	20,28	20,28	100	10	100	43,2	272,6	169,6
12	16,65	16,65	100	73	100	44,9	226,4	129,6
13	20,65	20,65	100	10	100	48,2	279,2	172,6
14	18,38	18,38	100	12	100	52,6	248,8	150,1
15	13,91	13,91	100	84	100	41,9	192,9	127,2
16	6,56	6,56	100	100	100	36,9	113,1	113,3
17	0,81	0,81	98	100	100	32,7	40,0	40,1

TABLA 17: Índices de flexibilidad

De la tabla anterior se tiene que:

- **Índice 1:** Este indicador se aplica para los 2 últimos escenarios, debido a que en el primer caso no se cuenta con penetración de DER. Por otro lado, se evidencia que en los dos casos este indicador no cambia; debido a que en el 3er escenario se realiza la inclusión del electrolizador , como carga variante en el tiempo y no generadores distribuidos.
- **Índice 2:** Para este indicador se tienen en cuenta los tres escenarios mencionados, con el fin de comparar que porcentaje de las líneas que cumplen con las restricciones de operación (voltaje y corriente) y así determinar si los índices son validos en toda la franja horaria. Es debido a ello que para evaluar los resultados del índice 1 se garantiza que halla producción de renovables siempre y cuando se consideren las restricciones, si se violan los limites se considera que se deben desconectar los paneles.
- **Índice 3:** En este indicador se entra a evaluar el escenario 1 y 3, debido a que no se le puede pedir a la red que tenga capacidad de carga si se están violando las restricciones de operación.

Teniendo claro lo anterior los índices se evalúan de la siguiente forma (tabla 18)

Índices	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
1		x	x
2	x	x	x
3	x		x

TABLA 18: Casos a evaluar en cada índice.

Capítulo 6

Resultados y Discusión

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos del estudio de flexibilidad aplicado a los tres escenarios. Se analizan las FOR construidas y los índices de flexibilidad calculados. Estos elementos, en conjunto, proporcionan una comprensión integral de la capacidad de adaptación del sistema eléctrico en diversas condiciones. Además, se exploran las relaciones entre los índices y las FOR, lo que permite describir el comportamiento de flexibilidad en la red distribuida al considerar alta penetración de FER y la incorporación de sistemas PtH₂.

6.1. Región de operación de la red IEEE de 34 nodos

Al realizar la evaluación de todas las líneas presentes en la red para el primer escenario, y siguiendo la metodología definida en la sección 5.5.1, se determinó que de los 24 puntos posibles, uno de ellos se considera no factible, específicamente la hora 17. Esto se debe a que al menos una línea en toda la red no cumplió con las restricciones establecidas en esa hora específica.

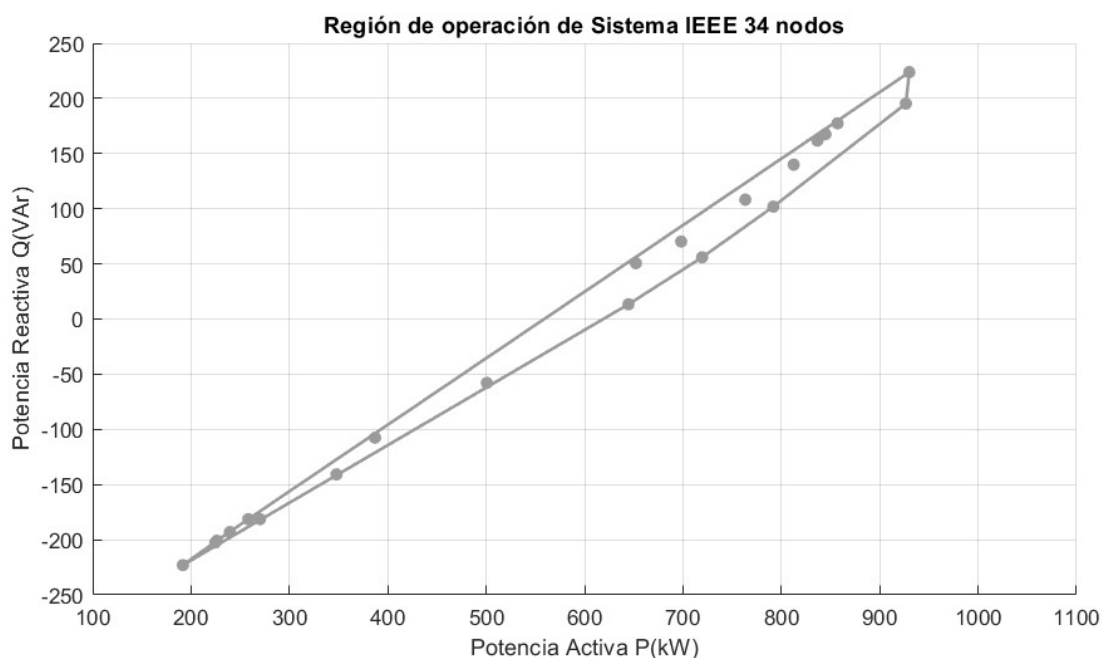


FIGURA 25: FOR de la red IEEE de 34 nodos, Fuente propia.

El resultado se muestra en la figura 25, donde se observa cómo la aplicación del método del polígono convexo (ver sección 4.5.3) se refleja en el hecho de que algunos puntos factibles no se encuentran en los límites de la región, sino en su interior. Otro aspecto a tener en cuenta, es el área de la región, la cual no es de un tamaño considerable, esto se debe a que todo el suministro de energía eléctrica esta proviniendo de la subestación principal. Por lo tanto, para este primer escenario se tiene una región pequeña que limita las capacidades de operación de la red distribuida.

6.2. Región de operación de la red IEEE con FER

Para el segundo escenario, la integración en alto porcentaje de FER (70 %), provoca que haya una disminución de puntos factibles. Esto se debe a que se presentan excedentes que provocan que en varias líneas se violen la restricciones. Como resultado, se obtienen 15 puntos factibles que construyen la FOR (Figura 26).

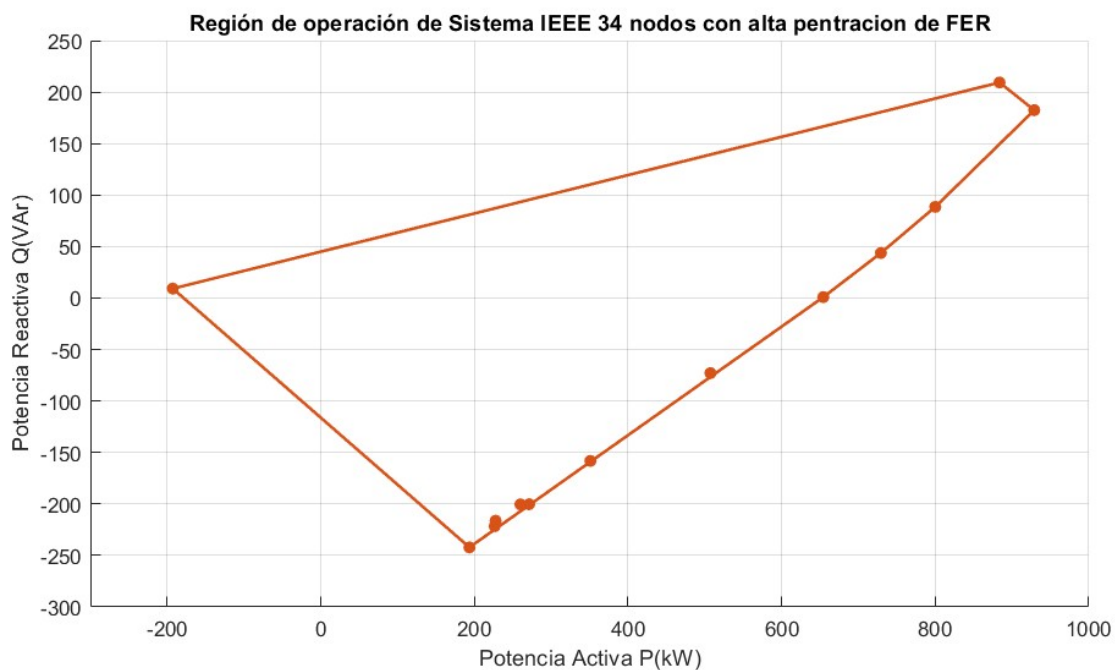


FIGURA 26: Integración de Pth₂ en la red IEEE 34 nodos, Fuente propia.

Sin embargo, la generación de excedentes provoca un aumento significativo en el tamaño de la FOR, lo cual habilita a la subestación principal para operar en puntos que en el primer escenario no eran posibles. Además, se observa que ahora la red distribuida tiene la capacidad de suministrar energía, aunque en una proporción limitada. Esto implica que el comportamiento de la subestación puede variar tanto en términos de entrega como de recepción de energía.

6.3. Región de operación de la red IEEE con FER y Pth₂

En el tercer escenario, la incorporación de sistemas Pth₂ en la operación de la red distribuida, permite aumentar aún más la FOR. El resultado es la factibilidad de los 24 puntos posibles, lo que indica que en cada hora del día no se están violando las restricciones de operación.

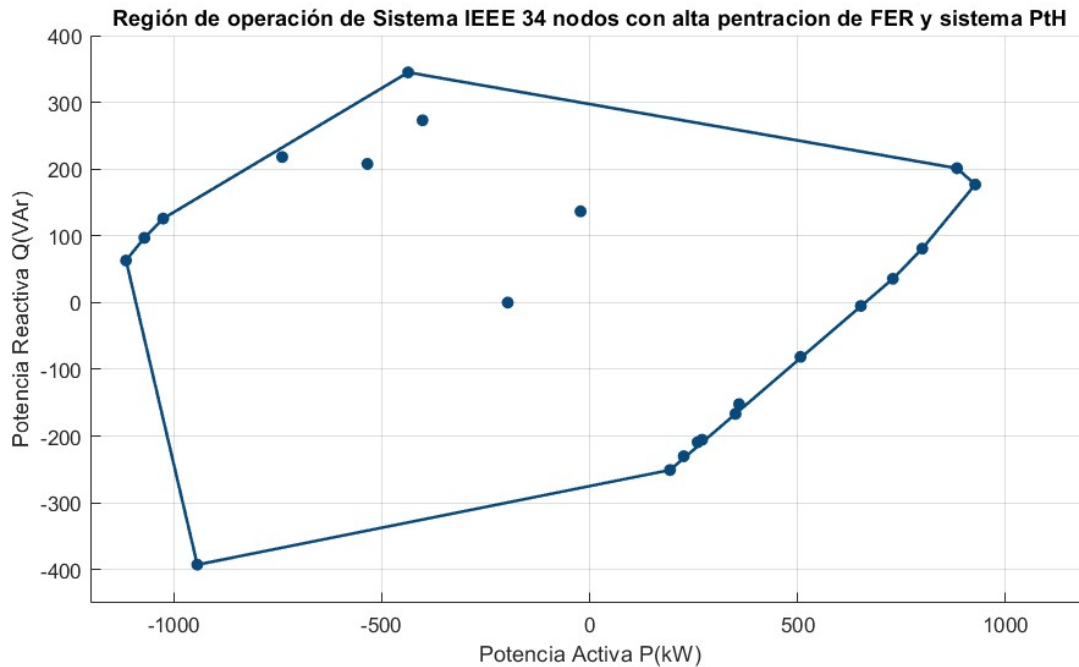


FIGURA 27: Integración de Pth₂ en la red IEEE 34 nodos, Fuente propia.

En la figura 27, es evidente cómo la región se expande aún más en comparación con el escenario 2, lo que resulta en una mayor capacidad de la subestación para suministrar energía, según las circunstancias. Otro aspecto relevante, es la aplicación una vez más del método del polinomio convexo en la construcción de la FOR, donde se observa que 5 puntos factibles se encuentran dentro de la región pero no forman parte de sus límites.

6.4. Análisis de índices de flexibilidad

Teniendo en cuenta lo comentado en el apartado 5.5.3, se realizan las correcciones (anexo8.11) de los índices; de estos se obtienen los siguientes resultados:

- **Índice 1** En la figura 28 se puede observar que en el escenario 2 la producción fotovoltaica fue desconectada, ya que se violan los límites de operación de la red durante la franja horaria de producción, es debido a ello que el índice de absorción en este escenario sea tan bajo. En contraste, en el escenario 3 la capacidad de la red para consumir lo que genera las FER aumenta significativamente, debido a que por medio de los electrolizadores instalados se aprovechan los excedentes generados por parte de la generación fotovoltaica, aumentando el uso de este recurso distribuido. Esto además representa como la integración de FER y sistemas Pth₂ en la red IEEE de 34 nodos aumenta la capacidad de la red para adaptarse a variaciones en la generación de energía.

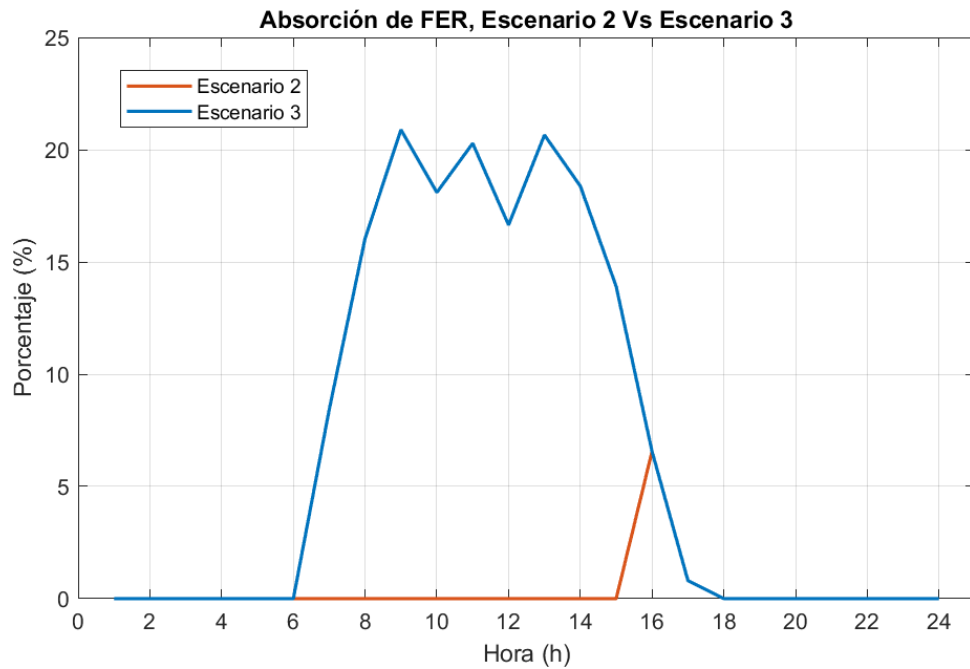


FIGURA 28: Índice de Absorción de FER, Escenario 2 Vs Escenario 3; Fuente propia.

- **Índice 2:** Este es un índice es muy importante ya que se encuentra directamente relacionado con la definición y construcción de las FOR en cada uno de los escenarios, al considerarse el número de líneas que se encuentran dentro de los límites de operación de la red. En la figura 29 se observa que el hecho de colocar electrolizadores como gestores de excedentes producidos por FER, permite habilitar en un 100 % la flexibilidad de las líneas en la red IEEE de 34 nodos. Por otro lado se evidencia que en el escenario 2 el porcentaje cae ya que se cuenta con la presencia de excedentes que sobrepasan las condiciones de operación de la red.

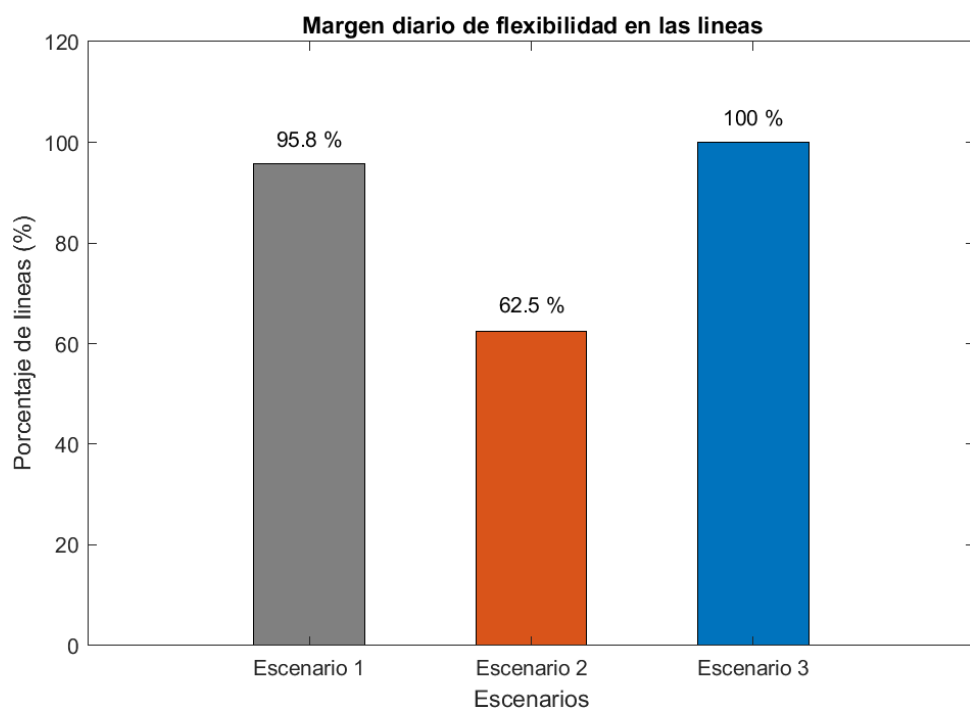


FIGURA 29: Índice de Margen de flexibilidad en las líneas, Fuente propia.

- **Índice 3** Este indicador tiene como objetivo evaluar específicamente los escenarios 1 y 3 en nuestro estudio, ya que no es viable ni realista exigir a la red eléctrica que mantenga una capacidad de carga adicional si se están violando las restricciones de operación. Ahora bien en la figura 30 se puede ver como la capacidad de carga en el escenario 1 aumenta significativamente al hacer uso de las FER y del sistema PtH₂, debido a que la instalación de estos dos sistemas en la red proporciona un aumento en la producción de energía y además garantiza la seguridad y operación adecuada de la red IEEE de 34 nodos al cumplir con las restricciones de operación.

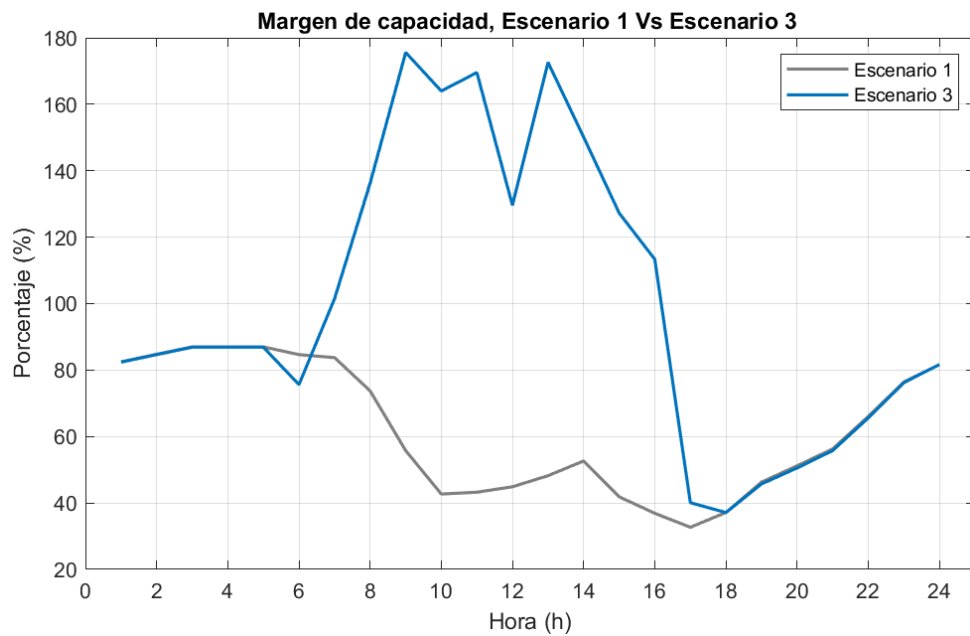


FIGURA 30: Índice de Margen de capacidad, Escenario 1 Vs Escenario 3; Fuente propia.

- **Análisis General:** "La integración de sistemas PtH₂ emerge como un elemento fundamental para infundir flexibilidad en la operación eléctrica de la red. Esta flexibilidad adquiere múltiples dimensiones. Por un lado, PtH₂ permite que la red eléctrica se ajuste y acomode eficazmente a la incorporación de diversos sistemas de generación, en este caso, sistemas fotovoltaicos. Esta capacidad de adaptación es esencial en un entorno donde las fuentes de energía son altamente variables.

Además, la integración de PtH₂ tiene un impacto positivo en la capacidad de carga de la red eléctrica. Este incremento en la capacidad de carga resulta beneficioso, ya que no solo amplía la disponibilidad de energía, sino que también fortalece la seguridad operativa del sistema. Esta mejora se refleja claramente en las FOR, donde se observa una expansión significativa de la región de operación cuando se integran FER y PtH₂.

En resumen, la integración de sistemas PtH₂ se presenta como un componente clave en la búsqueda de mayor flexibilidad y estabilidad en la operación eléctrica. Su capacidad para adaptarse a diversas fuentes de generación y su contribución al aumento de la capacidad de carga mejoran de manera notoria la versatilidad y la seguridad del sistema, como lo indican los cambios evidentes en las FOR."

6.5. Producción de Hidrógeno y Excedentes de FER

Dado que el sistema PtH₂ opera únicamente durante la franja horaria en la que hay producción de FER, la gráfica 31 ilustra cómo es la producción de hidrógeno ante las variaciones de energía eléctrica.

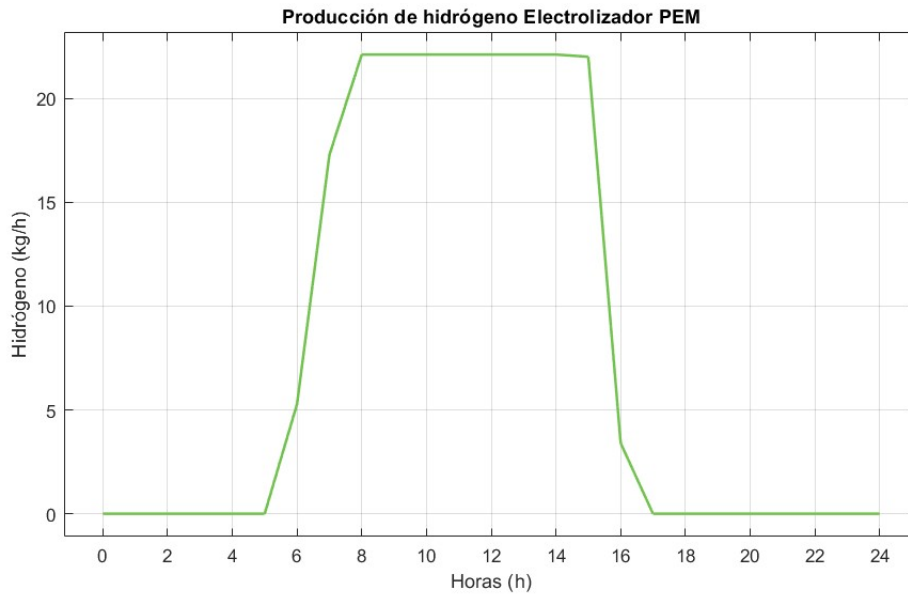


FIGURA 31: Producción de hidrógeno en 24 horas

Como resultado, se puede observar la capacidad de flexibilidad del PEMEL (sección 4.4.1.3) para cambiar su punto de operación en pasos de tiempo de una 1 hora de manera rápida y ante las variaciones de corriente a lo largo del día. A su vez, se observa que durante el 70 % de la franja horaria con producción fotovoltaica, el sistema PtH₂ opera a máxima capacidad, lo que significa que se están transformando 1.5MW/h de excedentes en hidrógeno. Este hecho se refleja en la gráfica 32, donde se compara la cantidad de excedentes en los escenarios 2 y 3.

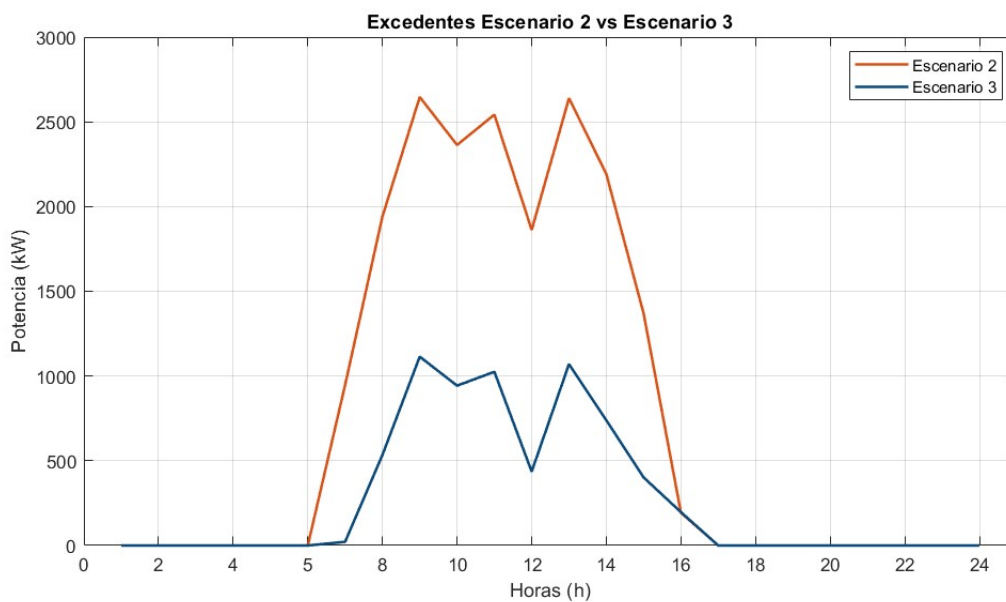


FIGURA 32: Excedentes presentes en la Red IEEE 34 nodos en 24 horas, Fuente propia.

Para el escenario 2 se tiene un pico máximo de excedentes de $2,646MW$, específicamente en la hora 9. Ahora bien, la entrada en operación del sistema PtH_2 genera que ese valor en la misma hora se reduzca a $1,114MW$. Esa reducción de excedentes, como se menciono anteriormente, puede ser un factor clave para mejorar la eficiencia y la gestión de energía en el sistema. Al transformar una parte de los excedentes en hidrógeno, se crea una valiosa reserva de energía que puede utilizarse en momentos de alta demanda o cuando la generación de energía es insuficiente. Esto contribuye a una mayor estabilidad y fiabilidad en la operación del sistema eléctrico.

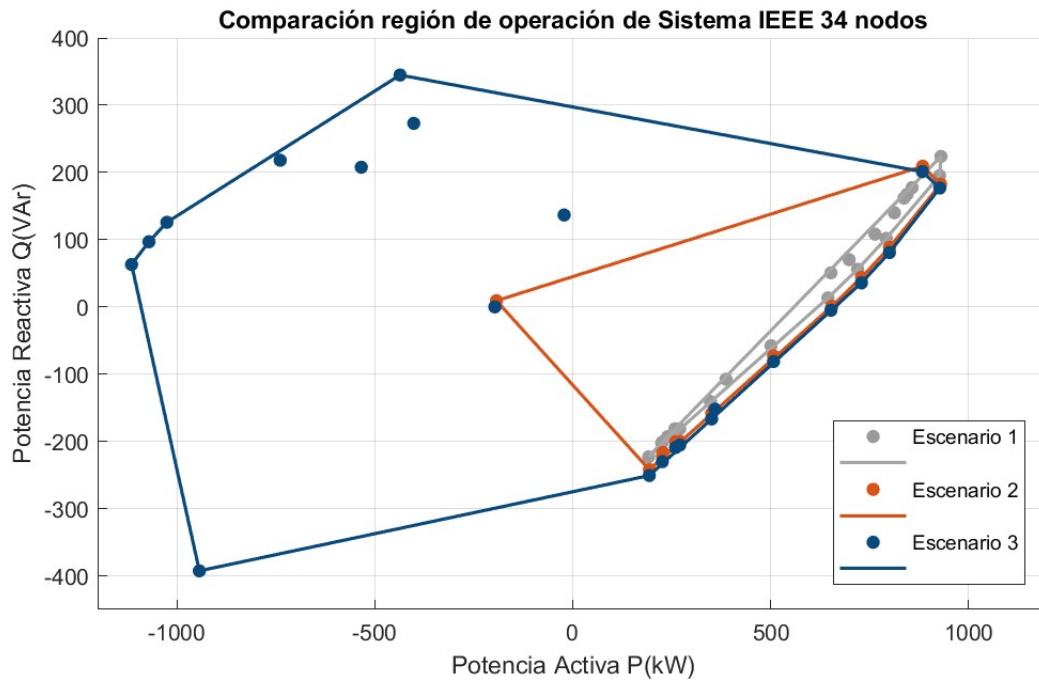


FIGURA 33: Comparación de las regiones de operación, Fuente propia.

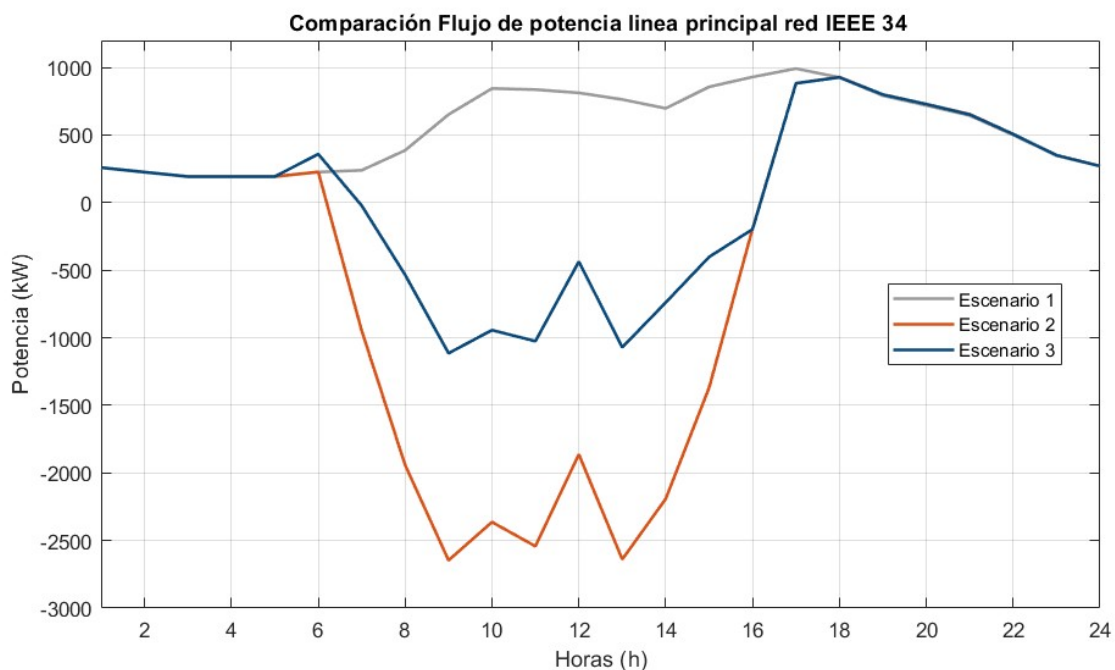


FIGURA 34: Comparación flujo de potencia, Fuente propia.

