UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA INFORMÁTICA Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED DE BAJA TENSIÓN DEL PABELLÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA – UNSAAC

PRESENTADO POR:

BR. RODRIGO GABRIEL PACHECO RAYME

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL

DE INGENIERO ELECTRICISTA

ASESOR:

DR. JOSÉ WILFREDO CALLASI QUISPE

CUSCO – PERÚ

2024

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** José Wilfredo Callasi Quispe quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesistitulada: Evaluación de la calidad del producto de la energia eléctrica en el sistema de generación distribuida solar fotovoltaica conectada a la red de baja tensión del pabellón de la escuela profesional de Ingeniería Eléctrica - UNSAAC

Presentado por: Rodrigo Gabriel Pacheco Rayme DNI N° 71340673;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Electricista

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 4 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 29 de setiembre de 2026

Firma
Post firma: JOSE W. CALLASI QUISPE
Nro. de DNI: 23812797
ORCID del Asesor: 0000-0003-0714-4499

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259 : 629500233

Tesis_Evaluación de Calidad del Producto en Sistema GD Solar_Final (2).pdf

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:629500233

Fecha de entrega
24 sep 2026, 10:23 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
24 sep 2026, 10:40 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
Tesis_Evaluación de Calidad del Producto en Sistema GD Solar_Final (2).pdf

Tamaño del archivo
15.0 MB

175 páginas

27.240 palabras

143.837 caracteres

4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Exclusiones

- N.º de fuentes excluidas
- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

1% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

Texto oculto
309 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

A mi madre, por su incansable apoyo y su ejemplo de fortaleza. Seré el reflejo de tu templanza y del esfuerzo que siempre me animaste a dar.

Agradecimientos

Al proyecto "IMPACTOS DE LA INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA RED DE BAJA TENSIÓN DE LA UNSAAC" contrato N° 07-2018-UNSAAC, financiado por el programa "Wachayninchis Wiñarinanpaq", en el marco del convenio CONCYTEC-UNSAAC; por haberme brindado la oportunidad de ser parte del equipo de investigación.

INDICE

INDICE iv

INDICE DE FIGURAS viii

PRESENTACIÓN xii

RESUMEN xiii

ABSTRACT xiv

INTRODUCCIÓN xv

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES 1

1.1. MARCO REFERENCIAL 1

1.1.1. TITULO 1

1.1.2. RESPONSABLE 1

1.1.3. ASESOR 1

1.1.4. ÁMBITO GEOGRÁFICO 1

1.2. EL PROBLEMA 2

1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 5

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 6

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 7

1.5. HIPÓTESIS 8

1.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES 9

1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE 9

1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE 9

1.7. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 10

1.8. METODOLOGÍA 10

1.8.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN 10

1.4.3. UNIDAD DE ANÁLISIS....12
1.4.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO....12
1.4.5. SELECCIÓN DE MUESTRA....12
1.4.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN....13
1.4.7. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS....13
1.4.8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN....14

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL....16

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN....16
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES....16
2.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES....17
2.2. BASES TEÓRICAS....18
2.2.1. DEFINICIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO....18
2.2.2. LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA....23
2.2.3. CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA....24
2.2.4. LOS ARMÓNICOS ELÉCTRICOS....27
2.2.5. EL SOFTWARE POWERFACTORY....28
2.2.6. EL SOFTWARE METREL POWERVIEW V3....32
2.3. MARCO CONCEPTUAL....33

CAPÍTULO III: OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATA ELÉCTRICA....44

3.1. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SOLAR DURANTE EL PERIODO DE MEDICIÓN....44
3.2. INSTALACIÓN DE EQUIPO Y VERIFICACIÓN....47
3.3. ESCENARIO DE MEDICIÓN DE PANEL SOLAR....48
3.4. ESCENARIO DE MEDICIÓN DEL SISTEMA....55

3.5. ESCENARIO DE MEDICIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA 63

3.6. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE DATOS 71

3.7. ANÁLISIS INTERARMÓNICO 72

3.8. CALCULO ANALÍTICO DEL FLICKER 73

3.9. EVENTOS DEL SISTEMA 77

CAPÍTULO IV: MODELAMIENTO DE DATOS MEDIANTE SOFTWARE 81

4.1. ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS DE MEDICIÓN 81

4.2. REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA 82

4.3. MODELAMIENTO DE ESCENARIOS 83

4.3.1. INTRODUCCIÓN 83

4.3.2. MODELAMIENTO DE ESCENARIO DEL PANEL SOLAR 84

4.3.3. MODELAMIENTO DE ESCENARIO DEL SISTEMA ELÉCTRICO CONECTADO A RED 85

4.3.4. MODELAMIENTO DE ESCENARIO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA 87

4.4. COMPARACIÓN Y VERIFICACIÓN DE DATOS 88

CAPITULO V: ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA 89

5.1. INTRODUCCIÓN 89

5.2. RESPUESTA ARMÓNICA DEL ESTUDIO 89

5.2. ANÁLISIS DE VALORES PERMISIBLES SEGÚN NORMATIVA 91

5.3. COMPARACIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ENTRE LA RED Y EL SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA 94

5.4. ANÁLISIS DE AFECTACIÓN A LA RED 96

5.5. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS 100
5.5.2. HIPÓTESIS GENERAL 100
5.5.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS 101

DISCUSIÓN DE RESULTADOS 105
CONCLUSIONES 107
RECOMENDACIONES 110
BIBLIOGRAFÍA 111
ANEXOS 114

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA 115
ANEXO 2: DATOS CLIMATOLOGICOS DE LOS DIAS DE MEDICIÓN 116
ANEXO 3: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 01 120
ANEXO 4: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 02 124
ANEXO 5: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 03 129
ANEXO 6: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 04 133
ANEXO 7: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 05 138
ANEXO 8: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 06 142
ANEXO 9: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 07 146
ANEXO 10: FICHA TECNICA DEL ANALIZADOR DE REDES MI 2892 POWER METREL 150
ANEXO 11: FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR FRONIUS SYMO 152
ANEXO 12: FOTOGRAFIAS 155

GLOSARIO 158

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Ubicación del objeto de estudio 1

Figura 2: Diagrama de uso energético mundial en el 2009 3

Figura 3: Diagrama de Generación Eléctrica en Perú.....3

Figura 4: Muestra de la Población 13

Figura 5: Flujograma del Proceso de Trabajo de Tesis.....15

Figura 6: Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas.....18

Figura 7: Circuito Equivalente de una Célula Fotovoltaica.....20

Figura 8: Curva de Respuesta de una Célula Fotovoltaica Genérica.....21

Figura 9: Grafica del Punto de Máxima Potencia de una Célula Fotovoltaica Genérica 22

Figura 10: Módulos de Paneles Fotovoltaicos Monocristalinos y Policristalinos respectivamente.....23

Figura 11: Hogar autosostenible usando Energía Solar.....24

Figura 12: Interfaz del Software PowerFactory de DigSILENT 29

Figura 13: Modelo de Red con puntos de Generación Distribuida.....32

Figura 14: Interfaz del Software PowerView3.0 33

Figura 15: Datos de Irradiancia Solar 1er día 44

Figura 16: Datos de Irradiancia Solar 2do día 44

Figura 17: Datos de Irradiancia Solar 3er día 45

Figura 18: Datos de Irradiancia Solar 4to día 45

Figura 19: Datos de Irradiancia Solar 5to día 46

Figura 20: Datos de Irradiancia Solar 6to día 46

Figura 21: Datos de Irradiancia Solar 7mo día 47

Figura 22: Datos de Irradiancia Solar 8vo día 47

Figura 23: Diagrama Unifilar de la instalación fotovoltaica 48

Figura 24: Diagrama de barras de los parámetros medidos del sistema fotovoltaico respecto a su limite.....49
Figura 25: Variabilidad de Frecuencia medido en el Sistema Fotovoltaico 49
Figura 26: Variabilidad de Tensión medido en el Sistema Fotovoltaico.....50
Figura 27: Variabilidad de Flicker medido en el Sistema Fotovoltaico 50
Figura 28: Diagrama de barras de los valores armónicos medidos respecto a su limite 51
Figura 29: Análisis Espectral para el Escenario de Medición del Panel Solar 55
Figura 30: Diagrama de barras de los parámetros medidos del sistema conectado a red respecto a su limite.....56
Figura 31: Variabilidad de Frecuencia medido en el Sistema conectado a red 56
Figura 32: Variabilidad de Tensión medido en el Sistema conectado a red.....57
Figura 33: Variabilidad de Flicker medido en el Sistema.....58
Figura 34: Diagrama de barras de los valores armónicos medidos respecto a su limite 60
Figura 35: Análisis Espectral para el Escenario de Medición del Sistema Convencional.....63
Figura 36: Diagrama de barras de los parámetros medidos del sistema de Generación Distribuida respecto a su limite.....64
Figura 37: Variabilidad de Frecuencia medido en el Sistema de Generación Distribuida 64
Figura 38: Variabilidad de Tensión medido en el Sistema de Generación Distribuida.....65
Figura 39: Variabilidad de Flicker medido en el Sistema de Generación Distribuida 65
Figura 40: Diagrama de barras de los valores armónicos medidos respecto a su limite 67
Figura 41: Análisis Espectral para el Escenario de Medición del Sistema de Generación Distribuida.....70
Figura 42: Cronogramas de Eventos ocurridos durante la recopilación de datos.....78
Figura 43: Diagrama de unifilar de la Subestación de Ingeniería Eléctrica 83
Figura 44: Diagrama de unifilar del Tablero de la Facultad de Ingeniería Eléctrica.....83

Figura 45: Diagrama de unifilar del Sistema con datos medidos en los escenarios de Paneles Solares llevados a Software 84
Figura 46: Diagrama de barras del THD comparando los escenarios (1) y (2) 85
Figura 47: Diagrama de unifilar del Sistema con datos medidos en los escenarios de Conexión a red llevados a Software.....86
Figura 48: Diagrama de barras del THD comparando los escenarios (3), (4) y (5) 86
Figura 49: Diagrama de unifilar del Sistema con datos medidos en los escenarios de Generación Distribuida llevados a Software.....87
Figura 50: Diagrama de barras del THD comparando los escenarios (6) y (7) 88
Figura 51: Diagrama de barras de los parámetros medidos del sistema fotovoltaico respecto a su limite.....90
Figura 52: Grafica de barras de correlación irradiancia – armónica con carga constante 90
Figura 53: Gráfica de líneas de tendencia entre alta irradiancia e irradiancia cero 91
Figura 54: Gráfica de Potencia Consumida – Potencia Generada 97
Figura 55: Gráfica de THD y TDD medido en los periodos de generación al sistema 98
Figura 56: Diagrama Unifilar del Sistema de Generación Distribuida a nivel de Irradiancia máxima y carga reducida 98
Figura 57: a) Informe del análisis de distorsión considerando la nula contribución de los Paneles Fotovoltaicos y b) Informe de análisis de distorsión considerando la contribución de los Paneles Fotovoltaicos.....99

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro de Tolerancias de Tensiones Armónicas en la red 26

Tabla 2: Distorsión armónica total medida en el Sistema Fotovoltaico 51

Tabla 3: Distorsión de demanda total medida en el Sistema Fotovoltaico 52

Tabla 3: Tabla de distorsión armónica total medida en el Sistema conectado a red 58

Tabla 3: Tabla de distorsión de demanda total medida en el Sistema conectado a red 60

Tabla 4: Tabla de distorsión armónica total medida en el Sistema de Generación Distribuida 66

Tabla 5: Tabla de distorsión de demanda total medida en el Sistema de Generación Distribuida 67

Tabla 6: Tabla comparativa de similitud de datos 71

Tabla 7: Distorsión Interarmónica 72

Tabla 8: Calculo Muestral de Plt 73

Tabla 9: Tabla de Parámetros establecidos según escenario 81

Tabla 10: Tabla de comparación de parámetros medidos y modelados 88

Tabla 11: Tabla de tolerancias de los valores de calidad permisibles según norma 92

Tabla 12: Tabla de tolerancias de los valores permisibles de TDD según norma 94

Tabla 13: Tabla de comparación de calidad entre la energía proporcionada por red y la proporcionada por los paneles fotovoltaicos basado en promedios de medición 95

Tabla 14: Correlación de Variables de la Hipótesis General 101

Tabla 15: Correlación de Variables de la Hipótesis Especifica 01 101

Tabla 16: Correlación de Variables de la Hipótesis Especifica 02 102

Tabla 17: Correlación de Variables de la Hipótesis Especifica 03 103

Tabla 18: Correlación de Variables de la Hipótesis Especifica 04 104

Presentación

Señor Decano de la facultad de Ingeniería: Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. A la conclusión de mis estudios profesionales y en cumplimiento de las Normas establecidas para optar el título profesional de Ingeniero Electricista, pongo a su consideración el trabajo de tesis intitulado: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED DE BAJA TENSIÓN DEL PABELLÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA – UNSAAC" elaborado con la asesoría del Ingeniero José Wilfredo Callasi Quispe, con el objetivo de determinar la calidad de energía eléctrica en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica implementada con un sistema de Generación Distribuida Solar. Esperando que los señores dictaminantes y miembros del jurado, hagan llegar sus opiniones, sugerencias y críticas acerca del presente trabajo, que permitirá lograr la mejora del presente trabajo de tesis.

Bach. Rodrigo Gabriel Pacheco Rayme

Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolla a partir de la problemática basada en el desconocimiento de la calidad de energía del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica desde su interconexión con generadores solares de baja carga los cuales pueden afectar en los niveles de tensión, frecuencia y principalmente en la forma de onda sinusoidal. Esta investigación generara un precedente sobre estudios de perturbaciones armónicas en la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica sirviendo como material de análisis para estudios de calidad de energía futuros.

Se dispone de un analizador de redes que permite tomar los datos provenientes de la interconexión del Sistema de Generación Distribuida Solar y el Sistema de Baja Tensión del Pabellón, mismos que serán procesados y analizados con softwares especializados teniendo información confiable de tensión, frecuencia y THD.

Este estudio contempla también el modelamiento de la red de Baja Tensión del Pabellón de Ingeniería Eléctrica, la evaluación de calidad de energía de la red comparada con la del Sistema de Generación Distribuida y los efectos ocasionados al conectar un módulo de generación solar de baja potencia a la red de baja tensión.

Se presenta los datos recopilados necesarios para el estudio, así como se establece los diferentes escenarios para el modelo en software que servirá para el estudio de afectación a red, así mismo se comparan los resultados obtenidos evaluando la calidad de energía eléctrica e identificando los valores permisibles con normativa nacional como internacional.

Palabras claves: Calidad de energía, Perturbaciones armónicas, Generación distribuida, Red de baja tensión.

Abstract

The present research work is developed based on the problem related to the lack of knowledge about the power quality of the Electrical Engineering Professional School's Pavilion, specifically concerning its interconnection with low-load solar generators, which can affect voltage levels, frequency, and mainly the sinusoidal waveform. This research will set a precedent for harmonic disturbance studies in the Electrical Engineering Professional School, serving as analytical material for future power quality studies.

We have a power analyzer that allow us to collect data from the interconnection of the Solar Distributed Generation System and the Low Voltage System of the Pavilion. This data will be processed and analyzed using specialized software, providing reliable information on voltage, frequency, and THD (Total Harmonic Distortion).

This study also includes the modeling of the Low Voltage Network of the Electrical Engineering Pavilion, the evaluation of power quality in comparison with the Distributed Generation System, and the effects caused by connecting a low-power solar generation module to the low voltage grid.

The collected data necessary for the study is presented, and different scenarios are established for the software model, which will be used to study the network's impact. Furthermore, the obtained results are compared, evaluating the electrical power quality and identifying the permissible values according to national and international regulations.

Keywords: Power quality, Harmonic disturbances, Distributed generation, Low voltage network.

Introducción

La presencia de distorsión armónica es un tópico frecuente cuando se habla de electricidad. Esto se presenta con más frecuencia en los últimos años debido a que, con el avance de la tecnología, se desarrollan nuevos elementos en el sistema cuyo comportamiento es no lineal y generan perturbaciones armónicas en la red ocasionando perdidas por sobrecalentamiento, ruido en equipos electrónicos, resonancias no previstas, entre otros. En la actualidad es de vital importancia el estudio de calidad de energía en los sistemas eléctricos y más aún con la inserción de fuentes de energía renovable que, en grandes cantidades, puede contribuir a la distorsión armónica de la red eléctrica. Dado la importancia de un correcto estudio armónico en todo sistema eléctrico nos enfocaremos en el Sistema de Distribución Solar Fotovoltaica del Pabellón de Ingeniería Eléctrica el cual es un precedente en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco para la implementación de este tipo de sistemas que no solo favorecen económica y ambientalmente, sino que permite el desarrollo tecnológico de energías renovables en pro de garantizar a sus consumidores energía estable, barata y de calidad en una sociedad que tiene que buscar mayor modernización y eficiencia.

Capitulo I:

Aspectos Generales

1.1. Marco referencial

1.1.1. Titulo

"Evaluación de la Calidad del Producto de la Energía Eléctrica en el Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica conectada a la Red de Baja Tensión del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica – UNSAAC"

1.1.2. Responsable

- Rodrigo Gabriel Pacheco Rayme

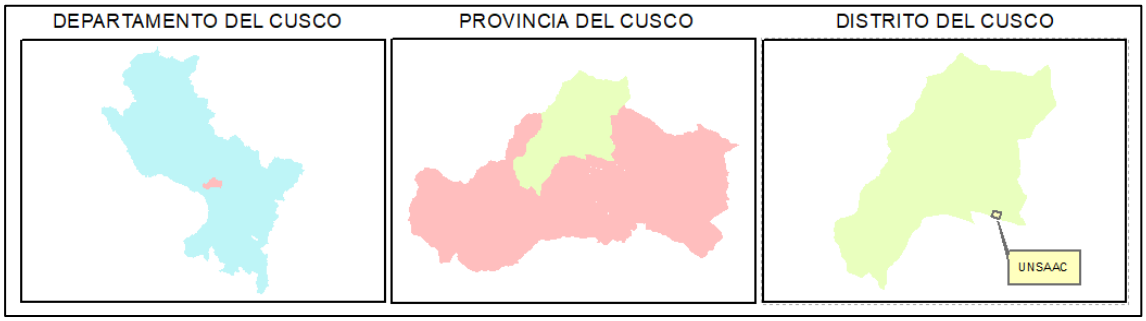
1.1.3. Asesor

- M Sc. Ing. José Wilfredo Callasi Quispe

1.1.4. Ámbito geográfico

El área donde se desarrollará la presente tesis se enmarca en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica ubicada en el Distrito del Wanchaq, Provincia del Cusco, Departamento del Cusco.

Figura 1: *Mapa de Ubicación del objeto de estudio*



Nota: Base de Datos Shapefile del Instituto Geográfico Nacional

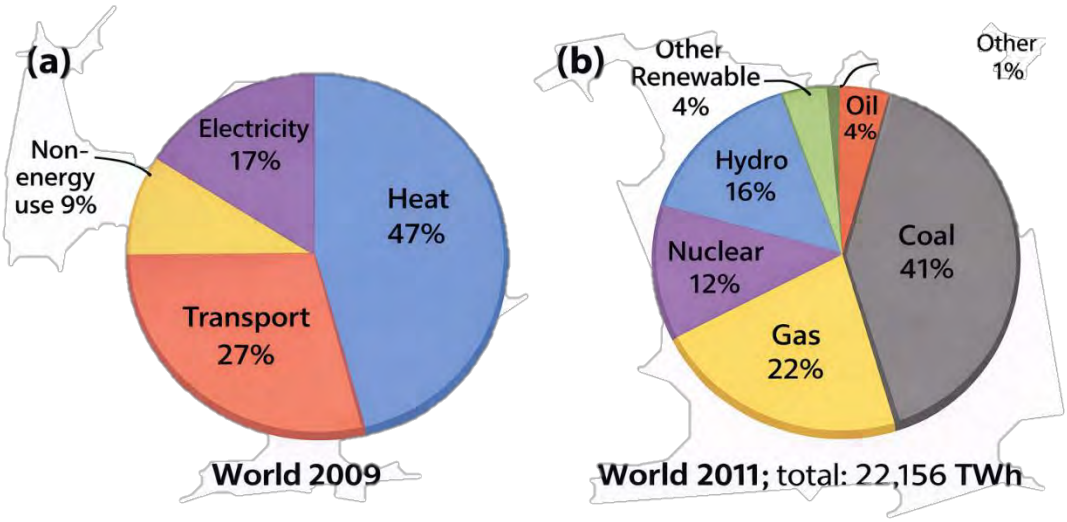
1.2. El problema

1.2.1. Planteamiento del problema

El desarrollo del Sistema Eléctrico ha permitido que nuevas tecnologías como la Generación Distribuida entren como alternativa no solo para la reducción de agentes contaminantes, sino como medio para que el usuario pueda reducir su tarifa de consumo siendo el mismo participe del proceso de generación de energía eléctrica. La alternativa más llamativa es la de Generación con Paneles Fotovoltaicos y que, a diferencia de otro tipo de Sistemas de generación, esta entrega Corriente Continúa siendo que necesita equipos electrónicos para poder convertirla a Corriente Alterna y así conectarse a la Red. Sin embargo, equipos electrónicos de alta potencia pueden generar una distorsión en la onda entregada a través de variables armónicas afectando la calidad de onda sinusoidal en clientes cercanos y, en caso de que la red posea armónicos propios, comprometería los equipos del mismo Panel Fotovoltaico, a su vez, la presencia de cargas con factores de atraso y adelanto pueden afectar en los niveles regulables de tensión y frecuencia.

En el mundo, los sistemas de Generación Distribuida son presentes en varios países desarrollados como Alemania, España, Inglaterra, etc. no solo porque proporciona una alternativa económica atractiva para el usuario, sino porque maneja principalmente energías limpias.

Figura 2: *a) Diagrama de uso energético mundial en el 2009, b) Diagrama de gestión de recursos destinados a la generación de electricidad en el 2011*

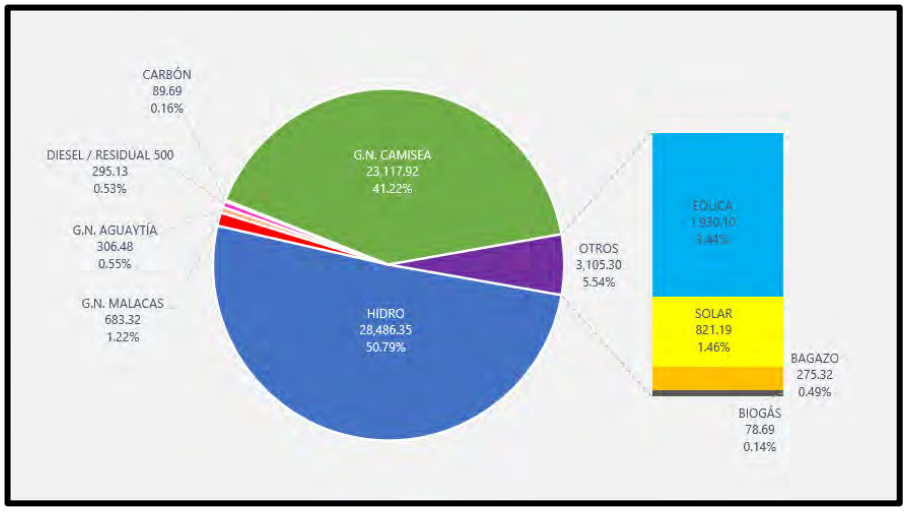


Nota: (EADIC)

Dado que las nuevas políticas a favor del medio ambiente aplican en todos los países y escenarios posibles, la generación distribuida entra como alternativa para mitigar cargas menores de los usuarios regulares que, en conjunto, suman una fuerte demanda y que esta misma se logre reducir.

En el Perú, la matriz energética es favorable, ya que contamos con unos buenos niveles de Generación Renovable.

Figura 3: *Diagrama de Generación Eléctrica en Perú*



Nota: (COES, 2022)

Se puede notar en el Perú una tendencia al aumento de generación renovable, alcanzando un 61.65% de la producción total de energía eléctrica en el SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional) para el año 2022, considerando tanto la fuente hidroeléctrica como las tecnologías solar y eólica.

Si bien en la región existen pocos casos de Generación Distribuida, los cuales se destacan por su distinta naturaleza, el sistema fotovoltaico de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica – UNSAAC, de carácter académico y experimental; y el sistema del Edificio Principal de Electro Sur Este S.A.A., orientado al autoconsumo administrativo y soporte institucional.

Como parte de la Supervisión Osinergmin bajo la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos, la energía despachada al consumidor debe poseer valores aceptables en Tensión (±5% en zonas urbanas y ±7.5% en zonas rurales), Frecuencia (±0.6% en zonas urbanas y ±1% en zonas rurales) y Forma de Onda (THD $\leq$ 3% para tensiones mayores a 60 kV y THD $\leq$ 8% para tensiones menores a 60 kV).

El problema central es la naturaleza no lineal de la electrónica de potencia del inversor fotovoltaico, la cual introduce corrientes armónicas que pueden distorsionar la onda senoidal de la red de baja tensión del Pabellón de Ingeniería Eléctrica. La calidad del producto no solo afecta la estabilidad de la red concesionaria, sino que pone en riesgo la carga local, compuesta por equipos de laboratorio, centros de cómputo e iluminación, los cuales son sensibles a fenómenos como el sobrecalentamiento y el ruido electromagnético.

La interconexión de un inversor solar representa un riesgo técnico potencial para la red local, ya que los equipos electrónicos de potencia inyectan componentes armónicas debido a su funcionamiento con elementos no lineales como tiristores. El problema identificado es la distorsión armónica que degrada la calidad de la onda senoidal,

afectando el funcionamiento de cargas sensibles y equipos electrónicos del Pabellón de Ingeniería Eléctrica.

Por ello, existe una brecha de conocimiento sobre el nivel de afectación real en los parámetros de tensión, frecuencia y THD tras la inserción de este sistema de generación distribuida. Por lo tanto, se requiere determinar mediante mediciones con un analizador de redes y modelamiento computacional si estas perturbaciones se mantienen dentro de los límites de la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE), con el fin de garantizar un suministro confiable y proponer soluciones de optimización para el sistema eléctrico local.

Es por ello que, se necesita conocer la calidad de energía actual del Pabellón de Ingeniería Eléctrica con la interconexión del Sistema de Generación Distribuida Solar. Esta misma será determinada por la medición de datos a través del analizador de redes y corroboradas con software para así poder conocer la calidad de energía entregada a la Escuela y dar a conocer el proceso y resultados para que puedan ser replicados y se logre llegar a más soluciones que permitan optimizar la calidad de energía.

1.2.2. Formulación del problema

1.2.2.1. Problema general

¿De qué manera la interconexión del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica influye en la Calidad del Producto de la Energía Eléctrica en la Red de Baja Tensión del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica – UNSAAC?

1.2.2.2. Problemas específicos

1) ¿En qué medida la variabilidad del Recurso Energético afecta la conformidad de la tensión y frecuencia en la red de baja tensión del pabellón, de acuerdo con los estándares de la NTCSE?

2) ¿De qué manera la integración a la red del sistema fotovoltaico influye en el incremento de las perturbaciones armónicas en el punto de acoplamiento común, en comparación con el perfil de la red concesionaria?
3) ¿Cómo influye la tecnología de conversión y su inyección de corrientes no lineales en la pureza de la forma de onda de la carga local del Pabellón de Ingeniería Eléctrica?
4) ¿Qué nivel de desviación presenta la conformidad normativa obtenida mediante el modelamiento computacional frente a la estabilidad real de los parámetros registrados por el analizador de redes?

1.3. Justificación de la investigación

Esta investigación es favorable porque deja un precedente de análisis de calidad de energía para proyectos relacionados con Energía Distribuida Solar en la Ciudad del Cusco.

- **Económico:** Desde la perspectiva del usuario, un Sistema de Generación Distribuida es una alternativa rentable a largo plazo frente al suministro convencional, este estudio permitirá demostrar que, la energía autogenerada no solo es económicamente viable, sino que, mediante una correcta gestión armónica, no compromete la integridad de las cargas domiciliarias ni la continuidad del consumo.
- **Técnico:** El estudio tiene rigor científico mediante el modelamiento del sistema basado en el estándar IEEE 3002.8 (Recommended Practice for Conducting Harmonic Studies). Esto proporciona una metodología detallada para el análisis de distorsión armónica, permitiendo que el modelo desarrollado en software sea escalable y aplicable a diversos escenarios de baja tensión, garantizando la estabilidad operativa del sistema.

- **Académico**: Este proyecto constituye un aporte significativo para la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica de la UNSAAC, brindando a los estudiantes datos reales sobre los parámetros de calidad de energía. La combinación de mediciones de campo y simulación computacional permite experimentar con diferentes configuraciones de red, fortaleciendo el aprendizaje sobre la interacción entre la electrónica de potencia y los sistemas de potencia convencionales.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la interconexión del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica en la Calidad del Producto de la Energía Eléctrica en la Red de Baja Tensión del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica – UNSAAC

1.4.2. Objetivos Específicos

1) Determinar la variabilidad del Recurso Energético afecta la conformidad de la tensión y frecuencia en la red de baja tensión del pabellón, de acuerdo con los estándares de la NTCSE.
2) Analizar la integración a la red del sistema fotovoltaico influye en el incremento de las perturbaciones armónicas en el punto de acoplamiento común, en comparación con el perfil de la red concesionaria.
3) Evaluar la influencia de la tecnología de conversión y su inyección de corrientes no lineales en la pureza de la forma de onda de la carga local del Pabellón de Ingeniería Eléctrica.

4) Contrastar el nivel de desviación que presenta la conformidad normativa obtenida mediante el modelamiento computacional frente a la estabilidad real de los parámetros registrados por el analizador de redes.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La interconexión del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica influye significativamente en la Calidad del Producto de la Energía Eléctrica en la Red de Baja Tensión del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica – UNSAAC, manteniéndose dentro de los límites permisibles de la normativa vigente.

1.5.2. Hipótesis especificas

1) La variabilidad del Recurso Energético afecta de manera directa la conformidad de la tensión y frecuencia, provocando fluctuaciones que se mantienen dentro de los rangos de tolerancia establecidos por la NTCSE.
2) La integración a la red del sistema fotovoltaico genera un incremento moderado de las perturbaciones armónicas en el punto de acoplamiento común, siendo este nivel superior al perfil base de la red concesionaria.
3) La tecnología de conversión y su inyección de corrientes no lineales impactan negativamente en la pureza de la forma de onda, incrementando el TDD (Distorsión de Demanda Total) de la carga local del pabellón.
4) El nivel de desviación entre la conformidad normativa obtenida por modelamiento computacional y los datos registrados por el analizador de redes es inferior al 10%, validando la precisión de la simulación.

1.6. Identificación de variables

1.6.1. Variable independiente

Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica

1.6.2. Variable Dependiente

Calidad del Producto de la Energía Eléctrica

1.6.2.1. Dimensiones

1.1. Tensión
1.2. Frecuencia
1.3. Perturbaciones Armónicas
1.4 Flicker
2.1. Panel Solar
2.2. Inversor Solar
2.3. Demanda Variable

1.6.2.2. Indicadores

- Valores nominales de Tensión.
- Valores nominales de Frecuencia.
- Valor límite de THD
- Valor límite de TDD
- Tipo de Panel Fotovoltaico.
- Potencia, Tensión y Corriente de Operación.
- Irradiancia solar.
- THD indicado por el fabricante
- Tipo de Inversor
- Variables nominales de carga

1.7. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1: Matriz de operacionalización

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES DE MEDIDA
V1: Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica (Independiente)	Sistema de producción eléctrica basado en la conversión de energía solar mediante tecnología no lineal integrada a la red de baja tensión.	Recurso Energético	- Irradiancia Solar - Temperatura de Operación	- W/m^2 - Celsius (°C)
		Integración a la Red	- Punto de Acoplamiento Común (PCC) - Flujo de Potencia Activa y Reactiva	- Amperios (A) - kW/kVAR
		Tecnología de Conversión	- Corrientes Armónicas del Inversor - Carga Variable del Pabellón	- Amperios (A) - Kilovatios (kW)
V2: Calidad del Producto de la Energía Eléctrica (Dependiente)	Características físicas del suministro eléctrico que determinan el cumplimiento de la **NTCSE** y la integridad de los equipos.	Conformidad de Tensión y Frecuencia	- 2.1.1. Variación de Tensión (V) - Variación de Frecuencia (f)	- Voltios (V) - Hertzios (Hz)
		Pureza de la Forma de Onda	- Distorsión Armónica Total (THD%) - Distorsión de Demanda Total (TDD%)	- Porcentaje (%) - Porcentaje (%)
		Conformidad Normativa (Simulación)	- Desviación del Modelo en Software - Niveles de Emisión Armónica (IEEE 519)	- Error Relativo (%) - Orden Armónico

1.8. Metodología

1.8.1. Tipo de investigación

Según su propósito es aplicada, Hernández (2023), este tipo de estudio se orienta a la resolución de problemas del entorno mediante propuestas de solución. Esto debido a

que se realiza un estudio detallado sobre el fenómeno de estudio, características y configuración con el propósito de medir variables específicas para pronosticar el comportamiento del Sistema de Generación Distribuida Solar, sus efectos y generar un modelo aplicable a diferentes escenarios.

Según su profundización es descriptiva y explicativa, según Arias (2012), la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Por lo tanto, en este proyecto se describen los parámetros de tensión, frecuencia y distorsión armónica registrados por el analizador de redes en el Pabellón de Ingeniería Eléctrica.

Mientras que para Arias (2012), la investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. El estudio es explicativo porque determina cómo la variabilidad del recurso energético y la tecnología de conversión (inversores) son las causas directas de la alteración en la pureza de la forma de onda de la carga local.

Según el enfoque es cuantitativa, definido por Hernández y Mendoza (2023) es una ruta secuencial y probatoria que utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico. Esto debido a que en la investigación estaremos recolectando datos que se pueden interpretar matemática y estadísticamente los cuales reflejaran el comportamiento del caso de estudio.

Según el grado de manipulación de variables es no experimental, Arias (2012) es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente las variables. En este tipo de diseño, no se crean situaciones, sino que se observan situaciones ya existentes. Debido a que en el estudio no se manipulará ninguna variable, solo se tendrá en cuenta sus datos al momento del análisis y modelamiento.

Según su inferencia es deductiva, la cual, según Hernández y Mendoza (2023), es propia de la ruta cuantitativa y consiste en un proceso que parte de teorías y leyes generales para derivar hipótesis que son puestas a prueba mediante la recolección de datos. En este estudio, se parte de los preceptos de la NTCSE y estándares internacionales para evaluar de forma particular el comportamiento del sistema fotovoltaico en el Pabellón de Ingeniería Eléctrica y verifica las hipótesis planteadas basándose en los resultados de calidad del producto de la energía eléctrica.

Según su temporalidad, la investigación es de tipo longitudinal, definida por Hernández y Mendoza (2023) es aquella que recolecta datos en distintos momentos para inferir la evolución del fenómeno. Se justifica este diseño debido a que se analizaron las variaciones de los parámetros de calidad de energía en diferentes periodos de tiempo (mañana, tarde y noche) bajo distintas intensidades de irradiancia solar para observar el comportamiento dinámico del sistema.

1.4.3. Unidad de análisis

Calidad de Energía Eléctrica generada por el Sistema de Generación Distribuida en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica UNSAAC.

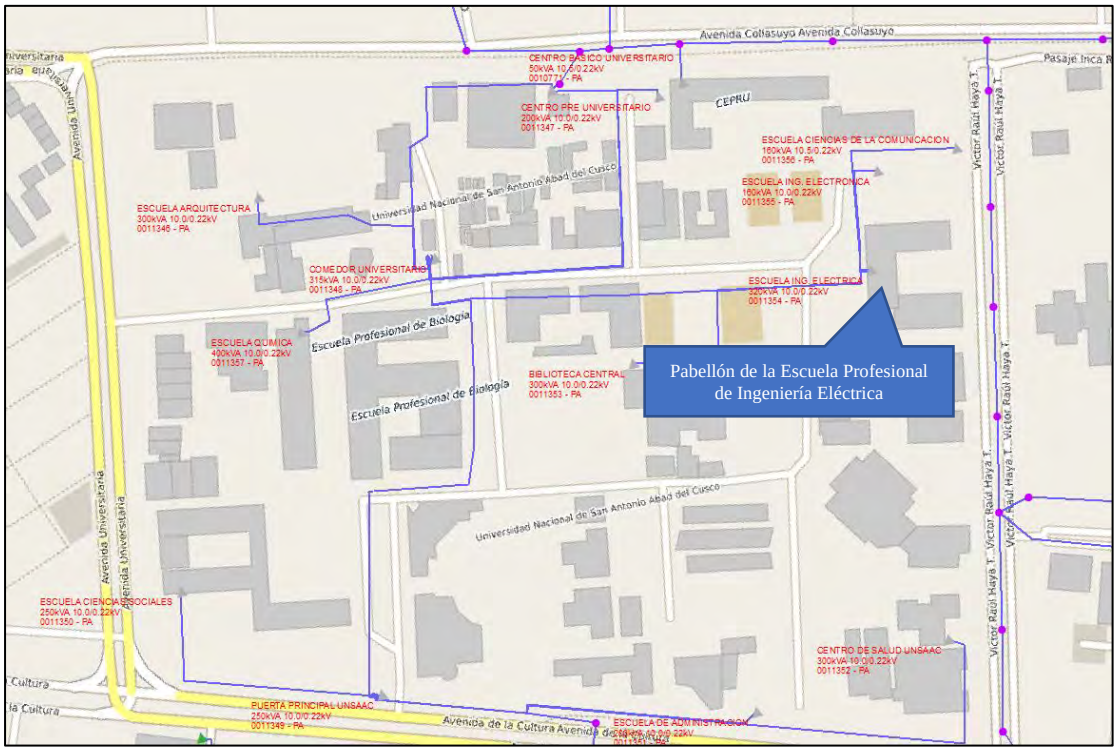
1.4.4. Población de estudio

La población está formada por los sistemas de Generación Distribuida de la región.

1.4.5. Selección de muestra

La muestra está conformada por el sistema de Generación Distribuida del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica.

Figura 4: *Muestra de la Población*



Nota: Base de Datos SIEG -ELSE

1.4.6. Técnicas de recolección de datos e información

Se utilizarán como técnicas e instrumentos durante el proceso de investigación:

- Método de observación: Durante el tiempo de realización de la tesis, se usará equipos de medición para la toma de datos correspondientes a la energía entregada al punto de carga.
- Análisis Documental: Se usará consulta de normativa y toda documentación pertinente ya sea tesis, papers, bibliografía, etc, referente a las variables a tratar que nos permitan tener una idea más completa para el análisis y la interpretación de los datos.

1.4.7. Instrumento de recolección de datos

Para alcanzar los objetivos propuestos en la investigación, se aplicarán cuatro tipos de instrumentos, estos son:

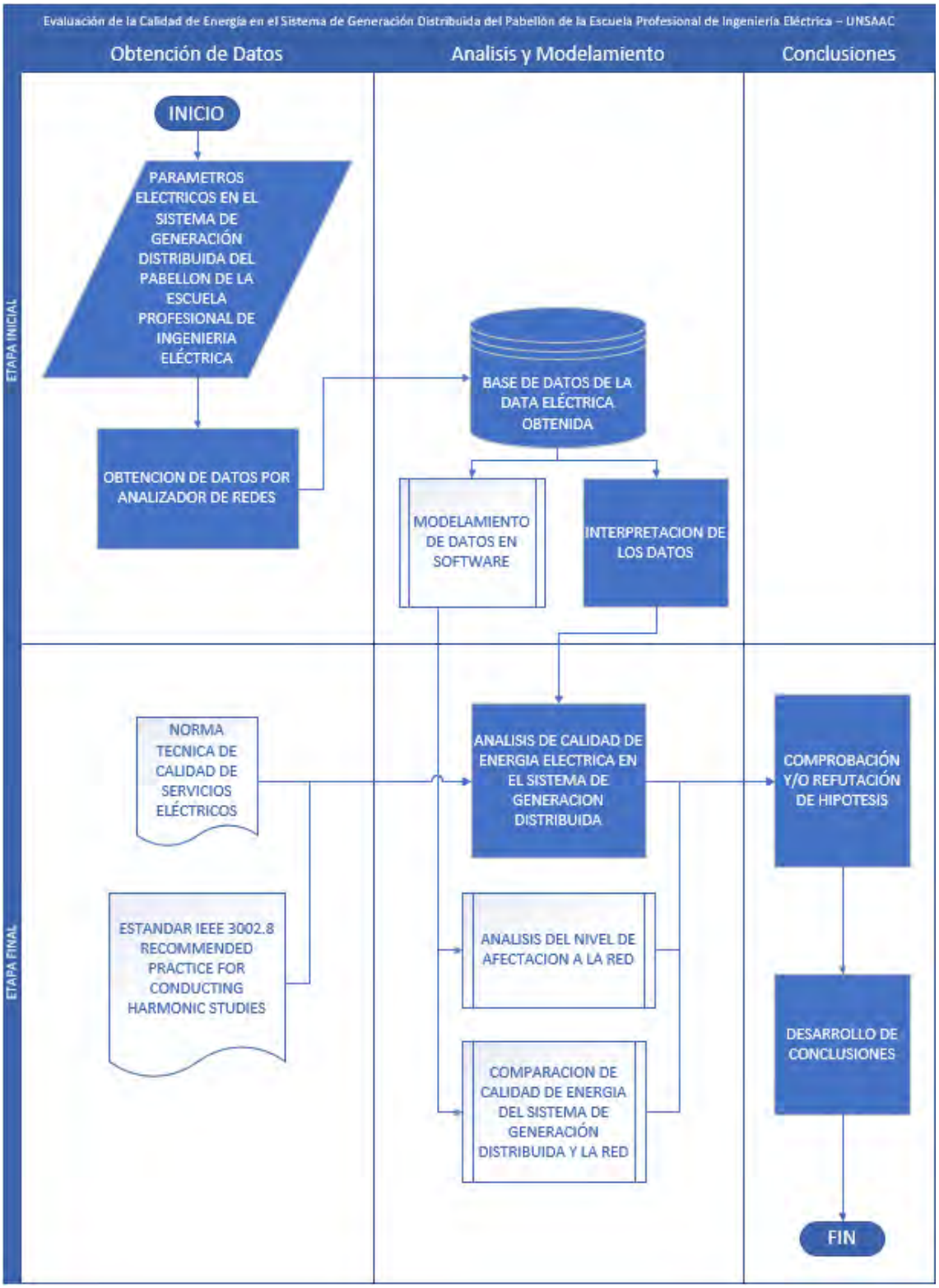
- Fichas Técnicas

- Analizador de redes
- Simulación por Software

1.4.8. Análisis e interpretación de la información

En el presente proyecto de tesis se usará los datos de la forma de Onda obtenidos tanto de la red concesionaria como del Sistema de Generación Distribuida Solar de manera conjunta. Estos se modelarán a través de DigSilent y se corroborara con los datos obtenidos por el equipo de medición. Una vez modelado el sistema se podrá hacer el análisis del nivel de perturbación armónica y su afectación en la red y usuarios aledaños.

Figura 5: *Flujograma del Proceso de Trabajo de Tesis*



Nota: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Capítulo II:

Marco Teórico-Conceptual

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Hossain et al. (2023), en su investigación titulada "High Penetration of Solar Photovoltaic Structure on the Grid System Disruption", se plantearon como objetivo analizar el impacto de la alta penetración de sistemas fotovoltaicos en la estabilidad de las redes de distribución de baja tensión. La metodología consistió en un análisis técnico de la conducta operativa de los sistemas de distribución ante flujos de potencia inversa. Los autores determinaron que el incremento de la penetración solar provoca fluctuaciones de voltaje y distorsiones en la red. Concluyeron que la implementación de inversores inteligentes es crucial para mejorar la flexibilidad y el control de la red frente a estas perturbaciones.

Acero et al. (Acero, Ortiz, Butron, & Hernandez, 2022), en su tesis de grado titulada "Estudio del impacto de la generación fotovoltaica en la calidad de la energía eléctrica", tuvieron como objetivo evaluar las perturbaciones que los sistemas solares inyectan a la red eléctrica. Utilizaron una metodología basada en el modelamiento computacional para simular diversos escenarios de penetración fotovoltaica. Como resultado principal, identificaron que la distorsión armónica total (THD) aumenta significativamente cuando existe una baja demanda local combinada con una alta generación. Concluyeron que es necesario monitorear constantemente la pureza de la forma de onda para evitar daños en las cargas sensibles.

Cisterna et al. (2020), en su artículo científico "Proyectos Fotovoltaicos en Generación Distribuida ¿Rentabilidad Privada o Sustentabilidad Ambiental?", se propusieron evaluar la viabilidad económica de instalaciones solares a pequeña escala. Emplearon una metodología

descriptiva y analítica, calculando indicadores financieros como el VAN y la TIR en 17 proyectos reales. Los resultados revelaron que la rentabilidad privada es desfavorable debido a los elevados costos iniciales de inversión. Concluyeron que la sustentabilidad de la generación distribuida depende directamente de incentivos tarifarios y apoyo estatal.

2.1.1. Antecedentes nacionales

Coris et al. (2025), en su tesis titulada "Impacto de la Generación Distribuida Solar en la Calidad del Producto de la Energía", realizada en Cusco, se plantearon como objetivo evaluar la conformidad de la red eléctrica bajo los estándares de la NTCSE. La metodología fue de nivel descriptivo-explicativo, utilizando analizadores de redes para el registro de parámetros en campo. Determinaron que, aunque las variaciones de tensión se mantienen en el rango del ±5%, la inyección de corrientes no lineales afecta la estabilidad de la carga local. Concluyeron que la integración fotovoltaica en Cusco requiere un ajuste preventivo en la configuración de los inversores para mitigar efectos armónicos.

Salazar (2025), en su estudio titulado "Evaluación técnica de la generación distribuida en redes de baja tensión mediante modelamiento computacional", tuvo como objetivo contrastar la precisión de las simulaciones frente a registros reales. Utilizó una metodología comparativa mediante el uso del software DigSILENT y equipos de medición física. Los resultados demostraron una desviación menor al 10% entre el modelo y la realidad. Concluyó que el modelamiento computacional es una herramienta válida y confiable para predecir la conformidad normativa en sistemas de generación distribuida.

De la Torre (2022), en su trabajo de titulación "Diseño de un sistema de generación distribuida fotovoltaica para el bloque D del Campus Sur", se propuso diseñar un sistema de 12 kW para optimizar el consumo energético universitario. La metodología incluyó el uso de

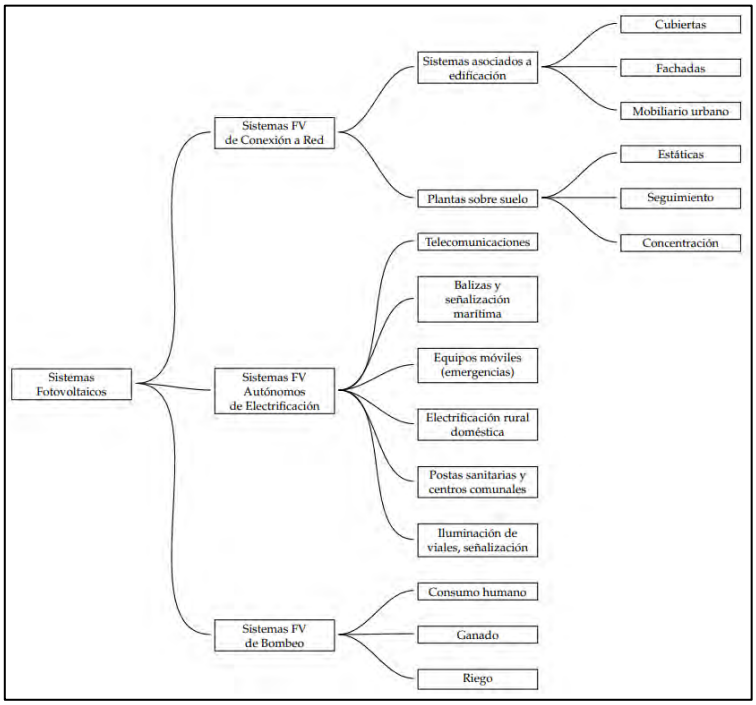
herramientas de simulación para modelar la curva de demanda e irradiación solar. Determinó que el sistema es capaz de abastecer la demanda local de manera eficiente, reduciendo costos operativos. Concluyó que la generación distribuida en campus educativos es técnicamente viable y promueve la transición hacia energías limpias.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Definición de un sistema fotovoltaico

Se denomina sistema fotovoltaico al conjunto de equipos que convierte la radiación solar en energía eléctrica utilizable. Su elemento central es el panel, formado por celdas de material semiconductor que entregan corriente continua al recibir radiación. Los demás componentes existen para adaptar esa energía a las condiciones de uso: el acumulador retiene la corriente continua generada, el inversor la transforma en corriente alterna y el regulador de carga protege a las baterías de sobrecargas y descargas profundas (Perpiñán Lamigueiro, 2020).