Finalmente, al comparar las regiones de operación representadas en la figura 33 en los tres escenarios diferentes, se revelan transformaciones significativas en la capacidad de adaptación del sistema eléctrico. En el primer escenario, sin la integración de FER y PtH_2 , la región de operación muestra una relativa limitación. Sin embargo, al incorporar la generación de FER, esta región se expande notablemente, lo que permite una mayor flexibilidad en la gestión de la energía. Este efecto se potencia aún más con la inclusión de la producción de hidrógeno durante las horas de excedentes. En este último escenario, la región de operación alcanza su máxima extensión, otorgando al sistema una capacidad notable tanto para recibir como para suministrar energía en momentos estratégicos. Este análisis pone de manifiesto cómo la integración de FER y la producción de hidrógeno son elementos fundamentales para mejorar la versatilidad del sistema eléctrico en diversas condiciones operativas, como se observa en la figura 34. En esta figura se gráfica el flujo de potencia para cada escenario y se comparan sus comportamientos ante los excedentes en diferentes momentos del día.

Capítulo 7

Conclusiones y Trabajos Futuros

7.1. Conclusiones

En el transcurso de este estudio, se ha explorado las diferentes características de flexibilidad que se deben tener para la evaluación de sistemas eléctricos con alta penetración de Fuentes de Energía Renovable (FER) y la integración de sistemas Power to X (PtX). Este análisis ha proporcionado una visión esclarecedora de cómo estas características se entrelazan y contribuyen a la mejora de la operación eléctrica.

En particular, las diferentes características asociadas a los estudios de flexibilidad se manifiestan de dos maneras fundamentales: en la adaptación a la diversidad de sistemas de generación, especialmente sistemas fotovoltaicos, y en el fortalecimiento de la capacidad de carga. La adaptabilidad a diferentes fuentes de generación es esencial en un entorno caracterizado por la variabilidad de las FER, lo que garantiza una operación confiable.

Esta relación se ve reflejada en los índices de flexibilidad y la construcción de la región factible de operación las cuales proporcionan una visión esclarecedora de cómo la integración de sistemas PtH₂ amplía el índice de margen de flexibilidad en las líneas en un 37.5 % ante la alta penetración de FER. Esto se traduce en una expansión del índice de capacidad de carga en más del 50 % y de la región factible de operación, fortaleciendo la seguridad operativa del sistema eléctrico y la disponibilidad de energía.

Dicha gestión, se realiza a través de la producción de hidrógeno, la cual es la principal característica de los sistemas PtX. Por ende, se evaluó cuál sistema generador de hidrógeno brinda mayor flexibilidad en sistemas eléctricos con FER. En definitiva, la tecnología PEM sobresale por su rápido arranque y adaptabilidad a variaciones generación de energía. Además, el modelo matemático permite evidenciar la influencia de las variables climáticas, como presión y temperatura, en la conversión de energía eléctrica a hidrógeno.

En conclusión, El caso de estudio destaca el impacto positivo que tienen las tecnologías PtH₂ en cuanto a la gestión de excedentes, brindando mayor flexibilidad, adaptabilidad y capacidad a redes eléctricas con alta penetración de FER.

7.2. Trabajos Futuros

Para trabajos futuros, sería posible llevar a cabo un estudio de flexibilidad similar, pero considerando dos tipos de redes: eléctrica y de gas. Se observaría cómo los sistemas Power-to-Hydrogen (PtH₂) son capaces de acoplar

vectores energéticos para aumentar la sostenibilidad energética y contribuir a la descarbonización de la matriz energética.

Además, sería de gran importancia incluir en el estudio el almacenamiento de hidrógeno. Esto permitiría convertirlo nuevamente en energía eléctrica, contribuyendo así a la operación de los sistemas eléctricos. De esta forma, podremos observar cómo se comporta la flexibilidad al aprovechar la energía generada por este gas ideal.

Finalmente, para futuras investigaciones, sería viable llevar a cabo un estudio similar a este, pero considerando todo el sistema interconectado nacional. El objetivo sería identificar y evaluar la viabilidad de implementar sistemas renovables de mayor potencia y cómo estos pueden mejorar la operación del sistema sin violar las restricciones de funcionamiento convencionales.

Capítulo 8

Anexos

8.1. Ajustes de probabilidad

8.1.1. Temperatura

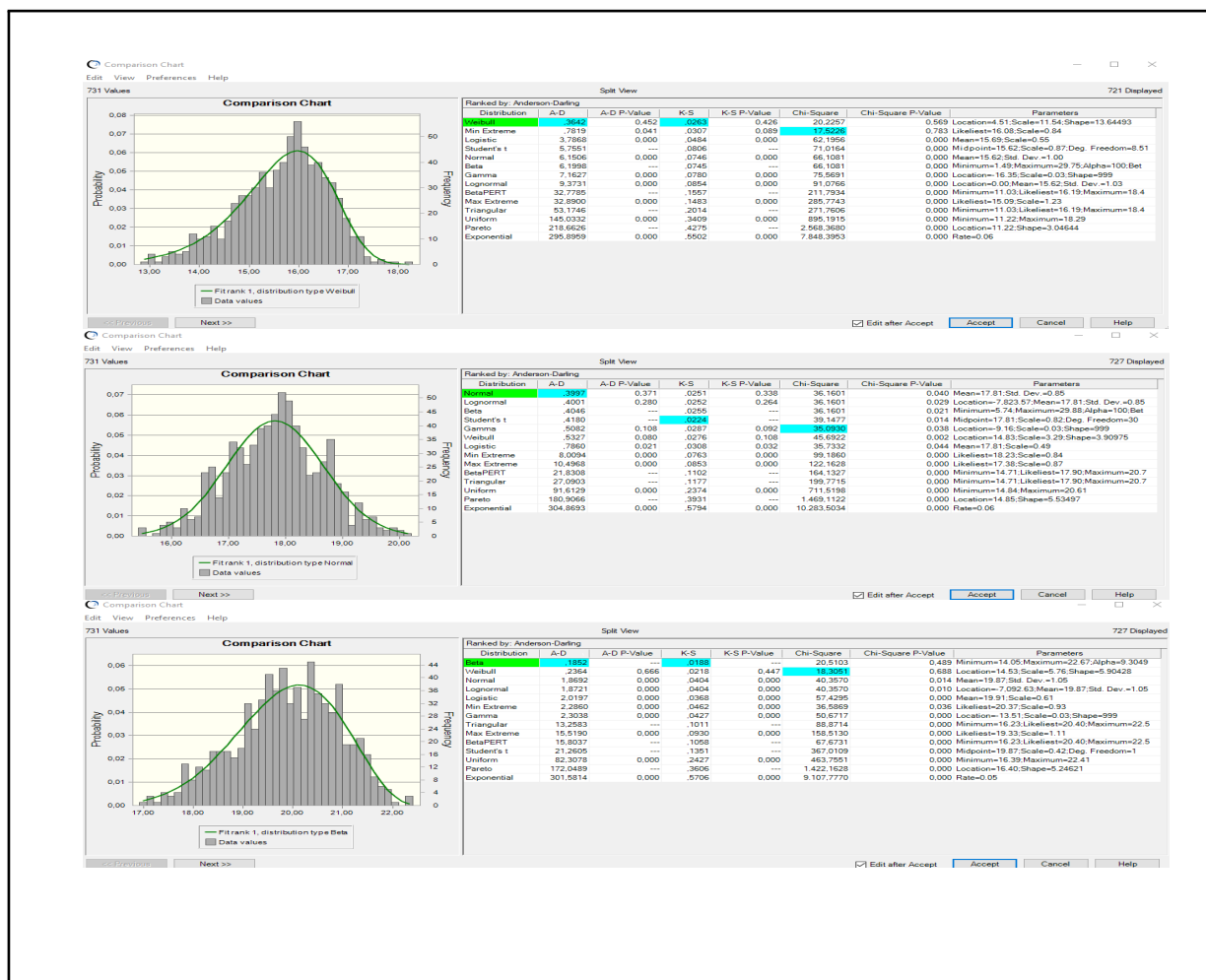


FIGURA 35: Pagina 1 ajuste de probabilidad para temperatura en la hora 6,7,8; Fuente propia.

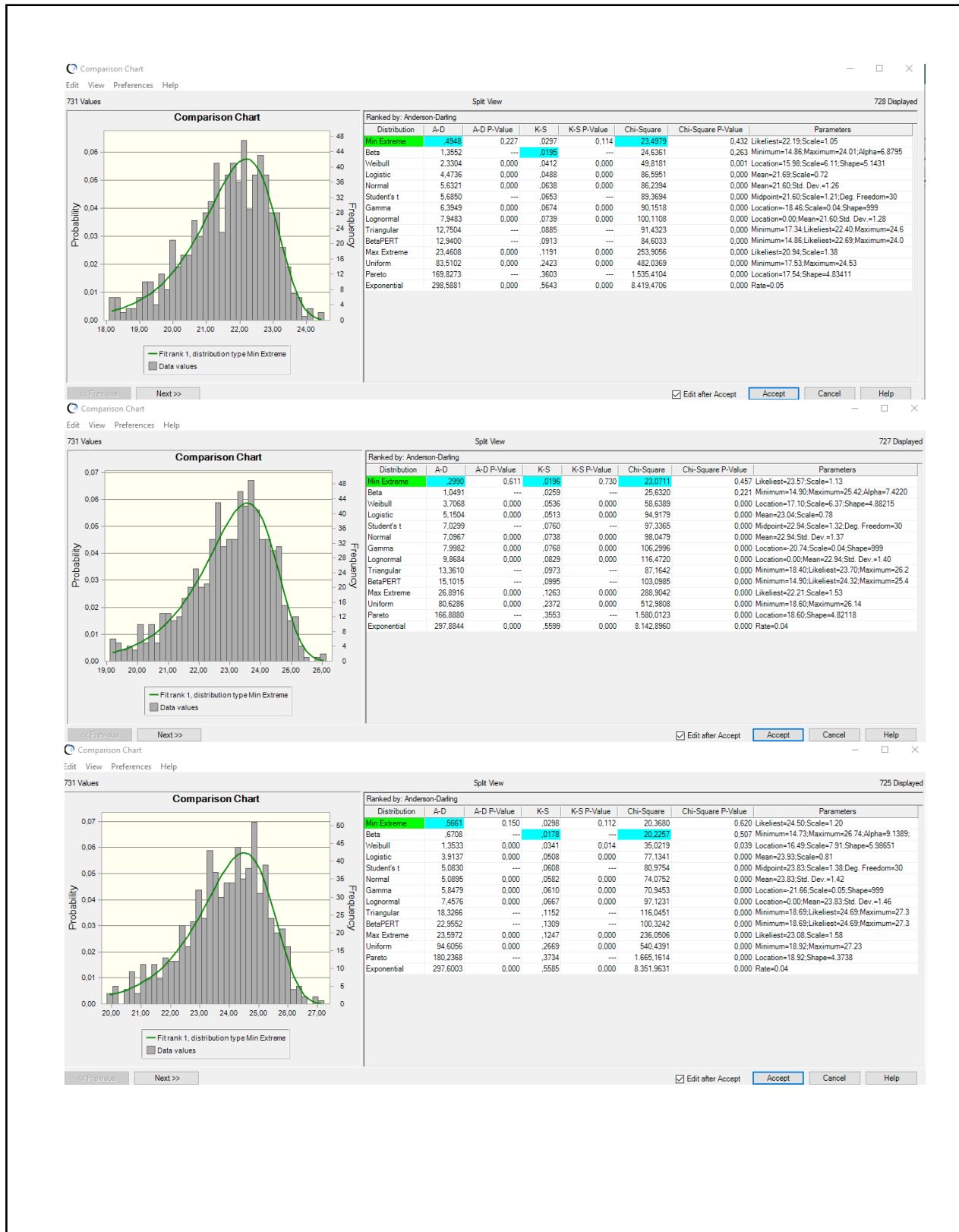


FIGURA 36: Pagina 2 ajuste de probabilidad para temperatura en la hora 9,10,11; Fuente propia.

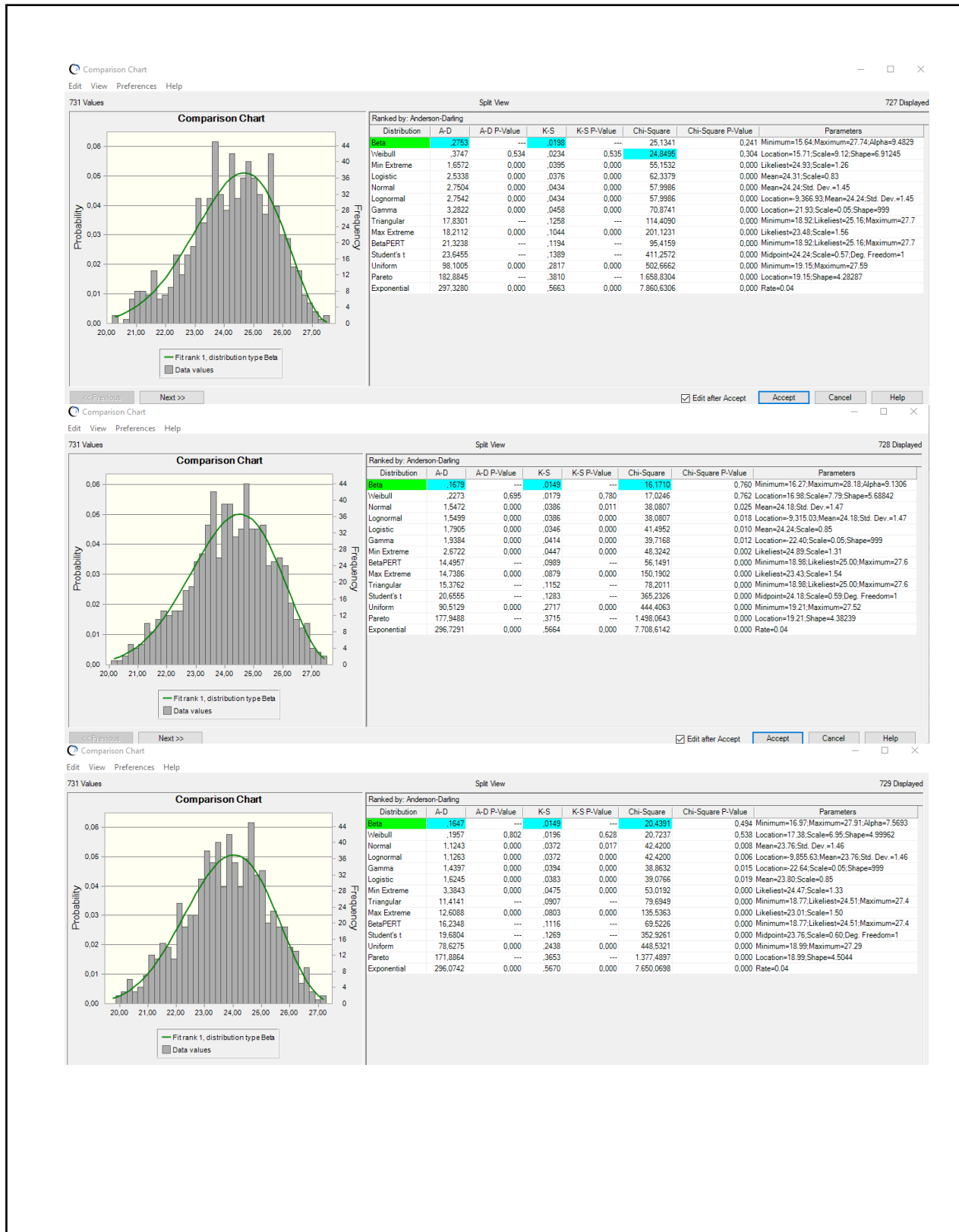


FIGURA 37: Pagina 3 ajuste de probabilidad para temperatura en la hora 12,13,14; Fuente propia.

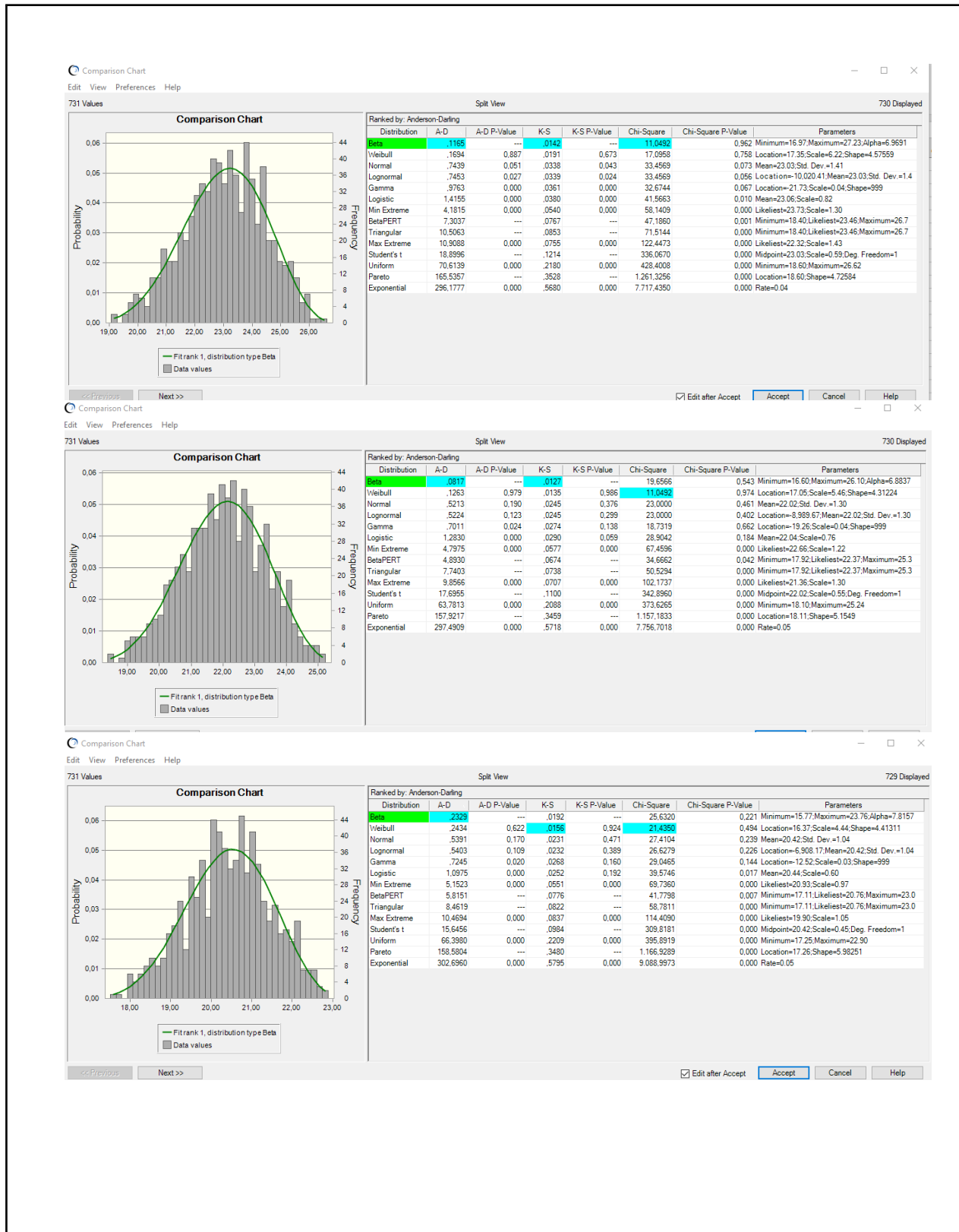


FIGURA 38: Pagina 4 ajuste de probabilidad para temperatura en la hora 15,16,17; Fuente propia.

8.1.2. Irradiancia

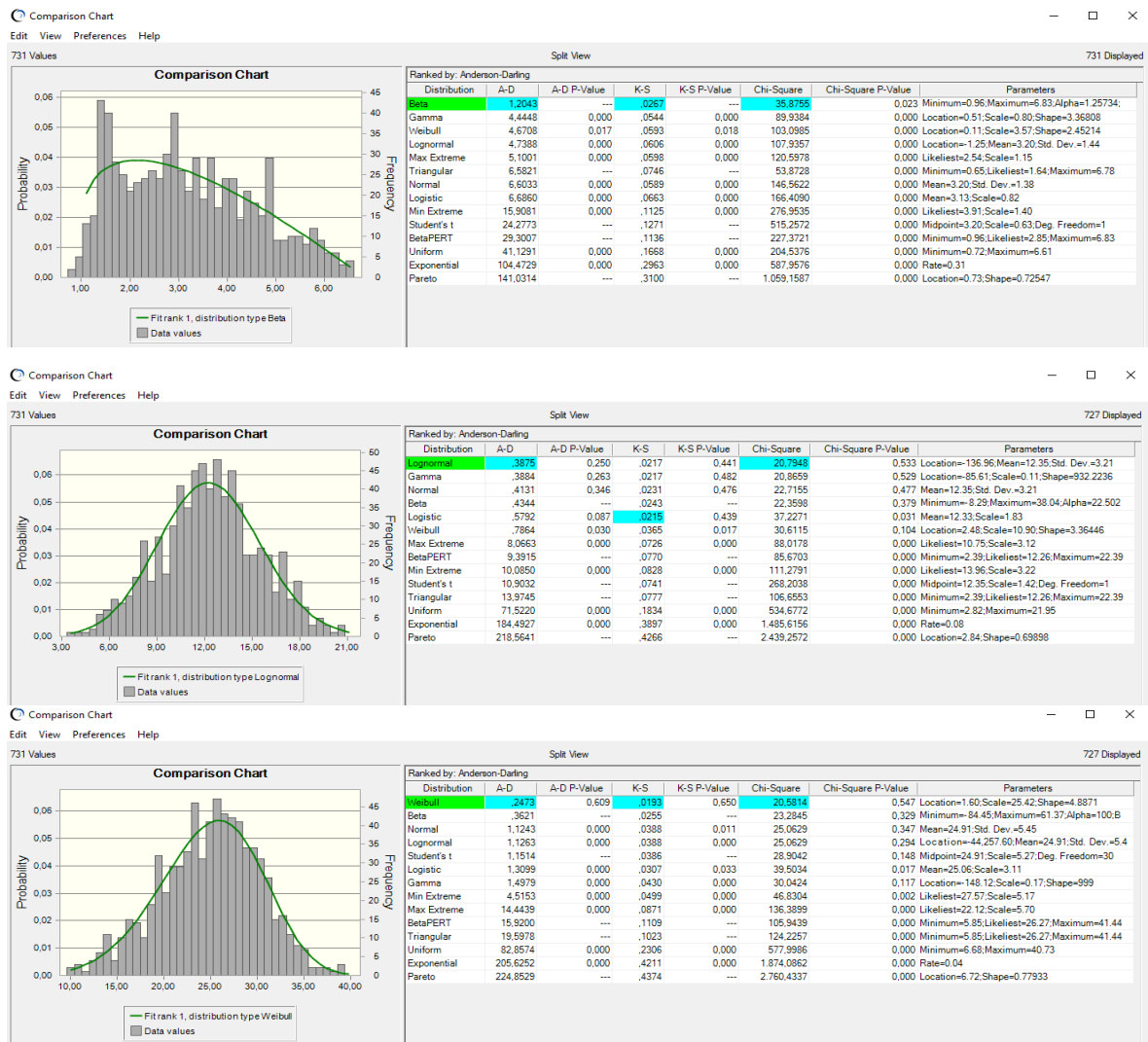


FIGURA 39: Pagina 1 ajuste de probabilidad para irradiancia en la hora 6,7,8; Fuente propia.

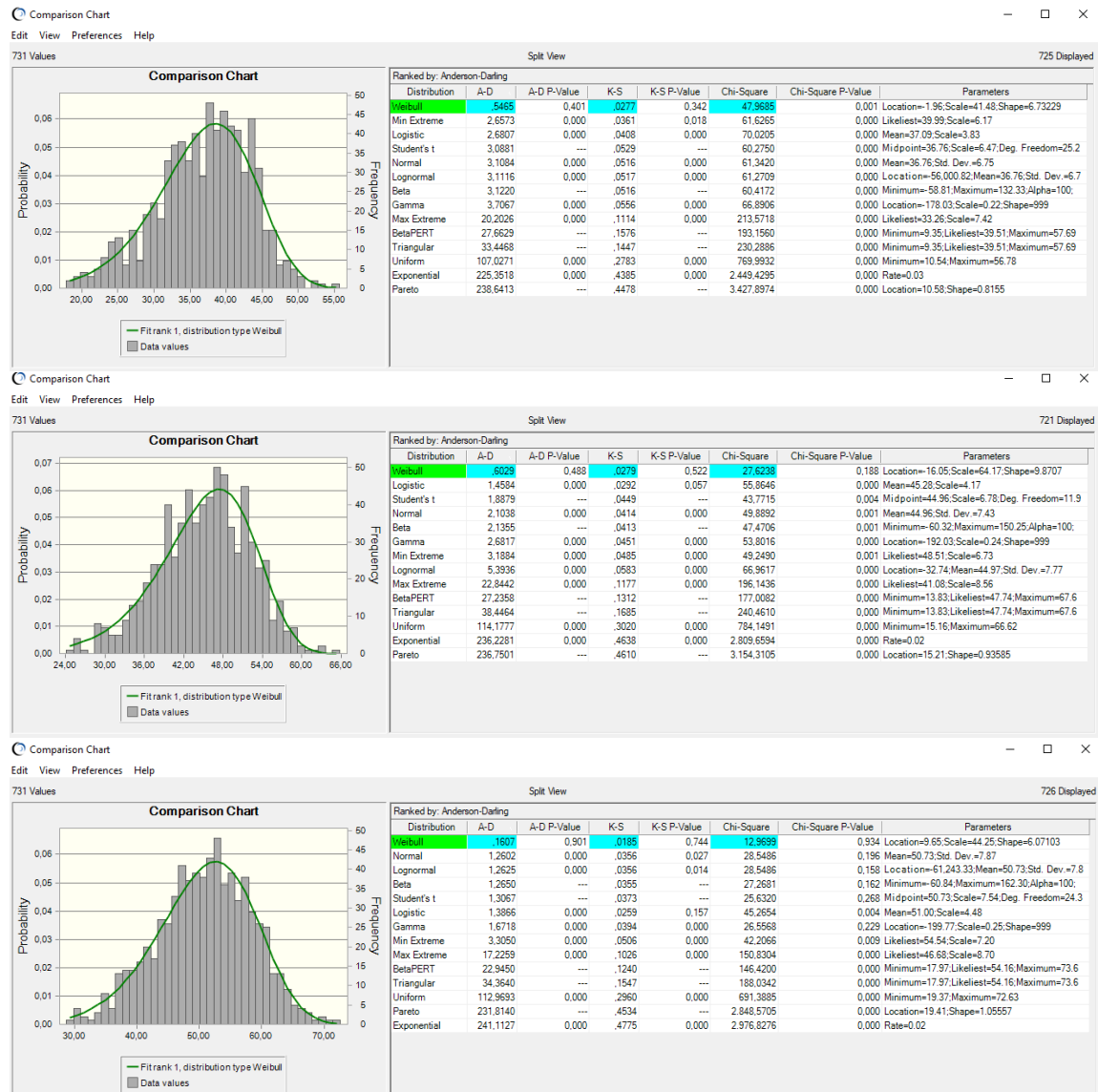


FIGURA 40: Pagina 2 ajuste de probabilidad para irradiancia en la hora 9,10,11; Fuente propia.

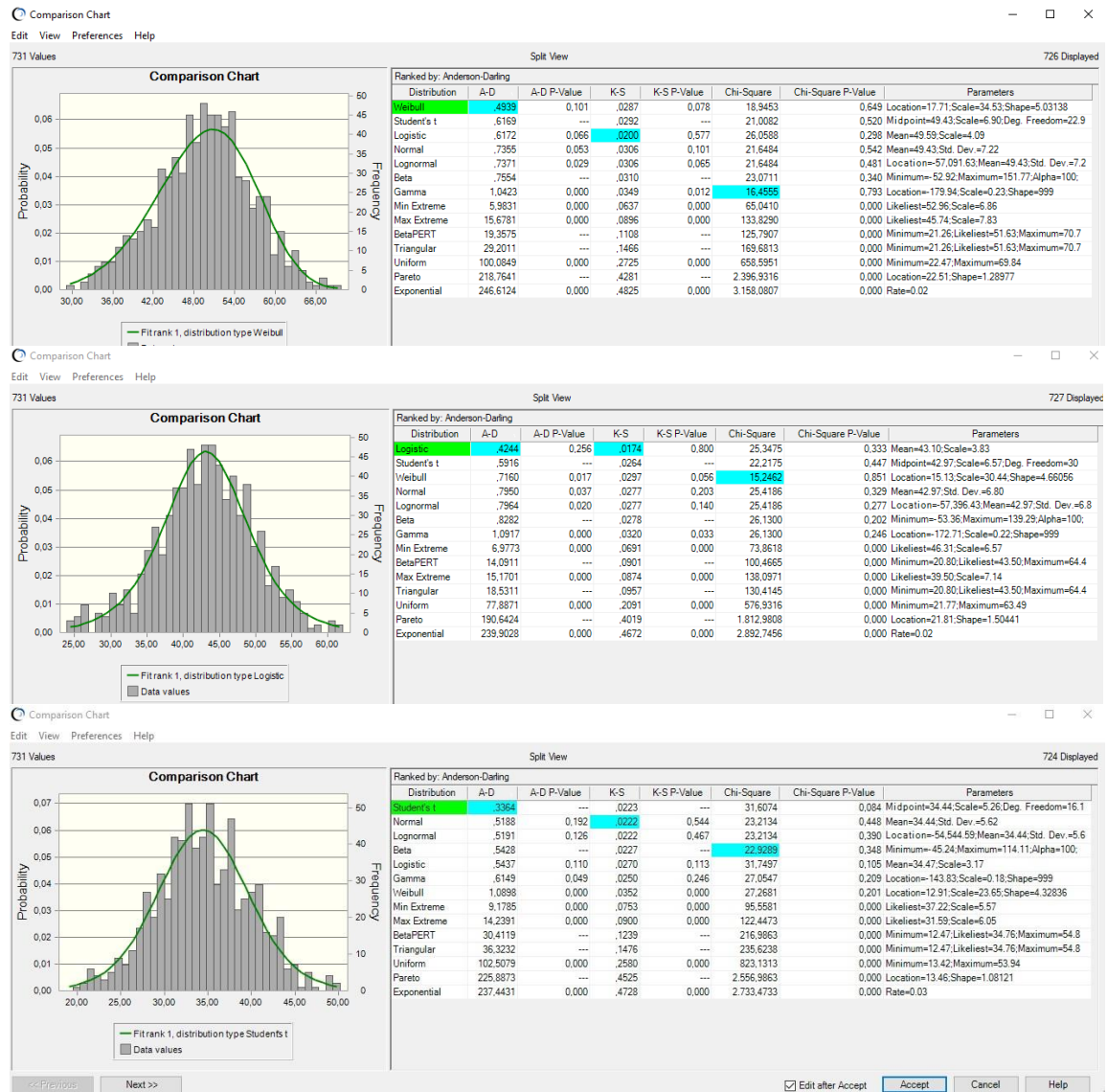


FIGURA 41: Pagina 3 ajuste de probabilidad para irradiancia en la hora 12,13,14; Fuente propia.