Figura 6: Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas



Nota: Extraído de Energía Solar Fotovoltaica (Lamigueiro, 2020)

Atendiendo al destino de la energía producida, estos sistemas admiten tres categorías: los conectados a red, los autónomos o aislados y los destinados a bombeo.

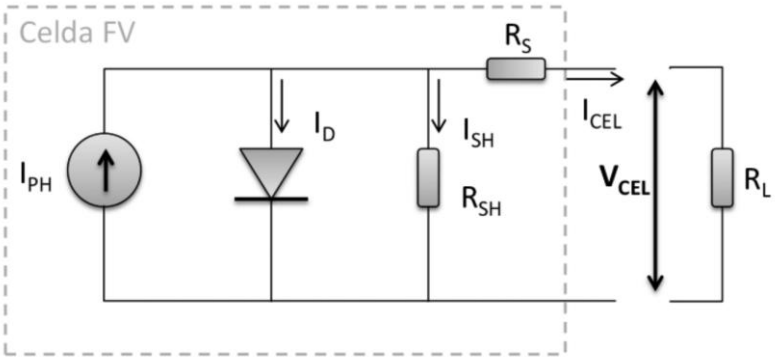
En la primera categoría el arreglo entrega su producción directamente a la red convencional. Como no está obligado a abastecer una carga determinada en todo momento, puede evacuar la totalidad de lo que genera y prescinde de acumuladores. Bajo este esquema operan las centrales fotovoltaicas y las instalaciones en edificaciones que buscan reducir la energía que toman del suministro convencional, que es precisamente el caso del pabellón analizado en esta tesis.

La segunda categoría responde a una exigencia distinta: garantizar suministro a una carga concreta incluso cuando no hay generación solar disponible. Esto obliga a incorporar acumulación para cubrir las horas sin radiación. La flexibilidad que otorga esa autonomía explica la amplitud de sus aplicaciones, habitualmente en cargas reducidas y alejadas de la red, como viviendas rurales, estaciones de telecomunicación o alumbrado público.

La tercera categoría destina la energía generada al accionamiento de una bomba de agua. Sus usos van desde el abastecimiento para consumo humano hasta aplicaciones productivas en agricultura, como el riego de cultivos, y en ganadería.

Salcedo (2013) describe el comportamiento eléctrico de la célula mediante un circuito equivalente: una fuente de corriente en paralelo con un diodo, a la que se suman una resistencia en serie y otra en paralelo que dan cuenta de las pérdidas por caída de tensión y por corrientes de fuga. La Figura 7 reproduce este modelo.

Figura 7: *Circuito Equivalente de una Célula Fotovoltaica*



Nota: Validación del modelo matemático de un panel solar empleando la herramienta Simulink de Matlab (2017)

Donde:

I_{ph} = corriente producida por la excitación de la radiación, producto del efecto fotoeléctrico.

I_d = corriente circulante por la unión pn de las celdas.

R_s = resistencia de pérdida por caída de voltaje.

R_{sh} = resistencia de pérdida por corriente de fuga.

I_{cel} = corriente de la celda solar entregada a la carga.

V_{cel} = tensión de celda equivalente.

R_L = carga conectada al sistema.

Las expresiones que gobiernan el modelo son las siguientes:

$$Icel = Iph - Id - Ish$$

$$Icel = Iph - Io\left[e^{\frac{q(Vcel+Icel*Rs)}{KTcA}} - 1\right] - \frac{Vcel + Icel * Rs}{Rsh}$$

Donde:

I_o = corriente de saturación inversa del diodo de la celda.

q = carga del electrón (1.6×10^{-19} C).

K = constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K).

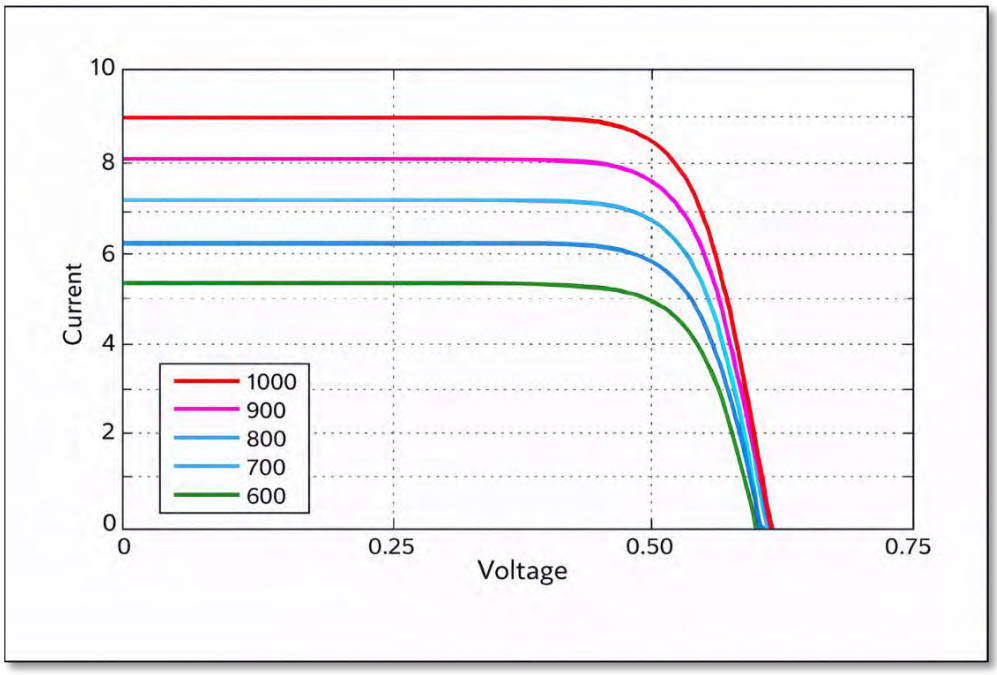
T_c = temperatura de operación de la celda.

A = factor de idealidad.

Curva de Respuesta de una Célula Fotovoltaica

La característica corriente-tensión de la célula no es fija: se desplaza con la irradiancia que incide sobre ella. Bajo 1000 W/m² se alcanza la corriente máxima, condicionada a que la tensión supere el umbral de conducción del diodo. La Figura 8 muestra esta familia de curvas.

Figura 8: *Curva de Respuesta de una Célula Fotovoltaica Genérica*



Nota: Desarrollo de una herramienta para el modelado del comportamiento eléctrico de células solares (Fraile, 2019)

Tensión de Circuito Abierto y Corriente de cortocircuito

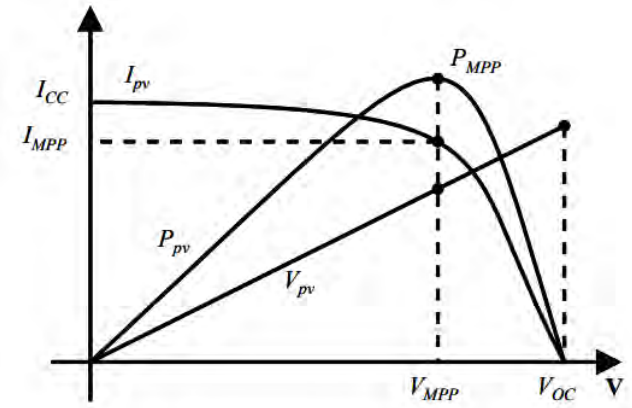
Se trata de parámetros propios de la celda que declara el fabricante. Para ilustrarlo con la configuración empleada en este estudio, un arreglo de tres líneas en paralelo con 15 módulos cada una presenta una V_{ca} de 559.5 V y una I_{cc} de 8.85 A por línea. Ambos valores se declaran bajo las condiciones estándar de medición.

Condiciones Estándar (STC)
Nivel de Irradiancia E = 1000 W/m2
Temperatura de la célula de 25°C con una Tolerancia de ±2
El espectro de radiación está fijado según la Norma IEC 60904-3, Masa Atmosférica = 1.5

Punto de Máxima Potencia

El punto de máxima potencia queda definido por la intersección entre la tensión máxima de operación y la corriente máxima que permite la irradiancia disponible, como ilustra la Figura 9.

Figura 9: *Grafica del Punto de Máxima Potencia de una Célula Fotovoltaica Genérica*



Nota: Estudio del Algoritmo de Seguimiento de Punto de Máxima Potencia Perturbar y Observar (Ruiz C. Luis J., 2010)

Por tratarse de un circuito en corriente continua, basta multiplicar ambas magnitudes para obtener la potencia máxima, que se expresa en kilovatios pico (kWp).

Factor de Forma y Rendimiento

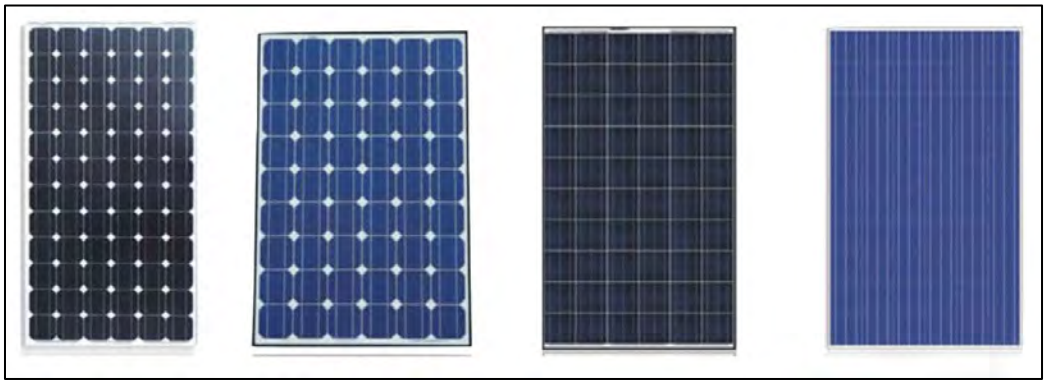
El factor de forma resulta de dividir la potencia máxima entre el producto de la tensión de circuito abierto por la corriente de cortocircuito; el rendimiento, de dividir esa misma potencia máxima (P_m) entre la irradiancia incidente (P_L).

$$FF = \frac{Pm}{Vca*Icc} \qquad \eta = \frac{Pm}{PL}$$

El rendimiento alcanzable depende de la tecnología del módulo. Entre las dos opciones más difundidas, el silicio monocristalino se sitúa aproximadamente entre el 15 % y el 18 %,

mientras que el policristalino rinde entre el 13 % y el 15 % (Reyes, 2013). La Figura 10 contrasta ambos tipos de módulo.

Figura 10: *Módulos de Paneles Fotovoltaicos Monocristalinos y Policristalinos respectivamente*



Nota: (NOVUM, 2021)

2.2.2. La generación distribuida

No existe consenso internacional sobre qué debe entenderse por generación distribuida. La dificultad proviene de que intervienen criterios heterogéneos —la tecnología empleada, la potencia instalada, la existencia o no de conexión a la red— y cada uno de ellos admite umbrales distintos según quién los fije.

Con todo, la mayoría de las definiciones converge en una idea común: se trata de generación de pequeña escala emplazada en las inmediaciones de la carga que abastece, bajo un esquema descentralizado, y que puede operar tanto aislada como sincronizada con la red.

Conviene precisar que estas definiciones no comprometen una fuente primaria determinada. Las tecnologías asociadas a la generación distribuida abarcan la entrega de energía al consumidor en forma de electricidad o de calor, sin restringirse a un origen particular.

Los umbrales operativos, y en particular el límite de potencia, varían de una jurisdicción a otra. El Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) sitúa el rango entre 1 kW y decenas de megavatios. El sistema español fija el techo en 50 MW y admite dentro de la categoría toda

generación por debajo de esa cifra. En el Reino Unido, EscoVale Consultancy eleva el límite general hasta 100 MW, pero lo restringe a 10 MW cuando la fuente es renovable.

Por debajo de esos rangos aparecen las nociones de microgeneración y minigeneración, habitualmente asociadas a potencias inferiores a 5 kW y comprendidas entre 5 kW y 5 MW, respectivamente. También aquí los límites dependen de la normativa local: Brasil, por ejemplo, ubica la microgeneración por debajo de 100 kW y la minigeneración por debajo de 1 MW.

Dado que tanto la escala como la tecnología responden a las necesidades y a las condiciones de cada emplazamiento, el abanico de aplicaciones es amplio: generación base, cobertura de picos de demanda, cogeneración, respaldo y soporte a las redes de transporte y distribución, e incluso servicio directo al usuario final.

Figura 11: *Hogar autosostenible usando Energía Solar*



Nota: Tomado de Blog de Atria Energía (Atria Energia, s.f.)

2.2.3. Calidad de la energía eléctrica

Por calidad de la energía se entiende el indicador que permite establecer si un sistema eléctrico garantiza el funcionamiento correcto de sus componentes, evitando que la carga reciba perturbaciones capaces de afectarla.

El marco normativo aplicable en el Perú es la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, que evalúa la calidad del producto a partir de las transgresiones a los límites de tensión,

frecuencia y perturbaciones armónicas medidas en bornes de la carga (Ministerio de Energía y Minas, 2010). Los criterios que se detallan a continuación corresponden a dicha norma.

Tensión:

La tolerancia admitida es de ±5.0 % para todos los niveles de tensión. Se exceptúan las zonas urbano-rurales y rurales, donde el margen se amplía al ±7.5 %.

La verificación se realiza sobre el promedio del valor eficaz (RMS) registrado en intervalos de 15 minutos en el punto de carga, contrastado contra la tensión nominal correspondiente a ese mismo punto.

$$\Delta V_k(\%) = {(V_k - V_N)}/{V_N} * 100\%$$

Donde:

ΔV_k es la diferencia entre la media de los valores eficaces.

V_k es el valor eficaz instantáneo (RMS) medido en el punto de entrega.

V_N es el valor de la tensión nominal en el mismo punto.

Frecuencia:

Para la frecuencia se distinguen dos tolerancias según el tipo de apartamiento: 0.6 % en el caso de variaciones sostenidas durante intervalos moderados y 1 Hz cuando se trata de variaciones súbitas.

El procedimiento replica al de la tensión: se promedian los valores instantáneos de frecuencia sobre ventanas de 15 minutos y el resultado se compara con la frecuencia nominal del sistema.

$$\Delta f_k(\%) = {(f_k - f_N)}/{f_N} * 100\%$$

Donde:

Δf_k es la diferencia entre la media de los valores instantáneos de frecuencia.

f_k es la media de los valores instantáneos de frecuencia.

f_N es el valor de la frecuencia nominal del sistema.

Perturbaciones:

Bajo este rubro la norma considera dos parámetros — flicker y armónicas —, medidos en los puntos de acoplamiento común que ella misma señala o que determine la autoridad competente.

- En el caso del flicker, el índice de severidad de corta duración (P_{st}) debe mantenerse por debajo de 1 en todos los niveles de tensión.
- Para las armónicas rigen dos indicadores simultáneos: el valor eficaz (RMS) de cada tensión armónica individual (V_i) y el THD. Ninguno de los dos puede exceder los límites consignados en la Tabla 2.

$$THD = \left(\sqrt{\sum_{i=2\ldots40} \left(V_i^2 / V_N^2\right)}\right) * 100\%$$

Donde:

V_i es el valor eficaz (RMS) de la tensión armónica *i* (para i = 2…40), en voltios.

V_N es la tensión nominal del punto de medición, expresada en voltios.

La norma exige además que la evaluación se realice de manera independiente, con registros en intervalos de 10 minutos a lo largo de siete días calendario consecutivos, condición que determinó la duración de la campaña de medición de esta tesis.

Tabla 1: *Cuadro de Tolerancias de Tensiones Armónicas en la red*

Tipo de armónica	**Orden (n)**	**> 60 kV**	**≤ 60 kV**
Impares (no múltiplos de 3)	5	2.0	6.0
	7	2.0	5.0
	11	1.5	3.5
	13	1.5	3.0
	17	1.0	2.0
	19	1.0	1.5
	23	0.7	1.5
	25	0.7	1.5
	>25	0.1 + 2.5/n	0.2 + 12.5/n

Impares (múltiplos de 3)	3	1.5	5.0
	9	1.0	1.5
	15	0.3	0.3
	21	0.2	0.2
	>21	0.2	0.2
Pares	2	1.5	2.0
	4	1.0	1.0
	6	0.5	0.5
	8	0.2	0.5
	10	0.2	0.5
	12	0.2	0.5
THD	>12	0.2	0.2
	—	3	8

Nota: Adaptado de Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (Ministerio de Energia y Minas, 2010)

2.2.4. Los armónicos eléctricos

En el desarrollo en series de Fourier de una señal periódica, se llama componente armónica a todo término de orden superior a uno. Trasladado a un sistema que opera a 60 Hz, esto significa que la tercera armónica corresponde a una señal de 180 Hz, la quinta a 300 Hz, y así sucesivamente (IEEE, 2014)

El origen de estas componentes en los sistemas de potencia está en las cargas no lineales, entendidas como aquellas que no absorben corriente sinusoidal aun cuando se las alimenta con tensión sinusoidal. Los dispositivos conmutadores son el caso más frecuente: los convertidores de estado sólido conducen corriente únicamente durante ciertos tramos del ciclo, y esa conducción fragmentada es lo que deforma la onda. En menor medida contribuyen también los elementos de impedancia saturable, como los transformadores cuya relación tensión-impedancia deja de ser lineal al aproximarse a la saturación. Este comportamiento es directamente relevante para el presente estudio, dado que el inversor del sistema evaluado pertenece a la primera de estas categorías.

A efectos de modelado y simulación computacional, la práctica habitual consiste en representar la carga no lineal como una fuente inyectora de corrientes armónicas, cuyas frecuencias

son múltiplos enteros de la fundamental. Existen excepciones: ciertas cargas, como los hornos de arco eléctrico o los cicloconvertidores, generan además componentes de frecuencia no entera, situadas entre los órdenes armónicos esperados.

Por definición, los armónicos se repiten en cada ciclo de la componente fundamental y se obtienen como parte de la solución en régimen permanente. No obstante, su amplitud puede variar de un ciclo a otro —en cuyo caso se habla de armónicos variables en el tiempo— y también pueden manifestarse en condiciones cuasi estacionarias o transitorias, como ocurre durante la corriente de magnetización inicial de un transformador. El análisis desarrollado en esta tesis se circunscribe al régimen permanente y no aborda estas dos últimas situaciones, cuyo tratamiento exigiría modelos de fuente dependientes del tiempo y simulaciones en el dominio temporal.

El espectro que efectivamente se produce depende de la naturaleza de la carga. La mayor parte de los dispositivos no lineales genera predominantemente armónicos impares, acompañados de componentes pares de baja amplitud. Los hornos de arco constituyen de nuevo la excepción, pues abarcan el espectro completo: impares, pares y las componentes no enteras intermedias, conocidas como Inter armónicos. Como tendencia general, la amplitud decrece conforme aumenta el orden armónico. (IEEE, 2018)

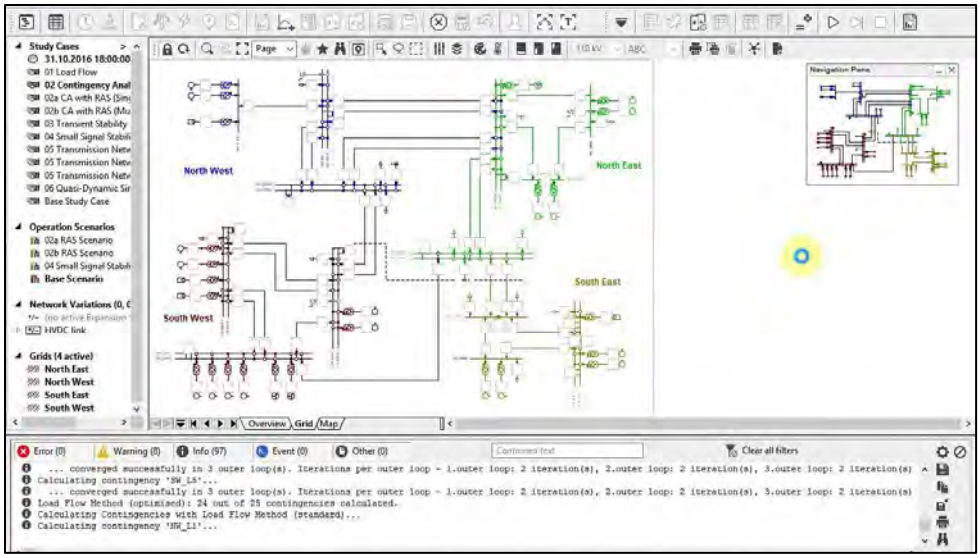
2.2.5. El software Powerfactory

PowerFactory es una plataforma de análisis de sistemas eléctricos de potencia desarrollada por DIgSILENT, aplicable a instalaciones industriales y a redes de generación, transmisión y distribución ((DigSILENT, s.f.). Su elección para esta tesis responde a que integra, en un mismo entorno, el análisis armónico y el modelado de generación fotovoltaica.

El programa cubre desde los cálculos convencionales de sistemas eléctricos hasta desarrollos más especializados, como la energía eólica, la generación distribuida y la simulación

en tiempo real. Su arquitectura combina los algoritmos de cálculo con una base de datos propia y un lenguaje de programación integrado, lo que permite construir rutinas y automatizar secuencias de análisis repetitivas.

Figura 12*: Interfaz del Software PowerFactory de DigSILENT*



Nota: Tomado de PowerFactory applications (DigSILENT, s.f.)

Los principales desafíos que la generación distribuida introduce en los sistemas eléctricos se manifiestan como fenómenos concretos: inversión del sentido de los flujos de potencia, caídas y elevaciones de tensión, modificación de los niveles de falla y cambios en la carga de los equipos. Buena parte de esa complejidad nace del encuentro entre una generación de alta volatilidad, propia de las fuentes renovables, y un consumo cuya variabilidad también viene en aumento.

Para abordar ese escenario, la biblioteca de PowerFactory incorpora modelos de flujo de carga y modelos dinámicos ya preparados para generadores y convertidores, sistemas fotovoltaicos cuya potencia se calcula a partir de la radiación solar, celdas de combustible, aerogeneradores y almacenamiento en baterías, conforme a los criterios de la IEC y del WECC. Del lado del consumo, dispone de modelos de carga monofásica y trifásica, perfiles de demanda y representaciones de

vehículos eléctricos, de modo que la interacción entre generación y consumo pueda simularse de forma conjunta.

Sobre esa base se apoyan los análisis disponibles: evaluación de redes desequilibradas, cálculo de variaciones de tensión, simulaciones cuasi dinámicas y optimización del perfil de tensión. El cálculo de capacidad de alojamiento permite estimar cuánta generación renovable adicional admite la red, mientras que el análisis probabilístico y de fiabilidad sirven para cuantificar los riesgos asociados a la incertidumbre.

2.2.5.1. Funciones seleccionadas

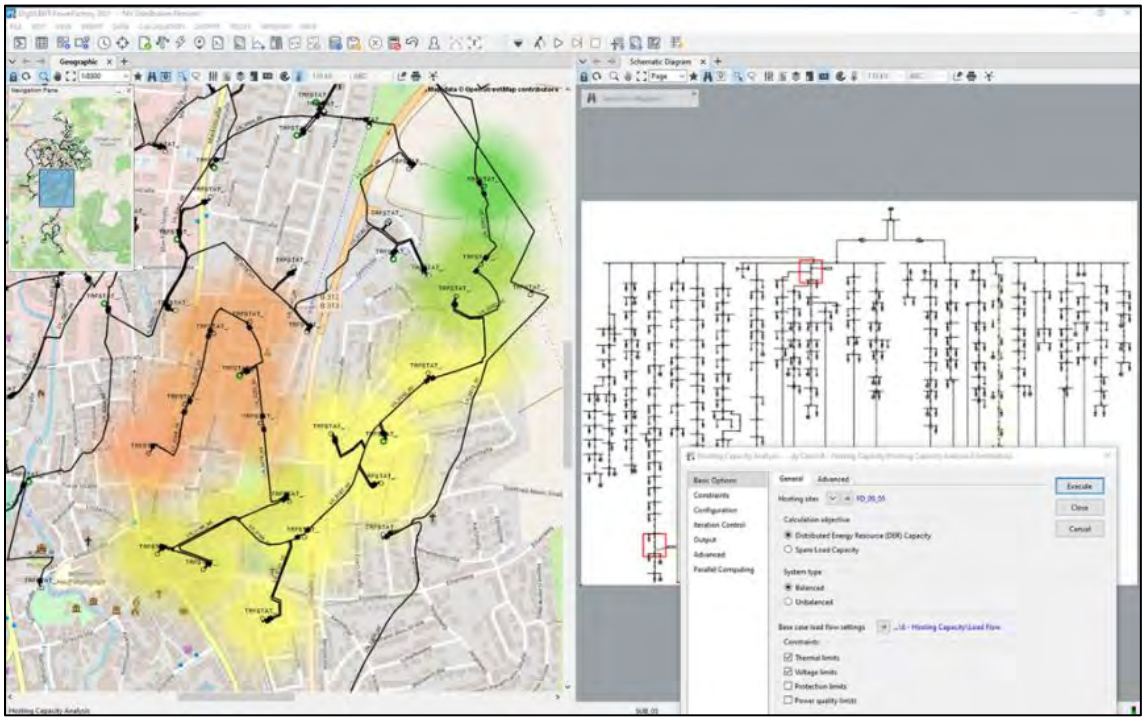
Modelado

- Sistemas fotovoltaicos monofásicos y trifásicos, con la potencia derivada directamente de la radiación solar.
- Aerogeneradores cuya potencia se obtiene de la distribución de velocidad del viento o de series temporales introducidas por el usuario.
- Modelos dinámicos de turbinas eólicas, arreglos fotovoltaicos, almacenamiento en baterías y recursos energéticos distribuidos (DER_A), con capacidad FRT, además de cargas compuestas.
- Distintos esquemas de control de potencia reactiva, aplicables a generadores individuales o a controladores maestros de parques eólicos y fotovoltaicos.
- Cambiadores de tomas en carga con diversos esquemas de regulación, incluida la compensación por caída de línea en transformadores y reguladores de tensión.
- Representación de la red tanto simétrica como asimétrica.

Cálculo

- Análisis armónico, barrido de impedancia y cálculo de flickermeter, orientados a la evaluación de la calidad de la energía.
- Simulación cuasi dinámica de mediano y largo plazo, aplicable a almacenamiento en baterías y a generación variable.
- Optimización de las tomas de los transformadores de distribución ante flujos bidireccionales, con el fin de mejorar el perfil de tensión en redes con alta penetración de generación distribuida.
- Cálculo de corrientes de cortocircuito conforme a la IEC 60909.
- Análisis de capacidad de alojamiento, para estimar el margen de generación o de carga admisible en zonas predefinidas de la red.
- Flujo de carga probabilístico y flujo de potencia óptimo.
- Análisis de confiabilidad orientado a identificar pérdidas de generación y de carga, con evaluación de esquemas de restauración.
- Dimensionamiento de conductores para redes de distribución, con cálculo del factor de reducción y de la capacidad de corriente.

Figura 13*: Modelo de Red con puntos de Generación Distribuida*



Nota: Tomado de PowerFactory applications (DigSILENT, s.f.)

2.2.6. El software Metrel Powerview v3

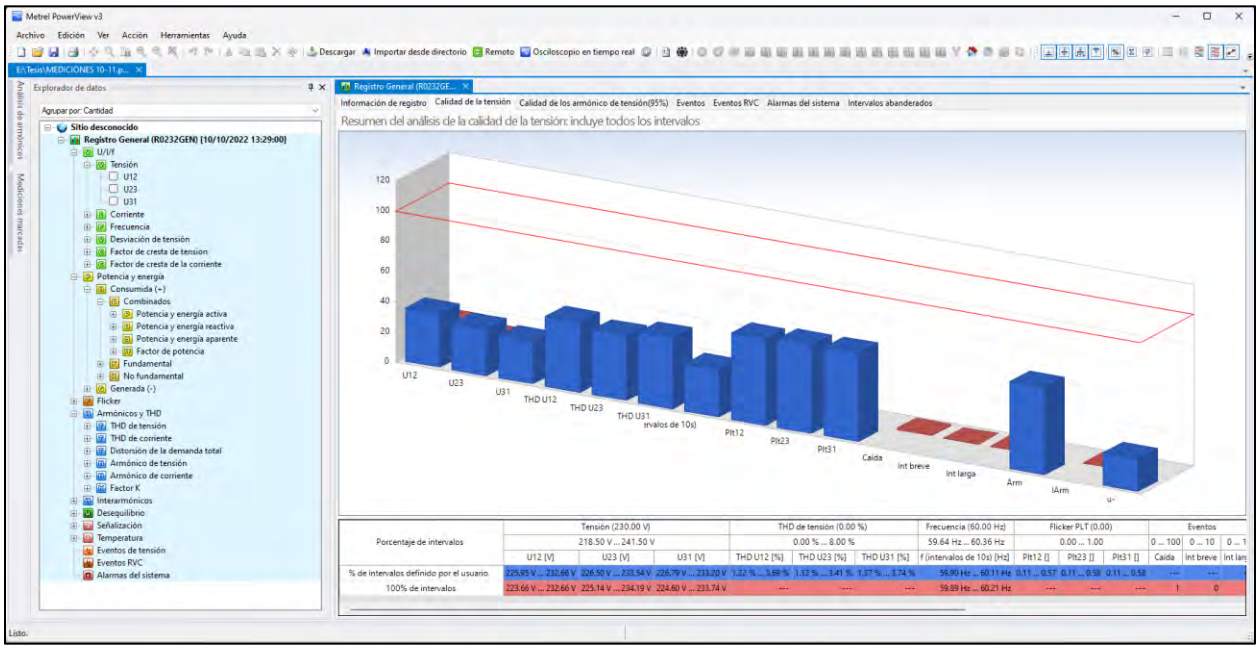
PowerView 3.0 es la aplicación con la que Metrel gestiona sus analizadores de calidad de energía. Permite descargar los registros almacenados por el instrumento, analizarlos y generar reportes impresos, y es compatible con la mayor parte de los equipos PQA del fabricante. En esta investigación se empleó junto con el analizador de redes MI 2892 Power Master, cuyas especificaciones técnicas se consignan en el Anexo 10. (METREL, 2024)

Las prestaciones relevantes para el tratamiento de los datos de esta tesis fueron las siguientes:

1. Compatibilidad con el conjunto de instrumentos del fabricante, lo que permite administrar en un solo entorno los registros procedentes de distintos analizadores.
2. Descarga y almacenamiento de los registros, con posibilidad de seguimiento continuo de los parámetros de calidad.

3. Análisis y representación gráfica de las mediciones, que facilita localizar apartamientos y decidir acciones correctivas.
4. Una interfaz de manejo directo, que abrevia la localización de los registros y el trabajo con series extensas de datos.
5. Herramientas de análisis avanzado que permiten examinar en detalle el comportamiento de cada parámetro.
6. Generación de reportes configurables según los parámetros que interese documentar.
7. Funcionamiento en distintos sistemas operativos.

Figura 14*: Interfaz del Software PowerView3.0*



Nota: Elaboración Propia

2.3. Marco conceptual

Celda solar. Elemento semiconductor, fabricado mayoritariamente en silicio, capaz de producir electricidad a partir de la radiación que recibe. La asociación en serie de varias celdas conforma el panel fotovoltaico. El principio de operación consiste en que la radiación incidente

aporta energía a los electrones del material, que pasan de una capa del panel a la siguiente y dan lugar a la circulación de corriente (Planas, 2020)

Efecto fotovoltaico. Fenómeno por el cual se genera corriente eléctrica entre dos materiales distintos en contacto cuando quedan expuestos a radiación electromagnética. Al chocar el fotón con un electrón situado en la órbita más externa del átomo —habitualmente de silicio—, le transfiere energía suficiente para abandonar esa órbita y desplazarse por el material conductor. Se requiere un mínimo de 1.2 eV para que el fotón logre excitar al electrón de valencia (Planas, 2020)

Irradiación solar. Cantidad de energía de radiación solar que incide por unidad de superficie. Su magnitud está condicionada por la ubicación del punto de medición, la latitud, la estación del año, las condiciones climáticas del lugar y la hora. Dada su variabilidad, suele trabajarse con promedios por intervalos que permitan disponer de un valor de referencia estable (ECYT-AR, 2017)

Inversor CC/CA. Dispositivo electrónico encargado de convertir una alimentación en corriente continua en corriente alterna senoidal, con el propósito de alimentar cargas de CA, gobernar motores de inducción o acoplar equipos de CC a la red. Admite como entrada cualquier fuente que entregue corriente continua, sea una batería, un arreglo fotovoltaico o una pila de combustible. Se clasifican según la salida que producen —monofásica o trifásica— y según su topología, de puente medio o de puente completo (De Lorenzo, s.f.)

Microrred. Red eléctrica autosuficiente que abastece un área geográfica delimitada a partir de varias fuentes de generación, por lo común renovables, siguiendo el esquema propio de la generación distribuida. Se define por tres rasgos: es local, pues sirve a una zona acotada; es independiente, porque produce su propia energía; y es inteligente, gracias a sus niveles de medición y control. Persigue un sistema eléctrico más eficiente y sostenible mediante la

integración de generación distribuida y telecomunicaciones, lo que amplía el papel del usuario final (ABENGOA, 2018)

Analizador de redes eléctricas. Instrumento destinado a medir los distintos parámetros de una instalación eléctrica, con aplicación tanto en el ámbito industrial como en la red de distribución. El rango de magnitudes que registra comprende corriente, tensión, consumo de energía, potencia y factor de potencia, y se extiende al flicker, a los armónicos individuales de corriente y tensión y al THD, lo que habilita una evaluación completa de la calidad de ambas señales. Dispone de memoria interna que opera como base de datos de los registros y admite exportarlos o visualizarlos, sea en pantalla o mediante navegador web (Grupo ORS, 2020)

Distorsión armónica total (THD). Indicador del grado de deformación que los armónicos introducen en la señal de tensión o de corriente. Se emplea también la denominación «tasa de distorsión armónica», que expresa el cociente entre el valor eficaz del conjunto de componentes armónicas o residuales y el de la componente fundamental (Fornieles, 2021)

Distorsión de demanda total (TDD). Valor porcentual que expresa la máxima componente armónica de la demanda. Su magnitud está determinada por las cargas conectadas, capaces de deformar la onda de la componente fundamental (IEEE, IEEE Std 3002.8-2018, 2018)

Espectro de armónicos. Representación gráfica de la amplitud correspondiente a cada frecuencia armónica presente en una señal eléctrica. Conviene advertir que algunos analizadores de redes no presentan la amplitud propiamente dicha, sino la distorsión individual de cada armónico en términos porcentuales (Fornieles, 2021)

Sobretensión. Tensión entre fase y tierra, o entre dos fases, cuyo valor máximo excede el valor máximo que corresponde al voltaje del sistema. Admite clasificarse según su forma y su duración, en temporal o transitoria. Salvo indicación en contrario —como sucede con los pararrayos—, se

expresa en unidades porcentuales referidas a la tensión eficaz V_m dividida entre √2 o √3, según la configuración del sistema. La distinción habitual separa las sobretensiones fuertemente amortiguadas y de corta duración, llamadas transitorias, de aquellas poco o nada amortiguadas y de duración prolongada, denominadas temporales. Los valores de referencia usuales se ubican entre 1.1 y 1.2 p. u. (IEEE, IEEE Std 100, 2000)

$$\forall\ \Delta V\% = \left(\frac{V_{max} - V_{nominal}}{V_{nominal}}\right) * 100\ ;\ \ 1.1\ <\ \frac{V_{max}}{V_{nominal}} < 1.2$$

Donde:

V_{max} es el valor máximo de la tensión durante la sobretensión.

$V_{nominal}$ es la tensión nominal de funcionamiento o de referencia.

Subtensión. Apartamiento de la tensión por debajo del valor propio del sistema. El término se reserva para episodios de duración superior a un minuto, durante los cuales la tensión se sitúa entre 0.8 y 0.9 p. u. (IEEE, IEEE Std 100, 2000)

$$\forall\ \Delta V\% = \left(\frac{V_{nominal} - V_{min}}{V_{nominal}}\right) * 100\ ;\ \ 0.8\ <\ \frac{V_{min}}{V_{nominal}} <\ 0.9$$

Donde:

V_{min} es el valor mínimo de la tensión durante la subtensión.

$V_{nominal}$ es la tensión nominal de funcionamiento o de referencia.

Elevación de tensión (swell). Aumento del valor eficaz de la tensión hasta situarse entre 1.1 y 1.8 p. u. respecto de la tensión normal de operación, con una duración comprendida entre medio ciclo y un minuto. Entre sus causas figuran las descargas atmosféricas, una posición inadecuada de las tomas del transformador y la desconexión de cargas del sistema (Fernando, 2021)

Categoría	Duración Típica	Magnitud Típica de la Tensión
Instantáneas	0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 p.u.
Momentáneas	30 ciclos – 3 seg	1.1 – 1.4 p.u.
Temporales	> 3 seg – 1 min	1.1 – 1.2 p.u.

$$\forall\, V\ ;\ 1.1\ <\ \frac{V}{V_{ref}} < 1.8$$

Donde:

V es la tensión de línea medida, monofásica o trifásica.

V_{ref} es la tensión de referencia.

Hueco de tensión (sag o dip). Descenso del valor eficaz de la tensión hasta un rango de 0.9 a 0.1 p. u. respecto de la tensión normal de operación, con una duración que va de medio ciclo a un minuto. Lo originan situaciones diversas, entre ellas las fallas en la línea, el arranque de motores y los incrementos bruscos de corriente (Fernando, 2021)

Categoría	Duración Típica	Magnitud Típica de la Tensión
Instantáneas	0.5 – 30 ciclos	0.1 – 0.9 p.u.
Momentáneas	30 ciclos – 3 seg	0.1 – 0.9 p.u.
Temporales	> 3 seg – 1 min	0.1 – 0.9 p.u.

$$\forall\, V\ ;\ 0.1\ <\ \frac{V}{V_{ref}} < 0.9$$

Donde:

V es la tensión de línea medida, monofásica o trifásica.

V_{ref} es la tensión de referencia.

Transitorios. Variaciones rápidas y de corta permanencia en la tensión o la corriente del sistema. Las provocan, entre otros factores, la conmutación de cargas, las descargas atmosféricas y las maniobras de conexión y desconexión. Se manifiestan como picos breves de tensión o

corriente y pueden incidir de manera apreciable tanto en la calidad de la energía como en la operación de los equipos conectados conectados (Díaz, 2022).

Donde:

$$e = R * C * \frac{du_C}{dt} + L * C * \frac{d^2u_C}{dt^2} + u_C$$

e es la tensión de línea medida, monofásica o trifásica.

R es la resistencia, en ohmios (Ω).

L es la inductancia del inductor, en henrios (H).

C es la capacitancia del capacitor, en faradios (F).

u_c es la tensión del capacitor.

La solución homogénea correspondiente resulta:

$$u_{C,h} = a * e^{-\sigma t} * \cos(\omega_m t) + b * e^{-\sigma t} * \text{sen}(\omega_m t)$$

Donde:

$$\omega_m = \sqrt{{\omega_0}^2 - \sigma^2} \; ; \; \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L * C}} \; ; \; \sigma = \frac{R}{2L}$$

σ es el coeficiente de amortiguamiento y determina la rapidez con la que se desvanece la señal total.

ω_0 es la frecuencia de resonancia y determina la rapidez de oscilación del sistema.

ω_m es la frecuencia angular, cuyo resultado determina el sobreamortiguamiento o subamortiguamiento del sistema.

a y *b* son las constantes de integración que dependen de las variables del entorno y representan la amplitud de la tensión transitoria.

Impulsos. El impulso tipo rayo consiste en una tensión o corriente transitoria de carácter aperiódico que alcanza a los equipos y a las redes de servicio como consecuencia de una descarga

atmosférica o de una maniobra. Frente al impulso tipo maniobra, el de tipo rayo presenta tiempos más breves tanto en alcanzar el valor de cresta (tiempo de frente) como en decaer a cero (tiempo de cola); el de maniobra, en cambio, se extiende más en el tiempo por originarse en una falla de operación de los equipos (Infanzón, 2016)

Para las pruebas de protección es posible determinar el número de impulsos requerido en los puntos de prueba de referencia (Scheider Electric, 2023)

$$Numero\ de\ impulsos = \frac{Ne * V * I * fp * t}{3600 * Kt}$$

Donde:

N_e es el número de elementos de medición empleados.

V es la tensión del punto de prueba, en voltios (V).

I es la intensidad del punto de prueba, en amperios (A) por fase.

t es la duración de la prueba, en segundos (s); debe ser superior a 30 segundos.

f_p es el factor de potencia del sistema.

K_t es la constante de impulsos programada en la central de medida sometida a prueba, expresada en Wh/impulso.

Oscilación. Intercambio de energía entre los elementos inductivos y capacitivos del circuito, en el que la resistencia presente disipa parte de esa energía en forma de calor. Se trata del mismo fenómeno que subyace al transitorio, aunque se aprecia con mayor claridad en sistemas de corriente continua, donde un capacitor cargado interactúa con una inductancia dentro de un lazo cerrado (Lorenzor, 2019)

$$Q(t) = Q_{max}\, e^{-(R/2L)t} \cos(\omega t + \varphi)$$

Donde:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L * C} - (\frac{R}{2L})^2}$$

$\omega > 0$: oscilación subamortiguada.

$\omega = 0$: oscilación críticamente amortiguada.

$\omega < 0$: oscilación sobreamortiguada.

Desbalance. Condición que puede presentarse en cualquier punto del sistema de distribución cuando las cargas no quedan repartidas de forma equivalente entre las fases de un tablero. Si una de ellas soporta una carga sensiblemente mayor que las restantes, la tensión en esa fase desciende respecto de las demás (Héctor O. Pascual, 2014)

$$F_{dvn}\% = \frac{|V_{neg}|}{|V_{pos}|} * 100$$

Donde:

F_{dvn} es el factor de desbalance de tensión.

V_{neg} es la magnitud de la tensión de la componente de secuencia negativa.

V_{pos} es la magnitud de la tensión de la componente de secuencia positiva.

Muesca (notching). Perturbación consistente en caídas breves y de repetición periódica en la onda de tensión. Se originan sobre todo en la conmutación de cargas no lineales, en particular de convertidores de potencia, y pueden alterar el funcionamiento normal de equipos eléctricos y electrónicos (ESSA GRUPO EPM, 2021)

La distorsión de la señal debida a muescas se define como:

$$THD_{max} = 0.074 \sqrt{\frac{A_N}{\rho}}\ \%$$

Donde:

A_N es el área de la muesca, medida en voltios-microsegundos.

ρ es la relación de la inductancia total con respecto a la del sistema.

Ruido. Perturbaciones o interferencias de alta frecuencia que se superponen a la señal eléctrica normal. Suelen tener origen electromagnético y provienen de equipos electrónicos, motores, líneas de transmisión, conmutaciones rápidas y otros dispositivos que introducen señales indeseadas en la banda alta del espectro. Su magnitud no debería exceder el 1 % de la tensión nominal de fase (IEEE, 2019)

$$n_v(f) = V(f) - V_{nominal}\,(f)$$

$$V(f) = \mathcal{F}\{v(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} v(t)e^{-j2\pi ft}dt$$

Donde:

$n_v(f)$ es el espectro de componentes del ruido que se puede obtener.

$V(f)$ representa las tensiones en las frecuencias dominantes.

Interarmónicos. Componentes cuya frecuencia no es múltiplo entero de la fundamental de la red (50 o 60 Hz). Se ubican en los intervalos que median entre armónicos consecutivos y pueden situarse en cualquier frecuencia no armónica; para su tratamiento se define un grupo interarmónico entre cada par de frecuencias armónicas contiguas (International Electrotechnical Commission (IEC, 2009)

$$f_{ig,h} = \frac{(f_{H,h} + f_{H,h+1})}{2}$$

Donde:

$f_{ig,h}$ es el grupo interarmónico de frecuencia en el orden h.

$f_{H,h}$ es la componente armónica de frecuencia en el orden h.

Componente de continua (offset de CC). Presencia de una componente de corriente continua superpuesta a una señal de tensión o corriente alterna. Su aparición obedece a causas diversas y repercute de distintas maneras sobre los equipos del sistema (IEEE, 2019)

$$v(t) = V_m \sin(2\pi f t) + V_{DC}$$

Donde:

V_{DC} es la componente de corriente continua.

Flicker. Variación perceptible en la luminosidad e intensidad de la luz provocada por fluctuaciones de la tensión de red. El resultado es un parpadeo o una atenuación intermitente que el ojo humano alcanza a registrar. Su presencia guarda relación estrecha con la calidad del suministro y se acentúa cuando la instalación es deficiente o presenta problemas de conexión o averías (Pepeenergy, s.f.).

La evaluación analítica del flicker se apoya en las siguientes expresiones:

$$Pst = 0.365\, \Delta * F * r^{0.31} * R \qquad , \qquad Plt = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{N} Pst_i^3}{N}}$$

Donde:

Δ = Variación Relativa de la tensión en %

r = Tasa de Repetición de la variación de la tensión (1/min)

R = Coeficiente que depende de la tasa o índice de repetición (R=1 para r ≤1000 y se hace muy pequeña para r ≥ 1000)

F = Factor de equivalencia que depende de la forma de fluctuación de la tensión (F=1 para las fluctuaciones bruscas, ya sea escalones u ondas cuadradas, y 0.9 < F < 1 para fluctuaciones suaves)

A manera de ejemplo, obtener el P_{lt} de un sistema sobre una ventana de una hora exige calcular previamente el P_{st} de cada intervalo. Con un índice de repetición de 10 veces por minuto durante los primeros 2 minutos y de una repetición por minuto en el resto de la hora, el factor F toma el valor 1 y las fluctuaciones se consideran escalonadas.

$$Pst_1 = 0.365\, \Delta_1 * 1 * 10^{0.31} * 1 = 0.365 * 0.483\% * 10^{0.31} = 0.3599$$

$$Pst_2 = 0.365\ \Delta_2 * 1 * 10^{0.31} * 1 = 0.365 * 0.3\% * 10^{0.31} = 0.2235$$

$$Pst_2 = 0.365\ \Delta_3 * 1 * 10^{0.31} * 1 = 0.365 * 0.56\% * 1^{0.31} = 0.204$$

$$[\![\ldots]\!]$$

$$Pst_{60} = 0.365\ \Delta_1 * 1 * 10^{0.31} * 1 = 0.365 * 0.84\% * 1^{0.31} = 0.306$$

Con los P_{st} individuales ya determinados, el P_{lt} correspondiente a la hora resulta:

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=60}^{N} Pst_i^3}{N}} = \sqrt[3]{\frac{Pst_1^3 + Pst_2^3 + Pst_3^3 + \cdots + Pst_{60}^3}{60}}$$

$$Plt = 0.298$$

Capítulo III:

Obtención e Interpretación De Data Eléctrica

3.1. Recopilación de información solar durante el periodo de medición

Durante el proceso de medición del sistema de Generación Distribuida Solar se tuvo también un registro paralelo de irradiancia solar en la ciudad del Cusco a fin de corroborar datos por hora y obtener mejores resultados en simulación. Dichos datos se muestran en el Anexo 2 y servirán para la interpretación de horas de máxima generación de energía.