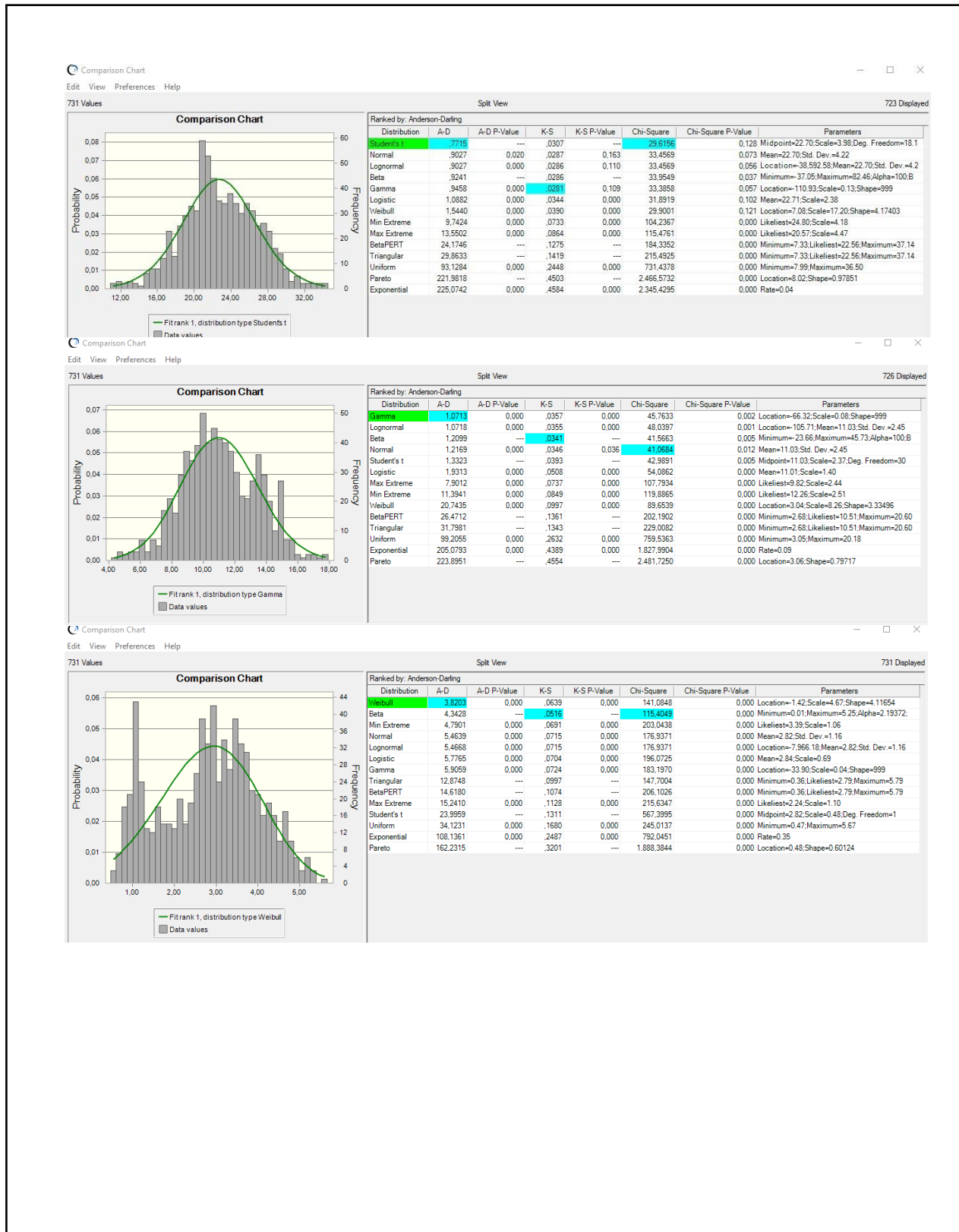


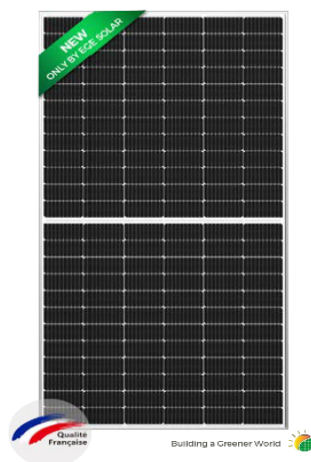
FIGURA 42: Pagina 4 ajuste de probabilidad para irradiancia en la hora 15,16,17; Fuente propia.

8.2. Ficha técnica del panel HELIOS PLUS 425-450W



HELIOS PLUS

425-450 W / 144 Cells / 9 Bus Bars
Monocrystalline Module
EGE-425-450W-144M (M6)



Eco Green Energy's modules are only made of grade A solar cells with a very high efficiency and ensured more than 25 years lifespan.

KEY FEATURES



Reduce the temperature of the solar hot spot above 20 °C and current intensity between each cells, increase of the efficiency and power



Lower temperature coefficient



Lower LCOE (Levelized Cost of Energy), larger size of light receiving area and power



Reduction of the risk of Micro-cracks



Reducing the loss of current mismatch and resistance between each cells



OUTPUT POWER WARRANTY



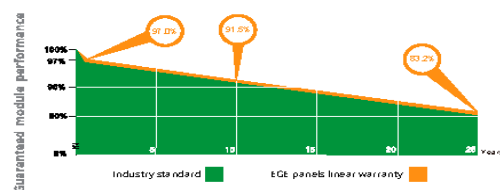
PRODUCT WARRANTY

CERTIFICATES

ISO 9001:2015 / PV CYCLE / CE

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12-Year Product Warranty · 25-Year Linear Power Warranty



Eco Green Energy Group Ltd. 2018. All rights reserved.

FIGURA 43: Ficha Técnica del panel HELIOUS PLUS 450W, tomado de Eco Green Energy

ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	425 W	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W
Power tolerance	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W
Module efficiency	19.4 %	19.7 %	19.9 %	20.1 %	20.4 %	20.6 %
Maximum power voltage (Vmp)	40.40 V	40.60 V	40.80 V	41.00 V	41.20 V	41.40 V
Maximum power current (Imp)	10.52 A	10.60 A	10.67 A	10.74 A	10.81 A	10.87 A
Open circuit voltage (Voc)	49.00 V	49.20 V	49.40 V	49.60 V	49.80 V	50.00 V
Short circuit current (Isc)	11.09 A	11.16 A	11.23 A	11.30 A	11.37 A	11.44 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m² • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

ELECTRICAL DATA AT NMOT*

Power output (Pmax)	316.16 W	320.12 W	323.71 W	327.71 W	331.74 W	335.40 W
Maximum power voltage (Vmp)	38.00 V	38.20 V	38.40 V	38.60 V	38.80 V	39.00 V
Maximum power current (Imp)	8.32 A	8.38 A	8.43 A	8.49 A	8.55 A	8.60 A
Open circuit voltage (Voc)	46.00 V	46.20 V	46.40 V	46.60 V	46.80 V	47.00 V
Short circuit current (Isc)	8.93 A	8.99 A	9.05 A	9.10 A	9.16 A	9.21 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m² • Ambient temperature: 20°C • AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NMOT	41 °C ±3 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.35%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.30%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.05%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-40 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1000V/DC(IEC)/1500V/DC(IEC)
Max series fuse rating	20 A
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline (166x83 mm)
Number of cells	144
Dimensions	2102x1040x35mm
Weight	24.5 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68
Cable	4.0 mm ² , 300/1300mm
Connector	MC4 EVO2 compatible

PACKAGING

Type	Pcs/ Type	Weight
Per Pallet	30 pcs	780 kg
20ft GP Container	296 pcs	7.70 t
40ft GP Container	624 pcs	16.22 t
40ft HQ Container	686 pcs	17.84 t

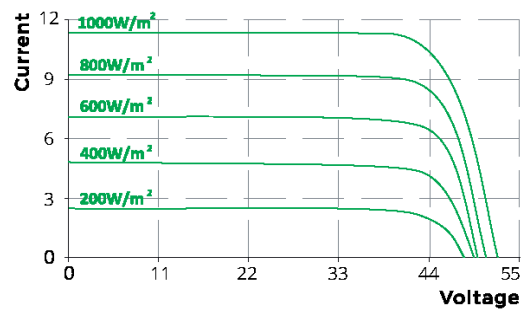
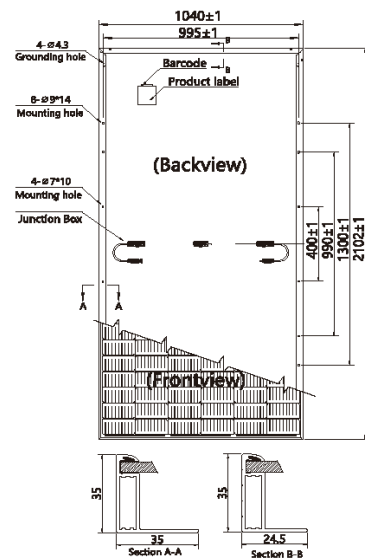
I-V CURVES**ENGINEERING DRAWINGS (mm)**

FIGURA 44: Ficha Técnica del panel HELIOUS PLUS 450W, tomado de Eco Green Energy

8.3. Valor de R_S y R_P del panel fotovoltaico

Block Parameters: PV Array1

Array data

Parallel strings

Series-connected modules per string

Module data

Module:

Maximum Power (W)

Cells per module (Ncell)

Open circuit voltage Voc (V)

Short-circuit current Isc (A)

Voltage at maximum power point Vmp (V)

Current at maximum power point Imp (A)

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)

Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)

Display I-V and P-V characteristics of ...

array @ 1000 W/m2 & specified temperatures

T_cell (deg. C)

Plot

Model parameters

Light-generated current IL (A)

Diode saturation current IO (A)

Diode ideality factor

Shunt resistance Rsh (ohms)

Series resistance Rs (ohms)

OK Cancel Help Apply

FIGURA 45: Calculo de R_S y R_P , Fuente propia.

8.4. Ficha Técnica del electrolizador

nel•

M Series Containerized Proton Exchange Membrane (PEM) Hydrogen Generation Systems

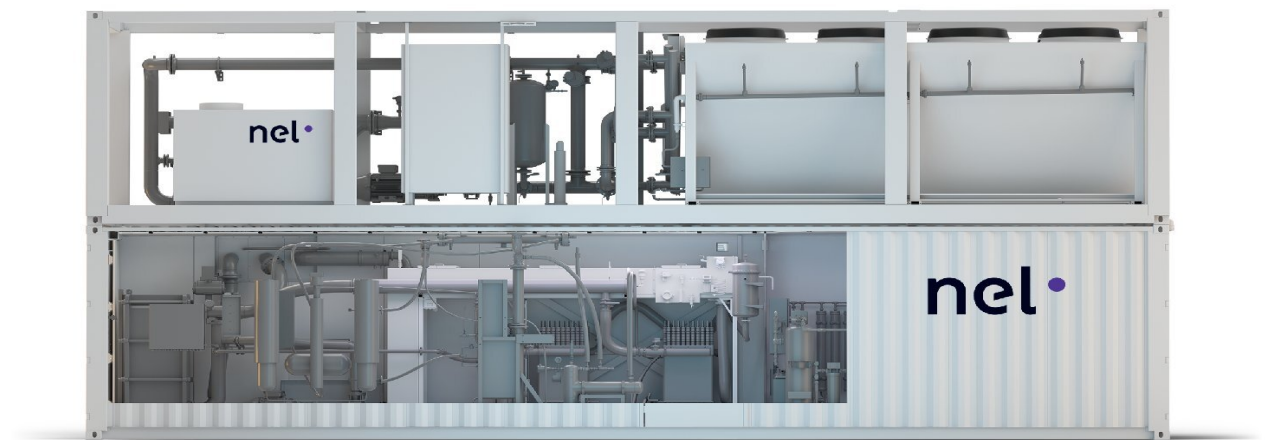


MC250 Power Supply Enclosure, Electrolyser Enclosure
and optional Thermal Control System – installation may vary.

MODEL	MC250	MC500
Class	1.25 MW	2.5 MW
Description	Fully-automated MW-class on-site hydrogen generator utilizing a modular containerized design for ease of installation and integration Tri-mode operation (selectable): • Command mode allows operation based on customer input current command • Load following mode automatically adjusts output to match demand • Tank filling mode operates with power-conservation mode during standby	
Electrolyte	Proton Exchange Membrane (PEM) – caustic-free	
HYDROGEN PRODUCTION		
Net Production Rate Nm ³ /h @ 0° C, 1 bar SCF/h @ 70° F, 1 atm kg/24 h	246 Nm ³ /h 9,352 SCF/h 531 kg/24 h	492 Nm ³ /h 18,704 SCF/h 1,062 kg/24 h
Delivery Pressure – Nominal	30 barg (435 psig); full differential pressure H ₂ over O ₂	
Average Power Consumption at Stack per Volume of H ₂ Gas Produced ¹	4.5 kWh/Nm ³	
Average Power Consumption at Stack per Mass of H ₂ Gas Produced ¹	50.4 kWh/kg	
Purity (concentration of impurities)	99.95% [H ₂ O < 500 ppm, N ₂ < 2 ppm, O ₂ < 1 ppm, all others undetectable]	
Purity (concentration of impurities with optional high purity dryer)	ISO 14687:2019(E) Type I, Type II Grade D and SAE J-2719 Type I Grade L 99.9995% [H ₂ O < 5 ppm, N ₂ < 2 ppm, O ₂ < 1 ppm, all others undetectable]	
Start-up Time (from off state)	< 8 min	
Ramp-up Time (minimum to full load)	< 15 sec	
Ramp Rate (% of full-scale)	≤ 15% per sec	
Production Capacity Dynamic Range	10 to 100%	
POTABLE WATER REQUIREMENTS		
Consumption Rate at Maximum Production	354 l/h (94 gal/h)	708 l/h (187 gal/h)
Temperature	5 to 40°C (41 to 104°F)	
Pressure	3.8 to 4.8 barg	
Input Water Quality	Potable, subject to site water quality analysis	
Water Purification System (included)	Reverse Osmosis/Electrodeionization (RO/EDI)	

FIGURA 46: Ficha Técnica del electrolizador a), tomado de nel.

MODEL		MC250	MC500
ELECTRICAL SPECIFICATIONS			
Electrical Requirements		Typical installation: 6.6 to 35 kV, three phase 50 Hz/60 Hz Low voltage, three phase required for balance of plant and ancillary equipment Uninterruptible low voltage, three phase required for backup heating for freeze protection	
Power Quality (medium voltage)		Total harmonic distortion: < 5%, power factor: > 0.9 at normal power	
PHYSICAL CHARACTERISTICS			
Dimensions W x D x H	Power Supply Enclosure	6.1 m x 2.5 m x 2.6 m (20 ft x 8 ft x 8.5 ft)	12.2 m x 2.5 m x 3 m (40 ft x 8 ft x 9.9 ft)
	Electrolyser Enclosure ²	12.2 m x 2.5 m x 3 m (40 ft x 8 ft x 9.9 ft)	12.2 m x 2.5 m x 3 m (40 ft x 8 ft x 9.9 ft)
Weight	Power Supply Enclosure	18,000 kg (39,700 lbs)	24,000 kg (53,000 lbs)
	Electrolyser Enclosure	17,300 kg (38,000 lbs)	18,600 kg (41,000 lbs)
ENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS – DO NOT FREEZE			
Standard Siting Location		Outdoor, pad mounted Flatness 35/25 per ACI-117-10 Bottom access for AC and DC electrical connections, water and drains	
Storage/Transport Temperature		5 to 60°C (41 to 140°F)	
Ambient Temperature		-20 to 40°C (-4 to 104°F)	
Altitude Range – Sea Level		1,000 m (3,281 ft)	
OPTIONS			
• Medium voltage input 4.16 to 6.6 kV		• Thermal Control System	• High purity hydrogen dryer with dew point meter



Side cutaway view of MC500 Electrolyser Enclosure and optional Thermal Control System – installation may vary.

nel •

Specifications are subject to change. Please contact Nel Hydrogen for solutions to best fit your needs.

¹ Dependent on configuration and operating conditions.

² Plus vent, ground mounted HVAC and rooftop equipment, site specific.

www.nelhydrogen.com | +1.203.949.8697 | info@nelhydrogen.com

Made in the USA

© 2021 Nel ASA. All rights reserved. Nel and the Nel logo are trademarks of Nel ASA.



PD-0600-0136 Rev E

FIGURA 47: Ficha Técnica del electrolizador b), tomado de nel.

8.5. Código Pronóstico de temperatura e irradiancia

```
clc
clear
close all
```

Pronosticos temperatura e irradiancia

```
%Extraer los datos del archivo csv de Temperatura e irradiancia
opts = detectImportOptions('Temperatura_Irradiancia_Bogota.csv');

opts.SelectedVariableNames = 4:6;
datos = readmatrix('Temperatura_Irradiancia_Bogota.csv',opts);

[hora, index] = sort(datos(:,1), 'ascend');

for i = 1:length(index)
    irradiancia(i,:) = datos(index(i),2);
    temperatura(i,:) = datos(index(i),3);
end

datos_ordeandos = table(hora,irradiancia,temperatura);

h = 1;
for i = 1:24
    j = 1;
    while datos_ordeandos.hora(h) == i-1
        irradiancia_x_hora(j,i) = datos_ordeandos.irradiancia(h);
        temperatura_x_hora(j,i) = datos_ordeandos.temperatura(h);
        j = j+1;
        h=h+1;
        if h >= 17545
            break;
        end
    end
end

for i = 1:24
    n = length(temperatura_x_hora);
    %Temperatura
    Datos_probabilidad_temperatura(1,i) = mean(temperatura_x_hora(:,i)); %%Media
    Datos_probabilidad_temperatura(2,i) = std(temperatura_x_hora(:,i)); %%Desviacion estandar
    Datos_probabilidad_temperatura(3,i) = min(temperatura_x_hora(:,i)); %%Minimo
    Datos_probabilidad_temperatura(4,i) = max(temperatura_x_hora(:,i)); %%Maximo
    Datos_probabilidad_temperatura(5,i) = Datos_probabilidad_temperatura(4,i) - ...
        Datos_probabilidad_temperatura(3,i); %%Rango
    Datos_probabilidad_temperatura(6,i) = sqrt(n); %%Numero de intervalos
    Datos_probabilidad_temperatura(7,i) = Datos_probabilidad_temperatura(5,i)/...
        Datos_probabilidad_temperatura(6,i); %%Ancho de la clase
    Datos_probabilidad_temperatura(8,i) = median(temperatura_x_hora(:,i)); %%Mediana
```

FIGURA 48: Pagina 1 código pronóstico de temperatura e irradiancia, Fuente propia.

```

Datos_probabilidad_temperatura(9,i) = kurtosis(temperatura_x_hora(:,i));%curtosis
Datos_probabilidad_temperatura(10,i) = mode(temperatura_x_hora(:,i));%Moda
Datos_probabilidad_temperatura(11,i) = skewness(temperatura_x_hora(:,i));%Asimteria
%Irrrandiancia
Datos_probabilidad_irradiancia(1,i) = mean(irradiancia_x_hora(:,i));%Media
Datos_probabilidad_irradiancia(2,i) = std(irradiancia_x_hora(:,i)); %%Desviacion estandar
Datos_probabilidad_irradiancia(3,i) = min(irradiancia_x_hora(:,i));%%Minimo
Datos_probabilidad_irradiancia(4,i) = max(irradiancia_x_hora(:,i));%%Maximo
Datos_probabilidad_irradiancia(5,i) = Datos_probabilidad_irradiancia(4,i) - ...
    Datos_probabilidad_irradiancia(3,i); %%Rango
Datos_probabilidad_irradiancia(6,i) = sqrt(n); %%Numero de intervalos
Datos_probabilidad_irradiancia(7,i) = Datos_probabilidad_irradiancia(5,i)/...
    Datos_probabilidad_irradiancia(6,i);%%Ancho de la clase
Datos_probabilidad_irradiancia(8,i) = median(irradiancia_x_hora(:,i));%Mediana
Datos_probabilidad_irradiancia(9,i) = kurtosis(irradiancia_x_hora(:,i));%curtosis
Datos_probabilidad_irradiancia(10,i) = mode(irradiancia_x_hora(:,i));%Moda
Datos_probabilidad_irradiancia(11,i) = skewness(irradiancia_x_hora(:,i));%Asimteria
end

```

Prueba Anderson-Darling para encontrar la mejor distribucion en los datos

```

distribuciones = ["norm" "exp" "ev" "logn" "weibull"];
sz = [115 4];
sz2 = [60 4];
vartypes = ["int8","int8","double","string"];
varNames = ["Hora","h","p","Distribucion"];

% dCrear la tabla para temperatura e irradiancia
result_distribucion_temperatura = table('Size',sz,'VariableTypes',vartypes,...
    'VariableNames',varNames);
result_distribucion_irradiancia = table('Size',sz2,'VariableTypes',vartypes,...
    'VariableNames',varNames);

distribucion_por_hora_temperatura = table('Size',[24 2],'VariableTypes',...
    ["int8" "string"],'VariableNames',["Hora" "Distribucion"]);
distribucion_por_hora_irradiancia = table('Size',[24 2],'VariableTypes',...
    ["int8" "string"],'VariableNames',["Hora" "Distribucion"]);

cont_t = 1;
cont_i = 1;
for i = 1:24
    for d = 1:length(distribuciones)
        %Temperatura
        [ht,pt] = adtest(temperatura_x_hora(:,i),'Distribution',distribuciones(d));
        result_distribucion_temperatura.Hora(cont_t) = i-1;
        result_distribucion_temperatura.h(cont_t) = ht;
        result_distribucion_temperatura.p(cont_t) = pt;
        result_distribucion_temperatura.Distribucion(cont_t) = distribuciones(d);
        if i >= 7 && i <= 18
            %Irrradiancia

```

FIGURA 49: Pagina 2 código pronóstico de temperatura e irradiancia, Fuente propia.

```

        [hi,pi] = adtest(irradiancia_x_hora(:,i),'Distribution',distribuciones(d));
        result_distribucion_irradiancia.Hora(cont_i) = i-1;
        result_distribucion_irradiancia.h(cont_i) = hi;
        result_distribucion_irradiancia.p(cont_i) = pi;
        result_distribucion_irradiancia.Distribucion(cont_i) = distribuciones(d);
        cont_i = cont_i + 1;
    end
    cont_t = cont_t + 1;
end

% %Temperatura
max_p = max(result_distribucion_temperatura.p(result_distribucion_temperatura.Hora...
    == i-1 & result_distribucion_temperatura.h == 0));
if length(max_p) == 1
    distribucion_t = result_distribucion_temperatura.Distribucion(...
        result_distribucion_temperatura.Hora == i-1 & result_distribucion_temperatura.p...
        == max_p);
    distribucion_por_hora_temperatura.Hora(i) = i-1;
    distribucion_por_hora_temperatura.Distribucion(i) = distribucion_t;
else
    distribucion_por_hora_temperatura.Hora(i) = i-1;
    distribucion_por_hora_temperatura.Distribucion(i) = 'No aplica';
end

% %Irradiancia
if i >= 7 && i <=18
    max_p = max(result_distribucion_irradiancia.p(...
        result_distribucion_irradiancia.Hora == i-1 & ...
        result_distribucion_irradiancia.h == 0));
    if length(max_p) == 1
        distribucion_i = result_distribucion_irradiancia.Distribucion(...
            result_distribucion_irradiancia.Hora == i-1 & ...
            result_distribucion_irradiancia.p == max_p);
        distribucion_por_hora_irradiancia.Hora(i) = i-1;
        distribucion_por_hora_irradiancia.Distribucion(i) = distribucion_i;
    else
        distribucion_por_hora_irradiancia.Hora(i) = i-1;
        distribucion_por_hora_irradiancia.Distribucion(i) = 'No aplica';
    end
else
    distribucion_por_hora_irradiancia.Hora(i) = i-1;
    distribucion_por_hora_irradiancia.Distribucion(i) = 'No se tiene en cuenta';
end
end

%%https://la.mathworks.com/help/stats/lognrnd.html?searchHighlight=lognrnd&s_tid=...
% srchtitle_lognrnd_1

% %%Histograma

```

FIGURA 50: Pagina 3 código pronóstico de temperatura e irradiancia, Fuente propia.

```

% n = length(irradiancia_x_hora(:,7));
% Des_estandar = std(irradiancia_x_hora(:,7));
% binWidth = 3.5*Des_estandar*(n^(-1/3));
%
%
% figure(1)
% binWidth = at;
% lastVal = ceil(max(irradiancia_x_hora(:,7)));
% binEdges = 0:binWidth:lastVal+1;
% h = histogram(irradiancia_x_hora(:,7),binEdges);
% xlabel('Rango irradiancia');
% ylabel('Frequency');
% % xlim([11.5 19])
% % ylim([0 80])
%
% counts = histcounts(irradiancia_x_hora(:,7),binEdges);
% binCtrs = binEdges(1:end-1) + binWidth/2;
% h.FaceColor = [.9 .9 .9];
% hold on
% plot(binCtrs,counts,'o');
% hold off
%
% figure(2)
% pd = fitdist(transpose(irradiancia_x_hora_norm(7,:)),'Beta');
% h = histogram(irradiancia_x_hora(:,7),binEdges,'Normalization','pdf','FaceColor',...
% [.9 .9 .9]);
% xlabel('irradiancia');
% ylabel('Probability Density');
% % ylim([0 1]);
% % xlim([11.5 19])
% xgrid = linspace(0,7,1000)';
% pdfEst = pdf(pd,xgrid);
% line(xgrid,pdfEst)

```

FIGURA 51: Pagina 4 código de pronóstico de temperatura e irradiancia, Fuente propia.

8.6. Código de generación de números aleatorios

Números aleatorios para temperatura e irradiancia

```
N = [10000,1];
nombres_columnas = ["Hora 6" "Hora 7" "Hora 8" "Hora 9" "Hora 10" "Hora 11" ...
    "Hora 12" "Hora 13" "Hora 14" "Hora 15" "Hora 16" "Hora 17"];
Distribuciones = table('Size',[12 2], 'VariableTypes',["string","string"],...
    'VariableNames', ["Irradiancia","Temperatura"], 'RowNames',nombres_columnas);
Distribuciones.Irradiancia = ["Beta","LogNormal","Weibull"; "Weibull"; "Weibull"; ...
    "Weibull";"Weibull"; "Logistic"; "Student"; "Student";"Gamma"; "Weibull"];
Distribuciones.Temperatura = ["Weibull";"Normal";"Beta";"Extremo Valor";...
    "Extremo Valor";"Extremo Valor";"Beta";"Beta";"Beta";"Beta";"Beta";"Beta"];
Dato_probable_hora = table('Size',[12 2], 'VariableTypes',["string","string"],...
    'VariableNames',["Irradiancia (W/m^2)", "Temperatura (°C)"], 'RowNames',...
    nombres_columnas);
N_Aleatorios_Irradiancia = table('Size',[10000 12], 'VariableNames',...
    nombres_columnas, 'VariableTypes', repmat({'double'},1,12));
N_Aleatorios_Temperatura = table('Size',[10000 12], 'VariableNames',...
    nombres_columnas, 'VariableTypes', repmat({'double'},1,12));
```

Irradiancia

Distribucion Beta

- Hora 6

```
% N_Aleatorios_Irradiancia_Hora_6 = betarnd(1.2573,2.03581,10000,1);
% N_Aleatorios_Irradiancia.("Hora 6") = ((N_Aleatorios_Irradiancia_Hora_6 - 0) / ...
% (1 - 0)) * (max(irradiancia_x_hora(:,7)) - min(irradiancia_x_hora(:,7))) + ...
% min(irradiancia_x_hora(:,7));
N_Aleatorios_Irradiancia.("Hora 6") = betarnd(1.2573,2.03581,10000,1);
```

Distribución lognormal

- Hora 7

```
m = mean(irradiancia_x_hora(:,8));
s = std(irradiancia_x_hora(:,8));
mu = log((m^2)/sqrt(s+m^2));
sigma = sqrt(log(s/(m^2)+1));
N_Aleatorios_Irradiancia.("Hora 7") = lognrnd(mu,sigma,10000,1);
```

Distribucion Weibull

- Hora 8

```
N_Aleatorios_Irradiancia.("Hora 8") = wblrnd(25.42,4.8871,10000,1);
```

FIGURA 52: Pagina 1 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

- Hora 9

```
N_Aleatorios_Irradiancia("Hora 9") = wblrnd(41.48,6.73229,10000,1);
```

- Hora 10

```
N_Aleatorios_Irradiancia("Hora 10") = wblrnd(64.17,9.8707,10000,1);
```

- Hora 11

```
N_Aleatorios_Irradiancia("Hora 11") = wblrnd(44.25,6.07103,10000,1);
```

- Hora 12

```
N_Aleatorios_Irradiancia("Hora 12") = wblrnd(34.53,5.03138,10000,1);
```

- Hora 17

```
N_Aleatorios_Irradiancia("Hora 17") = wblrnd(4.67,4.11654,10000,1);
```

Distribucion Logistica

- Hora 13

```
pd = makedist("Logistic","mu",43.10,"sigma",3.83);
N_Aleatorios_Irradiancia("Hora 13") = random(pd,[10000,1]);
```

Distribucion Student's

- Hora 14

```
pd = makedist("tLocationScale","mu",34.44,"sigma",5.26,"nu",16.17433);
N_Aleatorios_Irradiancia("Hora 14") = random(pd,[10000,1]);
```

- Hora 15

```
pd = makedist("tLocationScale","mu",22.7,"sigma",3.98,"nu",18.16761);
N_Aleatorios_Irradiancia("Hora 15") = random(pd,[10000,1]);
```

Distribucion Gamma

- Hora 16

```
%Alpha y beta se determinan con la funcion gamfit
a = gamfit(irradiancia_x_hora(:,17));
N_Aleatorios_Irradiancia("Hora 16") = gamrnd(a(1),a(2),[10000,1]);
```

FIGURA 53: Pagina 2 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

Temperatura

Distribucion weibull

- Hora 6

```
N_Aleatorios_Temperatura.("Hora 6") = wblrnd(11.54,13.64493,N);
```

Distribucion Normal

- Hora 7

```
N_Aleatorios_Temperatura.("Hora 7") = normrnd(17.81,0.85,N);
```

Distribucion Beta

- Hora 8

```
N_Aleatorios_Temperatura.("Hora 8") = betarnd(9.30497,4.47,N);
```

- Hora 12

```
N_Aleatorios_Temperatura.("Hora 12") = betarnd(9.4829,3,N);
```

- Hora 13

```
N_Aleatorios_Temperatura.("Hora 13") = betarnd(9.1306,4.6,N);
```

- Hora14

```
N_Aleatorios_Temperatura.("Hora 14") = betarnd(7.56935,4.62,N);
```