Figura 15: *Datos de Irradiancia Solar 1er día*

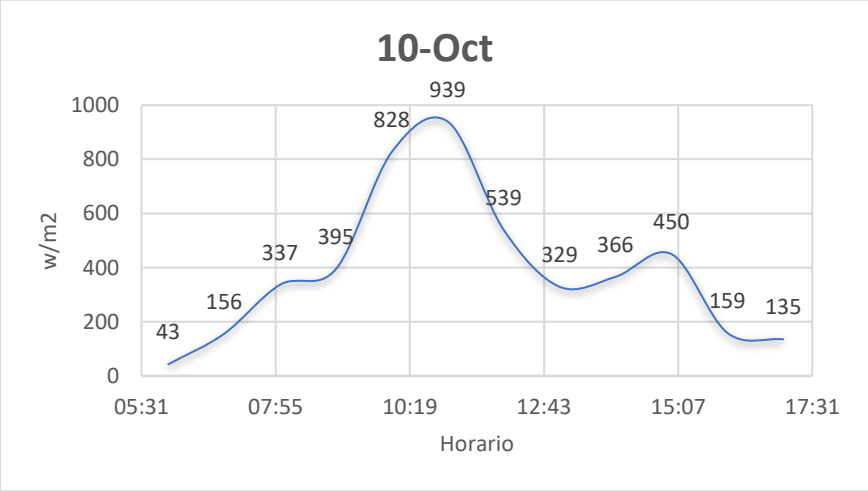


Figura 16: *Datos de Irradiancia Solar 2do día*

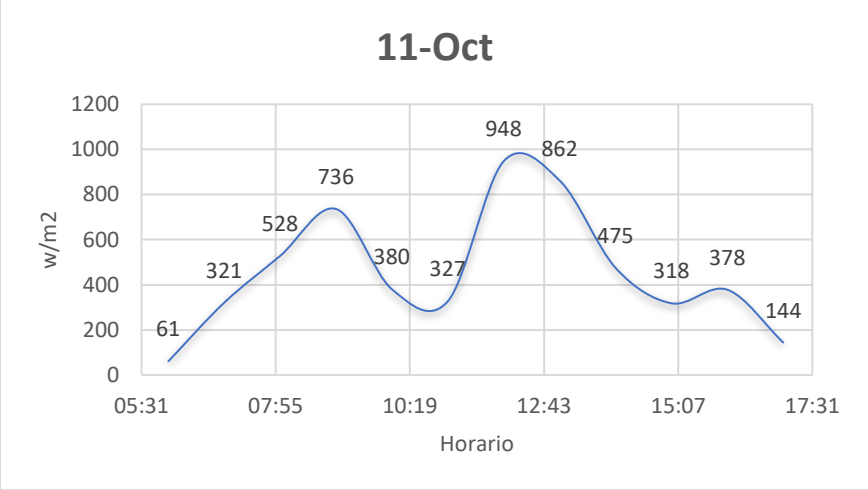


Figura 17: Datos de Irradiancia Solar 3er día

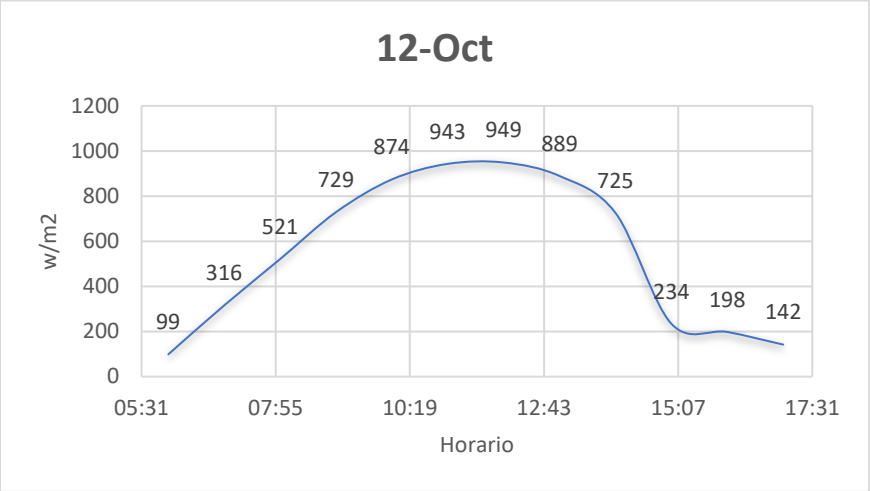


Figura 18: *Datos de Irradiancia Solar 4to día*

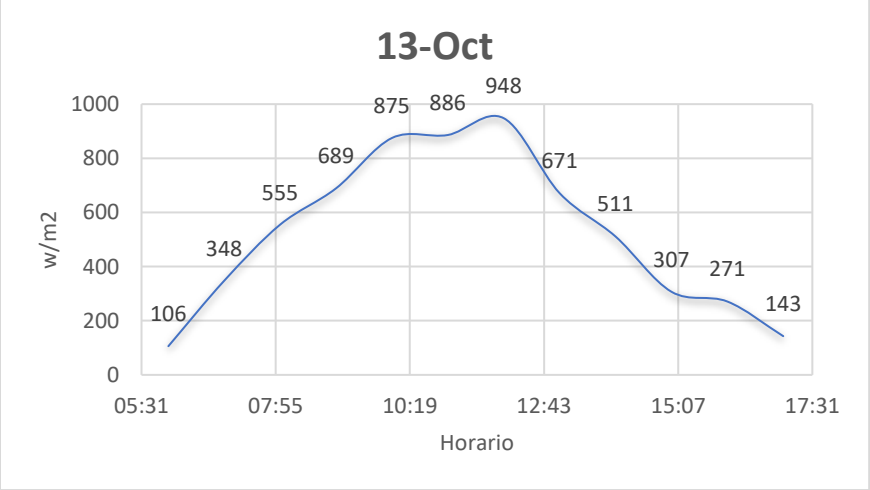


Figura 19: *Datos de Irradiancia Solar 5to día*

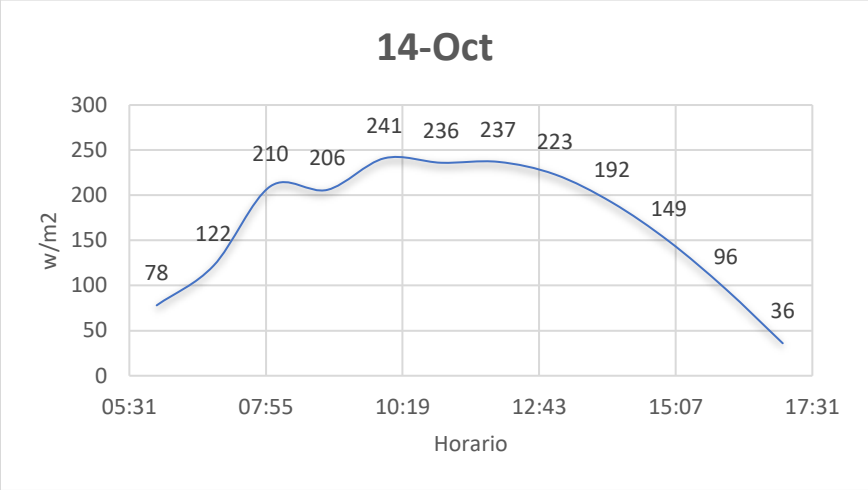


Figura 20: *Datos de Irradiancia Solar 6to día*

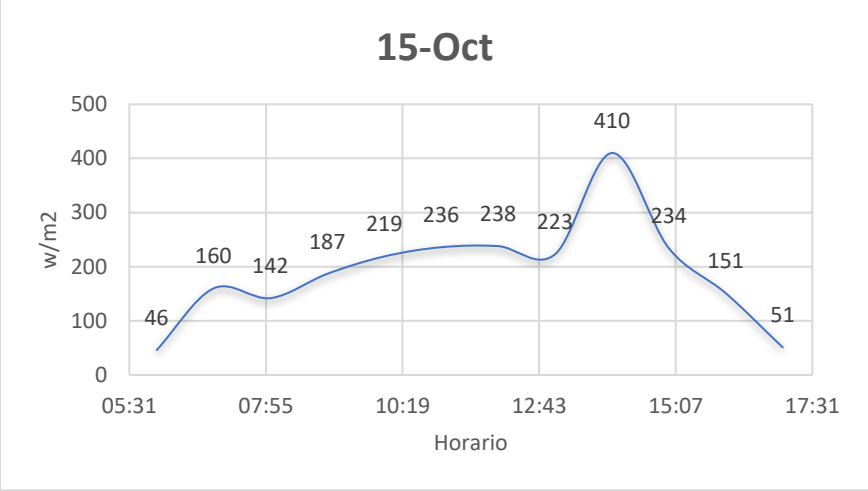


Figura 21: *Datos de Irradiancia Solar 7mo día*

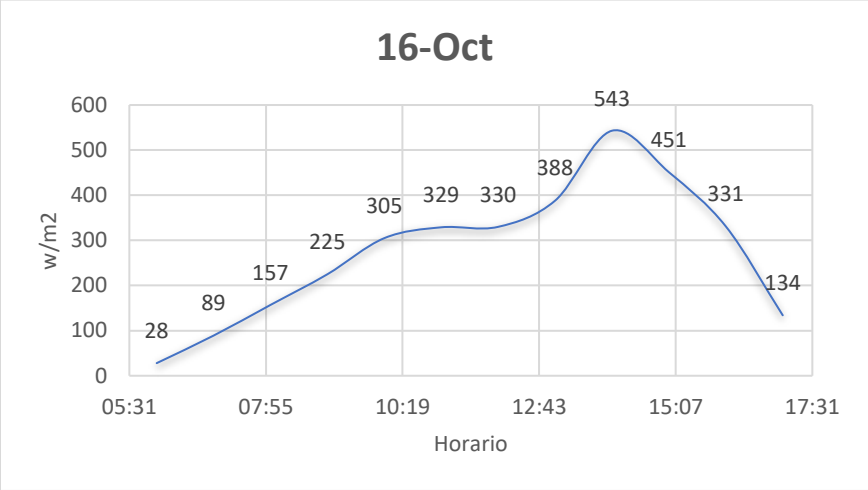
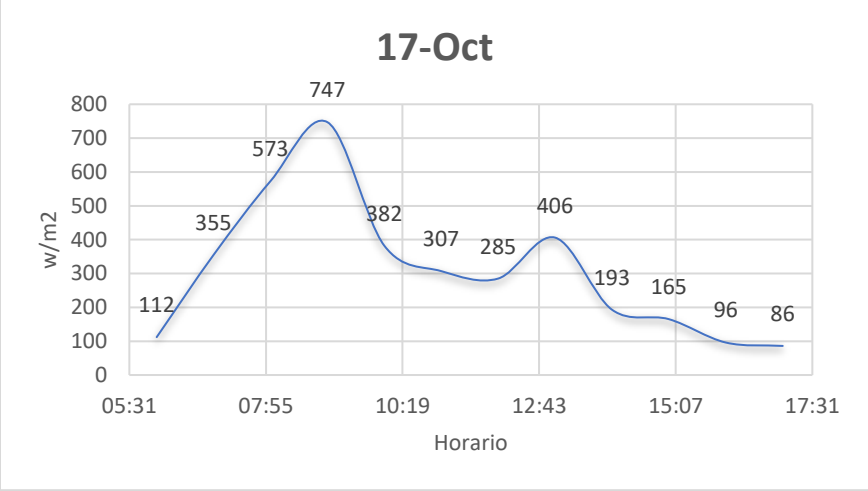


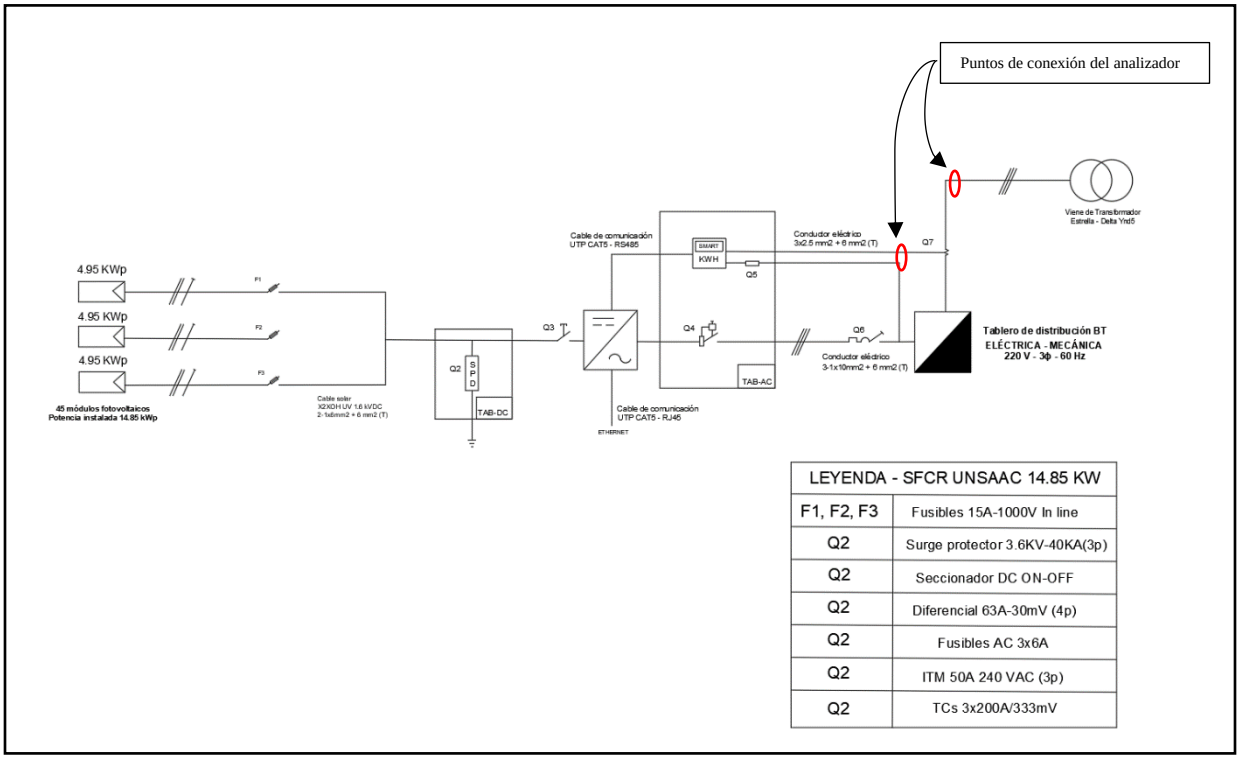
Figura 22: *Datos de Irradiancia Solar 8vo día*



3.2. Instalación de equipo y verificación

El lugar de instalación es la subestación tipo caseta del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica en el Tablero General de Distribución BT Eléctrica-Mecánica 220 V - 3ϕ – 60 Hz. (Anexo 12)

Figura 23: *Diagrama Unifilar de la instalación fotovoltaica*



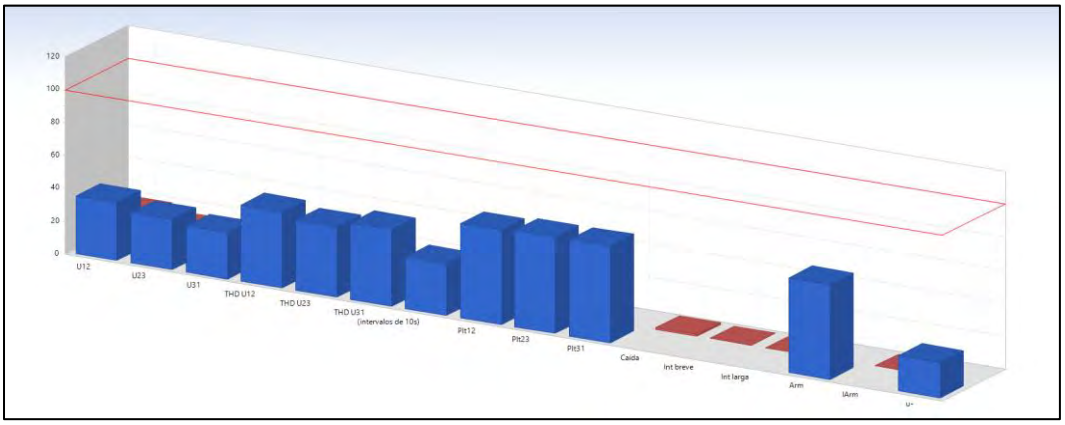
LEYENDA - SFCR UNSAAC 14.85 KW	
F1, F2, F3	Fusibles 15A-1000V In line
Q2	Surge protector 3.6KV-40KA(3p)
Q2	Seccionador DC ON-OFF
Q2	Diferencial 63A-30mV (4p)
Q2	Fusibles AC 3x6A
Q2	ITM 50A 240 VAC (3p)
Q2	TCs 3x200A/333mV

Se tomaría 3 escenarios de medición el cual dará resultados más completos a lo largo de una semana, tiempo estipulado la Norma Técnico de Calidad de los Servicios Eléctricos.

3.3. Escenario de medición de panel solar

Los tiempos de medición son de dos días abarcando desde el lunes 10 de octubre hasta el miércoles 12 de octubre (Anexos 3 y 4). Estos datos reflejan netamente el comportamiento y la calidad de energía del Panel Solar.

Figura 24*: Diagrama de barras de los parámetros medidos del sistema fotovoltaico respecto a su limite*

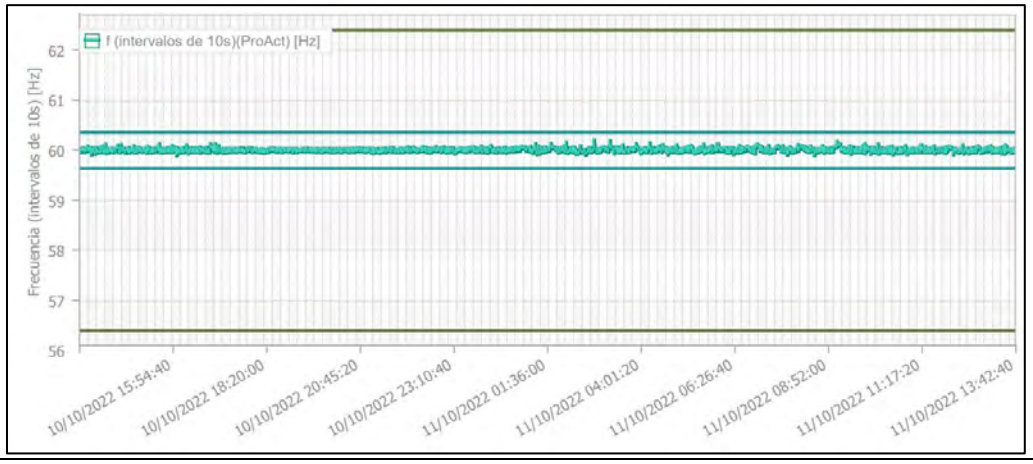


Datos del lunes 10 de octubre del 2022

Frecuencia del sistema	
Frecuencia nominal	60.00 Hz
Cantidad medida	Valor medio de la frecuencia fundamental medida en 10 segundos
Criterios	Sistemas de conexión síncrona
Normativa	NTCSE Sección 5.2

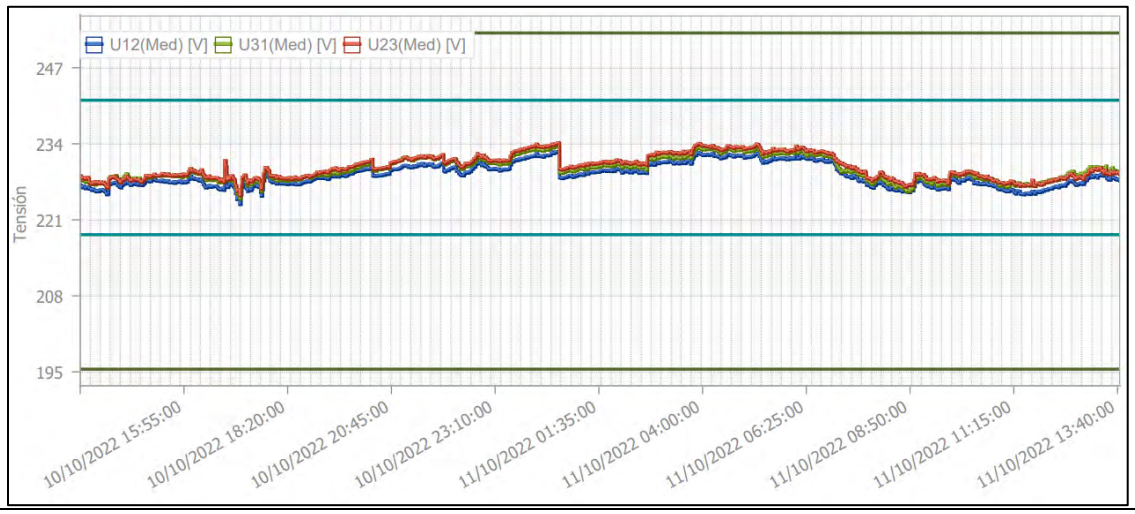
Requisitos		Medida	Estado
59.64 – 60.36 Hz	99.50% del intervalo (semana)	59.90 – 60.11 Hz	Pasa

Figura 25: *Variabilidad de Frecuencia medido en el Sistema Fotovoltaico*



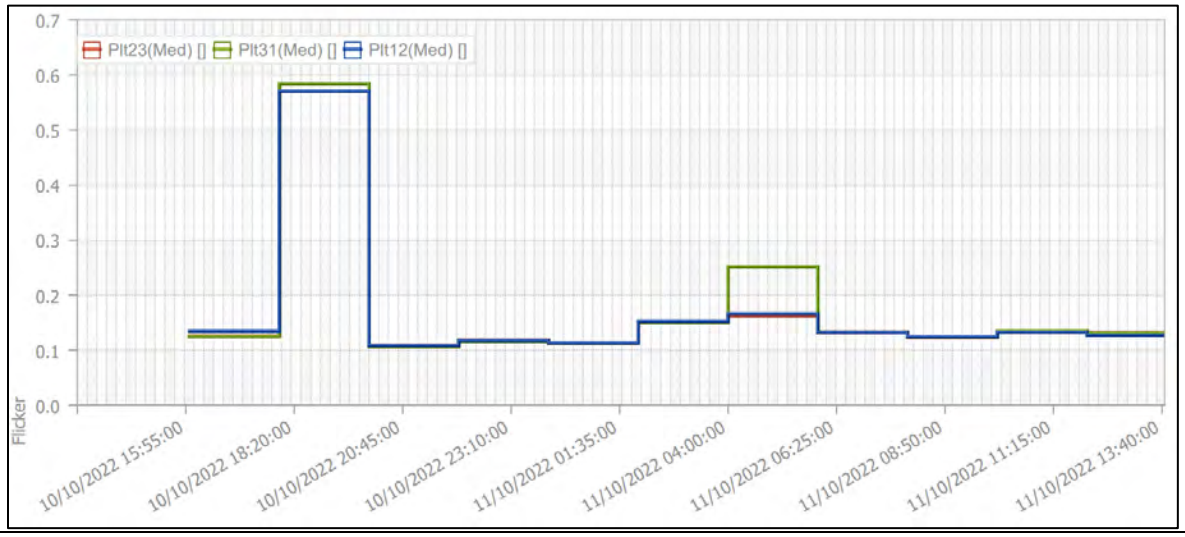
Variaciones de tensión de alimentación			
Tensión nominal		230.00 V	
Cantidad medida		1 minuto valor RMS medio Urms	
Criterios		Sistemas de conexión síncrona	
Normativa		NTCSE Sección 5.1	
Requisitos		Medida	Estado
218.5 – 241.5 V	99.50% del intervalo (semana)	225.95 – 233.54 V	Pasa

Figura 26: *Variabilidad de Tensión medido en el Sistema Fotovoltaico*



Severidad de Flicker			
Cantidad medida		Severidad de Flicker de largo plazo (Plt)	
Normativa		NTCSE Sección 5.3.3	
Condiciones de operación		Normal	
Requisitos		Medida	Estado
Plt < 1	99.50% del intervalo (semana)	0.11 – 0.58	Pasa

Figura 27: *Variabilidad de Flicker medido en el Sistema Fotovoltaico*

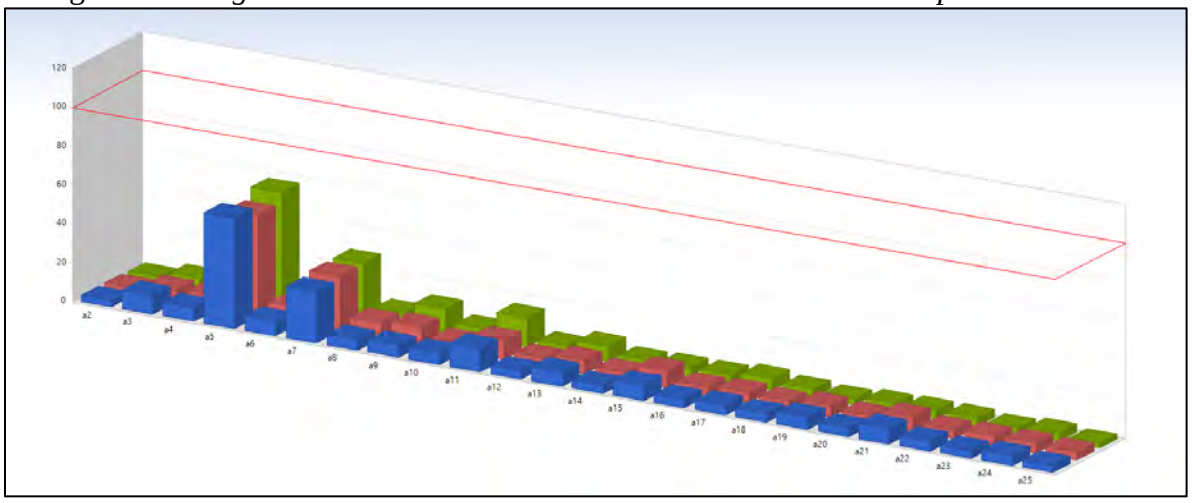


Armónicos de tensión	
Cantidad medida	1 minutos valores RMS medios de la distorsión armónica y armónica total
Normativa	NTCSE Sección 5.3.3
Condiciones de operación	Normal