- Hora 15

```
N_Aleatorios_Temperatura.("Hora 15") = betarnd(6.96912,4.83,N);
```

- Hora 16

```
N_Aleatorios_Temperatura.("Hora 16") = betarnd(6.8837,5.1,N);
```

- Hora 17

```
N_Aleatorios_Temperatura.("Hora 17") = betarnd(7.8157,5.6,N);
```

FIGURA 54: Pagina 3 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

Distribucion Extremo Valor

- Hora 9

```
N_Aleatorios_Temperatura("Hora 9") = evrnd(22.19,1.05,N);
```

- Hora 10

```
N_Aleatorios_Temperatura("Hora 10") = evrnd(23.57,1.13,N);
```

- Hora 11

```
N_Aleatorios_Temperatura("Hora 11") = evrnd(24.5,1.2,N);
```

Histograma Irradiancia

```
n = 10000;

for i = 6:17

    dist_i = Distribuciones.Irradiancia(i-5);
    Hora = strcat("Hora ",num2str(i));
    Des_estandar = std(N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora));
    binWidth = 3.5*Des_estandar*(n^(-1/3));
    switch dist_i
        case "Beta"
            data = N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora);
            pd = fitdist(data,'Beta');
            N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora) = ((N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora) - 0) ...
            / (1 - 0)) * (max(irradiancia_x_hora(:,i+1)) - min(irradiancia_x_hora(:,i+1))) ...
            + min(irradiancia_x_hora(:,i+1));
        case "LogNormal"
            data = N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora);
            pd = fitdist(data,'Lognormal');
        case "Weibull"
            data = N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora);
            pd = fitdist(data,'Weibull');
        case "Logistic"
            data = N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora);
            pd = fitdist(data,'Logistic');
        case "Student"
            data = N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora);
            pd = fitdist(data,'tLocationScale');
        case "Gamma"
            data = N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora);
            pd = fitdist(data,'Gamma');
    end
```

FIGURA 55: Pagina 4 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

```

lastVal = ceil(max(data));
binEdges = 0:binWidth:lastVal+1;
figure(i)
h = histogram(data,binEdges,'Normalization','pdf','FaceColor',[.9 .9 .9]);
title("Irradiancia hora "+ i);
xlabel('Irradiancia (W/m^2)');
ylabel('Densidad de probabilidad');
xgrid= linspace(0,lastVal+1,100000);
pdfEst = pdf(pd,xgrid);
line(xgrid,pdfEst)

Dato_probable_hora("Irradiancia (W/m^2)")(i-5) = mode(N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora));
desviacion_estandar_irradiacion(i-5,1) = i;
desviacion_estandar_irradiacion(i-5,2) = std(N_Aleatorios_Irradiancia.(Hora));
end

```

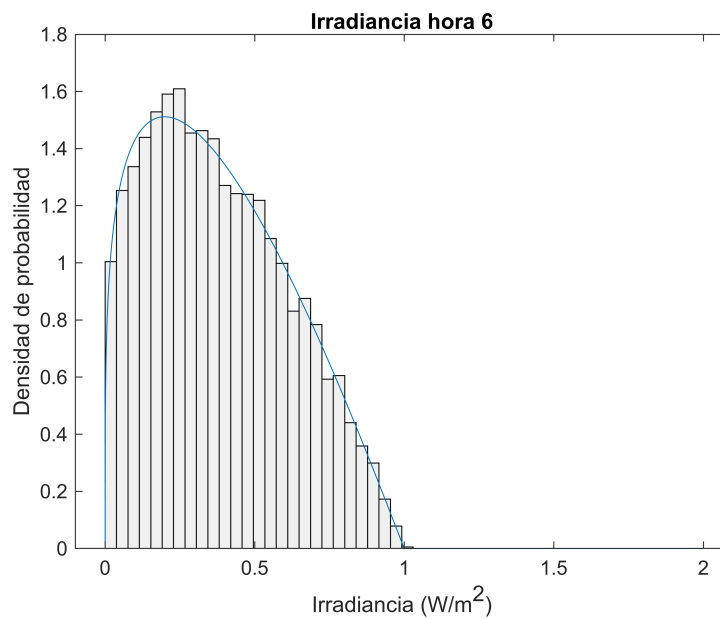


FIGURA 56: Pagina 5 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

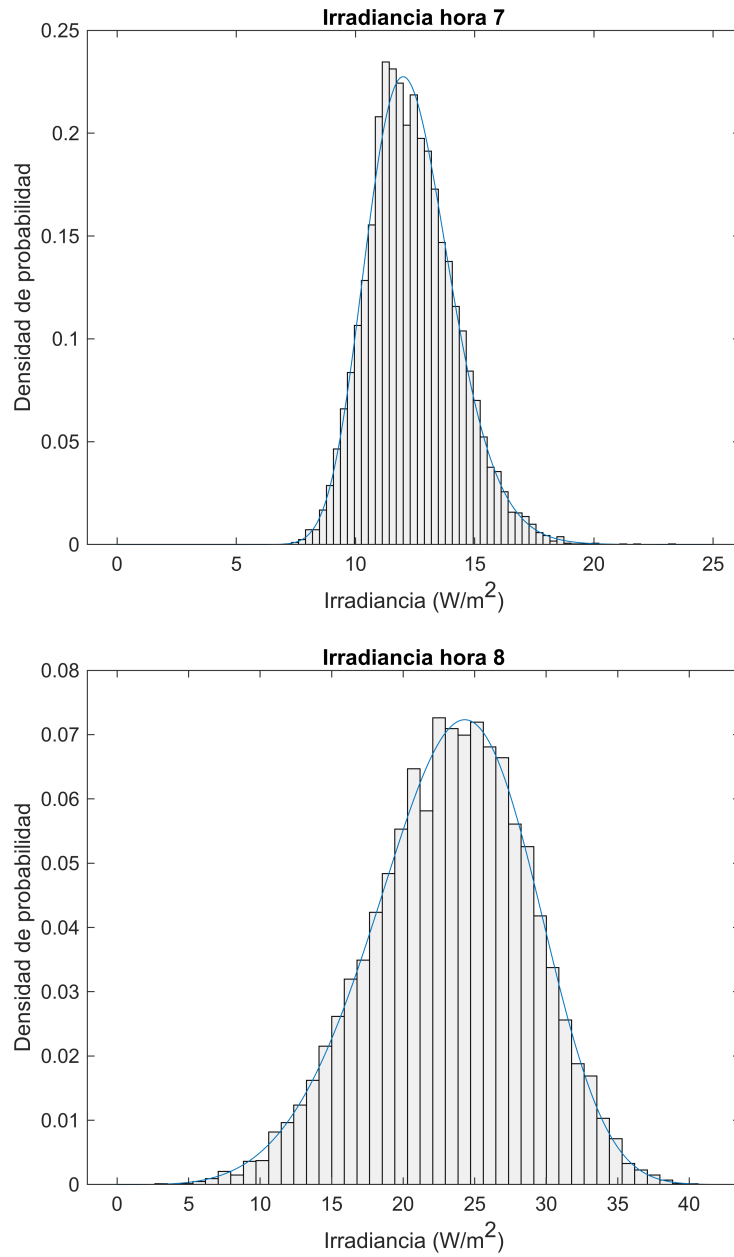


FIGURA 57: Pagina 6 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

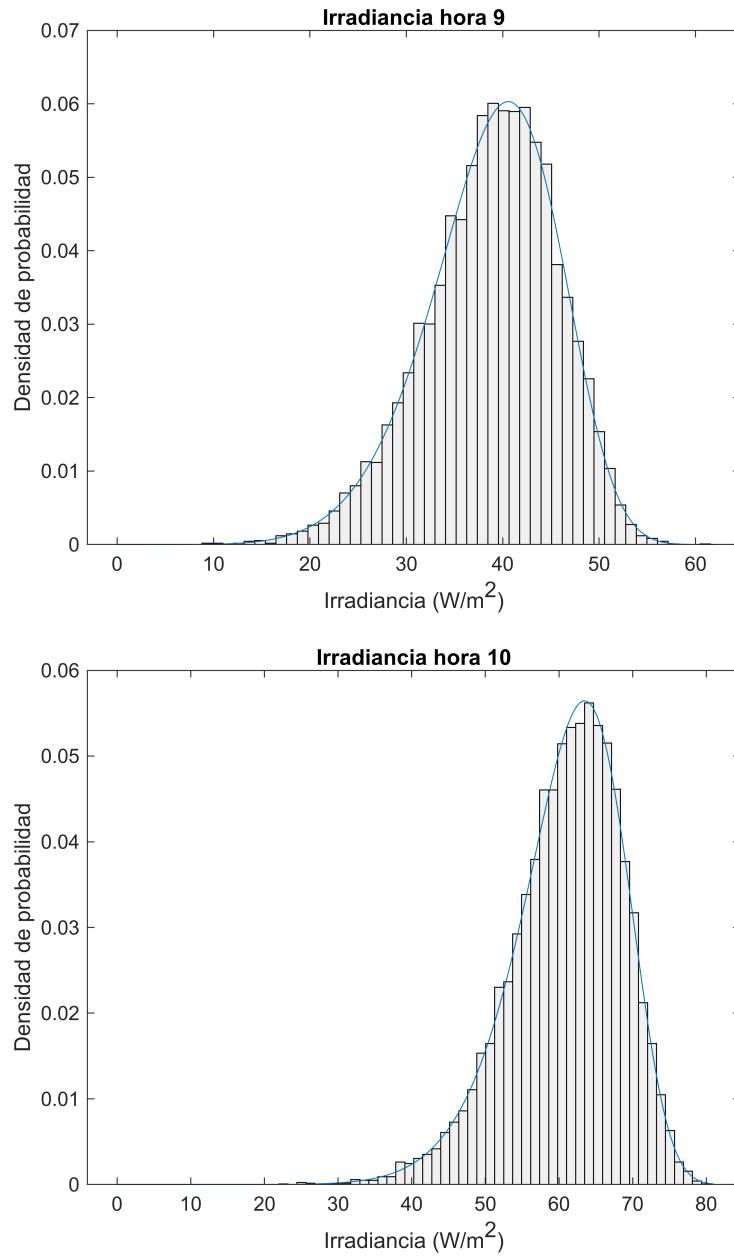


FIGURA 58: Pagina 7 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

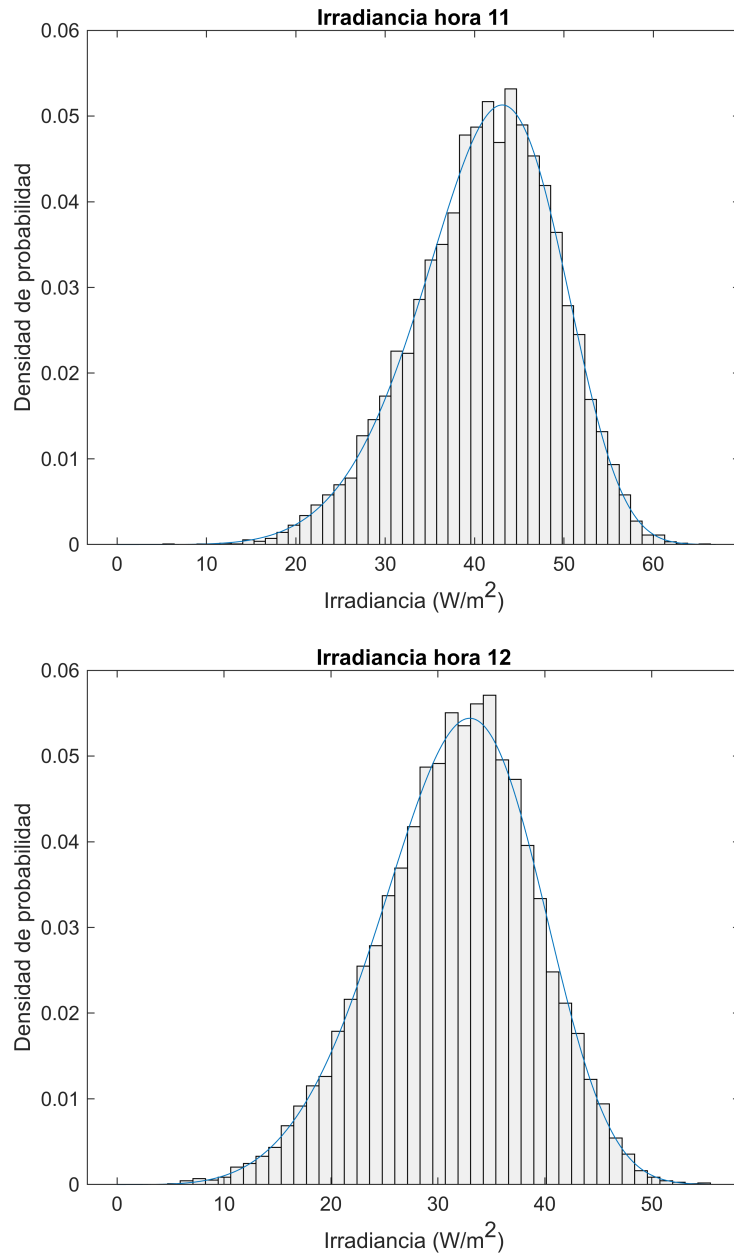


FIGURA 59: Pagina 8 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

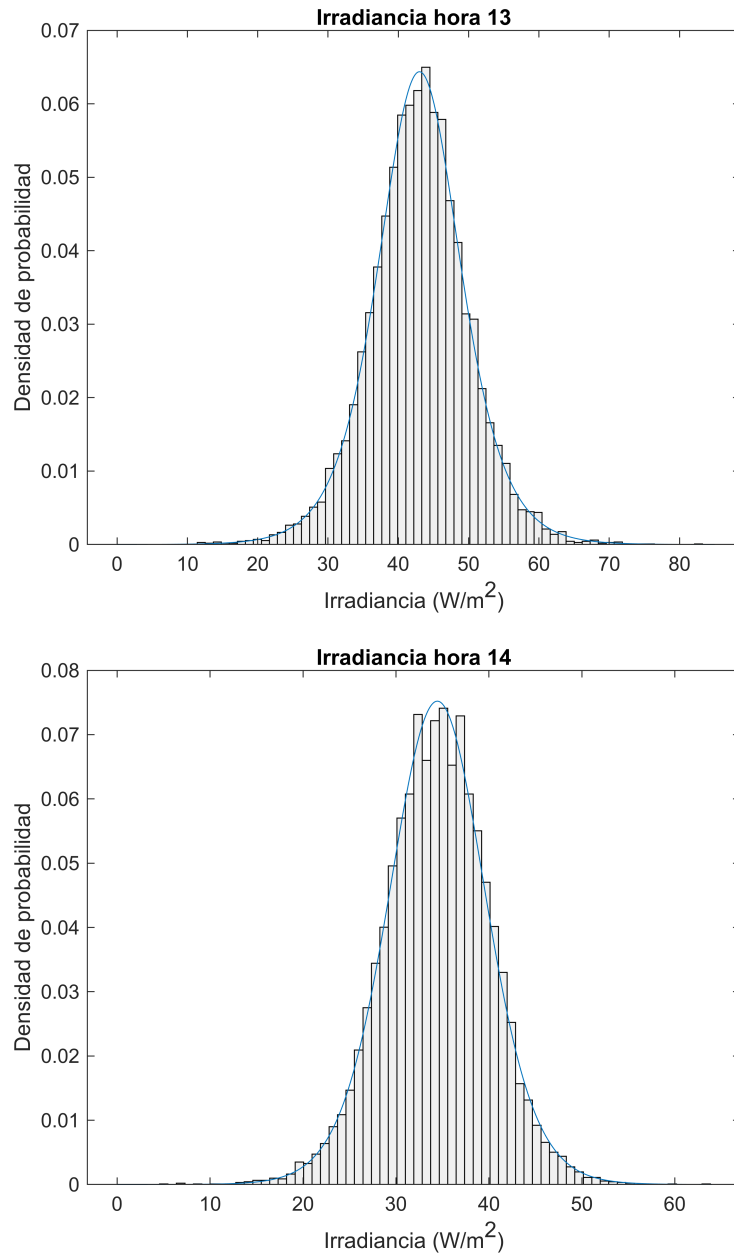


FIGURA 60: Pagina 9 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

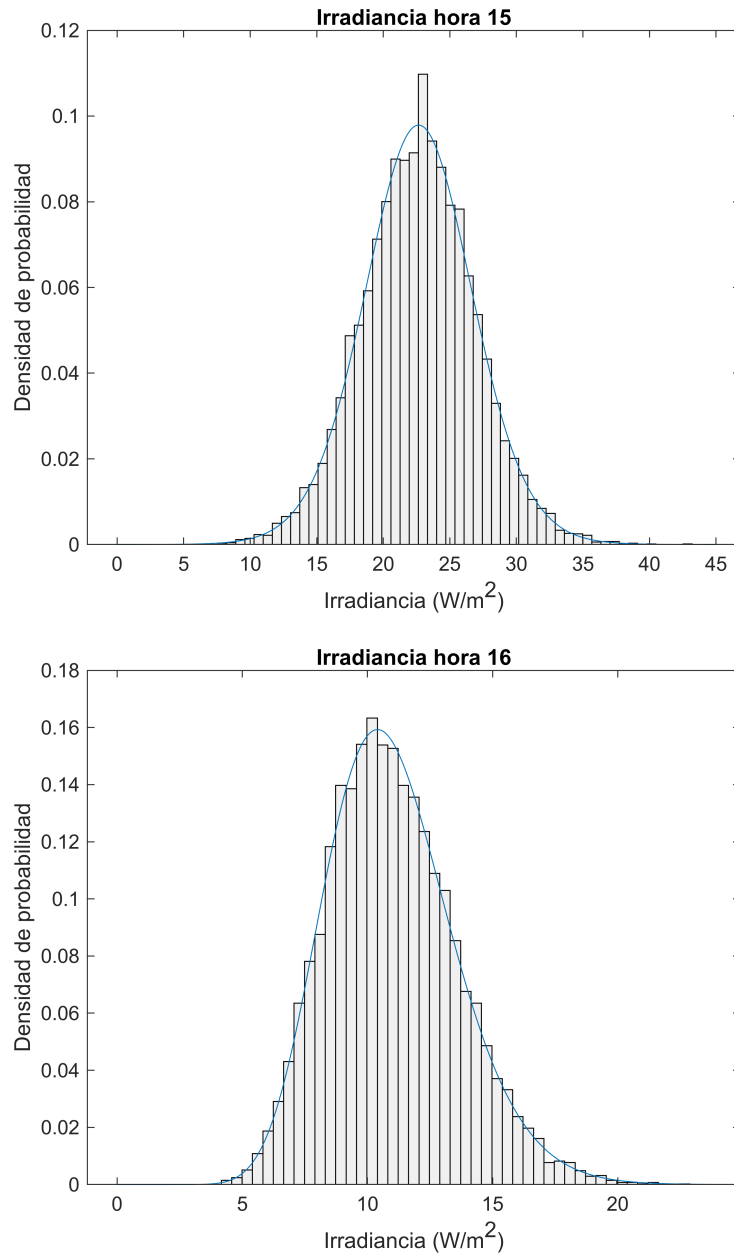
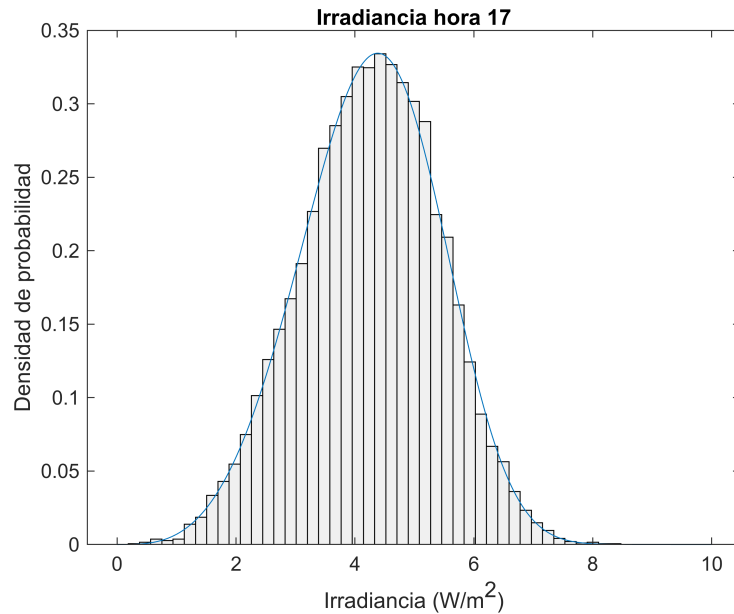


FIGURA 61: Pagina 10 código generación de números aleatorios, Fuente propia.



Histograma Temperatura

```
n = 10000;

for i = 6:17

    dist_i = Distribuciones.Temperatura(i-5);
    Hora = strcat("Hora ",num2str(i));
    Des_estandar = std(N_Aleatorios_Temperatura.(Hora));
    binWidth = 3.5*Des_estandar*(n^(-1/3));
    switch dist_i
        case "Beta"
            data = N_Aleatorios_Temperatura.(Hora);
            pd = fitdist(data,'Beta');
            N_Aleatorios_Temperatura.(Hora) = ((N_Aleatorios_Temperatura.(Hora) - 0)...
            / (1 - 0)) * (max(temperatura_x_hora(:,i+1)) - ...
            min(temperatura_x_hora(:,i+1))) + min(temperatura_x_hora(:,i+1));
        case "Weibull"
            data = N_Aleatorios_Temperatura.(Hora);
            pd = fitdist(data,'Weibull');
        case "Normal"
            data = N_Aleatorios_Temperatura.(Hora);
            pd = fitdist(data,'Normal');
        case 'Extremo Valor'
            data = N_Aleatorios_Temperatura.(Hora);
            pd = fitdist(data,'ExtremeValue');
```

FIGURA 62: Pagina 11 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

```

end

lastVal = ceil(max(N_Aleatorios_Temperatura.(Hora)));
binEdges = 0:binWidth:lastVal+1;
figure(i)
h = histogram(data,binEdges,'Normalization','pdf','FaceColor',[.9 .9 .9]);
title("Temperatura hora "+ i);
xlabel('Temperatura (°C)');
ylabel('Densidad de probabilidad');
xgrid= linspace(0,lastVal+1,100000);
pdfEst = pdf(pd,xgrid);
line(xgrid,pdfEst)
frecuencias = h.Values;
max_frecuencia = max(frecuencias);
rango_con_mayor_frecuencia = h.BinEdges(frecuencias == max_frecuencia);
Dato_probable_hora("Temperatura (°C)")(i-5) = rango_con_mayor_frecuencia;
% desviacion_estandar_temperatura(i-5,1) = i;
% desviacion_estandar_temperatura(i-5,2) = std(N_Aleatorios_Temperatura.(Hora));
end