Tabla 2: *Distorsión armónica total medida en el Sistema Fotovoltaico*

		L12		L23		L31	
Armónicos	Requisito	Medida	Estado	Medida	Estado	Medida	Estado
THD	< 8.00 %	3.69 %	Pasa	3.41 %	Pasa	3.74 %	Pasa
2	< 2.00 %	0.06 %	Pasa	0.06 %	Pasa	0.06 %	Pasa
3	< 5.00 %	0.48 %	Pasa	0.30 %	Pasa	0.28 %	Pasa
4	< 1.00 %	0.07 %	Pasa	0.07 %	Pasa	0.07 %	Pasa
5	< 6.00 %	3.41 %	Pasa	3.10 %	Pasa	3.43 %	Pasa
6	< 0.50 %	0.04 %	Pasa	0.04 %	Pasa	0.04 %	Pasa
7	< 5.00 %	1.31 %	Pasa	1.40 %	Pasa	1.42 %	Pasa
8	< 0.50 %	0.03 %	Pasa	0.04 %	Pasa	0.03 %	Pasa
9	< 1.50 %	0.09 %	Pasa	0.13 %	Pasa	0.18 %	Pasa
10	< 0.50 %	0.03 %	Pasa	0.03 %	Pasa	0.03 %	Pasa
11	< 3.50 %	0.42 %	Pasa	0.34 %	Pasa	0.53 %	Pasa
12	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
13	< 3.00 %	0.22 %	Pasa	0.20 %	Pasa	0.23 %	Pasa
14	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
15	< 1.00 %	0.08 %	Pasa	0.09 %	Pasa	0.05 %	Pasa
16	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
17	< 2.00 %	0.10 %	Pasa	0.10 %	Pasa	0.12 %	Pasa
18	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
19	< 1.50 %	0.09 %	Pasa	0.08 %	Pasa	0.04 %	Pasa
20	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
21	< 0.75 %	0.06 %	Pasa	0.05 %	Pasa	0.03 %	Pasa
22	< 0.50 %	0.03 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
23	< 1.50 %	0.06 %	Pasa	0.07 %	Pasa	0.04 %	Pasa
24	< 0.50 %	0.03 %	Pasa	0.03 %	Pasa	0.02 %	Pasa
25	< 1.50 %	0.06 %	Pasa	0.06 %	Pasa	0.04 %	Pasa

Figura 28*: Diagrama de barras de los valores armónicos medidos respecto a su limite*



Cálculo Matemático de THD Máximo alcanzable:

$$THD_{12} = \left(\sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({V_i^2}/{V_N^2} \right)} \right) * 100\% = \sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({HD_I}^2 \right)}$$

$$THD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.06^2 + 0.48^2 + 0.07^2 + 3.41^2 + 0.04^2 + 1.31^2 + 0.03^2 + 0.09^2 + 0.03^2 \\ +0.42^2 + 0.02^2 + 0.22^2 + \ 0.02^2 + 0.08^2 + 0.02^2 + 0.10^2 + 0.02^2 \\ +0.09^2 + 0.02^2 + 0.06^2 + 0.03^2 + 0.06^2 + 0.03^2 + 0.06^2)\end{matrix}}$$

$$THD_{12} = 3.722\ \%$$

$$THD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.06^2 + 0.30^2 + 0.07^2 + 3.10^2 + 0.04^2 + 1.40^2 + 0.04^2 + 0.13^2 + 0.03^2 \\ +0.34^2 + 0.02^2 + 0.20^2 + \ 0.02^2 + 0.09^2 + 0.02^2 + 0.10^2 + 0.02^2 \\ +0.08^2 + 0.02^2 + 0.05^2 + 0.02^2 + 0.07^2 + 0.03^2 + 0.06^2)\end{matrix}}$$

$$THD_{12} = 3.447\ \%$$

$$THD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.06^2 + 0.28^2 + 0.07^2 + 3.43^2 + 0.04^2 + 1.42^2 + 0.03^2 + 0.18^2 + 0.03^2 \\ +0.53^2 + 0.02^2 + 0.23^2 + \ 0.02^2 + 0.05^2 + 0.02^2 + 0.12^2 + 0.02^2 \\ +0.04^2 + 0.02^2 + 0.03^2 + 0.02^2 + 0.04^2 + 0.02^2 + 0.04^2)\end{matrix}}$$

$$THD_{12} = \ 3.776\ \%$$

Tabla 3*: Distorsión de demanda total medida en el Sistema Fotovoltaico*

Armónico No	Limite (%)	Armónicos de corriente - L1 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L2 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L3 Medido (%)	Estado
TDD	12.00	1.27	Pasa	1.39	Pasa	1.08	Pasa
2	5.25	0.11	Pasa	0.27	Pasa	0.15	Pasa
3	10.50	0.39	Pasa	0.21	Pasa	0.59	Pasa
4	5.25	0.13	Pasa	0.09	Pasa	0.11	Pasa
5	10.50	1.03	Pasa	1.19	Pasa	0.84	Pasa
6	5.25	0.06	Pasa	0.04	Pasa	0.06	Pasa
7	10.50	0.68	Pasa	0.63	Pasa	0.62	Pasa
8	10.50	0.04	Pasa	0.03	Pasa	0.04	Pasa
9	10.50	0.27	Pasa	0.09	Pasa	0.18	Pasa
10	5.25	0.03	Pasa	0.02	Pasa	0.02	Pasa
11	5.25	0.38	Pasa	0.42	Pasa	0.37	Pasa
12	5.25	0.02	Pasa	0.02	Pasa	0.02	Pasa
13	5.25	0.26	Pasa	0.20	Pasa	0.19	Pasa
14	5.25	0.02	Pasa	0.02	Pasa	0.02	Pasa

Armónico No	Limite (%)	Armónicos de corriente - L1 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L2 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L3 Medido (%)	Estado
15	5.25	0.09	Pasa	0.07	Pasa	0.10	Pasa
16	5.25	0.02	Pasa	0.02	Pasa	0.02	Pasa
17	3.75	0.16	Pasa	0.15	Pasa	0.15	Pasa
18	3.75	0.02	Pasa	0.02	Pasa	0.02	Pasa
19	3.75	0.10	Pasa	0.16	Pasa	0.11	Pasa
20	3.75	0.02	Pasa	0.02	Pasa	0.02	Pasa
21	3.75	0.04	Pasa	0.05	Pasa	0.06	Pasa
22	3.75	0.02	Pasa	0.02	Pasa	0.02	Pasa
23	1.5	0.11	Pasa	0.10	Pasa	0.11	Pasa
24	1.5	0.02	Pasa	0.02	Pasa	0.02	Pasa
25	1.5	0.06	Pasa	0.10	Pasa	0.08	Pasa
26	1.5	0.02	Pasa	0.02	Pasa	0.02	Pasa

Cálculo Matemático de TDD máximo alcanzable:

$$TDD_{12} = \left(\sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({I_i^2}/{I_L^2} \right)} \right) * 100\% = \sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({HDD_I}^2 \right)}$$

$$TDD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.11^2 + 0.39^2 + 0.13^2 + 1.03^2 + 0.06^2 + 0.68^2 + 0.04^2 + 0.27^2 + 0.03^2 \\ +0.38^2 + 0.02^2 + 0.26^2 + \ 0.02^2 + 0.09^2 + 0.02^2 + 0.16^2 + 0.02^2 \\ +0.10^2 + 0.02^2 + 0.04^2 + 0.02^2 + 0.11^2 + 0.02^2 + 0.06^2)\end{matrix}}$$

$$TDD_{12} = 1.434\ \%$$

$$TDD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.27^2 + 0.21^2 + 0.09^2 + 1.19^2 + 0.04^2 + 0.63^2 + 0.03^2 + 0.09^2 + 0.02^2 \\ +0.42^2 + 0.02^2 + 0.20^2 + \ 0.02^2 + 0.07^2 + 0.02^2 + 0.15^2 + 0.02^2 \\ +0.16^2 + 0.02^2 + 0.05^2 + 0.02^2 + 0.10^2 + 0.02^2 + 0.10^2)\end{matrix}}$$

$$TDD_{12} = 1.497\ \%$$

$$TDD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.15^2 + 0.59^2 + 0.11^2 + 0.84^2 + 0.06^2 + 0.62^2 + 0.04^2 + 0.18^2 + 0.02^2 \\ +0.37^2 + 0.02^2 + 0.19^2 + \ 0.02^2 + 0.10^2 + 0.02^2 + 0.15^2 + 0.02^2 \\ +0.11^2 + 0.02^2 + 0.06^2 + 0.02^2 + 0.11^2 + 0.02^2 + 0.08^2)\end{matrix}}$$

$$TDD_{12} = 1.324\ \%$$

Análisis Espectral con Transformada Rápida de Fourier.

$$V(t) = 227.223 * sin(2 * pi * 60 * t) + 0.0613 * sin(2 * pi * 120 * t) + 1.083 * sin(2 * pi * 180 * t) + 0.102 * sin(2 * pi * 240 * t) + 7.9618 * sin(2 * pi * 300 * t) + 0.074 * sin(2 * pi * 360 * t) + 2.908 * sin(2 * pi * 420 * t) + 0.052 * sin(2 * pi * 480 * t) + 0.193 * sin(2 * pi * 540 * t) + 0.049 * sin(2 * pi * 600 * t)$$

$$I(t) = 7.89 * sin(2 * pi * 60 * t + 1.119) + 0.0225 * sin(2 * pi * 120 * t + 1.119) + 0.065 * sin(2 * pi * 180 * t + 1.119) + 0.042 * sin(2 * pi * 240 * t + 1.119) + 0.369 * sin(2 * pi * 300 * t + 1.119) + 0.0198 * sin(2 * pi * 360 * t + 1.119) + 0.2177 * sin(2 * pi * 420 * t + 1.119) + 0.01 * sin(2 * pi * 480 * t + 1.119) + 0.04 * sin(2 * pi * 540 * t + 1.119) + 0.006 * sin(2 * pi * 600 * t + 1.119)$$

$$V(f) = \mathcal{F}\{v(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} V(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

$$V(2) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 4.31722882918226e - 11 \; - \; 73.5600000001358i$$

$$V(3) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 7.06987138751689e - 11 \; - \; 1299.60000000000i$$

$$V(4) = \mathcal{F}\{v(t)\} = -1.88987418563825e - 13 \; - \; 122.400000000054i$$

$$V(5) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 2.55697499729837e - 10 \; - \; 9554.16000000006i$$

$$V(6) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 4.34667582665367e - 11 \; - \; 88.8000000000193i$$

$$V(7) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 8.02159827776047e - 10 \; - \; 3489.60000000014i$$

$$P(n) = 2 * \left(\frac{abs(V(n))}{cantidad\ de\ muestras} \right)$$

$$P(2) = 2 * \frac{abs(4.31722882918226e - 11 \; - \; 73.5600000001358i)}{2400} = 0.0613\ V$$

$$P(3) = 2 * \frac{abs(7.06987138751689e - 11 \; - \; 1299.60000000000i)}{2400} = 1.083\ V$$

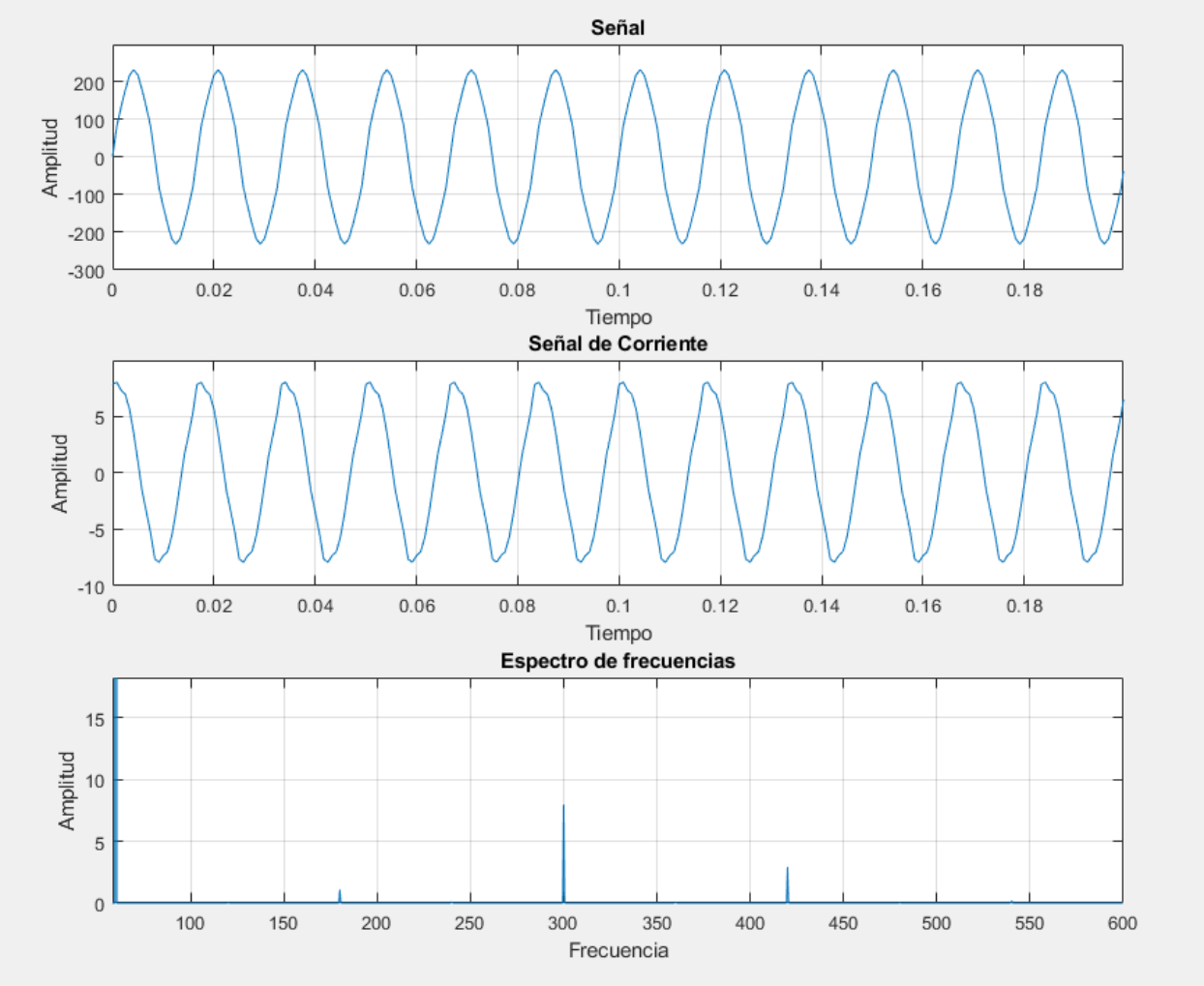
$$P(4) = 2 * \frac{abs(-1.88987418563825e - 13 \; - \; 122.400000000054i)}{2400} = 0.102\ V$$

$$P(5) = 2 * \frac{abs(2.55697499729837e - 10 \; - \; 9554.16000000006i)}{2400} = 7.9618\ V$$

$$P(6) = 2 * \frac{abs(4.34667582665367e - 11 \; - \; 88.8000000000193i)}{2400} = 0.074\ V$$

$$P(7) = 2 * \frac{abs(8.02159827776047e-10\ -\ 3489.60000000014i)}{2400} = 2.908\,V$$

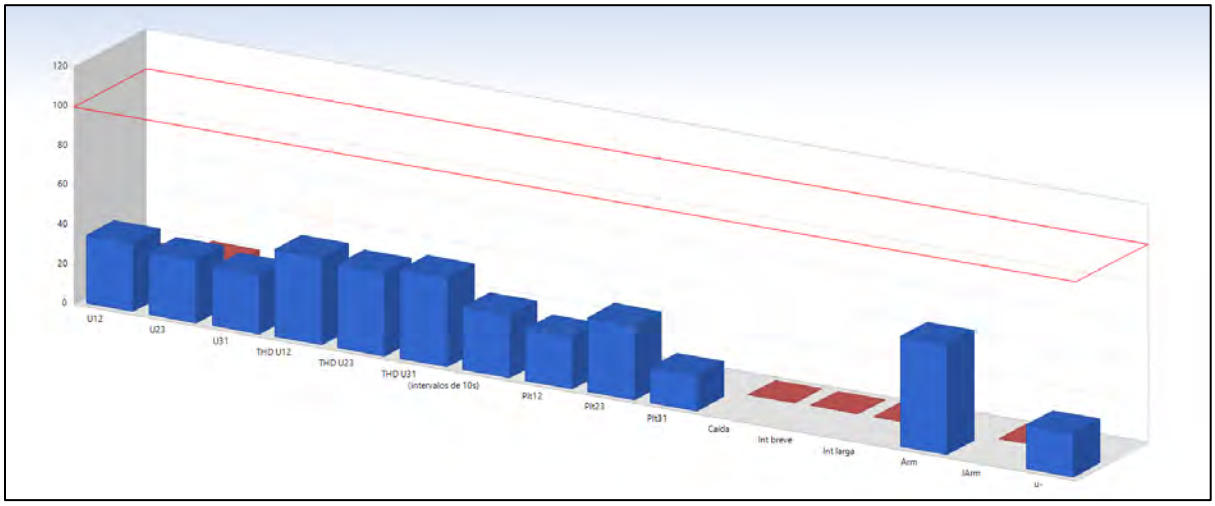
Figura 29: *Análisis Espectral para el Escenario de Medición del Panel Solar*



3.4. Escenario de medición del sistema

Los tiempos de medición son de tres días abarcando desde el viernes 14 de octubre hasta el lunes 17 de octubre (Anexos 7, 8 y 9). Estos datos reflejan el comportamiento y calidad del Sistema Eléctrico en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica.

Figura 30: *Diagrama de barras de los parámetros medidos del sistema conectado a red respecto a su limite*

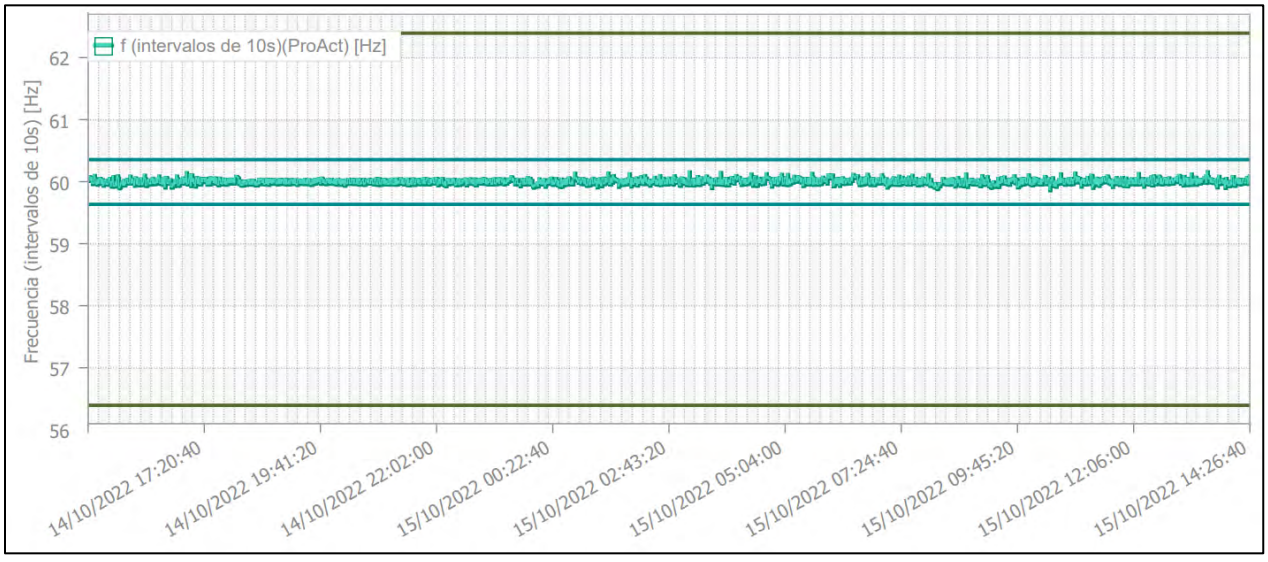


Datos del día Viernes 14 de octubre del 2022

Frecuencia del sistema	
Frecuencia nominal	60.00 Hz
Cantidad medida	Valor medio de la frecuencia fundamental medida en 10 segundos
Criterios	Sistemas de conexión síncrona
Normativa	NTCSE Sección 5.2

Requisitos		Medida	Estado
59.64 – 60.36 Hz	99.50% del intervalo (semana)	59.90 – 60.10 Hz	Pasa

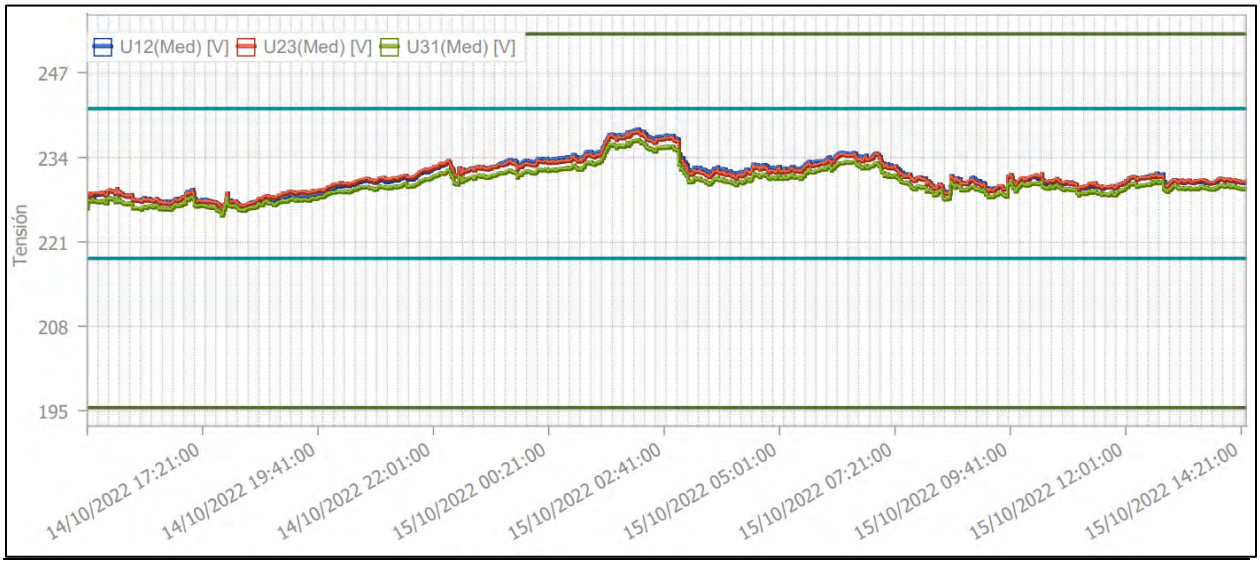
Figura 31: *Variabilidad de Frecuencia medido en el Sistema conectado a red*



Variaciones de tensión de alimentación	
Tensión nominal	230.00 V
Cantidad medida	1 minuto valor RMS medio Urms
Criterios	Sistemas de conexión síncrona
Normativa	NTCSE Sección 5.1

Requisitos		Medida	Estado
218.5 – 241.5 V	99.50% del intervalo (semana)	225.05 – 237.01 V	Pasa