```

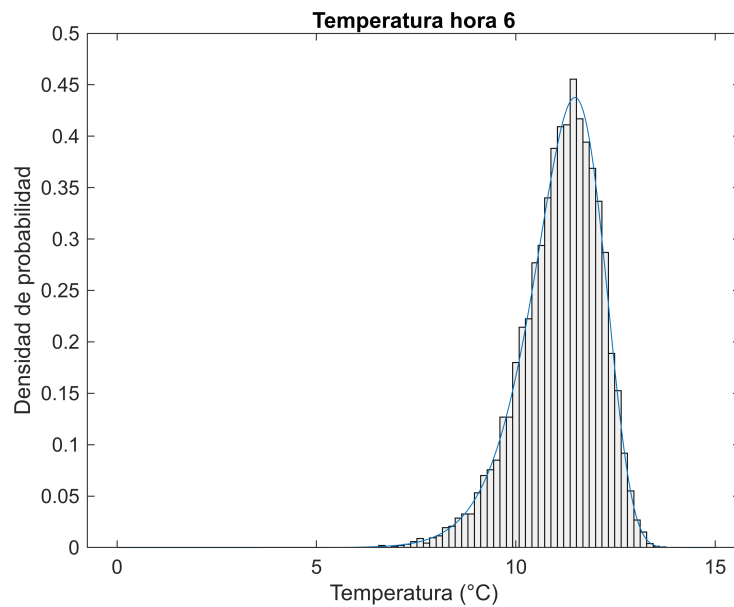


FIGURA 63: Pagina 12 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

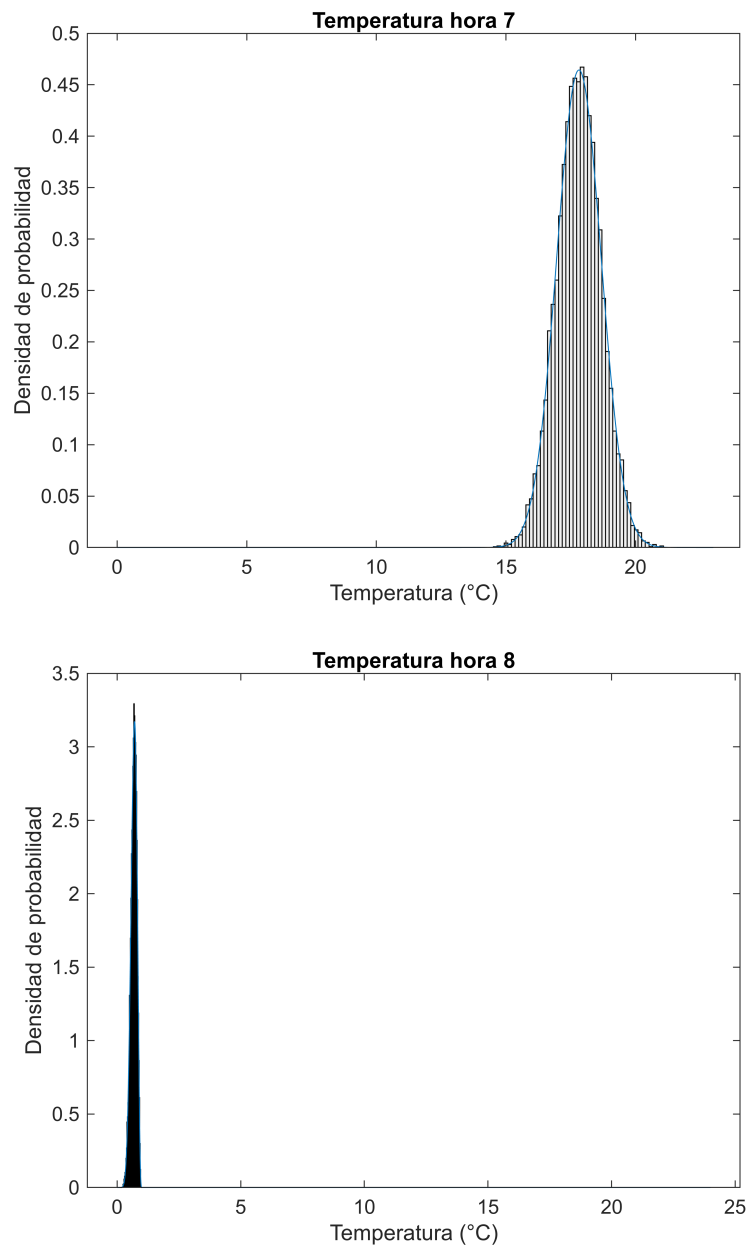


FIGURA 64: Pagina 13 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

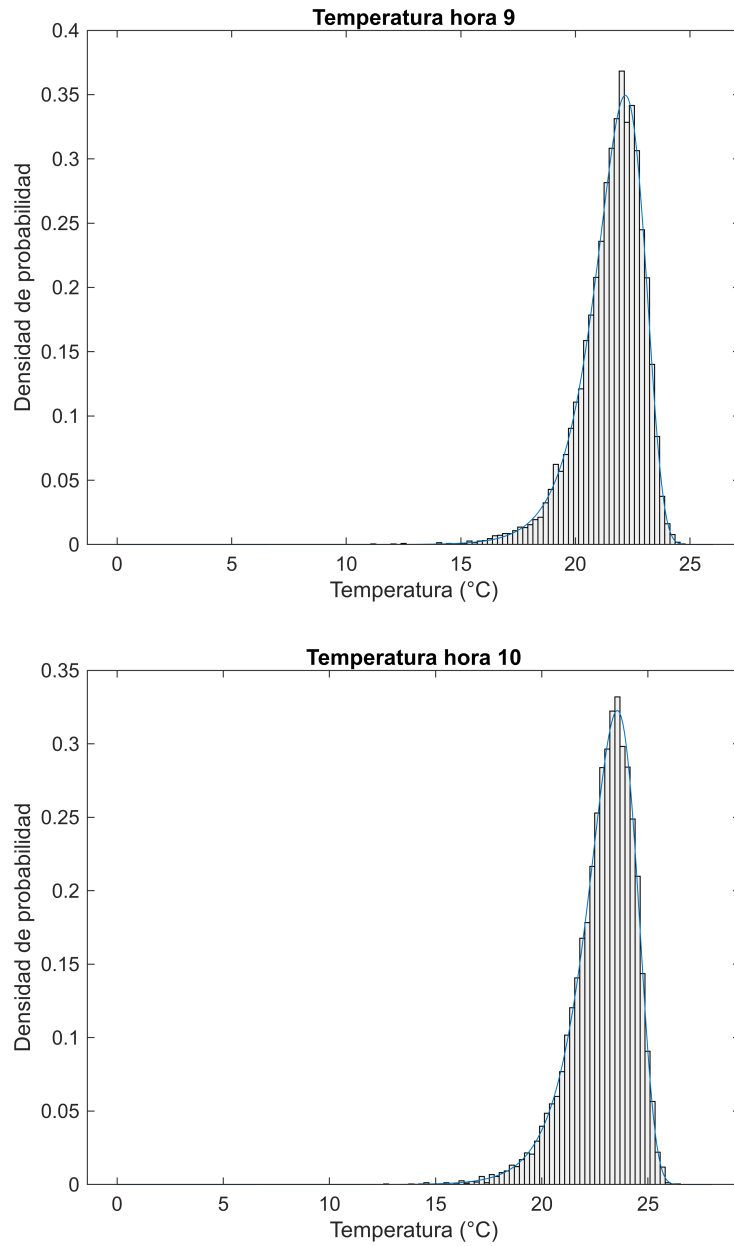


FIGURA 65: Pagina 14 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

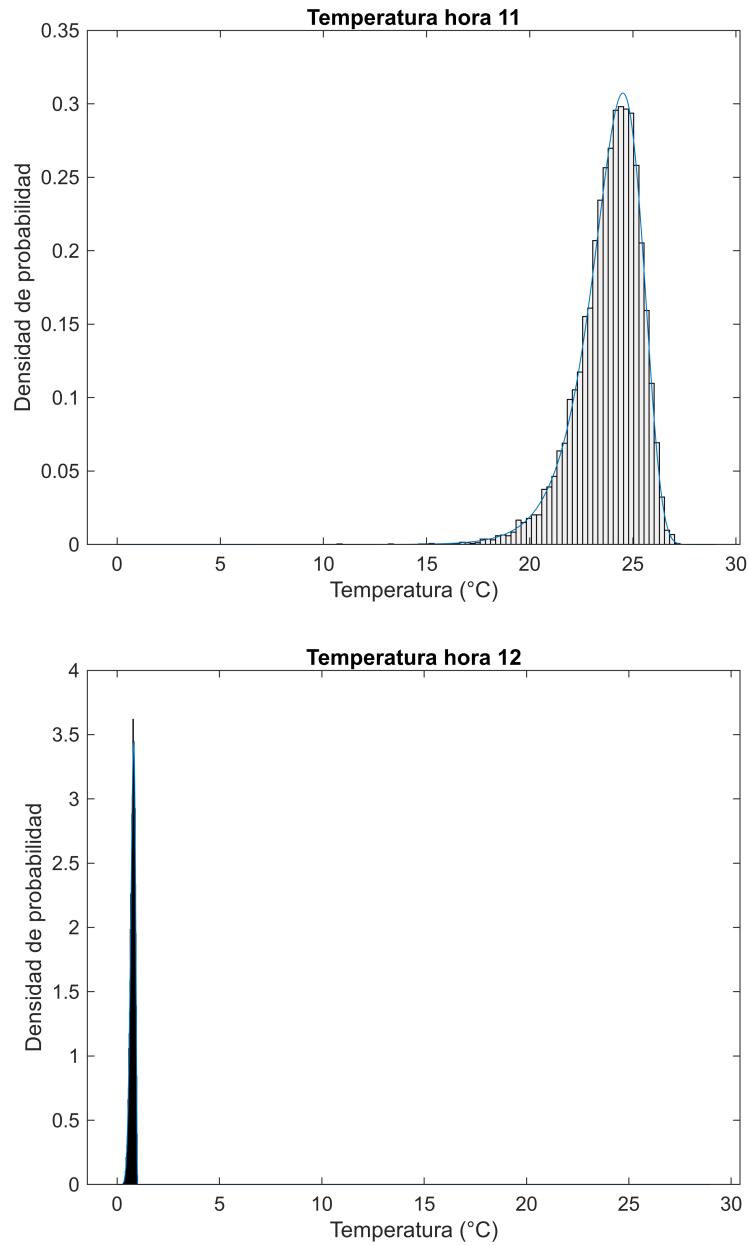


FIGURA 66: Pagina 15 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

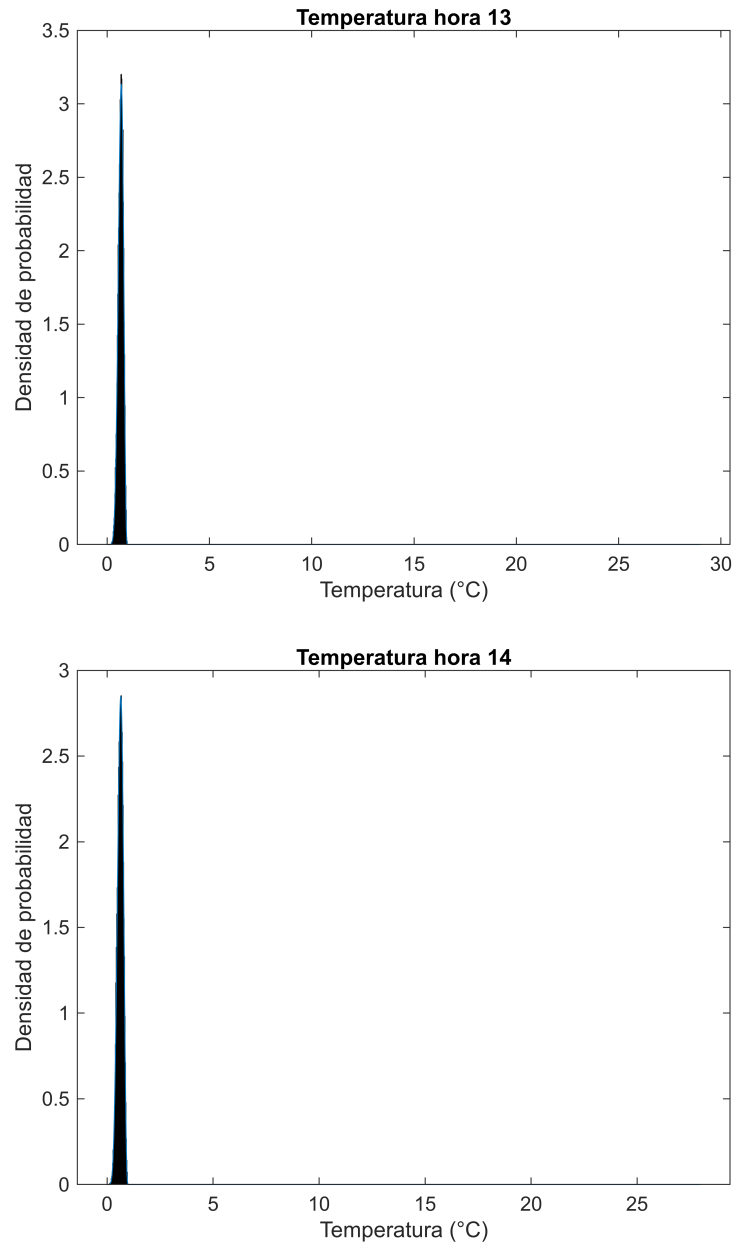


FIGURA 67: Pagina 16 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

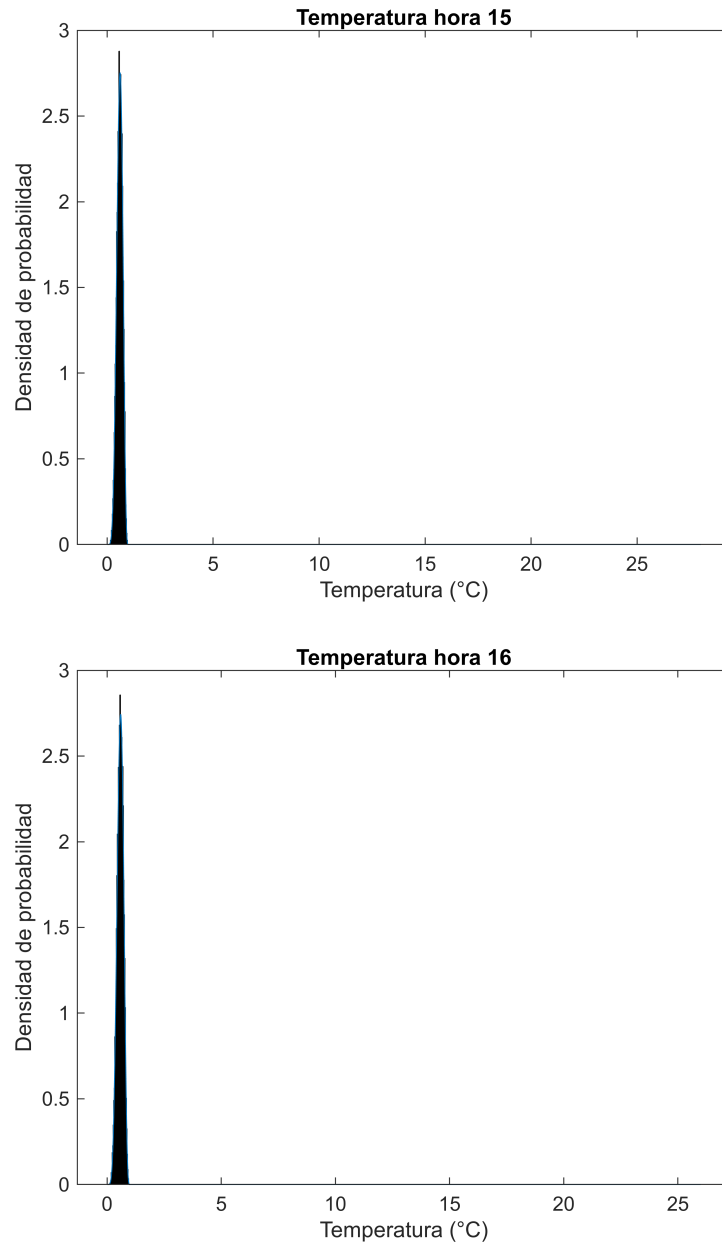


FIGURA 68: Pagina 17 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

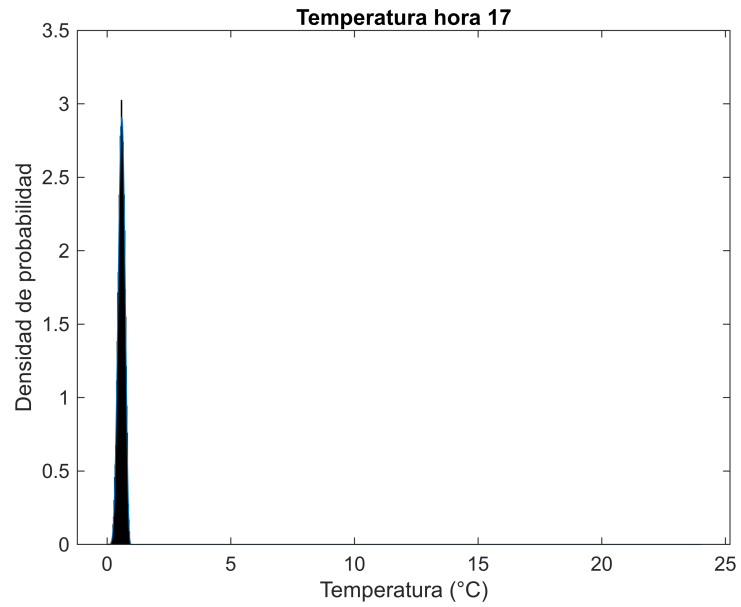


FIGURA 69: Pagina 18 código generación de números aleatorios, Fuente propia.

8.7. Código para construir las regiones de operación

```
clc
clear
close all
```

Región de operación Sistema IEEE 34 nodos, sin renovables y sin P2H

```
%Región sin límites
data1 = readmatrix("Potencias\Potencia_sin_FER_sin_PtH.csv");
data2 = readmatrix("Potencias\Potencia_con_FER_sin_PtH.csv");
data3 = readmatrix("Potencias\Potencia_con_FER_con_PtH.csv");
PQ1(:,1) = data1(:,3);
PQ1(:,2) = data1(:,4);

corriente = strcat("1_Limites_corriente.csv");
lim_corriente = readmatrix(corriente);
```

Región de operación Sistema IEEE 34 nodos, con renovables y sin P2H

```
for i = 2:52
    path = strcat("Potencia con penetracion de energia renovable\Voltajes y ..." + ...
        "corrientes\ieee34_punto",num2str(i),".csv");
    opts = detectImportOptions(path);
    opts.SelectedVariableNames = {'V1','I1'};
    data = readmatrix(path,opts);

    for h = 1:24
        if i < 51
            if (data(h,1) < 16500 && data(h,1) > 13500) && data(h,2) < lim_corriente(i,2)
                Factibilidad1(h,i-1) = 1;
            else
                Factibilidad1(h,i-1) = 0;
            end
        else
            if (data(h,1) < 2750 && data(h,1) > 2250) && data(h,2) < lim_corriente(i,2)
                Factibilidad1(h,i-1) = 1;
            else
                Factibilidad1(h,i-1) = 0;
            end
        end
    end
end
j = 1;
for h = 1:24
    if Factibilidad1(h,:) == 1
        PQ2(j,1) = data2(h,3);
        PQ2(j,2) = data2(h,4);
        j = j+1;
    end
end
end
```

FIGURA 70: Pagina 1 código construcción de regiones de operación, Fuente propia.

Región de operación Sistema IEEE 34 nodos, con renovables y con P2H

```

for i = 2:52
    path1 = strcat("Voltajes y corrientes_Electrolizador_6_17\ieee34_punto",...
        num2str(i),".csv");
    opts = detectImportOptions(path1);
    opts.SelectedVariableNames = {'V1','I1'};
    data = readmatrix(path1,opts);

    for h = 1:24
        if i < 51
            if (data(h,1) < 16500 && data(h,1) > 13500) && data(h,2) < lim_corriente(i,2)
                Factibilidad2(h,i-1) = 1;
            else
                Factibilidad2(h,i-1) = 0;
            end
        else
            if (data(h,1) < 2750 && data(h,1) > 2250) && data(h,2) < lim_corriente(i,2)
                Factibilidad2(h,i-1) = 1;
            else
                Factibilidad2(h,i-1) = 0;
            end
        end
    end
end
j = 1;
for h = 1:24
    if Factibilidad2(h,:) == 1
        PQ3(j,1) = data3(h,3);
        PQ3(j,2) = data3(h,4);
        j = j+1;
    end
end

x1 = PQ1(:,1);
y1 = PQ1(:,2);

x2 = PQ2(:,1);
y2 = PQ2(:,2);

x3 = PQ3(:,1);
y3 = PQ3(:,2);

% Calcula la envolvente convexa
convex_hull_indices1 = convhull(x1, y1);
convex_hull_indices2 = convhull(x2, y2);
convex_hull_indices3 = convhull(x3, y3);

figure(1)

```

FIGURA 71: Pagina 2 código construcción de regiones de operación, Fuente propia.

```

% Grafica los puntos y la envolvente convexa
scatter(x1, y1, 'filled');
hold on;
scatter(x2, y2, 'filled');
hold on;
scatter(x3, y3, 'filled', 'g');
hold on;
plot(x1(convex_hull_indices1), y1(convex_hull_indices1), 'b');
hold on;
plot(x2(convex_hull_indices2), y2(convex_hull_indices2), 'r');
hold on;
plot(x3(convex_hull_indices3), y3(convex_hull_indices3), 'g');
grid on
title('Comparación región de operación de Sistema IEEE 34 nodos');
xlabel('Potencia Activa P(kW)');
ylabel('Potencia Reactiva Q(VAr)');
xlim([-1200 1100])
ylim([-450 400])

figure(2)

scatter(x1, y1, 'filled');
hold on;
plot(x1(convex_hull_indices1), y1(convex_hull_indices1), 'b');
hold off
grid on
title('Región de operación de Sistema IEEE 34 nodos');
xlabel('Potencia Activa P(kW)');
ylabel('Potencia Reactiva Q(VAr)');
xlim([100 1100])

figure(3)

scatter(x2, y2, 'filled','r');
hold on;
plot(x2(convex_hull_indices2), y2(convex_hull_indices2), 'r');
hold off
grid on
title('Región de operación de Sistema IEEE 34 nodos con alta penetración de FER');
xlabel('Potencia Activa P(kW)');
ylabel('Potencia Reactiva Q(VAr)');
xlim([-300 1000])
ylim([-300 250])

figure(4)

scatter(x3, y3, 'filled','g');
hold on;
plot(x3(convex_hull_indices3), y3(convex_hull_indices3), 'g');

```

FIGURA 72: Pagina 3 código construcción de regiones de operación, Fuente propia.

```
hold off
grid on
title(['Región de operación de Sistema IEEE 34 nodos con alta penetración de FER y ' ...
      'sistema Pth']);
xlabel('Potencia Activa P(kW)');
ylabel('Potencia Reactiva Q(VAr)');
xlim([-1200 1000])
ylim([-450 400])
```

FIGURA 73: Pagina 4 código construcción de regiones de operación, Fuente propia.

8.8. Código OpenDSS red IEEE 34 nodos sin FER, sin PtH

```

Clear //Limpiar antes de comenzar

New object= circuit.ieee34
~ basekv=69 pu=1.05 angle=30
MVAsc3=200000 //potencia de cortocircuito trifasico de la red//
MVAsc1=210000 //potencia de cortocircuito monofasica de la red//
|-----|

I CURVAS DE DEMANDA

ICURVAS CARGA INDUSTRIAL

new loadshape.Industrial 24 1.0
~ mult=(0.3      0.25  0.2      0.2      0.25  0.23  0.4      0.7      0.9      0.9      0.85
          0.75  0.75  0.91      1        1        0.75  0.5      0.4      0.35  0.35  0.3      0.3)

ICURVAS CARGA RESIDENCIAL

new loadshape.Residencial 24 1.0
~ mult=(0.18      0.18  0.18      0.18  0.18  0.2      0.3      0.42  0.37  0.23  0.18  0.26
          0.45  0.45  0.26      0.18  0.27  0.48  0.85  1        1        0.7      0.5      0.25)

ICURVAS CARGA COMERCIAL

new loadshape.Comercial 24 1.0
~ mult=(0.1      0.1      0.1      0.1      0.1      0.15  0.2      0.35  0.5      0.5      0.5
          0.5      0.3      0.5      0.55  0.7      1        1        0.95  0.85  0.55  0.25  0.1)
|-----|

new "spectrum.PQY3" NumHarm=15 CSVFile=PQY3.csv
new "spectrum.YI3" NumHarm=15 CSVFile=YI3.csv
new "spectrum.YZ3" NumHarm=15 CSVFile=YZ3.csv

IPotencia Max de la red 21.6MW
IVoltaje 24900 v
ICorriente 869.5 A

IEspectro de las cargas
ICarga Comercial YI3
ICarga Industrial PQY3
ICarga Residencial YZ3

I 70% Paneles 15.12MW con paneles de 450W se necesitan 33.6 Paneles

New Transformer.SubXF Phases=3 Windings=2 Xhl=0.001 ppm=0 //Z muy bajo y sin reactancia de derivación añadida//
~ wdg=1 bus=sourcebus conn=Delta kv=69 kva=25000 %r=0.0005 //Establecer el %r muy bajo//
~ wdg=2 bus=800 conn=wye kv=24.9 kva=25000 %r=0.0005

I Load Y-Y Transformer
New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08
~ wdg=1 bus=832 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95
~ wdg=2 bus=888 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95

I import line codes with phase impedance matrices
Redirect IEEELineCodes34.dss

I Lines
I Definir líneas y buses de punto medio
I NOTA: Dado que las unidades no se especifican para la longitud, se supone que coinciden con las unidades del código de línea
New Line.L1 Phases=3 Bus1=800.1.2.3 Bus2=802.1.2.3 LineCode=300 Length=2.58
New Line.L2a Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=mid806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

I use in-line math to divide lenght by 2
New Line.L2b Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)
New Line.L3 Phases=3 Bus1=806.1.2.3 Bus2=808.1.2.3 LineCode=300 Length=32.23

```

FIGURA 74: Pagina 1 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.

```

New Line.L4a Phases=3 Bus1=808.2 Bus2=Mid810.2 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
New Line.L4b Phases=3 Bus1=Mid810.2 Bus2=810.2 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
New Line.L5 Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=812.1.2.3 LineCode=300 Length=37.5
New Line.L6 Phases=3 Bus1=812.1.2.3 Bus2=814.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73
New Line.L7 Phases=3 Bus1=814r.1.2.3 Bus2=850.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01
New Line.L24 Phases=3 Bus1=850.1.2.3 Bus2=816.1.2.3 LineCode=301 Length=0.31
New Line.L8 Phases=3 Bus1=816.1 Bus2=818.1 LineCode=302 Length=1.71
New Line.L9a Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=mid824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)
New Line.L9b Phases=3 Bus1=mid824.1.2.3 Bus2=824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)
New Line.L10a Phases=3 Bus1=818.1 Bus2=mid820.1 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
New Line.L10b Phases=3 Bus1=mid820.1 Bus2=820.1 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
New Line.L11a Phases=3 Bus1=820.1 Bus2=mid822.1 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
New Line.L11b Phases=3 Bus1=mid822.1 Bus2=822.1 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
New Line.L12a Phases=3 Bus1=824.2 Bus2=mid826.2 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
New Line.L12b Phases=3 Bus1=mid826.2 Bus2=826.2 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
New Line.L13a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
New Line.L13b Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
New Line.L14a Phases=3 Bus1=828.1.2.3 Bus2=mid830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
New Line.L14b Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
New Line.L15 Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=854.1.2.3 LineCode=301 Length=0.52
New Line.L16a Phases=3 Bus1=832.1.2.3 Bus2=mid858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
New Line.L16b Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
New Line.L29a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
New Line.L29b Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
New Line.L18 Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=842.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28
New Line.L19a Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=mid840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
New Line.L19b Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
New Line.L21a Phases=3 Bus1=842.1.2.3 Bus2=mid844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
New Line.L21b Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
New Line.L22a Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=mid846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
New Line.L22b Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
New Line.L23a Phases=3 Bus1=846.1.2.3 Bus2=mid848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.L23b Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.L26a Phases=3 Bus1=854.2 Bus2=mid856.2 LineCode=303 Length=(23.33 2 /)
New Line.L26b Phases=3 Bus1=mid856.2 Bus2=856.2 LineCode=303 Length=(23.33 2 /)
New Line.L27 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=852.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83

! regulator in here
New Line.L25 Phases=3 Bus1=852r.1.2.3 Bus2=832.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

! 9-17-10 858-864 changed to phase A per error report
New Line.L28a Phases=3 Bus1=858.1 Bus2=mid864.1 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
New Line.L28b Phases=3 Bus1=mid864.1 Bus2=864.1 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
New Line.L17a Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=mid860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
New Line.L17b Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
New Line.L30a Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=mid836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
New Line.L30b Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
New Line.L20 Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=862.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28
New Line.L31a Phases=3 Bus1=862.2 Bus2=mid838.2 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
New Line.L31b Phases=3 Bus1=mid838.2 Bus2=838.2 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
New Line.L32 Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56
New Line.L32a Phases=3 Bus1=890.1.2.3 Bus2=S890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

! Capacitores
New Capacitor.C844 Bus1=844 Phases=3 kVAR=300 kV=24.9
New Capacitor.C848 Bus1=848 Phases=3 kVAR=450 kV=24.9

! Reguladores - tres fases independientes
! Regulador 1
new transformer.reg1a phases=1 windings=2 buses=(814.1 814r.1) conns='wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1a transformer=reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio=120 cprim=100 R=2.7 X=1.6
new transformer.reg1b phases=1 windings=2 buses=(814.2 814r.2) conns='wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1b transformer=reg1b winding=2 vreg=122 band=2 ptratio=120 cprim=100 R=2.7 X=1.6
new transformer.reg1c phases=1 windings=2 buses=(814.3 814r.3) conns='wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1c transformer=reg1c winding=2 vreg=122 band=2 ptratio=120 cprim=100 R=2.7 X=1.6

! Regulador 2

```

FIGURA 75: Pagina 2 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.

```

new transformer.reg2a phases=1 windings=2 buses=(852.1 852r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2a transformer =reg2a winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.5 X=1.5 delay=30
new transformer.reg2b phases=1 windings=2 buses=(852.2 852r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2b transformer =reg2b winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.5 X=1.5 delay=30
new transformer.reg2c phases=1 windings=2 buses=(852.3 852r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2c transformer =reg2c winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.5 X=1.5 delay=30

I spot loads
New Load.S860 Bus1=860 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60.0 kVAR= 48.0 spectrum = PQY3
New Load.S840 Bus1=840 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 27.0 kVAR= 21.0 spectrum = Y13
New Load.S844 Bus1=844 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 405.0 kVAR= 315.0 spectrum = PQY3
New Load.S848 Bus1=848 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60.0 kVAR= 48.0 spectrum = PQY3
New Load.S830 Bus1=830 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 45 kVAR= 20 spectrum = YZ3
New Load.S890 Bus1=890 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 4.160 kW= 450.0 kVAR= 225.0 spectrum = PQY3
INew Load.S810 Bus1=810 Phases=1 Conn=Wye Model=1 kV=24.900 kW=16 kVAR=8 spectrum = YZ3

I cargas distribuidas en medio de las líneas
New Load.D802_806 Bus1=Mid806.2 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 90 kVAR= 45 spectrum = Y13
New Load.D808_810 Bus1=Mid810 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 48 kVAR= 24 spectrum = YZ3
New Load.D818_820 Bus1=mid820 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 102 kVAR= 51 spectrum = Y13
New Load.D820_822 Bus1=mid822 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 405 kVAR= 210 spectrum = PQY3
New Load.D816_824 Bus1=mid824 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 15 kVAR= 6 spectrum = YZ3
New Load.D824_826 Bus1=mid826 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 120 kVAR= 60 spectrum = PQY3
New Load.D824_828 Bus1=mid828 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 12 kVAR= 6 spectrum = YZ3
New Load.D828_830 Bus1=mid830 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 21 kVAR= 9 spectrum = YZ3
New Load.D854_856 Bus1=mid856 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 12 kVAR= 6 spectrum = YZ3
New Load.D832_858 Bus1=mid858 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 15 kVAR= 7 spectrum = YZ3
New Load.D858_864 Bus1=mid864 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 6 kVAR= 4 spectrum = YZ3
New Load.D858_834 Bus1=mid834 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 32 kVAR= 17 spectrum = YZ3
New Load.D834_860 Bus1=mid860 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 146 kVAR= 73 spectrum = YZ3
New Load.D860_836 Bus1=mid836 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 82 kVAR= 43 spectrum = Y13
New Load.D836_840 Bus1=mid840 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60 kVAR= 30 spectrum = Y13
New Load.D862_838 Bus1=mid838 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 84 kVAR= 42 spectrum = Y13
New Load.D842_844 Bus1=mid844 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 27 kVAR= 15 spectrum = PQY3
New Load.D844_846 Bus1=mid846 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 75 kVAR= 36 spectrum = Y13
New Load.D846_848 Bus1=mid848 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 69 kVAR= 33 spectrum = Y13

I Vminpu.
I Define the daily load shape to the DSS default
Load.s860.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.s840.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.s844.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.s848.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.s830.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.s890.vminpu=0.85 daily=Industrial
ILoad.s810.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d802_806.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d808_810.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d818_820.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d820_822.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.d816_824.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d824_826.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.d824_828.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d828_830.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d854_856.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d832_858.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d858_864.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d858_834.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d834_860.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d860_836.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d836_840.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d862_838.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d842_844.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d844_846.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d846_848.vminpu=0.85 daily=Comercial

I Vmax

```

FIGURA 76: Pagina 3 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.

```

Load.s860.vmaxpu=1.15
Load.s840.vmaxpu=1.15
Load.s844.vmaxpu=1.15
Load.s848.vmaxpu=1.15
Load.s830.vmaxpu=1.15
Load.s890.vmaxpu=1.15

Load.d802_806.vmaxpu=1.15
Load.d808_810.vmaxpu=1.15
Load.d818_820.vmaxpu=1.15
Load.d820_822.vmaxpu=1.15
Load.d816_824.vmaxpu=1.15
Load.d824_826.vmaxpu=1.15
Load.d824_828.vmaxpu=1.15
Load.d828_830.vmaxpu=1.15
Load.d854_856.vmaxpu=1.15
Load.d832_858.vmaxpu=1.15
Load.d858_864.vmaxpu=1.15
Load.d858_834.vmaxpu=1.15
Load.d834_860.vmaxpu=1.15
Load.d834_860.vmaxpu=1.15
Load.d860_836.vmaxpu=1.15
Load.d836_840.vmaxpu=1.15
Load.d862_838.vmaxpu=1.15
Load.d842_844.vmaxpu=1.15
Load.d844_846.vmaxpu=1.15
Load.d846_848.vmaxpu=1.15

!New energymeter.M1 element=Transformer.SubXF terminal=1
New energymeter.M1 element=Line.L1 terminal=1

New monitor.Line1_power element=Line.L1 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line1_voltage element=Line.L1 terminal=1 mode=0
New monitor.Line1_current element=Line.L1 terminal=1 mode=0

New monitor.Line2a_power element=Line.L2a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line2a_voltage element=Line.L2a terminal=1 mode=0
New monitor.Line2a_current element=Line.L2a terminal=1 mode=0

New monitor.Line2b_power element=Line.L2b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line2b_voltage element=Line.L2b terminal=1 mode=0
New monitor.Line2b_current element=Line.L2b terminal=1 mode=0

New monitor.Line3_power element=Line.L3 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line3_voltage element=Line.L3 terminal=1 mode=0
New monitor.Line3_current element=Line.L3 terminal=1 mode=0

New monitor.Line4a_power element=Line.L4a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line4a_voltage element=Line.L4a terminal=1 mode=0
New monitor.Line4a_current element=Line.L4a terminal=1 mode=0

New monitor.Line4b_power element=Line.L4b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line4b_voltage element=Line.L4b terminal=1 mode=0
New monitor.Line4b_current element=Line.L4b terminal=1 mode=0

New monitor.Line5_power element=Line.L5 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line5_voltage element=Line.L5 terminal=1 mode=0
New monitor.Line5_current element=Line.L5 terminal=1 mode=0

New monitor.Line6_power element=Line.L6 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line6_voltage element=Line.L6 terminal=1 mode=0
New monitor.Line6_current element=Line.L6 terminal=1 mode=0

New monitor.Line7_power element=Line.L7 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line7_voltage element=Line.L7 terminal=1 mode=0
New monitor.Line7_current element=Line.L7 terminal=1 mode=0

New monitor.Line8_power element=Line.L8 terminal=1 ppolar=no mode=1

```

FIGURA 77: Pagina 4 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.

```

New monitor.Line8_voltage element=Line.L8 terminal=1 mode=0
New monitor.Line8_current element=Line.L8 terminal=1 mode=0

New monitor.Line9a_power element=Line.L9a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line9a_voltage element=Line.L9a terminal=1 mode=0
New monitor.Line9a_current element=Line.L9a terminal=1 mode=0

New monitor.Line9b_power element=Line.L9b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line9b_voltage element=Line.L9b terminal=1 mode=0
New monitor.Line9b_current element=Line.L9b terminal=1 mode=0

New monitor.Line10a_power element=Line.L10a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line10a_voltage element=Line.L10a terminal=1 mode=0
New monitor.Line10a_current element=Line.L10a terminal=1 mode=0

New monitor.Line10b_power element=Line.L10b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line10b_voltage element=Line.L10b terminal=1 mode=0
New monitor.Line10b_current element=Line.L10b terminal=1 mode=0

New monitor.Line11a_power element=Line.L11a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line11a_voltage element=Line.L11a terminal=1 mode=0
New monitor.Line11a_current element=Line.L11a terminal=1 mode=0

New monitor.Line11b_power element=Line.L11b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line11b_voltage element=Line.L11b terminal=1 mode=0
New monitor.Line11b_current element=Line.L11b terminal=1 mode=0

New monitor.Line12a_power element=Line.L12a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line12a_voltage element=Line.L12a terminal=1 mode=0
New monitor.Line12a_current element=Line.L12a terminal=1 mode=0

New monitor.Line12b_power element=Line.L12b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line12b_voltage element=Line.L12b terminal=1 mode=0
New monitor.Line12b_current element=Line.L12b terminal=1 mode=0

New monitor.Line13a_power element=Line.L13a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line13a_voltage element=Line.L13a terminal=1 mode=0
New monitor.Line13a_current element=Line.L13a terminal=1 mode=0

New monitor.Line13b_power element=Line.L13b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line13b_voltage element=Line.L13b terminal=1 mode=0
New monitor.Line13b_current element=Line.L13b terminal=1 mode=0

New monitor.Line14a_power element=Line.L14a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line14a_voltage element=Line.L14a terminal=1 mode=0
New monitor.Line14a_current element=Line.L14a terminal=1 mode=0

New monitor.Line14b_power element=Line.L14b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line14b_voltage element=Line.L14b terminal=1 mode=0
New monitor.Line14b_current element=Line.L14b terminal=1 mode=0

New monitor.Line15_power element=Line.L15 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line15_voltage element=Line.L15 terminal=1 mode=0
New monitor.Line15_current element=Line.L15 terminal=1 mode=0

New monitor.Line16a_power element=Line.L16a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line16a_voltage element=Line.L16a terminal=1 mode=0
New monitor.Line16a_current element=Line.L16a terminal=1 mode=0

New monitor.Line16b_power element=Line.L16b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line16b_voltage element=Line.L16b terminal=1 mode=0
New monitor.Line16b_current element=Line.L16b terminal=1 mode=0

New monitor.Line17a_power element=Line.L17a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line17a_voltage element=Line.L17a terminal=1 mode=0
New monitor.Line17a_current element=Line.L17a terminal=1 mode=0

New monitor.Line17b_power element=Line.L17b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line17b_voltage element=Line.L17b terminal=1 mode=0
New monitor.Line17b_current element=Line.L17b terminal=1 mode=0

```

FIGURA 78: Pagina 5 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.

```

New monitor.Line18_power element=Line.L18 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line18_voltage element=Line.L18 terminal=1 mode=0
New monitor.Line18_current element=Line.L18 terminal=1 mode=0

New monitor.Line19a_power element=Line.L19a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line19a_voltage element=Line.L19a terminal=1 mode=0
New monitor.Line19a_current element=Line.L19a terminal=1 mode=0

New monitor.Line19b_power element=Line.L19b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line19b_voltage element=Line.L19b terminal=1 mode=0
New monitor.Line19b_current element=Line.L19b terminal=1 mode=0

New monitor.Line20_power element=Line.L20 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line20_voltage element=Line.L20 terminal=1 mode=0
New monitor.Line20_current element=Line.L20 terminal=1 mode=0

New monitor.Line21a_power element=Line.L21a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line21a_voltage element=Line.L21a terminal=1 mode=0
New monitor.Line21a_current element=Line.L21a terminal=1 mode=0

New monitor.Line21b_power element=Line.L21b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line21b_voltage element=Line.L21b terminal=1 mode=0
New monitor.Line21b_current element=Line.L21b terminal=1 mode=0

New monitor.Line22a_power element=Line.L22a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line22a_voltage element=Line.L22a terminal=1 mode=0
New monitor.Line22a_current element=Line.L22a terminal=1 mode=0

New monitor.Line22b_power element=Line.L22b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line22b_voltage element=Line.L22b terminal=1 mode=0
New monitor.Line22b_current element=Line.L22b terminal=1 mode=0

New monitor.Line23a_power element=Line.L23a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line23a_voltage element=Line.L23a terminal=1 mode=0
New monitor.Line23a_current element=Line.L23a terminal=1 mode=0

New monitor.Line23b_power element=Line.L23b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line23b_voltage element=Line.L23b terminal=1 mode=0
New monitor.Line23b_current element=Line.L23b terminal=1 mode=0

New monitor.Line24_power element=Line.L24 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line24_voltage element=Line.L24 terminal=1 mode=0
New monitor.Line24_current element=Line.L24 terminal=1 mode=0

New monitor.Line25_power element=Line.L25 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line25_voltage element=Line.L25 terminal=1 mode=0
New monitor.Line25_current element=Line.L25 terminal=1 mode=0

New monitor.Line26a_power element=Line.L26a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line26a_voltage element=Line.L26a terminal=1 mode=0
New monitor.Line26a_current element=Line.L26a terminal=1 mode=0

New monitor.Line26b_power element=Line.L26b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line26b_voltage element=Line.L26b terminal=1 mode=0
New monitor.Line26b_current element=Line.L26b terminal=1 mode=0

New monitor.Line27_power element=Line.L27 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line27_voltage element=Line.L27 terminal=1 mode=0
New monitor.Line27_current element=Line.L27 terminal=1 mode=0

New monitor.Line28a_power element=Line.L28a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line28a_voltage element=Line.L28a terminal=1 mode=0
New monitor.Line28a_current element=Line.L28a terminal=1 mode=0

New monitor.Line28b_power element=Line.L28b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line28b_voltage element=Line.L28b terminal=1 mode=0
New monitor.Line28b_current element=Line.L28b terminal=1 mode=0

New monitor.Line29a_power element=Line.L28a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line29a_voltage element=Line.L28a terminal=1 mode=0
New monitor.Line29a_current element=Line.L28a terminal=1 mode=0

```

FIGURA 79: Pagina 6 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.

```

New monitor.Line29b_power element=Line.L28b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line29b_voltage element=Line.L28b terminal=1 mode=0
New monitor.Line29b_current element=Line.L28b terminal=1 mode=0

New monitor.Line30a_power element=Line.L30a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line30a_voltage element=Line.L30a terminal=1 mode=0
New monitor.Line30a_current element=Line.L30a terminal=1 mode=0

New monitor.Line30b_power element=Line.L30b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line30b_voltage element=Line.L30b terminal=1 mode=0
New monitor.Line30b_current element=Line.L30b terminal=1 mode=0

New monitor.Line31a_power element=Line.L31a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line31a_voltage element=Line.L31a terminal=1 mode=0
New monitor.Line31a_current element=Line.L31a terminal=1 mode=0

New monitor.Line31b_power element=Line.L31b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line31b_voltage element=Line.L31b terminal=1 mode=0
New monitor.Line31b_current element=Line.L31b terminal=1 mode=0

New monitor.Line32_power element=Line.L32 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line32_voltage element=Line.L32 terminal=1 mode=0
New monitor.Line32_current element=Line.L32 terminal=1 mode=0

New monitor.Line32a_power element=Line.L32 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line32a_voltage element=Line.L32 terminal=1 mode=0
New monitor.Line32a_current element=Line.L32 terminal=1 mode=0

New monitor.TransSubXF_power element=Transformer.SubXF terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.TransSubXF_voltage element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0
New monitor.TransSubXF_current element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS860_power element=Load.S860 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS860_voltage element=Load.S860 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS860_current element=Load.S860 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS840_power element=Load.S840 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS840_voltage element=Load.S840 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS840_current element=Load.S840 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS844_power element=Load.S844 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS844_voltage element=Load.S844 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS844_current element=Load.S844 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS848_power element=Load.S848 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS848_voltage element=Load.S848 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS848_current element=Load.S848 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS830_power element=Load.S830 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS830_voltage element=Load.S830 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS830_current element=Load.S830 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS890_power element=Load.S890 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS890_voltage element=Load.S890 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS890_current element=Load.S890 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD802_806_power element=Load.D802_806 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD802_806_voltage element=Load.D802_806 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD802_806_current element=Load.D802_806 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD808_810_power element=Load.D808_810 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD808_810_voltage element=Load.D808_810 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD808_810_current element=Load.D808_810 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD818_820_power element=Load.D818_820 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD818_820_voltage element=Load.D818_820 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD818_820_current element=Load.D818_820 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD820_822_power element=Load.D820_822 terminal=1 ppolar=no mode=1

```

FIGURA 80: Pagina 7 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.

```

New monitor.CargaD820_822_voltage element=Load.D820_822 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD820_822_current element=Load.D820_822 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD816_824_power element=Load.D816_824 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD816_824_voltage element=Load.D816_824 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD816_824_current element=Load.D816_824 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_826_power element=Load.D824_826 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD824_826_voltage element=Load.D824_826 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD824_826_current element=Load.D824_826 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_828_power element=Load.D824_828 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD824_828_voltage element=Load.D824_828 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD824_828_current element=Load.D824_828 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD828_830_power element=Load.D828_830 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD828_830_voltage element=Load.D828_830 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD828_830_current element=Load.D828_830 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD854_856_power element=Load.D854_856 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD854_856_voltage element=Load.D854_856 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD854_856_current element=Load.D854_856 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD832_858_power element=Load.D832_858 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD832_858_voltage element=Load.D832_858 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD832_858_current element=Load.D832_858 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_864_power element=Load.D858_864 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD858_864_voltage element=Load.D858_864 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD858_864_current element=Load.D858_864 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_834_power element=Load.D858_834 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD858_834_voltage element=Load.D858_834 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD858_834_current element=Load.D858_834 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD834_860_power element=Load.D834_860 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD834_860_voltage element=Load.D834_860 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD834_860_current element=Load.D834_860 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD860_836_power element=Load.D860_836 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD860_836_voltage element=Load.D860_836 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD860_836_current element=Load.D860_836 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD836_840_power element=Load.D836_840 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD836_840_voltage element=Load.D836_840 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD836_840_current element=Load.D836_840 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD862_838_power element=Load.D862_838 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD862_838_voltage element=Load.D862_838 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD862_838_current element=Load.D862_838 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD842_844_power element=Load.D842_844 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD842_844_voltage element=Load.D842_844 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD842_844_current element=Load.D842_844 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD844_846_power element=Load.D844_846 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD844_846_voltage element=Load.D844_846 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD844_846_current element=Load.D844_846 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD846_848_power element=Load.D846_848 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD846_848_voltage element=Load.D846_848 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD846_848_current element=Load.D846_848 terminal=1 mode=0

Set VoltageBases = "69,24,9,4,16"
CalcVoltageBases

set controlmode=Static

set mode=daily
set number=24
set stepsize=1h

```

FIGURA 81: Pagina 8 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.

```
! solve
!set mode=snapshot
! solve
! set mode = harmonics
solve
BusCoords IEEE34_BusXY.csv
```

FIGURA 82: Pagina 9 código en OpenDSS red IEEE34 nodos, Fuente propia.

8.9. Código OpenDSS red IEEE 34 nodos con FER, sin PtH

```

Clear //Limpiar antes de comenzar

New object= circuit.ieee34
~ basekv=69 pu=1.05 angle=30
MVAsc3=200000 //potencia de cortocircuito trifasico de la red//
MVAsc1=210000 //potencia de cortocircuito monofasica de la red//

new "spectrum.PQY3" NumHarm=15 CSVFile=PQY3.csv
new "spectrum.YI3" NumHarm=15 CSVFile=YI3.csv
new "spectrum.YZ3" NumHarm=15 CSVFile=YZ3.csv

IPotencia Max de la red 21.6MW
IVoltaje 24900 v
ICorriente 869.5 A

IEspectro de las cargas
ICarga Comercial YI3
ICarga Industrial PQY3
ICarga Residencial YZ3

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I CURVAS DE DEMANDA

ICURVAS CARGA INDUSTRIAL

new loadshape.Industrial 24 1.0
~ mult=(0.3 0.25 0.2 0.2 0.25 0.23 0.4 0.7 0.9 0.9 0.85
0.75 0.75 0.91 1 1 0.75 0.5 0.4 0.35 0.35 0.3 0.3)

ICURVAS CARGA RESIDENCIAL

new loadshape.Residencial 24 1.0
~ mult=(0.18 0.18 0.18 0.18 0.18 0.2 0.3 0.42 0.37 0.23 0.18 0.26
0.45 0.45 0.26 0.18 0.27 0.48 0.85 1 1 0.7 0.5 0.25)

ICURVAS CARGA COMERCIAL

new loadshape.Comercial 24 1.0
~ mult=(0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.15 0.2 0.35 0.5 0.5 0.5
0.5 0.3 0.5 0.55 0.7 1 1 0.95 0.85 0.55 0.25 0.1)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I 70% Paneles 15.12MW con paneles de 450W se necesitan 33.6 Paneles

New Transformer.SubXF Phases=3 Windings=2 Xhl=0.001 ppm=0 // Z muy bajo y sin reactancia de derivación añadida//
~ wdg=1 bus=sourcebus conn=Delta kv=69 kva=25000 %r=0.0005 //Establecer el %r muy bajo//
~ wdg=2 bus=800 conn=wye kv=24.9 kva=25000 %r=0.0005

I Load Y-Y Transformer
New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08
~ wdg=1 bus=832 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95
~ wdg=2 bus=888 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

IPARAMETROS DEL PANEL SOLAR

// P-T curve is per unit of rated Pmpp vs temperature
// This one is for a Pmpp stated at 25 deg
New XYCurve.MyPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1.2 1.0 0.8 0.6]

// efficiency curve is per unit eff vs per unit power
New XYCurve.MyEff npts=4 xarray=[.1 .2 .4 1.0] yarray=[.86 .9 .93 .97]

// per unit irradiance curve (per unit if "irradiance" property)

```

FIGURA 83: Pagina 1 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

```

New Loadshape.Mylrad npts=24 interval=1 mult=[0 0 0 0 0 0.16518 0.36592 0.61482 1 0.6616 0.47251 0.67 0.51799 0.35028
0.13963 0.03959 0 0 0 0 0]

// 24-hr temp shape curve
New Tshape.Mylrad npts=24 interval=1 temp=[0 0 0 0 11.54920 17.88840 20.70855 22.26675 23.67285 24.40770 25.92183
24.66431 24.28733 23.31945 18.34429 20.52729 0 0 0 0 0]

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

! import line codes with phase impedance matrices
Redirect IEEELineCodes34.dss

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

ITRANSFORMADORES PARA LOS PANELES

! NODO 856
New Transformer.TPV1 Phases=3 Windings=2 Xh=4.08
~ wdg=1 bus=856 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95
~ wdg=2 bus=T1 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

ILINEAS ENTRE TRANSFORMADOR Y PANEL

New Line.L2c Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=FV.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)
New Line.LPV1 Phases=3 Bus1=856.1.2.3 Bus2=FV1.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.LPV2 Phases=3 Bus1=864.1 Bus2=FV2.1 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
New Line.LPV3 Phases=3 Bus1=840.1.2.3 Bus2=FV3.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
New Line.LPV4 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=FV4.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83
New Line.LPV5 Phases=3 Bus1=826.2 Bus2=FV5.2 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
New Line.LPV6 Phases=3 Bus1=822.1 Bus2=FV6.1 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
New Line.LPV7 Phases=3 Bus1=814.1.2.3 Bus2=FV7.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73
New Line.LPV8 Phases=3 Bus1=810.2 Bus2=FV8.2 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

! Lines
! Definir líneas y buses de punto medio
! NOTA: Dado que las unidades no se especifican para la longitud, se supone que coinciden con las unidades del código de línea
New Line.L1 Phases=3 Bus1=800.1.2.3 Bus2=802.1.2.3 LineCode=300 Length=2.58
New Line.L2a Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=mid806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

! use in-line math to divide length by 2
New Line.L2b Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)
New Line.L3 Phases=3 Bus1=806.1.2.3 Bus2=808.1.2.3 LineCode=300 Length=32.23
New Line.L4a Phases=3 Bus1=808.2 Bus2=Mid810.2 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
New Line.L4b Phases=3 Bus1=Mid810.2 Bus2=810.2 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
New Line.L5 Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=812.1.2.3 LineCode=300 Length=37.5
New Line.L6 Phases=3 Bus1=812.1.2.3 Bus2=814.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73
New Line.L7 Phases=3 Bus1=814r.1.2.3 Bus2=850.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01
New Line.L24 Phases=3 Bus1=850.1.2.3 Bus2=816.1.2.3 LineCode=301 Length=0.31
New Line.L8 Phases=3 Bus1=816.1 Bus2=818.1 LineCode=302 Length=1.71
New Line.L9a Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=mid824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)
New Line.L9b Phases=3 Bus1=mid824.1.2.3 Bus2=824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)
New Line.L10a Phases=3 Bus1=818.1 Bus2=mid820.1 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
New Line.L10b Phases=3 Bus1=mid820.1 Bus2=820.1 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
New Line.L11a Phases=3 Bus1=820.1 Bus2=mid822.1 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
New Line.L11b Phases=3 Bus1=mid822.1 Bus2=822.1 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
New Line.L12a Phases=3 Bus1=824.2 Bus2=mid826.2 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
New Line.L12b Phases=3 Bus1=mid826.2 Bus2=826.2 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
New Line.L13a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
New Line.L13b Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
New Line.L14a Phases=3 Bus1=828.1.2.3 Bus2=mid830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
New Line.L14b Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
New Line.L15 Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=854.1.2.3 LineCode=301 Length=0.52
New Line.L16a Phases=3 Bus1=832.1.2.3 Bus2=mid858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
New Line.L16b Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
New Line.L29a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
New Line.L29b Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
New Line.L18 Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=842.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

```

FIGURA 84: Pagina 2 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

```

New Line.L19a Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=mid840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
New Line.L19b Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
New Line.L21a Phases=3 Bus1=842.1.2.3 Bus2=mid844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
New Line.L21b Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
New Line.L22a Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=mid846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
New Line.L22b Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
New Line.L23a Phases=3 Bus1=846.1.2.3 Bus2=mid848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.L23b Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.L26a Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=mid856.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.L26b Phases=3 Bus1=mid856.1.2.3 Bus2=856.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.L27 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=852.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

! regulator in here
New Line.L25 Phases=3 Bus1=852r.1.2.3 Bus2=832.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

! 9-17-10 858-864 changed to phase A per error report
New Line.L28a Phases=3 Bus1=858.1 Bus2=mid864.1 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
New Line.L28b Phases=3 Bus1=mid864.1 Bus2=864.1 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
New Line.L17a Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=mid860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
New Line.L17b Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
New Line.L30a Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=mid836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
New Line.L30b Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
New Line.L20 Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=862.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28
New Line.L31a Phases=3 Bus1=862.2 Bus2=mid838.2 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
New Line.L31b Phases=3 Bus1=mid838.2 Bus2=838.2 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
New Line.L32 Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56
New Line.L32a Phases=3 Bus1=890.1.2.3 Bus2=S890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

! Capacitores
New Capacitor.C844 Bus1=844 Phases=3 kVAR=300 kV=24.9
New Capacitor.C848 Bus1=848 Phases=3 kVAR=450 kV=24.9

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

! Reguladores - tres fases independientes
! Regulador 1
new transformer.reg1a phases=1 windings=2 buses=(814.1 814r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1a transformer =reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.7 X=1.6
new transformer.reg1b phases=1 windings=2 buses=(814.2 814r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1b transformer =reg1b winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.7 X=1.6
new transformer.reg1c phases=1 windings=2 buses=(814.3 814r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1c transformer =reg1c winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.7 X=1.6

! Regulador 2
new transformer.reg2a phases=1 windings=2 buses=(852.1 852r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2a transformer =reg2a winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.5 X=1.5 delay=30
new transformer.reg2b phases=1 windings=2 buses=(852.2 852r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2b transformer =reg2b winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.5 X=1.5 delay=30
new transformer.reg2c phases=1 windings=2 buses=(852.3 852r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2c transformer =reg2c winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.5 X=1.5 delay=30

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

! spot loads
New Load.S860 Bus1=860 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60.0 kVAR= 48.0 spectrum = PQY3
New Load.S840 Bus1=840 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 27.0 kVAR= 21.0 spectrum = YI3
New Load.S844 Bus1=844 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 405.0 kVAR= 315.0 spectrum = PQY3
New Load.S848 Bus1=848 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60.0 kVAR= 48.0 spectrum = PQY3
New Load.S830 Bus1=830 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 45 kVAR= 20 spectrum = YZ3
New Load.S890 Bus1=890 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 4.160 kW= 450.0 kVAR= 225.0 spectrum = PQY3
New Load.S810 Bus1=810 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=24.900 kW=16 kVAR=8 spectrum = YZ3

```

FIGURA 85: Pagina 3 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

```

I cargas distribuidas en medio de las líneas
New Load.D802_806 Bus1=Mid806.2 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 90 kVAR= 45 spectrum = YI3
New Load.D808_810 Bus1=Mid810 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 48 kVAR= 24 spectrum = YZ3
New Load.D818_820 Bus1=mid820 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 102 kVAR= 51 spectrum = YI3
New Load.D820_822 Bus1=mid822 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 405 kVAR= 210 spectrum = PQY3
New Load.D816_824 Bus1=mid824 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 15 kVAR= 6 spectrum = YZ3
New Load.D824_826 Bus1=mid826 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 120 kVAR= 60 spectrum = PQY3
New Load.D824_828 Bus1=mid828 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 12 kVAR= 6 spectrum = YZ3
New Load.D828_830 Bus1=mid830 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 21 kVAR= 9 spectrum = YZ3
New Load.D854_856 Bus1=mid856 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 12 kVAR= 6 spectrum = YZ3
New Load.D832_858 Bus1=mid858 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 15 kVAR= 7 spectrum = YZ3
New Load.D858_864 Bus1=mid864 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 6 kVAR= 4 spectrum = YZ3
New Load.D858_834 Bus1=mid834 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 32 kVAR= 17 spectrum = YZ3
New Load.D834_860 Bus1=mid860 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 146 kVAR= 73 spectrum = YZ3
New Load.D860_836 Bus1=mid836 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 82 kVAR= 43 spectrum = YI3
New Load.D836_840 Bus1=mid840 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60 kVAR= 30 spectrum = YI3
New Load.D862_838 Bus1=mid838 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 84 kVAR= 42 spectrum = YI3
New Load.D842_844 Bus1=mid844 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 27 kVAR= 15 spectrum = PQY3
New Load.D844_846 Bus1=mid846 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 75 kVAR= 36 spectrum = YI3
New Load.D846_848 Bus1=mid848 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 69 kVAR= 33 spectrum = YI3

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

IASIGNACIÓN DE LOS PANELES A LOS NODOS

New PVSystem.PV phases=3 Bus1=FV.1.2.3 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=500
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV1 phases=3 Bus1=FV1.1.2.3 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=3750
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV2 phases=1 Bus1=FV2.1 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=937.5
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV3 phases=3 Bus1=FV3.1.2.3 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=937.5
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV4 phases=3 Bus1=FV4.1.2.3 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=1875
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV5 phases=1 Bus1=FV5.2 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=1875
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV6 phases=1 Bus1=FV6.1 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=937.5
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV7 phases=1 Bus1=FV7.1.2.3 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=937.5
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV8 phases=1 Bus1=FV8.2 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=3750
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

I Vminpu.
I Define the daily load shape to the DSS default
Load.s860.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.s840.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.s844.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.s848.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.s830.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.s890.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.s810.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d802_806.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d808_810.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d818_820.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d820_822.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.d816_824.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d824_826.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.d824_828.vminpu=0.85 daily=Residencial

```

FIGURA 86: Pagina 4 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

```

Load.d828_830.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d854_856.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d832_858.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d858_864.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d858_834.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d834_860.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d860_836.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d836_840.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d862_838.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d842_844.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d844_846.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d846_848.vminpu=0.85 daily=Comercial

! Vmax
Load.s860.vmaxpu=1.15
Load.s840.vmaxpu=1.15
Load.s844.vmaxpu=1.15
Load.s848.vmaxpu=1.15
Load.s830.vmaxpu=1.15
Load.s890.vmaxpu=1.15

Load.d802_806.vmaxpu=1.15
Load.d808_810.vmaxpu=1.15
Load.d818_820.vmaxpu=1.15
Load.d820_822.vmaxpu=1.15
Load.d816_824.vmaxpu=1.15
Load.d824_826.vmaxpu=1.15
Load.d824_828.vmaxpu=1.15
Load.d828_830.vmaxpu=1.15
Load.d854_856.vmaxpu=1.15
Load.d832_858.vmaxpu=1.15
Load.d858_864.vmaxpu=1.15
Load.d858_834.vmaxpu=1.15
Load.d834_860.vmaxpu=1.15
Load.d834_860.vmaxpu=1.15
Load.d860_836.vmaxpu=1.15
Load.d836_840.vmaxpu=1.15
Load.d862_838.vmaxpu=1.15
Load.d842_844.vmaxpu=1.15
Load.d844_846.vmaxpu=1.15
Load.d846_848.vmaxpu=1.15

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

!New energymeter.M1 element=Transformer.SubXF terminal=1
New energymeter.M1 element=Line.L1 terminal=1

New monitor.Line1_power element=Line.L1 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line1_voltage element=Line.L1 terminal=1 mode=0
New monitor.Line1_current element=Line.L1 terminal=1 mode=0

New monitor.Line2a_power element=Line.L2a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line2a_voltage element=Line.L2a terminal=1 mode=0
New monitor.Line2a_current element=Line.L2a terminal=1 mode=0

New monitor.Line2b_power element=Line.L2b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line2b_voltage element=Line.L2b terminal=1 mode=0
New monitor.Line2b_current element=Line.L2b terminal=1 mode=0

New monitor.L2c_power element=Line.L2c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.L2c_voltage element=Line.L2c terminal=1 mode=0
New monitor.L2c_current element=Line.L2c terminal=1 mode=0

New monitor.Line3_power element=Line.L3 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line3_voltage element=Line.L3 terminal=1 mode=0
New monitor.Line3_current element=Line.L3 terminal=1 mode=0

New monitor.Line4a_power element=Line.L4a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line4a_voltage element=Line.L4a terminal=1 mode=0
New monitor.Line4a_current element=Line.L4a terminal=1 mode=0

```

FIGURA 87: Pagina 5 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

```

New monitor.Line4b_power element=Line.L4b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line4b_voltage element=Line.L4b terminal=1 mode=0
New monitor.Line4b_current element=Line.L4b terminal=1 mode=0

New monitor.Line5_power element=Line.L5 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line5_voltage element=Line.L5 terminal=1 mode=0
New monitor.Line5_current element=Line.L5 terminal=1 mode=0

New monitor.Line6_power element=Line.L6 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line6_voltage element=Line.L6 terminal=1 mode=0
New monitor.Line6_current element=Line.L6 terminal=1 mode=0

New monitor.Line7_power element=Line.L7 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line7_voltage element=Line.L7 terminal=1 mode=0
New monitor.Line7_current element=Line.L7 terminal=1 mode=0

New monitor.Line8_power element=Line.L8 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line8_voltage element=Line.L8 terminal=1 mode=0
New monitor.Line8_current element=Line.L8 terminal=1 mode=0

New monitor.Line9a_power element=Line.L9a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line9a_voltage element=Line.L9a terminal=1 mode=0
New monitor.Line9a_current element=Line.L9a terminal=1 mode=0

New monitor.Line9b_power element=Line.L9b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line9b_voltage element=Line.L9b terminal=1 mode=0
New monitor.Line9b_current element=Line.L9b terminal=1 mode=0

New monitor.Line10a_power element=Line.L10a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line10a_voltage element=Line.L10a terminal=1 mode=0
New monitor.Line10a_current element=Line.L10a terminal=1 mode=0

New monitor.Line10b_power element=Line.L10b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line10b_voltage element=Line.L10b terminal=1 mode=0
New monitor.Line10b_current element=Line.L10b terminal=1 mode=0

New monitor.Line11a_power element=Line.L11a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line11a_voltage element=Line.L11a terminal=1 mode=0
New monitor.Line11a_current element=Line.L11a terminal=1 mode=0

New monitor.Line11b_power element=Line.L11b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line11b_voltage element=Line.L11b terminal=1 mode=0
New monitor.Line11b_current element=Line.L11b terminal=1 mode=0

New monitor.Line12a_power element=Line.L12a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line12a_voltage element=Line.L12a terminal=1 mode=0
New monitor.Line12a_current element=Line.L12a terminal=1 mode=0

New monitor.Line12b_power element=Line.L12b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line12b_voltage element=Line.L12b terminal=1 mode=0
New monitor.Line12b_current element=Line.L12b terminal=1 mode=0

New monitor.Line13a_power element=Line.L13a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line13a_voltage element=Line.L13a terminal=1 mode=0
New monitor.Line13a_current element=Line.L13a terminal=1 mode=0

New monitor.Line13b_power element=Line.L13b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line13b_voltage element=Line.L13b terminal=1 mode=0
New monitor.Line13b_current element=Line.L13b terminal=1 mode=0

New monitor.Line14a_power element=Line.L14a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line14a_voltage element=Line.L14a terminal=1 mode=0
New monitor.Line14a_current element=Line.L14a terminal=1 mode=0

New monitor.Line14b_power element=Line.L14b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line14b_voltage element=Line.L14b terminal=1 mode=0
New monitor.Line14b_current element=Line.L14b terminal=1 mode=0

New monitor.Line15_power element=Line.L15 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line15_voltage element=Line.L15 terminal=1 mode=0
New monitor.Line15_current element=Line.L15 terminal=1 mode=0

```

FIGURA 88: Pagina 6 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

```

New monitor.Line16a_power element=Line.L16a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line16a_voltage element=Line.L16a terminal=1 mode=0
New monitor.Line16a_current element=Line.L16a terminal=1 mode=0

New monitor.Line16b_power element=Line.L16b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line16b_voltage element=Line.L16b terminal=1 mode=0
New monitor.Line16b_current element=Line.L16b terminal=1 mode=0

New monitor.Line17a_power element=Line.L17a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line17a_voltage element=Line.L17a terminal=1 mode=0
New monitor.Line17a_current element=Line.L17a terminal=1 mode=0

New monitor.Line17b_power element=Line.L17b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line17b_voltage element=Line.L17b terminal=1 mode=0
New monitor.Line17b_current element=Line.L17b terminal=1 mode=0

New monitor.Line18_power element=Line.L18 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line18_voltage element=Line.L18 terminal=1 mode=0
New monitor.Line18_current element=Line.L18 terminal=1 mode=0

New monitor.Line19a_power element=Line.L19a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line19a_voltage element=Line.L19a terminal=1 mode=0
New monitor.Line19a_current element=Line.L19a terminal=1 mode=0

New monitor.Line19b_power element=Line.L19b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line19b_voltage element=Line.L19b terminal=1 mode=0
New monitor.Line19b_current element=Line.L19b terminal=1 mode=0

New monitor.Line20_power element=Line.L20 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line20_voltage element=Line.L20 terminal=1 mode=0
New monitor.Line20_current element=Line.L20 terminal=1 mode=0

New monitor.Line21a_power element=Line.L21a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line21a_voltage element=Line.L21a terminal=1 mode=0
New monitor.Line21a_current element=Line.L21a terminal=1 mode=0

New monitor.Line21b_power element=Line.L21b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line21b_voltage element=Line.L21b terminal=1 mode=0
New monitor.Line21b_current element=Line.L21b terminal=1 mode=0

New monitor.Line22a_power element=Line.L22a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line22a_voltage element=Line.L22a terminal=1 mode=0
New monitor.Line22a_current element=Line.L22a terminal=1 mode=0

New monitor.Line22b_power element=Line.L22b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line22b_voltage element=Line.L22b terminal=1 mode=0
New monitor.Line22b_current element=Line.L22b terminal=1 mode=0

New monitor.Line23a_power element=Line.L23a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line23a_voltage element=Line.L23a terminal=1 mode=0
New monitor.Line23a_current element=Line.L23a terminal=1 mode=0

New monitor.Line23b_power element=Line.L23b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line23b_voltage element=Line.L23b terminal=1 mode=0
New monitor.Line23b_current element=Line.L23b terminal=1 mode=0

New monitor.Line24_power element=Line.L24 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line24_voltage element=Line.L24 terminal=1 mode=0
New monitor.Line24_current element=Line.L24 terminal=1 mode=0

New monitor.Line25_power element=Line.L25 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line25_voltage element=Line.L25 terminal=1 mode=0
New monitor.Line25_current element=Line.L25 terminal=1 mode=0

New monitor.Line26a_power element=Line.L26a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line26a_voltage element=Line.L26a terminal=1 mode=0
New monitor.Line26a_current element=Line.L26a terminal=1 mode=0

New monitor.Line26b_power element=Line.L26b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line26b_voltage element=Line.L26b terminal=1 mode=0