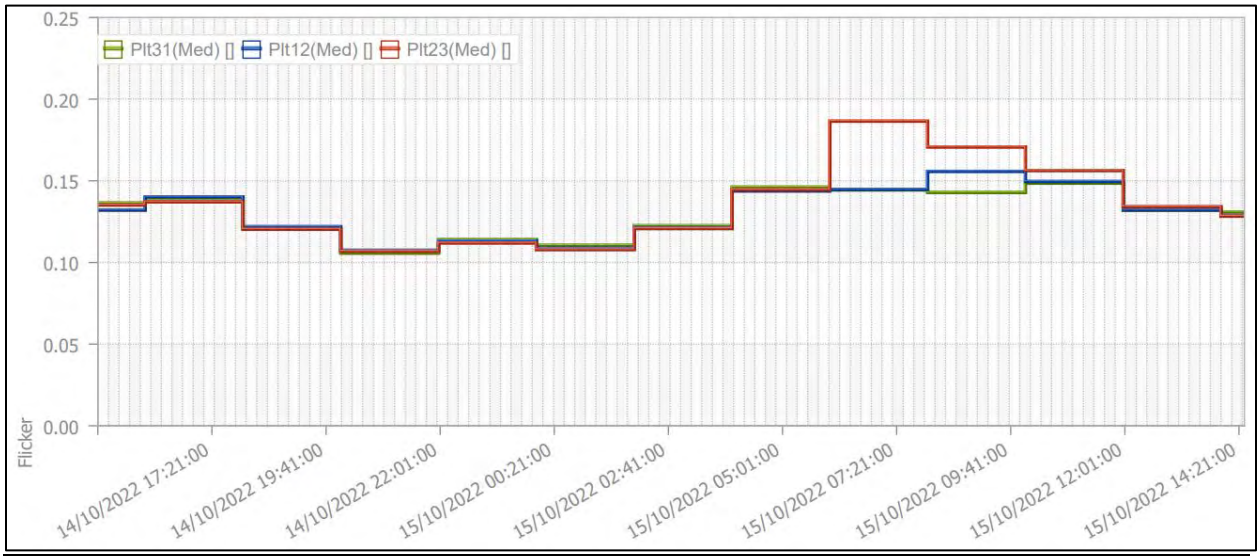
Figura 32: *Variabilidad de Tensión medido en el Sistema conectado a red*



Severidad de Flicker			
Cantidad medida		Severidad de Flicker de largo plazo (Plt)	
Normativa		NTCSE Sección 5.3.3	
Condiciones de operación		Normal	

Requisitos		Medida	Estado
Plt < 1	99.50% del intervalo (semana)	0.11 – 0.19	Pasa

Figura 33: *Variabilidad de Flicker medido en el Sistema*



Armónicos de tensión	
Cantidad medida	1 minutos valores RMS medios de la distorsión armónica y armónica total
Normativa	NTCSE Sección 5.3.3
Condiciones de operación	Normal

Tabla 4*: Tabla de distorsión armónica total medida en el Sistema conectado a red*

		L12		L23		L31	
Armónicos	Requisito	Medida	Estado	Medida	Estado	Medida	Estado
THD	< 8.00 %	3.09 %	Pasa	3.37 %	Pasa	3.17 %	Pasa
2	< 2.00 %	0.05 %	Pasa	0.05 %	Pasa	0.06 %	Pasa
3	< 5.00 %	0.29 %	Pasa	0.35 %	Pasa	0.43 %	Pasa
4	< 1.00 %	0.07 %	Pasa	0.07 %	Pasa	0.07 %	Pasa
5	< 6.00 %	2.85 %	Pasa	3.15 %	Pasa	2.96 %	Pasa
6	< 0.50 %	0.04 %	Pasa	0.04 %	Pasa	0.04 %	Pasa
7	< 5.00 %	1.09 %	Pasa	1.10 %	Pasa	1.06 %	Pasa
8	< 0.50 %	0.03 %	Pasa	0.03 %	Pasa	0.03 %	Pasa
9	< 1.50 %	0.10 %	Pasa	0.09 %	Pasa	0.07 %	Pasa
10	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.03 %	Pasa
11	< 3.50 %	0.47 %	Pasa	0.50 %	Pasa	0.39 %	Pasa
12	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
13	< 3.00 %	0.17 %	Pasa	0.20 %	Pasa	0.21 %	Pasa
14	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
15	< 1.00 %	0.07 %	Pasa	0.07 %	Pasa	0.14 %	Pasa
16	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
17	< 2.00 %	0.14 %	Pasa	0.13 %	Pasa	0.08 %	Pasa
18	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa

		L12		L23		L31	
Armónicos	Requisito	Medida	Estado	Medida	Estado	Medida	Estado
19	< 1.50 %	0.11 %	Pasa	0.09 %	Pasa	0.09 %	Pasa
20	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
21	< 0.75 %	0.06 %	Pasa	0.05 %	Pasa	0.07 %	Pasa
22	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
23	< 1.50 %	0.08 %	Pasa	0.09 %	Pasa	0.09 %	Pasa
24	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa	0.02 %	Pasa
25	< 1.50 %	0.08 %	Pasa	0.05 %	Pasa	0.05 %	Pasa

Cálculo Matemático de THD Máximo alcanzable:

$$THD_{12} = \left(\sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({V_i^2}/{V_N^2} \right)} \right) * 100\% = \sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({HD_I}^2 \right)}$$

$$THD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.05^2 + 0.29^2 + 0.07^2 + 2.85^2 + 0.04^2 + 1.09^2 + 0.03^2 + 0.10^2 + 0.02^2 \\ +0.47^2 + 0.02^2 + 0.17^2 + \ 0.02^2 + 0.07^2 + 0.02^2 + 0.14^2 + 0.02^2 \\ +0.11^2 + 0.02^2 + 0.06^2 + 0.02^2 + 0.08^2 + 0.02^2 + 0.08^2)\end{matrix}}$$

$$THD_{12} = 3.117\ \%$$

$$THD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.05^2 + 0.35^2 + 0.07^2 + 3.15^2 + 0.04^2 + 1.10^2 + 0.03^2 + 0.09^2 + 0.02^2 \\ +0.50^2 + 0.02^2 + 0.20^2 + \ 0.02^2 + 0.07^2 + 0.02^2 + 0.13^2 + 0.02^2 \\ +0.09^2 + 0.02^2 + 0.05^2 + 0.02^2 + 0.09^2 + 0.02^2 + 0.05^2)\end{matrix}}$$

$$THD_{12} = 3.407\ \%$$

$$THD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.06^2 + 0.43^2 + 0.07^2 + 2.96^2 + 0.04^2 + 1.06^2 + 0.03^2 + 0.07^2 + 0.03^2 \\ +0.39^2 + 0.02^2 + 0.21^2 + \ 0.02^2 + 0.14^2 + 0.02^2 + 0.08^2 + 0.02^2 \\ +0.09^2 + 0.02^2 + 0.07^2 + 0.02^2 + 0.09^2 + 0.02^2 + 0.05^2)\end{matrix}}$$

$$THD_{12} = \ 3.214\ \%$$

Figura 34: *Diagrama de barras de los valores armónicos medidos respecto a su limite*

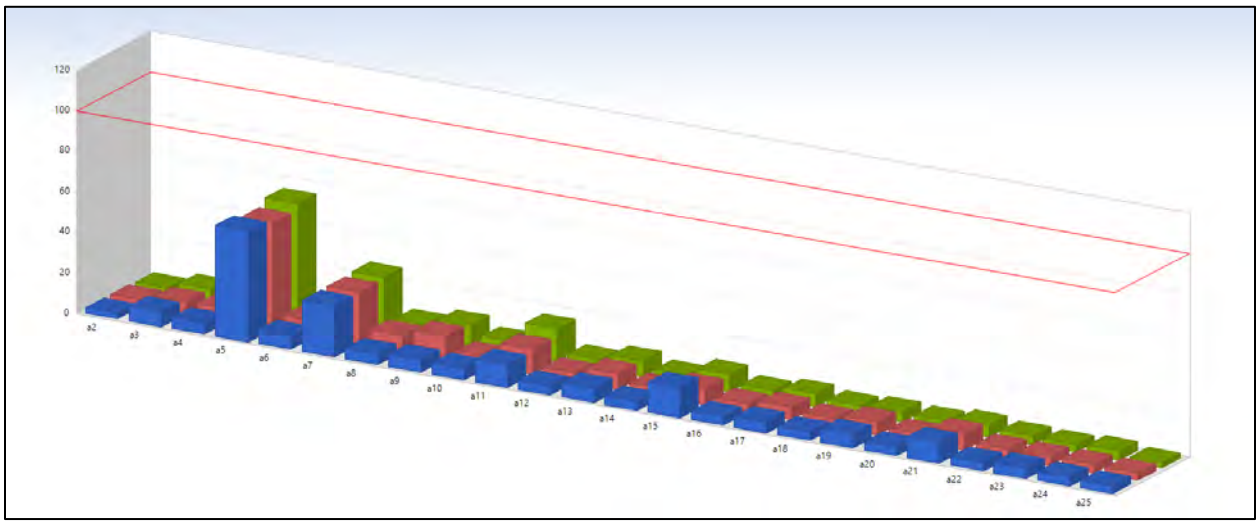


Tabla 5*: Tabla de distorsión de demanda total medida en el Sistema conectado a red*

Armónico No	Limite (%)	Armónicos de corriente - L1 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L2 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L3 Medido (%)	Estado
TDD	12.00	4.86	Pasa	3.40	Pasa	3.70	Pasa
2	5.25	0.17	Pasa	0.15	Pasa	0.12	Pasa
3	10.50	3.96	Pasa	2.39	Pasa	3.26	Pasa
4	5.25	0.07	Pasa	0.07	Pasa	0.04	Pasa
5	10.50	2.49	Pasa	1.76	Pasa	1.38	Pasa
6	5.25	0.06	Pasa	0.04	Pasa	0.04	Pasa
7	10.50	1.59	Pasa	1.86	Pasa	1.21	Pasa
8	10.50	0.05	Pasa	0.05	Pasa	0.03	Pasa
9	10.50	0.44	Pasa	0.79	Pasa	0.51	Pasa
10	5.25	0.04	Pasa	0.04	Pasa	0.03	Pasa
11	5.25	1.28	Pasa	0.90	Pasa	1.21	Pasa
12	5.25	0.04	Pasa	0.04	Pasa	0.03	Pasa
13	5.25	0.73	Pasa	0.44	Pasa	0.54	Pasa
14	5.25	0.03	Pasa	0.03	Pasa	0.02	Pasa
15	5.25	0.54	Pasa	0.36	Pasa	0.30	Pasa
16	5.25	0.03	Pasa	0.03	Pasa	0.02	Pasa
17	3.75	0.30	Pasa	0.29	Pasa	0.24	Pasa
18	3.75	0.03	Pasa	0.03	Pasa	0.02	Pasa
19	3.75	0.43	Pasa	0.17	Pasa	0.41	Pasa
20	3.75	0.03	Pasa	0.03	Pasa	0.02	Pasa
21	3.75	0.29	Pasa	0.15	Pasa	0.38	Pasa
22	3.75	0.03	Pasa	0.03	Pasa	0.02	Pasa

Armónico No	Limite (%)	Armónicos de corriente - L1 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L2 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L3 Medido (%)	Estado
23	1.5	0.32	Pasa	0.12	Pasa	0.30	Pasa
24	1.5	0.03	Pasa	0.03	Pasa	0.02	Pasa
25	1.5	0.19	Pasa	0.24	Pasa	0.15	Pasa
26	1.5	0.03	Pasa	0.03	Pasa	0.02	Pasa

Cálculo Matemático de TDD máximo alcanzable:

$$TDD_{12} = \left(\sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({I_i^2}/{I_L^2} \right)} \right) * 100\% = \sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({HDD_I}^2 \right)}$$

$$TDD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.17^2 + 3.96^2 + 0.07^2 + 2.49^2 + 0.06^2 + 1.59^2 + 0.05^2 + 0.44^2 + 0.04^2 \\ +1.28^2 + 0.04^2 + 0.73^2 + \ 0.03^2 + 0.54^2 + 0.03^2 + 0.30^2 + 0.03^2 \\ +0.43^2 + 0.03^2 + 0.29^2 + 0.03^2 + 0.32^2 + 0.03^2 + 0.19^2)\end{matrix}}$$

$$TDD_{12} = 5.09\ \%$$

$$TDD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.15^2 + 2.39^2 + 0.07^2 + 1.76^2 + 0.04^2 + 1.86^2 + 0.05^2 + 0.79^2 + 0.04^2 \\ +0.90^2 + 0.04^2 + 0.44^2 + \ 0.03^2 + 0.36^2 + 0.03^2 + 0.29^2 + 0.03^2 \\ +0.17^2 + 0.03^2 + 0.15^2 + 0.03^2 + 0.12^2 + 0.03^2 + 0.24^2)\end{matrix}}$$

$$TDD_{12} = 3.76\ \%$$

$$TDD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.12^2 + 3.26^2 + 0.04^2 + 1.38^2 + 0.04^2 + 1.21^2 + 0.03^2 + 0.51^2 + 0.03^2 \\ +1.21^2 + 0.03^2 + 0.54^2 + \ 0.02^2 + 0.30^2 + 0.02^2 + 0.24^2 + 0.02^2 \\ +0.41^2 + 0.02^2 + 0.38^2 + 0.02^2 + 0.30^2 + 0.02^2 + 0.15^2)\end{matrix}}$$

$$TDD_{12} = 4.075\ \%$$

Análisis Espectral con Transformada Rápida de Fourier

$$s = 226.53 * sin(2 * pi * 60 * t) + 0.0453 * sin(2 * pi * 120 * t) + 0.521 * sin(2 * pi * 180 * t) + 0.113 * sin(2 * pi * 240 * t) + 7.09 * sin(2 * pi * 300 * t) + 0.09 * sin(2 * pi * 360 * t) + 2.922 * sin(2 * pi * 420 * t) + 0.0679 * sin(2 * pi * 480 * t) + 0.294 * sin(2 * pi * 540 * t) + 0.045 * sin(2 * pi * 600 * t)$$

$$c = 46.49 * sin(2 * pi * 60 * t + 0.793) + 0.0604 * sin(2 * pi * 120 * t + 0.793) + 2.454 * sin(2 * pi * 180 * t + 0.793) + 0.0325 * sin(2 * pi * 240 * t + 0.793) + 1.538 * sin(2 * pi * 300 * t + 0.793) + 0.0278 * sin(2 * pi * 360 * t + 0.793) + 0.674 * sin(2 * pi * 420 * t + 0.793) + 0.0185 * sin(2 * pi * 480 * t + 0.793) + 0.1766 * sin(2 * pi * 540 * t + 0.793) + 0.0232 * sin(2 * pi * 600 * t + 0.793)$$

$$V(f) = \mathcal{F}\{v(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} V(t)e^{-j2\pi ft}dt$$

$$V(2) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 4.58907509846930e-11 \; - \; 54.3600000001433i$$

$$V(3) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 3.04293410545532e-11 \; - \; 625.200000000005i$$

$$V(4) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 5.64462662197733e-13 \; - \; 135.600000000060i$$

$$V(5) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 2.36448100792441e-10 \; - \; 8508.00000000006i$$

$$V(6) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 4.42202083472983e-11 \; - \; 107.999999999996i$$

$$V(7) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 8.06739912436608e-10 \; - \; 3506.40000000014i$$

$$P(n) = 2 * \left(\frac{abs\big(V(n)\big)}{cantidad\ de\ muestras}\right)$$

$$P(2) = 2 * \frac{abs(4.58907509846930e-11 \; - \; 54.3600000001433i)}{2400} = 0.0453\ V$$

$$P(3) = 2 * \frac{abs(3.04293410545532e-11 \; - \; 625.200000000005i)}{2400} = 0.521\ V$$

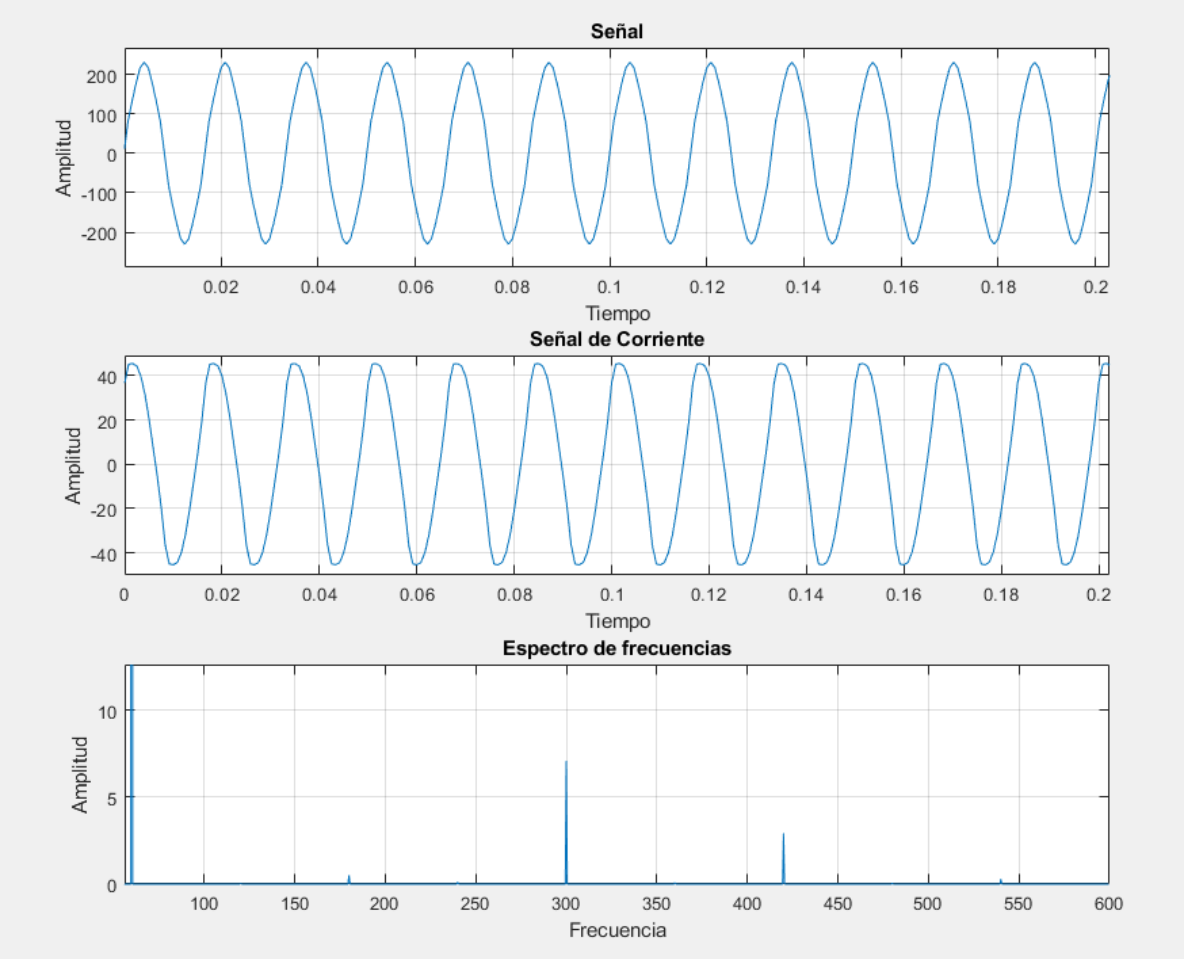
$$P(4) = 2 * \frac{abs(5.64462662197733e-13 \; - \; 135.600000000060i)}{2400} = 0.113\ V$$

$$P(5) = 2 * \frac{abs(2.36448100792441e-10 \; - \; 8508.00000000006i)}{2400} = 7.09\ V$$

$$P(6) = 2 * \frac{abs(4.42202083472983e-11 \; - \; 107.999999999996i)}{2400} = 0.09\ V$$

$$P(7) = 2 * \frac{abs(8.06739912436608e-10 \; - \; 3506.40000000014i)}{2400} = 2.922\ V$$

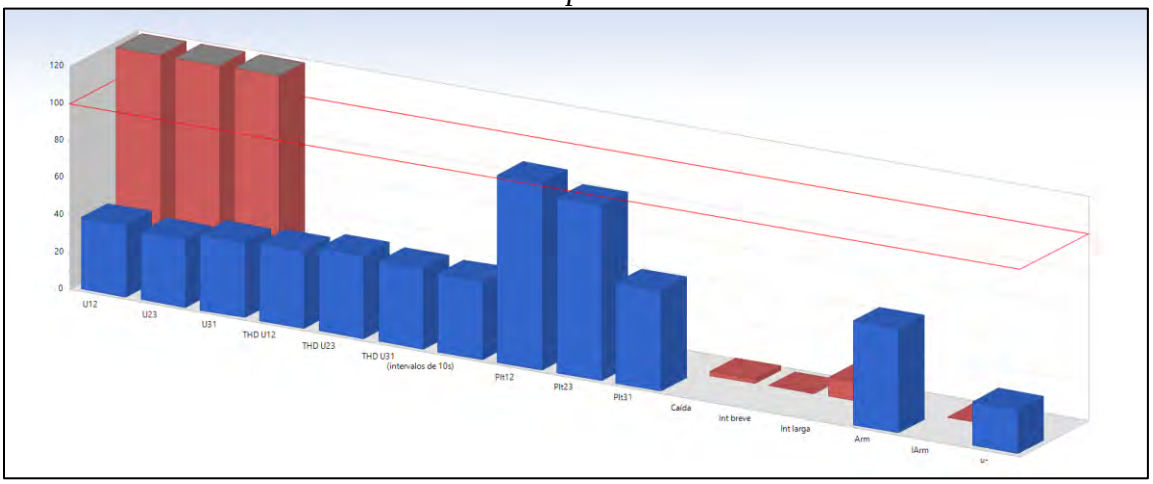
Figura 35: *Análisis Espectral para el Escenario de Medición del Sistema Convencional*



3.5. Escenario de medición del sistema de generación distribuida

Los tiempos de medición son de dos días abarcando desde el miércoles 12 de octubre hasta el viernes 14 de octubre (Anexos 5 y 6). Estos datos reflejan el comportamiento y calidad del Sistema de Generación Distribuida Solar el cual incluye el Sistema Eléctrico del Pabellón y la instalación de los Paneles Solares de 15kW.