```

FIGURA 89: Pagina 7 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

```

New monitor.Line26b_current element=Line.L26b terminal=1 mode=0

New monitor.Line27_power element=Line.L27 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line27_voltage element=Line.L27 terminal=1 mode=0
New monitor.Line27_current element=Line.L27 terminal=1 mode=0

New monitor.Line28a_power element=Line.L28a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line28a_voltage element=Line.L28a terminal=1 mode=0
New monitor.Line28a_current element=Line.L28a terminal=1 mode=0

New monitor.Line28b_power element=Line.L28b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line28b_voltage element=Line.L28b terminal=1 mode=0
New monitor.Line28b_current element=Line.L28b terminal=1 mode=0

New monitor.Line29a_power element=Line.L28a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line29a_voltage element=Line.L28a terminal=1 mode=0
New monitor.Line29a_current element=Line.L28a terminal=1 mode=0

New monitor.Line29b_power element=Line.L28b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line29b_voltage element=Line.L28b terminal=1 mode=0
New monitor.Line29b_current element=Line.L28b terminal=1 mode=0

New monitor.Line30a_power element=Line.L30a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line30a_voltage element=Line.L30a terminal=1 mode=0
New monitor.Line30a_current element=Line.L30a terminal=1 mode=0

New monitor.Line30b_power element=Line.L30b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line30b_voltage element=Line.L30b terminal=1 mode=0
New monitor.Line30b_current element=Line.L30b terminal=1 mode=0

New monitor.Line31a_power element=Line.L31a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line31a_voltage element=Line.L31a terminal=1 mode=0
New monitor.Line31a_current element=Line.L31a terminal=1 mode=0

New monitor.Line31b_power element=Line.L31b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line31b_voltage element=Line.L31b terminal=1 mode=0
New monitor.Line31b_current element=Line.L31b terminal=1 mode=0

New monitor.Line32_power element=Line.L32 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line32_voltage element=Line.L32 terminal=1 mode=0
New monitor.Line32_current element=Line.L32 terminal=1 mode=0

New monitor.Line32a_power element=Line.L32 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line32a_voltage element=Line.L32 terminal=1 mode=0
New monitor.Line32a_current element=Line.L32 terminal=1 mode=0

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

New monitor.LPV1_power element=Line.LPV1 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV1_voltage element=Line.LPV1 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV1_current element=Line.LPV1 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV2_power element=Line.LPV2 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV2_voltage element=Line.LPV2 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV2_current element=Line.LPV2 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV3_power element=Line.LPV3 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV3_voltage element=Line.LPV3 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV3_current element=Line.LPV3 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV4_power element=Line.LPV4 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV4_voltage element=Line.LPV4 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV4_current element=Line.LPV4 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV5_power element=Line.LPV5 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV5_voltage element=Line.LPV5 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV5_current element=Line.LPV5 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV6_power element=Line.LPV6 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV6_voltage element=Line.LPV6 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV6_current element=Line.LPV6 terminal=1 mode=0

```

FIGURA 90: Pagina 8 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

```

New monitor.LPV7_power element=Line.LPV7 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV7_voltage element=Line.LPV7 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV7_current element=Line.LPV7 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV8_power element=Line.LPV8 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV8_voltage element=Line.LPV8 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV8_current element=Line.LPV8 terminal=1 mode=0

////////////////////////////////////

New monitor.TransSubXF_power element=Transformer.SubXF terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.TransSubXF_voltage element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0
New monitor.TransSubXF_current element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0

////////////////////////////////////

New monitor.CargaS860_power element=Load.S860 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS860_voltage element=Load.S860 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS860_current element=Load.S860 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS840_power element=Load.S840 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS840_voltage element=Load.S840 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS840_current element=Load.S840 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS844_power element=Load.S844 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS844_voltage element=Load.S844 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS844_current element=Load.S844 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS848_power element=Load.S848 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS848_voltage element=Load.S848 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS848_current element=Load.S848 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS830_power element=Load.S830 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS830_voltage element=Load.S830 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS830_current element=Load.S830 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS890_power element=Load.S890 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS890_voltage element=Load.S890 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS890_current element=Load.S890 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD802_806_power element=Load.D802_806 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD802_806_voltage element=Load.D802_806 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD802_806_current element=Load.D802_806 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD808_810_power element=Load.D808_810 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD808_810_voltage element=Load.D808_810 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD808_810_current element=Load.D808_810 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD818_820_power element=Load.D818_820 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD818_820_voltage element=Load.D818_820 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD818_820_current element=Load.D818_820 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD820_822_power element=Load.D820_822 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD820_822_voltage element=Load.D820_822 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD820_822_current element=Load.D820_822 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD816_824_power element=Load.D816_824 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD816_824_voltage element=Load.D816_824 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD816_824_current element=Load.D816_824 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_826_power element=Load.D824_826 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD824_826_voltage element=Load.D824_826 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD824_826_current element=Load.D824_826 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_828_power element=Load.D824_828 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD824_828_voltage element=Load.D824_828 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD824_828_current element=Load.D824_828 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD828_830_power element=Load.D828_830 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD828_830_voltage element=Load.D828_830 terminal=1 mode=0

```

FIGURA 91: Pagina 9 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

```

New monitor.CargaD828_830_current element=Load.D828_830 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD854_856_power element=Load.D854_856 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD854_856_voltage element=Load.D854_856 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD854_856_current element=Load.D854_856 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD832_858_power element=Load.D832_858 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD832_858_voltage element=Load.D832_858 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD832_858_current element=Load.D832_858 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_864_power element=Load.D858_864 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD858_864_voltage element=Load.D858_864 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD858_864_current element=Load.D858_864 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_834_power element=Load.D858_834 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD858_834_voltage element=Load.D858_834 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD858_834_current element=Load.D858_834 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD834_860_power element=Load.D834_860 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD834_860_voltage element=Load.D834_860 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD834_860_current element=Load.D834_860 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD860_836_power element=Load.D860_836 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD860_836_voltage element=Load.D860_836 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD860_836_current element=Load.D860_836 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD836_840_power element=Load.D836_840 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD836_840_voltage element=Load.D836_840 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD836_840_current element=Load.D836_840 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD862_838_power element=Load.D862_838 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD862_838_voltage element=Load.D862_838 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD862_838_current element=Load.D862_838 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD842_844_power element=Load.D842_844 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD842_844_voltage element=Load.D842_844 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD842_844_current element=Load.D842_844 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD844_846_power element=Load.D844_846 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD844_846_voltage element=Load.D844_846 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD844_846_current element=Load.D844_846 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD846_848_power element=Load.D846_848 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD846_848_voltage element=Load.D846_848 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD846_848_current element=Load.D846_848 terminal=1 mode=0

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

new monitor.PV_P0 PVSystem.PV 1 mode=1 ppolar=no
new monitor.VI_P0 PVSystem.PV 1
new monitor.mvars0 PVSystem.PV 1 mode=3

new monitor.PV_P1 PVSystem.PV1 1 mode=1 ppolar=no
new monitor.VI_P1 PVSystem.PV1 1
new monitor.mvars1 PVSystem.PV1 1 mode=3

new monitor.PV_P2 PVSystem.PV2 1 mode=1 ppolar=no
new monitor.VI_P2 PVSystem.PV2 1
new monitor.mvars2 PVSystem.PV2 1 mode=3

new monitor.PV_P3 PVSystem.PV3 1 mode=1 ppolar=no
new monitor.VI_P3 PVSystem.PV3 1
new monitor.mvars3 PVSystem.PV3 1 mode=3

new monitor.PV_P4 PVSystem.PV4 1 mode=1 ppolar=no
new monitor.VI_P4 PVSystem.PV 1
new monitor.mvars4 PVSystem.PV 1 mode=3

new monitor.PV_P5 PVSystem.PV5 1 mode=1 ppolar=no
new monitor.VI_P5 PVSystem.PV5 1
new monitor.mvars5 PVSystem.PV5 1 mode=3

```

FIGURA 92: Pagina 10 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

```
new monitor.PV_P6 PVSystem.PV6 1 mode=1 ppolar=no
new monitor.VI_P6 PVSystem.PV6 1
new monitor.mvars6 PVSystem.PV6 1 mode=3
```

```
new monitor.PV_P7 PVSystem.PV7 1 mode=1 ppolar=no
new monitor.VI_P7 PVSystem.PV7 1
new monitor.mvars7 PVSystem.PV7 1 mode=3
```

```
new monitor.PV_P8 PVSystem.PV8 1 mode=1 ppolar=no
new monitor.VI_P8 PVSystem.PV8 1
new monitor.mvars8 PVSystem.PV8 1 mode=3
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
Set VoltageBases = "69,24.9,4.16"
CalcVoltageBases
```

```
set controlmode = Static
```

```
set mode=daily
set number=24
set stepsize=1h
```

```
! solve
!set mode=snapshot
! solve
! set mode = harmonics
```

```
solve
BusCoords IEEE34_BusXY.csv
```

FIGURA 93: Pagina 11 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER, Fuente propia.

8.10. Código OpenDSS red IEEE 34 nodos con FER y PtH

```

Clear //Limpiar antes de comenzar

New object= circuit.ieee34
~ basekv=69 pu=1.05 angle=30
MVAsc3=200000 //potencia de cortocircuito trifasico de la red//
MVAsc1=210000 //potencia de cortocircuito monofasica de la red//

new "spectrum.PQY3" NumHarm=15 CSVFile=PQY3.csv
new "spectrum.YI3" NumHarm=15 CSVFile=YI3.csv
new "spectrum.YZ3" NumHarm=15 CSVFile=YZ3.csv

IPotencia Max de la red 21.6MW
IVoltaje 24900 v
ICorriente 869.5 A

IEspectro de las cargas
ICarga Comercial YI3
ICarga Industrial PQY3
ICarga Residencial YZ3

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I CURVAS DE DEMANDA

ICURVAS CARGA INDUSTRIAL

new loadshape.Industrial 24 1.0
~ mult=(0.3 0.25 0.2 0.2 0.25 0.23 0.4 0.7 0.9 0.9 0.85
0.75 0.75 0.91 1 1 0.75 0.5 0.4 0.35 0.35 0.3 0.3)

ICURVAS CARGA RESIDENCIAL

new loadshape.Residencial 24 1.0
~ mult=(0.18 0.18 0.18 0.18 0.18 0.2 0.3 0.42 0.37 0.23 0.18 0.26
0.45 0.45 0.26 0.18 0.27 0.48 0.85 1 1 0.7 0.5 0.25)

ICURVAS CARGA COMERCIAL

new loadshape.Comercial 24 1.0
~ mult=(0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.15 0.2 0.35 0.5 0.5 0.5
0.5 0.3 0.5 0.55 0.7 1 1 0.95 0.85 0.55 0.25 0.1)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I 70% Paneles 15.12MW con paneles de 450W se necesitan 33.6 Paneles

New Transformer.SubXF Phases=3 Windings=2 Xhl=0.001 ppm=0 // Z muy bajo y sin reactancia de derivación añadida//
~ wdg=1 bus=sourcebus conn=Delta kv=69 kva=25000 %r=0.0005 //Establecer el %r muy bajo//
~ wdg=2 bus=800 conn=wye kv=24.9 kva=25000 %r=0.0005

I Load Y-Y Transformer
New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08
~ wdg=1 bus=832 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95
~ wdg=2 bus=888 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

IPARAMETROS DEL PANEL SOLAR

// P-T curve is per unit of rated Pmpp vs temperature
// This one is for a Pmpp stated at 25 deg
New XYCurve.MyPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1.2 1.0 0.8 0.6]

// efficiency curve is per unit eff vs per unit power
New XYCurve.MyEff npts=4 xarray=[1 .2 .4 1.0] yarray=[.86 .9 .93 .97]

// per unit irradiance curve (per unit if "irradiance" property)

```

FIGURA 94: Pagina 1 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.

```

New Loadshape.Mylrad npts=24 interval=1 mult=[0 0 0 0 0 0.16518 0.36592 0.61482 1 0.6616 0.47251 0.67 0.51799 0.35028
0.13963 0.03959 0 0 0 0 0]

// 24-hr temp shape curve
New Tshape.MyTemp npts=24 interval=1 temp=[0 0 0 0 0 11.54920 17.88840 20.70855 22.26675 23.67285 24.40770 25.92183
24.66431 24.28733 23.31945 18.34429 20.52729 0 0 0 0 0]

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

ICURVA DEL ELECTROLIZADOR

new loadshape.Electrolizador npts=24 interval=1
~ mult=[0 0 0 0 0 0.100716639 0.741906433 1 1 1 1 1 0.994317094 0 0.677191932 0 0 0 0 0 0]

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I import line codes with phase impedance matrices
Redirect IEEELineCodes34.dss

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

ITRANSFORMADORES PARA LOS PANELES

I NODO 856
New Transformer.TPV1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08
~ wdg=1 bus=856 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95
~ wdg=2 bus=T1 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

ILINEAS ENTRE TRANSFORMADOR Y PANEL

New Line.L2c Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=FV.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)
New Line.LPV1 Phases=3 Bus1=856.1.2.3 Bus2=FV1.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.LPV2 Phases=3 Bus1=864.1 Bus2=FV2.1 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
New Line.LPV3 Phases=3 Bus1=840.1.2.3 Bus2=FV3.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
New Line.LPV4 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=FV4.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83
New Line.LPV5 Phases=3 Bus1=826.2 Bus2=FV5.2 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
New Line.LPV6 Phases=3 Bus1=822.1 Bus2=FV6.1 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
New Line.LPV7 Phases=3 Bus1=814.1.2.3 Bus2=FV7.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73
New Line.LPV8 Phases=3 Bus1=810.2 Bus2=FV8.2 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

ILINEAS DE CONEXION CON EL ELECTROLIZADOR

New Line.LE1 Phases=3 Bus1=812.1.2.3 Bus2=E1.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73
New Line.LE2 Phases=3 Bus1=828.1.2.3 Bus2=E2.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
New Line.LE3 Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=E3.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I Lines
I Definir líneas y buses de punto medio
I NOTA: Dado que las unidades no se especifican para la longitud, se supone que coinciden con las unidades del código de línea
New Line.L1 Phases=3 Bus1=800.1.2.3 Bus2=802.1.2.3 LineCode=300 Length=2.58
New Line.L2a Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=mid806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

I use in-line math to divide length by 2
New Line.L2b Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)
New Line.L3 Phases=3 Bus1=806.1.2.3 Bus2=808.1.2.3 LineCode=300 Length=32.23
New Line.L4a Phases=3 Bus1=808.2 Bus2=Mid810.2 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
New Line.L4b Phases=3 Bus1=Mid810.2 Bus2=810.2 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
New Line.L5 Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=812.1.2.3 LineCode=300 Length=37.5
New Line.L6 Phases=3 Bus1=812.1.2.3 Bus2=814.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73
New Line.L7 Phases=3 Bus1=814r.1.2.3 Bus2=850.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01
New Line.L24 Phases=3 Bus1=850.1.2.3 Bus2=816.1.2.3 LineCode=301 Length=0.31

```

FIGURA 95: Pagina 2 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.

```

New Line.L8 Phases=3 Bus1=816.1 Bus2=818.1 LineCode=302 Length=1.71
New Line.L9a Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=mid824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)
New Line.L9b Phases=3 Bus1=mid824.1.2.3 Bus2=824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)
New Line.L10a Phases=3 Bus1=818.1 Bus2=mid820.1 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
New Line.L10b Phases=3 Bus1=mid820.1 Bus2=820.1 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
New Line.L11a Phases=3 Bus1=820.1 Bus2=mid822.1 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
New Line.L11b Phases=3 Bus1=mid822.1 Bus2=822.1 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
New Line.L12a Phases=3 Bus1=824.2 Bus2=mid826.2 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
New Line.L12b Phases=3 Bus1=mid826.2 Bus2=826.2 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
New Line.L13a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
New Line.L13b Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
New Line.L14a Phases=3 Bus1=828.1.2.3 Bus2=mid830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
New Line.L14b Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
New Line.L15 Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=854.1.2.3 LineCode=301 Length=0.52
New Line.L16a Phases=3 Bus1=832.1.2.3 Bus2=mid858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
New Line.L16b Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
New Line.L29a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
New Line.L29b Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
New Line.L18 Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=842.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28
New Line.L19a Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=mid840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
New Line.L19b Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
New Line.L21a Phases=3 Bus1=842.1.2.3 Bus2=mid844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
New Line.L21b Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
New Line.L22a Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=mid846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
New Line.L22b Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
New Line.L23a Phases=3 Bus1=846.1.2.3 Bus2=mid848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.L23b Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.L26a Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=mid856.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.L26b Phases=3 Bus1=mid856.1.2.3 Bus2=856.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
New Line.L27 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=852.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I regulator in here
New Line.L25 Phases=3 Bus1=852r.1.2.3 Bus2=832.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

I 9-17-10 858-864 changed to phase A per error report
New Line.L28a Phases=3 Bus1=858.1 Bus2=mid864.1 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
New Line.L28b Phases=3 Bus1=mid864.1 Bus2=864.1 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
New Line.L17a Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=mid860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
New Line.L17b Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
New Line.L30a Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=mid836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
New Line.L30b Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
New Line.L20 Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=862.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28
New Line.L31a Phases=3 Bus1=862.2 Bus2=mid838.2 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
New Line.L31b Phases=3 Bus1=mid838.2 Bus2=838.2 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
New Line.L32 Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56
New Line.L32a Phases=3 Bus1=890.1.2.3 Bus2=8890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I Capacitores
New Capacitor.C844 Bus1=844 Phases=3 kVAR=300 kV=24.9
New Capacitor.C848 Bus1=848 Phases=3 kVAR=450 kV=24.9

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I Reguladores - tres fases independientes
I Regulator 1
new transformer.reg1a phases=1 windings=2 buses=(814.1 814r.1) conns='wye wye' kvs='14.376 14.376' kvas='2000 2000'
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1a transformer =reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctrim=100 R=2.7 X=1.6
new transformer.reg1b phases=1 windings=2 buses=(814.2 814r.2) conns='wye wye' kvs='14.376 14.376' kvas='2000 2000'
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1b transformer =reg1b winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctrim=100 R=2.7 X=1.6
new transformer.reg1c phases=1 windings=2 buses=(814.3 814r.3) conns='wye wye' kvs='14.376 14.376' kvas='2000 2000'
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1c transformer =reg1c winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctrim=100 R=2.7 X=1.6

I Regulator 2

```

FIGURA 96: Pagina 3 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.

```

new transformer.reg2a phases=1 windings=2 buses=(852.1 852r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2a transformer =reg2a winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.5 X=1.5 delay=30
new transformer.reg2b phases=1 windings=2 buses=(852.2 852r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2b transformer =reg2b winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.5 X=1.5 delay=30
new transformer.reg2c phases=1 windings=2 buses=(852.3 852r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000"
XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2c transformer =reg2c winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 cprim=100 R=2.5 X=1.5 delay=30

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I spot loads
New Load.S860 Bus1=860 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60.0 kVAR= 48.0 spectrum = PQY3
New Load.S840 Bus1=840 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 27.0 kVAR= 21.0 spectrum = YI3
New Load.S844 Bus1=844 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 405.0 kVAR= 315.0 spectrum = PQY3
New Load.S848 Bus1=848 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60.0 kVAR= 48.0 spectrum = PQY3
New Load.S830 Bus1=830 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 45 kVAR= 20 spectrum = YZ3
New Load.S890 Bus1=890 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 4.160 kW= 450.0 kVAR= 225.0 spectrum = PQY3
New Load.S810 Bus1=810 Phases=1 Conn=Wye Model=1 kV=24.900 kW=16 kVAR=8 spectrum = YZ3

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I ELECTROLIZADOR COMO CARGA VARIABLE

New Load.SElec1 Bus1=E1.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 1250 status= variable
New Load.SElec2 Bus1=E2.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 1250 status= variable
New Load.SElec3 Bus1=E3.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 1250 status= variable

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

I cargas distribuidas en medio de las líneas
New Load.D802_806 Bus1=Mid806.2 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 90 kVAR= 45 spectrum = YI3
New Load.D808_810 Bus1=Mid810 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 48 kVAR= 24 spectrum = YZ3
New Load.D818_820 Bus1=mid820 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 102 kVAR= 51 spectrum = YI3
New Load.D820_822 Bus1=mid822 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 405 kVAR= 210 spectrum = PQY3
New Load.D816_824 Bus1=mid824 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 15 kVAR= 6 spectrum = YZ3
New Load.D824_826 Bus1=mid826 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 120 kVAR= 60 spectrum = PQY3
New Load.D828_828 Bus1=mid828 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 12 kVAR= 6 spectrum = YZ3
New Load.D828_830 Bus1=mid830 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 21 kVAR= 9 spectrum = YZ3
New Load.D854_856 Bus1=mid856 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 12 kVAR= 6 spectrum = YZ3
New Load.D832_858 Bus1=mid858 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 15 kVAR= 7 spectrum = YZ3
New Load.D858_864 Bus1=mid864 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 6 kVAR= 4 spectrum = YZ3
New Load.D858_834 Bus1=mid834 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 32 kVAR= 17 spectrum = YZ3
New Load.D834_860 Bus1=mid860 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 146 kVAR= 73 spectrum = YZ3
New Load.D860_836 Bus1=mid836 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 82 kVAR= 43 spectrum = YI3
New Load.D836_840 Bus1=mid840 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60 kVAR= 30 spectrum = YI3
New Load.D862_838 Bus1=mid838 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 84 kVAR= 42 spectrum = YI3
New Load.D842_844 Bus1=mid844 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 27 kVAR= 15 spectrum = PQY3
New Load.D844_846 Bus1=mid846 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 75 kVAR= 36 spectrum = YI3
New Load.D846_848 Bus1=mid848 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 69 kVAR= 33 spectrum = YI3

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

IASIGNACIÓN DE LOS PANELES A LOS NODOS

New PVSystem.PV phases=3 Bus1=FV.1.2.3 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=500
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV1 phases=3 Bus1=FV1.1.2.3 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=3750
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV2 phases=1 Bus1=FV2.1 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=937.5
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV3 phases=3 Bus1=FV3.1.2.3 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=937.5
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV4 phases=3 Bus1=FV4.1.2.3 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=1875

```

FIGURA 97: Pagina 4 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.

```

~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV5 phases=1 Bus1=FV5.2 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=1875
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV6 phases=1 Bus1=FV6.1 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=937.5
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV7 phases=1 Bus1=FV7.1.2.3 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=937.5
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

New PVSystem.PV8 phases=1 Bus1=FV8.2 kV=14.376 irrad=0.8 Pmpp=3750
~ temperature=25 PF=0.98 effcurve=Myeff P-TCurve=MyPvsT Daily=MyIrrad TDaily=MyTemp

```

```

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

! Vminpu.
! Define the daily load shape to the DSS default
Load.s860.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.s840.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.s844.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.s848.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.s830.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.s890.vminpu=0.85 daily=Industrial

```

```

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

Load.SElec1.vminpu=0.85 daily=Electrolizador
Load.SElec2.vminpu=0.85 daily=Electrolizador
Load.SElec3.vminpu=0.85 daily=Electrolizador

```

```

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

Load.d802_806.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d808_810.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d818_820.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d820_822.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.d816_824.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d824_826.vminpu=0.85 daily=Industrial
Load.d824_828.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d828_830.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d854_856.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d832_858.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d858_864.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d858_834.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d834_860.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d860_836.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d836_840.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d862_838.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d842_844.vminpu=0.85 daily=Residencial
Load.d844_846.vminpu=0.85 daily=Comercial
Load.d846_848.vminpu=0.85 daily=Comercial

```

```

! Vmax
Load.s860.vmaxpu=1.15
Load.s840.vmaxpu=1.15
Load.s844.vmaxpu=1.15
Load.s848.vmaxpu=1.15
Load.s830.vmaxpu=1.15
Load.s890.vmaxpu=1.15

```

```

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

Load.SElec1.vmaxpu=1.15
Load.SElec1.vmaxpu=1.15
Load.SElec1.vmaxpu=1.15

```

```

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

```

```

Load.d802_806.vmaxpu=1.15
Load.d808_810.vmaxpu=1.15

```

FIGURA 98: Pagina 5 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.

```

Load.d818_820.vmaxpu=1.15
Load.d820_822.vmaxpu=1.15
Load.d816_824.vmaxpu=1.15
Load.d824_826.vmaxpu=1.15
Load.d824_828.vmaxpu=1.15
Load.d828_830.vmaxpu=1.15
Load.d854_856.vmaxpu=1.15
Load.d832_858.vmaxpu=1.15
Load.d858_864.vmaxpu=1.15
Load.d858_834.vmaxpu=1.15
Load.d834_860.vmaxpu=1.15
Load.d834_860.vmaxpu=1.15
Load.d860_836.vmaxpu=1.15
Load.d836_840.vmaxpu=1.15
Load.d862_838.vmaxpu=1.15
Load.d842_844.vmaxpu=1.15
Load.d844_846.vmaxpu=1.15
Load.d846_848.vmaxpu=1.15

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

!New energymeter.M1 element=Transformer.SubXF terminal=1
New energymeter.M1 element=Line.L1 terminal=1

New monitor.Line1_power element=Line.L1 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line1_voltage element=Line.L1 terminal=1 mode=0
New monitor.Line1_current element=Line.L1 terminal=1 mode=0

New monitor.Line2a_power element=Line.L2a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line2a_voltage element=Line.L2a terminal=1 mode=0
New monitor.Line2a_current element=Line.L2a terminal=1 mode=0

New monitor.Line2b_power element=Line.L2b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line2b_voltage element=Line.L2b terminal=1 mode=0
New monitor.Line2b_current element=Line.L2b terminal=1 mode=0

New monitor.L2c_power element=Line.L2c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.L2c_voltage element=Line.L2c terminal=1 mode=0
New monitor.L2c_current element=Line.L2c terminal=1 mode=0

New monitor.Line3_power element=Line.L3 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line3_voltage element=Line.L3 terminal=1 mode=0
New monitor.Line3_current element=Line.L3 terminal=1 mode=0

New monitor.Line4a_power element=Line.L4a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line4a_voltage element=Line.L4a terminal=1 mode=0
New monitor.Line4a_current element=Line.L4a terminal=1 mode=0

New monitor.Line4b_power element=Line.L4b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line4b_voltage element=Line.L4b terminal=1 mode=0
New monitor.Line4b_current element=Line.L4b terminal=1 mode=0

New monitor.Line5_power element=Line.L5 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line5_voltage element=Line.L5 terminal=1 mode=0
New monitor.Line5_current element=Line.L5 terminal=1 mode=0

New monitor.Line6_power element=Line.L6 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line6_voltage element=Line.L6 terminal=1 mode=0
New monitor.Line6_current element=Line.L6 terminal=1 mode=0

New monitor.Line7_power element=Line.L7 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line7_voltage element=Line.L7 terminal=1 mode=0
New monitor.Line7_current element=Line.L7 terminal=1 mode=0

New monitor.Line8_power element=Line.L8 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line8_voltage element=Line.L8 terminal=1 mode=0
New monitor.Line8_current element=Line.L8 terminal=1 mode=0

New monitor.Line9a_power element=Line.L9a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line9a_voltage element=Line.L9a terminal=1 mode=0
New monitor.Line9a_current element=Line.L9a terminal=1 mode=0

```

FIGURA 99: Pagina 6 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.

```

New monitor.Line9b_power element=Line.L9b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line9b_voltage element=Line.L9b terminal=1 mode=0
New monitor.Line9b_current element=Line.L9b terminal=1 mode=0

New monitor.Line10a_power element=Line.L10a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line10a_voltage element=Line.L10a terminal=1 mode=0
New monitor.Line10a_current element=Line.L10a terminal=1 mode=0

New monitor.Line10b_power element=Line.L10b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line10b_voltage element=Line.L10b terminal=1 mode=0
New monitor.Line10b_current element=Line.L10b terminal=1 mode=0

New monitor.Line11a_power element=Line.L11a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line11a_voltage element=Line.L11a terminal=1 mode=0
New monitor.Line11a_current element=Line.L11a terminal=1 mode=0

New monitor.Line11b_power element=Line.L11b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line11b_voltage element=Line.L11b terminal=1 mode=0
New monitor.Line11b_current element=Line.L11b terminal=1 mode=0

New monitor.Line12a_power element=Line.L12a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line12a_voltage element=Line.L12a terminal=1 mode=0
New monitor.Line12a_current element=Line.L12a terminal=1 mode=0

New monitor.Line12b_power element=Line.L12b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line12b_voltage element=Line.L12b terminal=1 mode=0
New monitor.Line12b_current element=Line.L12b terminal=1 mode=0

New monitor.Line13a_power element=Line.L13a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line13a_voltage element=Line.L13a terminal=1 mode=0
New monitor.Line13a_current element=Line.L13a terminal=1 mode=0

New monitor.Line13b_power element=Line.L13b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line13b_voltage element=Line.L13b terminal=1 mode=0
New monitor.Line13b_current element=Line.L13b terminal=1 mode=0

New monitor.Line14a_power element=Line.L14a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line14a_voltage element=Line.L14a terminal=1 mode=0
New monitor.Line14a_current element=Line.L14a terminal=1 mode=0

New monitor.Line14b_power element=Line.L14b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line14b_voltage element=Line.L14b terminal=1 mode=0
New monitor.Line14b_current element=Line.L14b terminal=1 mode=0

New monitor.Line15_power element=Line.L15 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line15_voltage element=Line.L15 terminal=1 mode=0
New monitor.Line15_current element=Line.L15 terminal=1 mode=0

New monitor.Line16a_power element=Line.L16a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line16a_voltage element=Line.L16a terminal=1 mode=0
New monitor.Line16a_current element=Line.L16a terminal=1 mode=0

New monitor.Line16b_power element=Line.L16b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line16b_voltage element=Line.L16b terminal=1 mode=0
New monitor.Line16b_current element=Line.L16b terminal=1 mode=0

New monitor.Line17a_power element=Line.L17a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line17a_voltage element=Line.L17a terminal=1 mode=0
New monitor.Line17a_current element=Line.L17a terminal=1 mode=0

New monitor.Line17b_power element=Line.L17b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line17b_voltage element=Line.L17b terminal=1 mode=0
New monitor.Line17b_current element=Line.L17b terminal=1 mode=0

New monitor.Line18_power element=Line.L18 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line18_voltage element=Line.L18 terminal=1 mode=0
New monitor.Line18_current element=Line.L18 terminal=1 mode=0

New monitor.Line19a_power element=Line.L19a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line19a_voltage element=Line.L19a terminal=1 mode=0

```

FIGURA 100: Pagina 7 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y Pth, Fuente propia.

```

New monitor.Line19a_current element=Line.L19a terminal=1 mode=0

New monitor.Line19b_power element=Line.L19b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line19b_voltage element=Line.L19b terminal=1 mode=0
New monitor.Line19b_current element=Line.L19b terminal=1 mode=0

New monitor.Line20_power element=Line.L20 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line20_voltage element=Line.L20 terminal=1 mode=0
New monitor.Line20_current element=Line.L20 terminal=1 mode=0

New monitor.Line21a_power element=Line.L21a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line21a_voltage element=Line.L21a terminal=1 mode=0
New monitor.Line21a_current element=Line.L21a terminal=1 mode=0

New monitor.Line21b_power element=Line.L21b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line21b_voltage element=Line.L21b terminal=1 mode=0
New monitor.Line21b_current element=Line.L21b terminal=1 mode=0

New monitor.Line22a_power element=Line.L22a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line22a_voltage element=Line.L22a terminal=1 mode=0
New monitor.Line22a_current element=Line.L22a terminal=1 mode=0

New monitor.Line22b_power element=Line.L22b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line22b_voltage element=Line.L22b terminal=1 mode=0
New monitor.Line22b_current element=Line.L22b terminal=1 mode=0

New monitor.Line23a_power element=Line.L23a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line23a_voltage element=Line.L23a terminal=1 mode=0
New monitor.Line23a_current element=Line.L23a terminal=1 mode=0

New monitor.Line23b_power element=Line.L23b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line23b_voltage element=Line.L23b terminal=1 mode=0
New monitor.Line23b_current element=Line.L23b terminal=1 mode=0

New monitor.Line24_power element=Line.L24 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line24_voltage element=Line.L24 terminal=1 mode=0
New monitor.Line24_current element=Line.L24 terminal=1 mode=0

New monitor.Line25_power element=Line.L25 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line25_voltage element=Line.L25 terminal=1 mode=0
New monitor.Line25_current element=Line.L25 terminal=1 mode=0

New monitor.Line26a_power element=Line.L26a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line26a_voltage element=Line.L26a terminal=1 mode=0
New monitor.Line26a_current element=Line.L26a terminal=1 mode=0

New monitor.Line26b_power element=Line.L26b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line26b_voltage element=Line.L26b terminal=1 mode=0
New monitor.Line26b_current element=Line.L26b terminal=1 mode=0

New monitor.Line27_power element=Line.L27 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line27_voltage element=Line.L27 terminal=1 mode=0
New monitor.Line27_current element=Line.L27 terminal=1 mode=0

New monitor.Line28a_power element=Line.L28a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line28a_voltage element=Line.L28a terminal=1 mode=0
New monitor.Line28a_current element=Line.L28a terminal=1 mode=0

New monitor.Line28b_power element=Line.L28b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line28b_voltage element=Line.L28b terminal=1 mode=0
New monitor.Line28b_current element=Line.L28b terminal=1 mode=0

New monitor.Line29a_power element=Line.L28a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line29a_voltage element=Line.L28a terminal=1 mode=0
New monitor.Line29a_current element=Line.L28a terminal=1 mode=0

New monitor.Line29b_power element=Line.L28b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line29b_voltage element=Line.L28b terminal=1 mode=0
New monitor.Line29b_current element=Line.L28b terminal=1 mode=0

New monitor.Line30a_power element=Line.L30a terminal=1 ppolar=no mode=1

```

FIGURA 101: Pagina 8 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y Pth, Fuente propia.

```

New monitor.Line30a_voltage element=Line.L30a terminal=1 mode=0
New monitor.Line30a_current element=Line.L30a terminal=1 mode=0

New monitor.Line30b_power element=Line.L30b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line30b_voltage element=Line.L30b terminal=1 mode=0
New monitor.Line30b_current element=Line.L30b terminal=1 mode=0

New monitor.Line31a_power element=Line.L31a terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line31a_voltage element=Line.L31a terminal=1 mode=0
New monitor.Line31a_current element=Line.L31a terminal=1 mode=0

New monitor.Line31b_power element=Line.L31b terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line31b_voltage element=Line.L31b terminal=1 mode=0
New monitor.Line31b_current element=Line.L31b terminal=1 mode=0

New monitor.Line32_power element=Line.L32 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line32_voltage element=Line.L32 terminal=1 mode=0
New monitor.Line32_current element=Line.L32 terminal=1 mode=0

New monitor.Line32a_power element=Line.L32 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line32a_voltage element=Line.L32 terminal=1 mode=0
New monitor.Line32a_current element=Line.L32 terminal=1 mode=0

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

New monitor.LPV1_power element=Line.LPV1 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV1_voltage element=Line.LPV1 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV1_current element=Line.LPV1 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV2_power element=Line.LPV2 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV2_voltage element=Line.LPV2 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV2_current element=Line.LPV2 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV3_power element=Line.LPV3 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV3_voltage element=Line.LPV3 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV3_current element=Line.LPV3 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV4_power element=Line.LPV4 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV4_voltage element=Line.LPV4 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV4_current element=Line.LPV4 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV5_power element=Line.LPV5 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV5_voltage element=Line.LPV5 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV5_current element=Line.LPV5 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV6_power element=Line.LPV6 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV6_voltage element=Line.LPV6 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV6_current element=Line.LPV6 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV7_power element=Line.LPV7 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV7_voltage element=Line.LPV7 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV7_current element=Line.LPV7 terminal=1 mode=0

New monitor.LPV8_power element=Line.LPV8 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LPV8_voltage element=Line.LPV8 terminal=1 mode=0
New monitor.LPV8_current element=Line.LPV8 terminal=1 mode=0

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

New monitor.LE1_power element=Line.LE1 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LE1_voltage element=Line.LE1 terminal=1 mode=0
New monitor.LE1_current element=Line.LE1 terminal=1 mode=0

New monitor.LE2_power element=Line.LE2 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LE2_voltage element=Line.LE2 terminal=1 mode=0
New monitor.LE2_current element=Line.LE2 terminal=1 mode=0

New monitor.LE3_power element=Line.LE3 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.LE3_voltage element=Line.LE3 terminal=1 mode=0
New monitor.LE3_current element=Line.LE3 terminal=1 mode=0

```

FIGURA 102: Pagina 9 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y Pth, Fuente propia.

```

/////////////////////////////////////////////////////////////////
New monitor.TransSubXF_power element=Transformer.SubXF terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.TransSubXF_voltage element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0
New monitor.TransSubXF_current element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0
/////////////////////////////////////////////////////////////////

New monitor.CargaS860_power element=Load.S860 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS860_voltage element=Load.S860 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS860_current element=Load.S860 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS840_power element=Load.S840 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS840_voltage element=Load.S840 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS840_current element=Load.S840 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS844_power element=Load.S844 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS844_voltage element=Load.S844 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS844_current element=Load.S844 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS848_power element=Load.S848 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS848_voltage element=Load.S848 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS848_current element=Load.S848 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS830_power element=Load.S830 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS830_voltage element=Load.S830 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS830_current element=Load.S830 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS890_power element=Load.S890 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaS890_voltage element=Load.S890 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaS890_current element=Load.S890 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD802_806_power element=Load.D802_806 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD802_806_voltage element=Load.D802_806 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD802_806_current element=Load.D802_806 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD808_810_power element=Load.D808_810 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD808_810_voltage element=Load.D808_810 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD808_810_current element=Load.D808_810 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD818_820_power element=Load.D818_820 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD818_820_voltage element=Load.D818_820 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD818_820_current element=Load.D818_820 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD820_822_power element=Load.D820_822 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD820_822_voltage element=Load.D820_822 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD820_822_current element=Load.D820_822 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD816_824_power element=Load.D816_824 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD816_824_voltage element=Load.D816_824 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD816_824_current element=Load.D816_824 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_826_power element=Load.D824_826 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD824_826_voltage element=Load.D824_826 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD824_826_current element=Load.D824_826 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_828_power element=Load.D824_828 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD824_828_voltage element=Load.D824_828 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD824_828_current element=Load.D824_828 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD828_830_power element=Load.D828_830 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD828_830_voltage element=Load.D828_830 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD828_830_current element=Load.D828_830 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD854_856_power element=Load.D854_856 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD854_856_voltage element=Load.D854_856 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD854_856_current element=Load.D854_856 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD832_858_power element=Load.D832_858 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD832_858_voltage element=Load.D832_858 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD832_858_current element=Load.D832_858 terminal=1 mode=0

```

FIGURA 103: Pagina 10 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y PtH, Fuente propia.

```

New monitor.CargaD858_864_power element=Load.D858_864 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD858_864_voltage element=Load.D858_864 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD858_864_current element=Load.D858_864 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_834_power element=Load.D858_834 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD858_834_voltage element=Load.D858_834 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD858_834_current element=Load.D858_834 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD834_860_power element=Load.D834_860 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD834_860_voltage element=Load.D834_860 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD834_860_current element=Load.D834_860 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD860_836_power element=Load.D860_836 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD860_836_voltage element=Load.D860_836 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD860_836_current element=Load.D860_836 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD836_840_power element=Load.D836_840 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD836_840_voltage element=Load.D836_840 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD836_840_current element=Load.D836_840 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD862_838_power element=Load.D862_838 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD862_838_voltage element=Load.D862_838 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD862_838_current element=Load.D862_838 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD842_844_power element=Load.D842_844 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD842_844_voltage element=Load.D842_844 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD842_844_current element=Load.D842_844 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD844_846_power element=Load.D844_846 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD844_846_voltage element=Load.D844_846 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD844_846_current element=Load.D844_846 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD846_848_power element=Load.D846_848 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD846_848_voltage element=Load.D846_848 terminal=1 mode=0
New monitor.CargaD846_848_current element=Load.D846_848 terminal=1 mode=0

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
/*
new monitor.m1 PVSystem.PV 1 mode=1 ppolar=no
new monitor.m2 PVSystem.PV 1
new monitor.mvars PVSystem.PV 1 mode=3
*/
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Set VoltageBases = "69,24.9,4.16"
CalcVoltageBases

set controlmode = Static

set mode=daily
set number=24
set stepsize=1h

! solve
!set mode=snapshot
! solve
! set mode = harmonics

solve
BusCoords IEEE34_BusXY.csv

```

FIGURA 104: Pagina 11 Código OpenDSS red IEEE34 nodos con FER y Pth, Fuente propia.

8.11. Corrección de los índices

Teniendo en cuenta lo mencionado en la sección ?? se realiza la desconexión de los paneles con el fin de garantizar el cumplimiento de la restricciones de operación en cada hora del día. En la tabla 5.5.3 se muestran las

correcciones mencionadas.

Hora	Índice 1 (%)		Índice 2 (%)			Índice 3 (%)	
	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E3
6	0	0	100	100	100	84,6	75,6
7	0	8,43	100	98	100	83,8	101,5
8	0	16,05	100	16	100	73,7	136,2
9	0	20,89	100	6	100	55,8	175,6
10	0	18,09	100	10	100	42,7	164,0
11	0	20,28	100	10	100	43,2	169,6
12	0	16,65	100	73	100	44,9	129,6
13	0	20,65	100	10	100	48,2	172,6
14	0	18,38	100	12	100	52,6	150,1
15	0	13,91	100	84	100	41,9	127,2
16	6,56	6,56	100	100	100	36,9	113,3
17	0,81	0,81	98	100	100	32,7	40,1

TABLA 19: Índices de flexibilidad corregidos

Bibliografía

- [1] A. de protección ambiental de Estados Unidos, «Emisiones de dióxido de carbono | US EPA», *Emisiones de dióxido de carbono*, dirección: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>.
- [2] O. B. Lizano, «CALENTAMIENTO GLOBAL: "La maxima expresion de la civilizacion petrofossil"», págs. 1-35, 2013. dirección: <https://www.redalyc.org/pdf/2433/243329724003.pdf>.
- [3] S. Kumar y R. Madlener, «Energy systems and COP21 Paris climate agreement targets in Germany: An integrated modeling approach», *2018 7th International Energy and Sustainability Conference, IESC 2018*, ago. de 2018. DOI: 10.1109/IESC.2018.8440004.
- [4] Ó. D. Martínez, «¿Qué es la transición energética?», *La republica*, dic. de 2021.
- [5] A. G. Olabi y M. A. Abdelkareem, «Renewable energy and climate change», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 158, pág. 112 111, November 2021 2022, ISSN: 18790690. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112111. dirección: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112111>.
- [6] T. Xu, W. Gao, F. Qian e Y. Li, «The implementation limitation of variable renewable energies and its impacts on the public power grid», *Energy*, vol. 239, pág. 121 992, 2022, ISSN: 03605442. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121992. dirección: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121992>.
- [7] L. Fagiolari, M. Sampò, A. Lamberti et al., «Integrated energy conversion and storage devices: Interfacing solar cells, batteries and supercapacitors», *Energy Storage Materials*, vol. 51, págs. 400-434, June 2022, ISSN: 24058297. DOI: 10.1016/j.ensm.2022.06.051.
- [8] D. R. Bermúdez y J. M. S. Lissen, «Sistemas de Almacenamiento de Energía. Baterías de Flujo», 2021.
- [9] M. Sterner y M. Specht, «Developing a New Storage Concept», págs. 1-18, 2021.
- [10] M. Sterner y M. Specht, «Power-to-gas and power-to-x—the history and results of developing a new storage concept», *Energies*, vol. 14, 20 oct. de 2021, ISSN: 19961073. DOI: 10.3390/en14206594.
- [11] A. : Luis, M. S. Bermúdez, D. Tomás, S. Martínez y A. E. Perejón, «Trabajo Fin de Carrera Ingeniería de la Energía Potencial de los sistemas Power-To-Power para el almacenamiento de energía de origen renovable», pág. 20, 2021. dirección: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/127625/TFG-3815-SORIANO%20BERMUDEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [12] S. H. R. Hosseini, A. Allahham, S. L. Walker y P. Taylor, *Optimal planning and operation of multi-vector energy networks: A systematic review*, nov. de 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110216.
- [13] J. Gea-Bermúdez, I. G. Jensen, M. Münster et al., «The role of sector coupling in the green transition: A least-cost energy system development in Northern-central Europe towards 2050», *Applied Energy*, vol. 289, pág. 116 685, September 2020 2021, ISSN: 03062619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116685. dirección: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116685>.

-
- [14] J. Gong, N. J. English, D. Pant, G. R. Patzke, S. Protti y T. Zhang, *Power-to-X: Lighting the Path to a Net-Zero-Emission Future*, mayo de 2021. DOI: 10.1021/acssuschemeng.1c03212.
- [15] M. Heleno y Z. Ren, «Multi-Energy Microgrid Planning Considering Heat Flow Dynamics», *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 36, págs. 1962-1971, 3 2021, ISSN: 15580059. DOI: 10.1109/TEC.2020.3041572.
- [16] F. Zhang, A. Salimu y L. Ding, «Operation and optimal sizing of combined P2G-GfG unit with gas storage for frequency regulation considering curtailed wind power», *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 141, oct. de 2022, ISSN: 01420615. DOI: 10.1016/j.ijepes.2022.108278.
- [17] M. Hermesmann, K. Grübel, L. Scherotzki y T. E. Müller, «Promising pathways: The geographic and energetic potential of power-to-x technologies based on regeneratively obtained hydrogen», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 138, mar. de 2021, ISSN: 18790690. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110644.
- [18] L. Gan, P. Jiang, B. Lev y X. Zhou, *Balancing of supply and demand of renewable energy power system: A review and bibliometric analysis*, ene. de 2020. DOI: 10.1016/j.sftr.2020.100013.
- [19] «Scopus - Document search results», 2023. dirección: <https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=%28+%22P2X%22++OR++%22Power+to+X%22++OR++%22Power+-+to+-+x%22+%29&sid=673ab4b2900ae148f589ea21f8adc2sot=b&sdt=b&sl=64&s=TITLE-ABS-KEY%28%28+%22P2X%22++OR++%22Power+to+X%22++OR++%22Power+-+to+-+x%22+%29%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present>.
- [20] «Hoja de ruta del hidrogeno en Colombia»,
- [21] «Cambio climático - Desarrollo Sostenible», dirección: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>.
- [22] «CONSECUENCIAS SOCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO», dirección: <https://empresasporelclima.es/actualidad/4230-consecuencias-sociales-del-cambio-climatico>.
- [23] S. W. Monie y M. Åberg, «Power balancing capacity and biomass demand from flexible district heating production to balance variable renewable power generation», *Smart Energy*, vol. 4, nov. de 2021, ISSN: 26669552. DOI: 10.1016/J.SEGY.2021.100051.
- [24] B. A. Fadheel, N. I. A. Wahab, A. J. Mahdi, M. A. B. M. Radzi y A. B. C. Soh, «Review of the Virtual Inertia Strategies from Intermittent Renewable Energy Resources on the Power System», *2021 12th International Renewable Energy Congress, IREC 2021*, Irec 2021. DOI: 10.1109/IREC52758.2021.9624801.
- [25] N. E. McIhael, S. Hasan, M. Mishra y H. D. Mathur, «Investigation of Virtual Inertia Topologies Considering Energy Storage Systems and Multi-Resource Virtual Power Plant», *2022 1st International Conference on Electrical, Electronics, Information and Communication Technologies, ICEEICT 2022*, 2022. DOI: 10.1109/ICEEICT53079.2022.9768471.
- [26] T. Kerdphol, F. S. Rahman, V. Phunpeng, M. Watanabe e Y. Mitani, «Demonstration of Virtual Inertia Emulation Using Energy Storage Systems to Support Community-Based High Renewable Energy Penetration», *GHTC 2018 - IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Proceedings*, 2019. DOI: 10.1109/GHTC.2018.8601755.
- [27] H. Bevrani y J. Raisch, «On Virtual inertia Application in Power Grid Frequency Control», *Energy Procedia*, vol. 141, págs. 681-688, 2017, ISSN: 18766102. DOI: 10.1016/J.EGYPRO.2017.11.093.
- [28] I. Staff, *2019 IEEE Conference on Power Electronics and Renewable Energy (CPERE)*. IEEE, 2019, ISBN: 9781728109107.

-
- [29] J. J. G. Rendón, A. G. Gómez, L. V. Tobón y H. V. Ceballos, «8. Redes inteligentes y mecanismo de respuesta de la demanda», *Revista de Economía del Caribe*, vol. 23, págs. 35-45, 2019.
 - [30] G. Chicco, S. Riaz, A. Mazza y P. Mancarella, «Flexibility from Distributed Multienergy Systems», *Proceedings of the IEEE*, vol. 108, págs. 1496-1517, 9 2020, ISSN: 15582256. DOI: 10.1109/JPROC.2020.2986378.
 - [31] IRENA, *Flexibilidad del sistema eléctrico para la transición energética, parte 1: panorama general para los encargados de formular políticas*. 2018, pág. 45, ISBN: 9789292600891.
 - [32] A. Martín-Crespo, S. Saludes-Rodil y E. Baeyens, «Flexibility management with virtual batteries of thermostatically controlled loads: Real-time control system and potential in Spain», *Energies*, vol. 14, 6 2021, ISSN: 19961073. DOI: 10.3390/en14061711.
 - [33] S. Riaz y P. Mancarella, «Modelling and Characterisation of Flexibility from Distributed Energy Resources», *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 37, págs. 38-50, 1 2022, ISSN: 15580679. DOI: 10.1109/TPWRS.2021.3096971.
 - [34] M. Borasio y S. Moret, «Deep decarbonisation of regional energy systems: A novel modelling approach and its application to the Italian energy transition», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 153, pág. 111730, December 2020 2022, ISSN: 18790690. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111730. dirección: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111730>.
 - [35] «El Acuerdo de París | CMNUCC», dirección: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>.
 - [36] M. Schäfer, O. Gretzschel y H. Steinmetz, «The possible roles of wastewater treatment plants in sector coupling», *Energies*, vol. 13, págs. 1-20, 8 2020, ISSN: 19961073. DOI: 10.3390/en13082088.
 - [37] S. Bajohr, N. Trudel, F. Graf, W. Köppel y T. Kolb, «Comparison of power-to-X technologies for the production of fuels from renewable electricity», vol. 1, 2017, págs. 231-237, ISBN: 9781510863170.
 - [38] L. G. Richards, «Special session: Learning design thinking using engineering case studies», *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, vol. 2017-Octob, págs. 1-3, 2017, ISSN: 15394565. DOI: 10.1109/FIE.2017.8190560.
 - [39] J. Zuwala y K. Sztékler, «Implementation of case study method as an effective teaching tool in engineering education», *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, vol. 2018-April, págs. 89-94, 2018, ISSN: 21659567. DOI: 10.1109/EDUCON.2018.8363213.
 - [40] IDEAM, «DOCUMENTO METODOLÓGICO ESTADÍSTICAS VARIABLES METEOROLÓGICAS METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA VARIABLES METEOROLÓGICAS INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES-IDEAM Subdirección de Meteorología», vol. 2, págs. 1-112, mayo de 2018. dirección: <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Documento+metodologico+variables+meteorologicas.pdf/8a71a9b4-7dd7-4af4-b98e-9b1eda3b8744>.
 - [41] D. A. S. Teresa, «Estudio de los métodos de estimación robusta en el proceso de la orientación absoluta aplicados a distintos conjuntos de datos», dirección: https://oa.upm.es/43262/1/PFC_TERESA_SANCHEZ_RIESGO.pdf.
 - [42] R. H. Zamar, *Estimación robusta*, 1994.
 - [43] J. I. Illana, *Métodos Monte Carlo*.
 - [44] Epidat, «Distribuciones de probabilidad», oct. de 2014. dirección: https://www.sergas.es/Saude-publica/Documents/1899/Ayuda_Epidat_4_Distribuciones_de_probabilidad_Octubre2014.pdf.

-
- [45] C. E. Flores y K. L. Flores, «PRUEBAS PARA COMPROBAR LA NORMALIDAD DE DATOS EN PROCESOS PRODUCTIVOS: ANDERSON-DARLING, RYAN-JOINER, SHAPIRO-WILK Y KOLMOGÓROV-SMIRNOV», *Societas. Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, vol. 23, mayo de 2021, ISSN: 1560-0408. dirección: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/index.html>.
- [46] B. Illowsky y S. Dean, «9.1 Hipótesis nula y alternativa - Introducción a la estadística | OpenStax», *Introducción a la estadística*, feb. de 2022. dirección: <https://openstax.org/books/introducci%C3%B3n-estad%C3%ADstica/pages/9-1-hipotesis-nula-y-alternativa>.
- [47] J. J. R. Roddriguez, *EMULADOR DE UN PANEL SOLAR CONSIDERANDO IRRADIANCIA Y TEMPERATURA*, jun. de 2018.
- [48] I. Sorrenti, T. B. H. Rasmussen, S. You y Q. Wu, «The role of power-to-X in hybrid renewable energy systems: A comprehensive review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 165, February 2022, ISSN: 18790690. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112380.
- [49] M. J. Palys y P. Daoutidis, «Power-to-X: A review and perspective», *Computers and Chemical Engineering*, vol. 165, sep. de 2022, ISSN: 00981354. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2022.107948.
- [50] K. Ghaib y F.-Z. Ben-Fares, «Power-to-Methane: A state-of-the-art review», 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2017.08.004. dirección: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.004>.
- [51] M. Sterner e I. Stadler, *Chemical Energy Storage*, 2019.
- [52] *Conoce los tipos de electrolizadores que existen actualmente, es*, <https://ideagreen.es/hidrogeno-verde/tipos-de-electrolizadores/>, Accessed: 2023-9-13, feb. de 2021.
- [53] D. Bessarabov y P. Millet, «PEM Water Electrolysis», en B. G. Pollet, ed., Academic Press. Elsevier, 2018, vol. 1, págs. i-iii. DOI: 10.1016/b978-0-12-811145-1.00011-3.
- [54] K. Hu, J. Fang, X. Ai et al., «Comparative study of alkaline water electrolysis, proton exchange membrane water electrolysis and solid oxide electrolysis through multiphysics modeling», *Applied Energy*, vol. 312, abr. de 2022, ISSN: 03062619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2022.118788.
- [55] A. Buttler y H. Spliethoff, *Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review*, feb. de 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2017.09.003.
- [56] S. S. Kumar y H. Lim, «An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production», *Energy Reports*, vol. 8, págs. 13793-13813, nov. de 2022, ISSN: 23524847. DOI: 10.1016/j.egy.2022.10.127.
- [57] Á. Hernández-Gómez, V. Ramirez y D. Guilbert, «Investigation of PEM electrolyzer modeling: Electrical domain, efficiency, and specific energy consumption», *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, págs. 14625-14639, 29 mayo de 2020, ISSN: 03603199. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.03.195.
- [58] Á. Hernández-Gómez, V. Ramirez y D. Guilbert, «Investigation of PEM electrolyzer modeling: Electrical domain, efficiency, and specific energy consumption», *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, págs. 14625-14639, 29 mayo de 2020, ISSN: 03603199. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.03.195.
- [59] I. E. C. Society, I. I. A. Society, I. P. E. Society et al., *Experimental Validation of an Equivalent Dynamic Electrical Model for a Proton Exchange Membrane Electrolyzer*, ISBN: 9781538651865.
- [60] O. Atlam y M. Kolhe, «Equivalent electrical model for a proton exchange membrane (PEM) electrolyser», *Energy Conversion and Management*, vol. 52, págs. 2952-2957, 8-9 2011, ISSN: 01968904. DOI: 10.1016/j.enconman.2011.04.007.

- [61] D. S. Falcão y A. M. Pinto, *A review on PEM electrolyzer modelling: Guidelines for beginners*, jul. de 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121184.
- [62] A. Ursúa, L. M. Gandía y P. Sanchis, «Hydrogen production from water electrolysis: Current status and future trends», vol. 100, Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., 2012, págs. 410-426. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2156750.
- [63] I. I. E. Society, I. of Electrical, E. E. L. Section, I. C. on Renewable Energies for Developing Countries 2 2014.11.26-27 Beirut y R. 2. 2.-2. Beirut, *Simulink Model for a PEM Electrolyzer Based on an Equivalent Electrical Circuit*, ISBN: 9781479919147.
- [64] L. Allidières, A. Brisse, P. Millet, S. Valentin y M. Zeller, «On the ability of pem water electrolyzers to provide power grid services», *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, págs. 9690-9700, 20 abr. de 2019, ISSN: 03603199. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.11.186.
- [65] H. Lange, A. Klose, W. Lippmann y L. Urbas, «Technical evaluation of the flexibility of water electrolysis systems to increase energy flexibility: A review», *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 48, págs. 15771-15783, 42 mayo de 2023, ISSN: 03603199. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.01.044.
- [66] S. Mucci, A. Mitsos y D. Bongartz, «Power-to-X processes based on PEM water electrolyzers: A review of process integration and flexible operation», *Computers and Chemical Engineering*, vol. 175, jul. de 2023, ISSN: 00981354. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2023.108260.
- [67] UPME, *¿Como esta organizado el sector?*, 2015. dirección: <http://www.superservicios.gov.co>.
- [68] G. Abhandlung, «Estimation of Flexibility Potentials in Active Distribution Networks», *Universidad Stuttgart*, 2021.
- [69] H. Wang, S. Riaz y P. Mancarella, «Integrated techno-economic modeling, flexibility analysis, and business case assessment of an urban virtual power plant with multi-market co-optimization», *Applied Energy*, vol. 259, feb. de 2020, ISSN: 03062619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114142.
- [70] P. M. y G. Chicco, «Provisión integrada de energía y servicios auxiliares en sistemas multienergéticos», en *proc. IREP Sim. Sistema de energía a granel. Din. Control IX Optim., Secur. Control Emerg. Red eléctrica*, págs. 1-19, ago. de 2013.
- [71] Y. Makarov, C. Loutan, J. Ma y P. de Mello, «Impactos operativos de la generación eólica en los sistemas eléctricos de California», *Trans. IEEE. Sistema de energía*, vol. 24, págs. 1039-1050, mayo de 2009.
- [72] Y. K. Wu, L. T. Chang, T. Y. Hsieh y B. S. Jan, «A review of flexibility requirement of electric generators in high wind power penetration systems», Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., jul. de 2017, págs. 1890-1893, ISBN: 9781509048977. DOI: 10.1109/ICASI.2017.7988317.
- [73] C. Arun, R. Aswinraj, M. T. Bijoy, M. Nidheesh y R. R. Micky, «Day Ahead Demand Response Using Load Shifting Technique in Presence of Increased Renewable Penetration», IEEE, abr. de 2022, págs. 1-6, ISBN: 978-1-6654-2168-3. DOI: 10.1109/I2CT54291.2022.9825258. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9825258/>.
- [74] J. R. de Silva, «CAPABILITY CHARTS FOR POWER SYSTEMS», 1987.
- [75] O. Y. Buitrago, A. L. Ramírez y R. A. Britto, «New algorithm to construct a planar convex hull; [Nuevo algoritmo para la construcción de la envolvente convexa en el plano]», *Informacion Tecnologica*, vol. 26, n.º 4, págs. 137-144, 2015, Cited by: 1; All Open Access, Gold Open Access, Green Open Access. DOI: 10.4067/S0718-07642015000400017. dirección: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84940372820&doi=10.4067%2fS0718-07642015000400017&partnerID=40&md5=bd2e95e71733de20d19b393b9f1665fb>.

-
- [76] J. Zhang, J. Tan, Z. Liu, M. Li, Y. Tao y T. Luo, «Active Distribution Network Flexibility Evaluation Method Considering Flexibility Resource», Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., 2022, págs. 62-66, ISBN: 9781665451451. DOI: 10.1109/ICPES56491.2022.10072421.
 - [77] Z. Liu, S. Zhu, P. Zhang y Z. Zhang, «Flexibility evaluation index system and calculation method of active distribution network with high proportion of renewable energy», Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., 2022, págs. 720-724, ISBN: 9781665470841. DOI: 10.1109/ACFPE56003.2022.9952278.
 - [78] F. Chen, C. Huang, L. Wang, C. Zhu, C. Wang y N. Xie, «Flexibility evaluation of distribution network with high penetration of variable generations», en *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, 2017, págs. 1-6. DOI: 10.1109/EI2.2017.8245479.
 - [79] P. Stackhouse, *Nasa power*, en, <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>, Accessed: 2023-7-11.
 - [80] D. D. Wackerly, W. I. Mendenhall y R. L. Scheaffer, *Estadística Matemática con Aplicaciones*. 2008, ISBN: 978-9706866265. dirección: [https://www.cimat.mx/ciencia_para_jovenes/bachillerato/libros/\[Wackerly,Mendenhall,Scheaffer\]Estadistica_Matematica_con_Aplicaciones.pdf](https://www.cimat.mx/ciencia_para_jovenes/bachillerato/libros/[Wackerly,Mendenhall,Scheaffer]Estadistica_Matematica_con_Aplicaciones.pdf).
 - [81] A. J. O. Owuor, J. L. Munda y A. A. Jimoh, «The iee 34 node radial test feeder as a simulation test-bench for Distributed Generation», en *IEEE Africon '11*, 2011, págs. 1-6. DOI: 10.1109/AFRCON.2011.6072095.
 - [82] «IEEE 34 Node Test Feeder»,
 - [83] R. D. Z. Lozano y C. A. A. Ricón, «INTEGRACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUIDOS A TRAVÉS DE UNA VPP: CASO DE ESTUDIO SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN BASADO EN IEEE 37 NODOS», Universidad Francisco José de Caldas, mayo de 2017.
 - [84] C. M. de Minas y Energía. y C. M. de Minas y Energía. Unidad de Planeación Minero Energética., *Plan energético nacional : contexto y estrategias, 2006-2025*. Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética, 2007, ISBN: 9789589785577.
 - [85] *Alejandro - Resolución 30 de 2018 CREG*, es, https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0030_2018.htm, Accessed: 2023-7-22.
 - [86] F. Javier, P. Somet, J. José et al., *Modelado y simulación de Smart Grid con OpenDSS y Matlab*.
 - [87] C. de regulacion de energía y gas, *Resolución 024 de 2005 CREG*. dirección: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5fffb5b05256eee00709c02/7ef77a545ceb66680525785a007a6b88/\\$FILE/Creg024-2005.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5fffb5b05256eee00709c02/7ef77a545ceb66680525785a007a6b88/$FILE/Creg024-2005.pdf).
 - [88] C. del norte, *CABLE ACSR DESCRIPCIÓN*. dirección: <https://www.cnorte.com.mx/producto.php?id=27>.