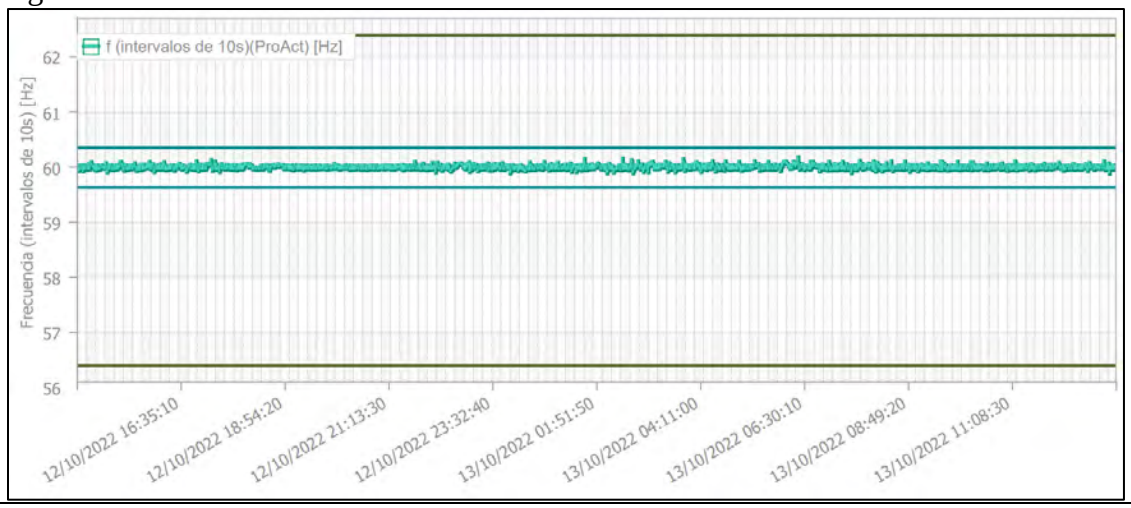
Figura 36: *Diagrama de barras de los parámetros medidos del sistema de Generación Distribuida respecto a su limite*



Datos del día Miércoles 12 de octubre del 2022

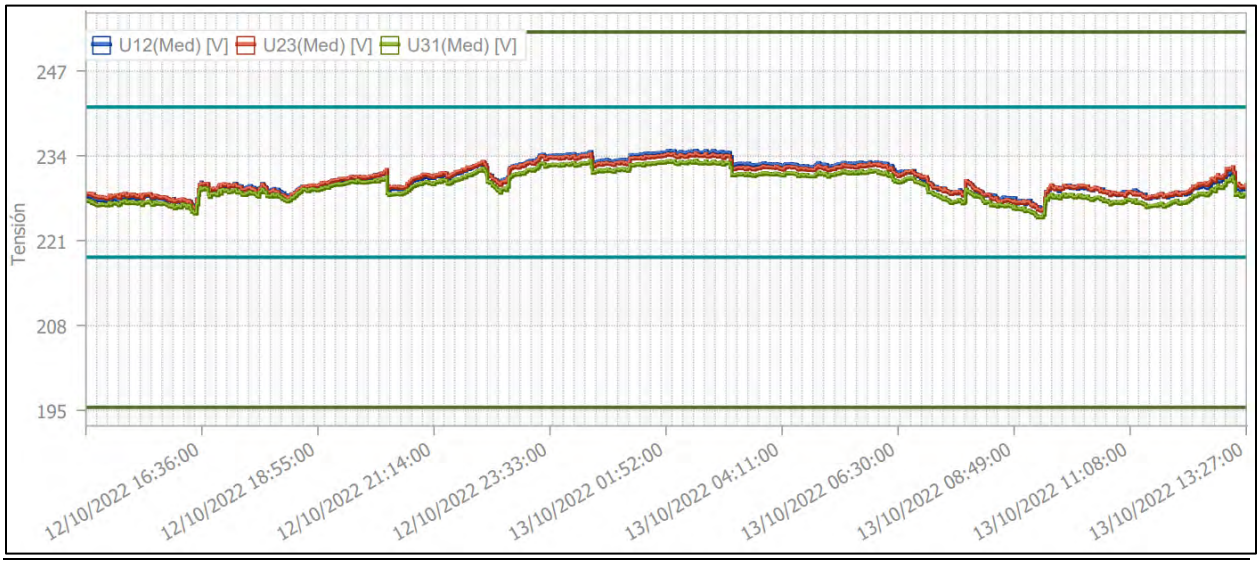
Frecuencia del sistema			
Frecuencia nominal		60.00 Hz	
Cantidad medida		Valor medio de la frecuencia fundamental medida en 10 segundos	
Criterios		Sistemas de conexión síncrona	
Normativa		NTCSE Sección 5.2	
Requisitos		Medida	Estado
59.64 – 60.36 Hz	99.50% del intervalo (semana)	59.90 – 60.11 Hz	Pasa

Figura 37: *Variabilidad de Frecuencia medido en el Sistema de Generación Distribuida*



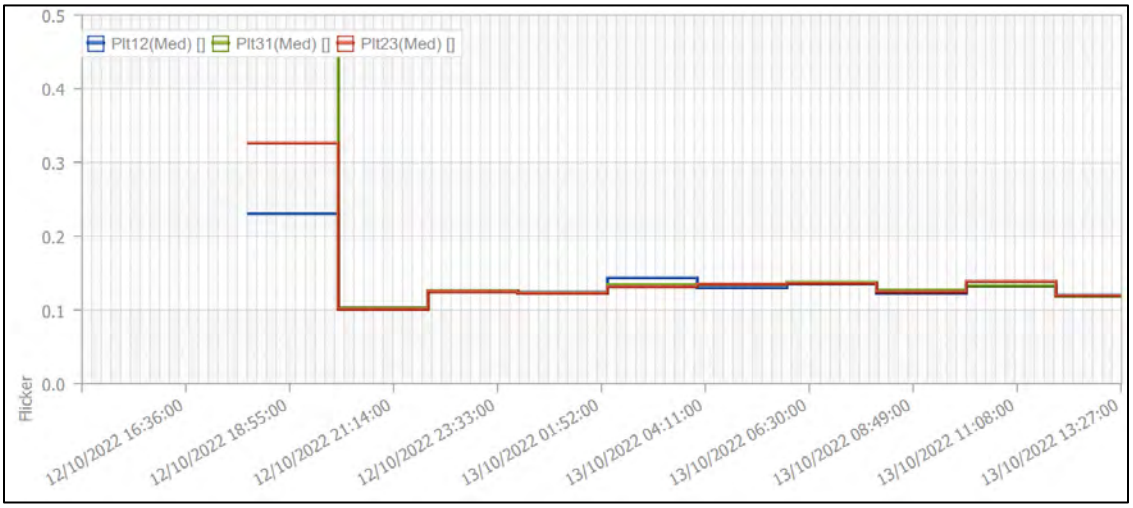
Variaciones de tensión de alimentación			
Tensión nominal		230.00 V	
Cantidad medida		1 minuto valor RMS medio Urms	
Criterios		Sistemas de conexión síncrona	
Normativa		NTCSE Sección 5.1	
Requisitos		Medida	Estado
218.5 – 241.5 V	99.50% del intervalo (semana)	225.75 – 234.47 V	Pasa

Figura 38: *Variabilidad de Tensión medido en el Sistema de Generación Distribuida*



Severidad de Flicker			
Cantidad medida		Severidad de Flicker de largo plazo (Plt)	
Normativa		NTCSE Sección 5.3.3	
Condiciones de operación		Normal	
Requisitos		Medida	Estado
Plt < 1	99.50% del intervalo (semana)	0.10 – 0.45	Pasa

Figura 39: *Variabilidad de Flicker medido en el Sistema de Generación Distribuida*



Armónicos de tensión	
Cantidad medida	1 minutos valores RMS medios de la distorsión armónica y armónica total
Normativa	NTCSE Sección 5.3.3
Condiciones de operación	Normal

Tabla 6*: Tabla de distorsión armónica total medida en el Sistema de Generación Distribuida*

		L12		L23		L31	
Armónicos	Requisito	Medida	Estado	Medida	Armónicos	Requisito	Medida
THD	< 8.00 %	3.34 %	Pasa	3.60 %	THD	< 8.00 %	3.34 %
2	< 2.00 %	0.06 %	Pasa	0.05 %	2	< 2.00 %	0.06 %
3	< 5.00 %	0.24 %	Pasa	0.32 %	3	< 5.00 %	0.24 %
4	< 1.00 %	0.07 %	Pasa	0.08 %	4	< 1.00 %	0.07 %
5	< 6.00 %	3.09 %	Pasa	3.34 %	5	< 6.00 %	3.09 %
6	< 0.50 %	0.04 %	Pasa	0.04 %	6	< 0.50 %	0.04 %
7	< 5.00 %	1.19 %	Pasa	1.25 %	7	< 5.00 %	1.19 %
8	< 0.50 %	0.04 %	Pasa	0.03 %	8	< 0.50 %	0.04 %
9	< 1.50 %	0.10 %	Pasa	0.17 %	9	< 1.50 %	0.10 %
10	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.03 %	10	< 0.50 %	0.02 %
11	< 3.50 %	0.43 %	Pasa	0.56 %	11	< 3.50 %	0.43 %
12	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	12	< 0.50 %	0.02 %
13	< 3.00 %	0.21 %	Pasa	0.23 %	13	< 3.00 %	0.21 %
14	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	14	< 0.50 %	0.02 %
15	< 1.00 %	0.06 %	Pasa	0.04 %	15	< 1.00 %	0.06 %
16	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	16	< 0.50 %	0.02 %
17	< 2.00 %	0.09 %	Pasa	0.11 %	17	< 2.00 %	0.09 %
18	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	18	< 0.50 %	0.02 %
19	< 1.50 %	0.10 %	Pasa	0.06 %	19	< 1.50 %	0.10 %
20	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	20	< 0.50 %	0.02 %
21	< 0.75 %	0.06 %	Pasa	0.04 %	21	< 0.75 %	0.06 %
22	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	22	< 0.50 %	0.02 %
23	< 1.50 %	0.08 %	Pasa	0.08 %	23	< 1.50 %	0.08 %
24	< 0.50 %	0.02 %	Pasa	0.02 %	24	< 0.50 %	0.02 %
25	< 1.50 %	0.06 %	Pasa	0.05 %	25	< 1.50 %	0.06 %

Cálculo Matemático de THD Máximo alcanzable:

$$THD_{12} = \left(\sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({V_i^2}/{V_N^2} \right)} \right) * 100\% = \sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({HD_I}^2 \right)}$$

$$THD_{12} = \sqrt{\begin{matrix} (0.06^2 + 0.24^2 + 0.07^2 + 3.09^2 + 0.04^2 + 1.19^2 + 0.04^2 + 0.10^2 + 0.02^2 \\ +0.43^2 + 0.02^2 + 0.21^2 + \ 0.02^2 + 0.06^2 + 0.02^2 + 0.09^2 + 0.02^2 \\ +0.10^2 + 0.02^2 + 0.06^2 + 0.02^2 + 0.08^2 + 0.02^2 + 0.06^2) \end{matrix}}$$

$$THD_{12} = 3.363\ \%$$

$$THD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.05^2 + 0.32^2 + 0.08^2 + 3.34^2 + 0.04^2 + 1.25^2 + 0.03^2 + 0.17^2 + 0.03^2 \\ +0.56^2 + 0.02^2 + 0.23^2 + \ 0.02^2 + 0.04^2 + 0.02^2 + 0.11^2 + 0.02^2 \\ +0.06^2 + 0.02^2 + 0.04^2 + 0.02^2 + 0.08^2 + 0.02^2 + 0.05^2)\end{matrix}}$$

$$THD_{12} = 3.641\ \%$$

$$THD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.06^2 + 0.24^2 + 0.07^2 + 3.09^2 + 0.04^2 + 1.19^2 + 0.04^2 + 0.10^2 + 0.02^2 \\ +0.43^2 + 0.02^2 + 0.21^2 + \ 0.02^2 + 0.06^2 + 0.02^2 + 0.09^2 + 0.02^2 \\ +0.10^2 + 0.02^2 + 0.06^2 + 0.02^2 + 0.08^2 + 0.02^2 + 0.06^2)\end{matrix}}$$

$$THD_{12} = \ 3.363\ \%$$

Figura 40: *Diagrama de barras de los valores armónicos medidos respecto a su limite*

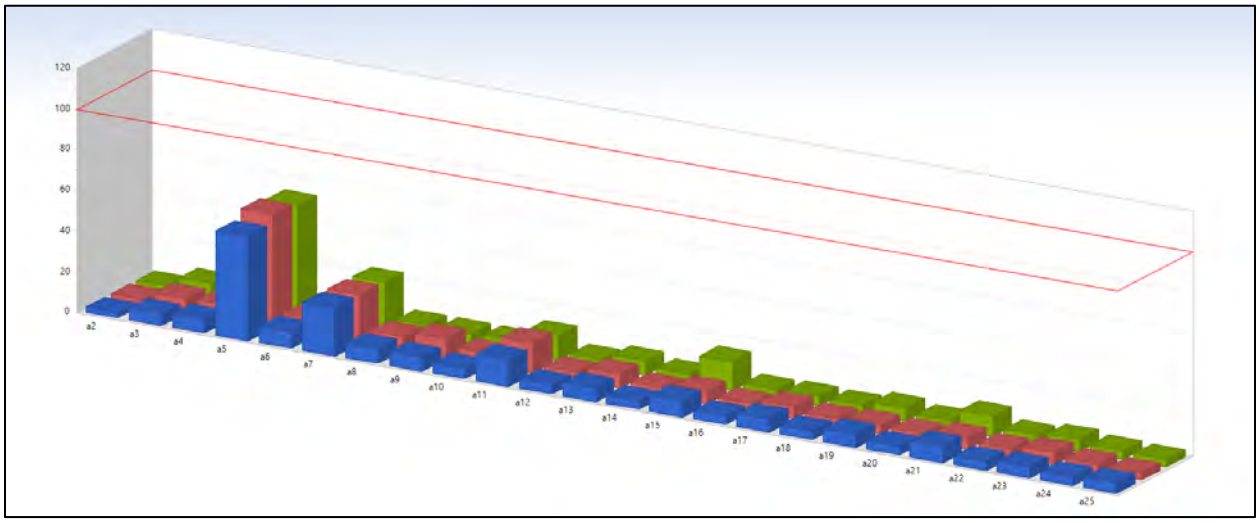


Tabla 7*: Tabla de distorsión de demanda total medida en el Sistema de Generación Distribuida*

Armónico No	Limite (%)	Armónicos de corriente - L1 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L2 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L3 Medido (%)	Estado
TDD	12.00	7.11	Pasa	3.55	Pasa	7.41	Pasa
2	5.25	0.16	Pasa	0.16	Pasa	0.15	Pasa
3	10.50	5.85	Pasa	2.87	Pasa	6.21	Pasa
4	5.25	0.08	Pasa	0.08	Pasa	0.07	Pasa

Armónico No	Limite (%)	Armónicos de corriente - L1 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L2 Medido (%)	Estado	Armónicos de corriente - L3 Medido (%)	Estado
5	10.50	3.14	Pasa	1.75	Pasa	2.18	Pasa
6	5.25	0.06	Pasa	0.05	Pasa	0.06	Pasa
7	10.50	1.78	Pasa	1.81	Pasa	1.48	Pasa
8	10.50	0.07	Pasa	0.06	Pasa	0.06	Pasa
9	10.50	1.52	Pasa	0.68	Pasa	1.47	Pasa
10	5.25	0.07	Pasa	0.04	Pasa	0.06	Pasa
11	5.25	2.84	Pasa	1.04	Pasa	2.38	Pasa
12	5.25	0.05	Pasa	0.04	Pasa	0.05	Pasa
13	5.25	2.10	Pasa	0.57	Pasa	2.07	Pasa
14	5.25	0.05	Pasa	0.03	Pasa	0.05	Pasa
15	5.25	1.26	Pasa	0.34	Pasa	1.23	Pasa
16	5.25	0.05	Pasa	0.03	Pasa	0.05	Pasa
17	3.75	0.83	Pasa	0.30	Pasa	0.81	Pasa
18	3.75	0.05	Pasa	0.03	Pasa	0.05	Pasa
19	3.75	0.86	Pasa	0.19	Pasa	0.80	Pasa
20	3.75	0.04	Pasa	0.03	Pasa	0.04	Pasa
21	3.75	0.65	Pasa	0.15	Pasa	0.65	Pasa
22	3.75	0.04	Pasa	0.03	Pasa	0.04	Pasa
23	1.5	0.43	Pasa	0.15	Pasa	0.38	Pasa
24	1.5	0.04	Pasa	0.02	Pasa	0.03	Pasa
25	1.5	0.25	Pasa	0.22	Pasa	0.34	Pasa
26	1.5	0.05	Pasa	0.03	Pasa	0.03	Pasa

Cálculo Matemático de TDD máximo alcanzable:

$$TDD_{12} = \left(\sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({I_i^2}/{I_L^2} \right)} \right) * 100\% = \sqrt{\sum_{i=2\ldots25} \left({HDD_I}^2 \right)}$$

$$TDD_{12} = \sqrt{\begin{array}{c}(0.17^2 + 3.96^2 + 0.07^2 + 2.49^2 + 0.06^2 + 1.59^2 + 0.05^2 + 0.44^2 + 0.04^2 \\ +1.28^2 + 0.04^2 + 0.73^2 + \ 0.03^2 + 0.54^2 + 0.03^2 + 0.30^2 + 0.03^2 \\ +0.43^2 + 0.03^2 + 0.29^2 + 0.03^2 + 0.32^2 + 0.03^2 + 0.19^2)\end{array}}$$

$$TDD_{12} = 8.11\ \%$$

$$TDD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.15^2 + 2.39^2 + 0.07^2 + 1.76^2 + 0.04^2 + 1.86^2 + 0.05^2 + 0.79^2 + 0.04^2 \\ +0.90^2 + 0.04^2 + 0.44^2 + \ 0.03^2 + 0.36^2 + 0.03^2 + 0.29^2 + 0.03^2 \\ +0.17^2 + 0.03^2 + 0.15^2 + 0.03^2 + 0.12^2 + 0.03^2 + 0.24^2)\end{matrix}}$$

$$TDD_{12} = 4.10\ \%$$

$$TDD_{12} = \sqrt{\begin{matrix}(0.12^2 + 3.26^2 + 0.04^2 + 1.38^2 + 0.04^2 + 1.21^2 + 0.03^2 + 0.51^2 + 0.03^2 \\ +1.21^2 + 0.03^2 + 0.54^2 + \ 0.02^2 + 0.30^2 + 0.02^2 + 0.24^2 + 0.02^2 \\ +0.41^2 + 0.02^2 + 0.38^2 + 0.02^2 + 0.30^2 + 0.02^2 + 0.15^2)\end{matrix}}$$

$$TDD_{12} = 7.82\ \%$$

Análisis Espectral con Transformada Rápida de Fourier

$$s = 228.95 * sin(2 * pi * 60 * t) + 0.04579 * sin(2 * pi * 120 * t) + 0.435 * sin(2 * pi * 180 * t) + 0.114 * sin(2 * pi * 240 * t) + 6.25 * sin(2 * pi * 300 * t) + 0.09 * sin(2 * pi * 360 * t) + 2.152 * sin(2 * pi * 420 * t) + 0.045 * sin(2 * pi * 480 * t) + 0.137 * sin(2 * pi * 540 * t) + 0.045 * sin(2 * pi * 600 * t)$$

$$c = 14.48 * sin(2 * pi * 60 * t - 1.119) + 0.062 * sin(2 * pi * 120 * t - 1.119) + 5.057 * sin(2 * pi * 180 * t - 1.119) + 0.056 * sin(2 * pi * 240 * t - 1.119) + 0.802 * sin(2 * pi * 300 * t - 1.119) + 0.03 * sin(2 * pi * 360 * t - 1.119) + 0.556 * sin(2 * pi * 420 * t - 1.119) + 0.026 * sin(2 * pi * 480 * t - 1.119) + 1.065 * sin(2 * pi * 540 * t - 1.119) + 0.026 * sin(2 * pi * 600 * t - 1.119)$$

$$V(f) = \mathcal{F}\{v(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} V(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

$$V(2) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 4.07811341360472e - 11 \ - \ 54.9480000001452i$$

$$V(3) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 2.49928745474577e - 11 \ - \ 522.000000000015i$$

$$V(4) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 1.47909021363946e - 11 \ - \ 136.800000000065i$$

$$V(5) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 2.07179012499778e - 10 \ - \ 7500.00000000006i$$

$$V(6) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 2.93428173647615e - 11 \ - \ 108.000000000004i$$

$$V(7) = \mathcal{F}\{v(t)\} = 6.08433725734791e - 10 \ - \ 2582.40000000014i$$

$$P(n) = 2 * \left(\frac{abs(V(n))}{cantidad\ de\ muestras}\right)$$

$$P(2) = 2 * \frac{4.07811341360472e-11\ -\ 54.9480000001452i}{2400} = 0.0458\ V$$

$$P(3) = 2 * \frac{2.49928745474577e-11\ -\ 522.000000000015i}{2400} = 0.435\ V$$

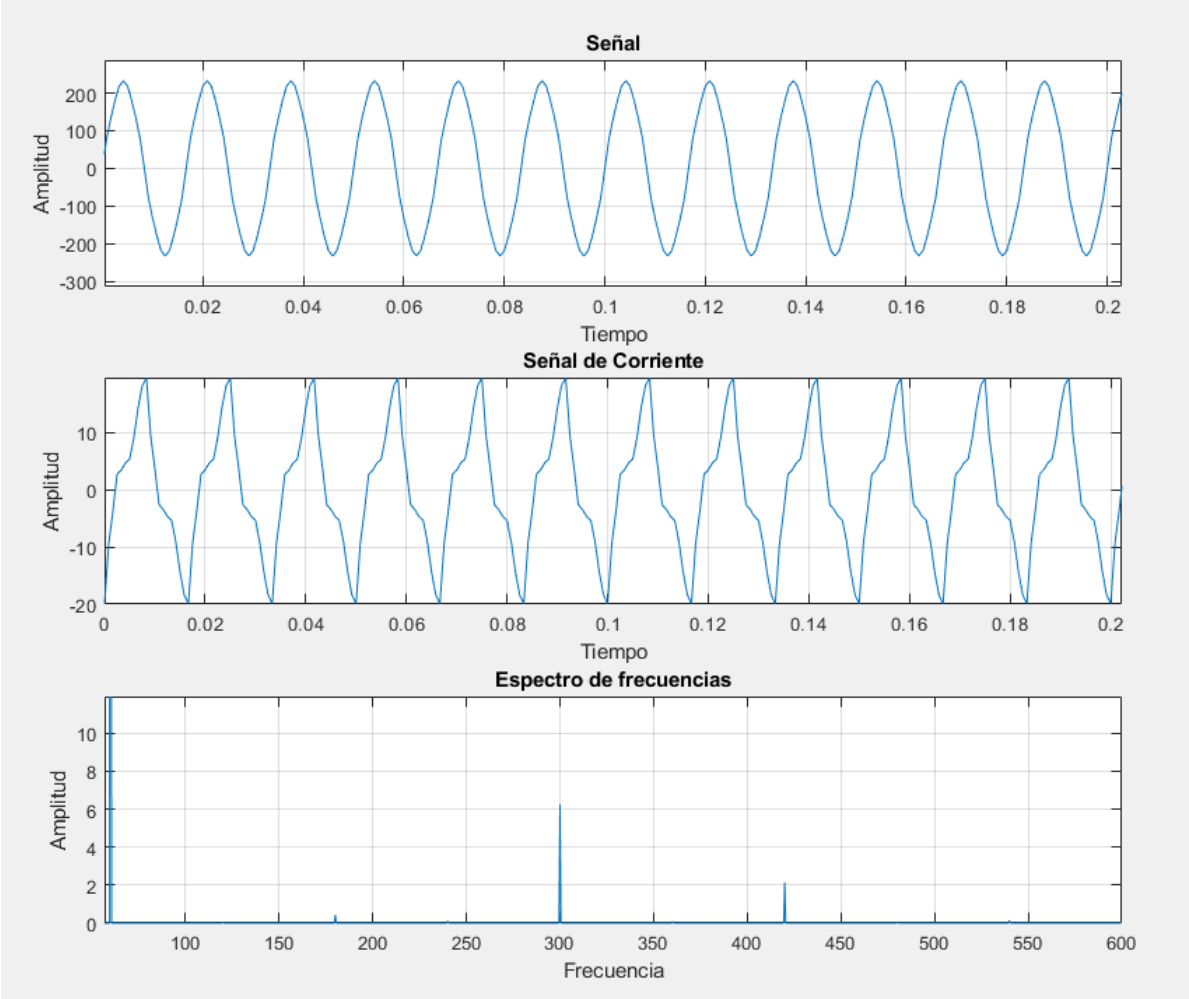
$$P(4) = 2 * \frac{1.47909021363946e-11\ -\ 136.800000000065i}{2400} = 0.114\ V$$

$$P(5) = 2 * \frac{2.07179012499778e-10\ -\ 7500.00000000006i}{2400} = 6.25\ V$$

$$P(6) = 2 * \frac{2.93428173647615e-11\ -\ 108.000000000004i}{2400} = 0.09\ V$$

$$P(7) = 2 * \frac{6.08433725734791e-10\ -\ 2582.40000000014i}{2400} = 2.152\ V$$

Figura 41: *Análisis Espectral para el Escenario de Medición del Sistema de Generación Distribuida*



3.6. Análisis de confiabilidad de datos

Según los parámetros obtenidos en el cálculo por Transformada Rápida de Fourier y los datos medidos es posible hacer una comparativa de estos mismos a fin de corroborar su alta similitud.

Tabla 8*: Tabla comparativa de similitud de datos*

ESCENARIO	CALCULADO	MEDICIÓN	% SIMILITUD
PANEL SOLAR	0.027 %	0.06 %	45.00%
	0.476 %	0.48 %	99.17%
	0.044 %	0.07 %	62.86%
	3.503 %	3.41 %	97.35%

SISTEMA CONECTADO A RED	0.032 %	0.04 %	80.00%
	1.279 %	1.31 %	97.63%
	0.02 %	0.05 %	40.00%
	0.229 %	0.29 %	78.97%
	0.049 %	0.07 %	70.00%
	3.129 %	2.85 %	91.08%
	0.039 %	0.04 %	97.50%
	1.289 %	1.09 %	84.56%
SISTEMA DE GD SOLAR FOTOVOLTAICA	0.02 %	0.06 %	33.33%
	0.19 %	0.24 %	79.17%
	0.05 %	0.07 %	71.43%
	2.73 %	3.09 %	88.35%
	0.039 %	0.04 %	97.50%
	0.94 %	1.19 %	78.99%
PROMEDIO TOTAL	0.78 %	0.80 %	97.47 %

El porcentaje de similitud en el promedio total obtenido es bastante elevado, esto debido a que los datos de mayor relevancia que son los de 3er, 5to y 7mo orden está correctamente medidos y no presentan una gran variación con respecto a datos más pequeños por lo que la confiabilidad del equipo es la adecuada.

3.7. Análisis Interarmónico

Los parámetros interarmónicos de tensión son resaltantes en un estudio de calidad y se dan con la presencia de variadores de frecuencia de alta potencia o en la industria con hornos de inducción eléctrica, más en el sistema de estudio cuyas cargas no generan una perturbación a nivel interarmónico podemos encontrar los siguientes valores:

Tabla 9*: Distorsión Interarmónica*

Rango de Interarmónicos	L12 Medida (THD)	L23 Medida (THD)	L31 Medida (THD)
2	0.06 %	0.06 %	0.06 %

3	0.06 %	0.06 %	0.06 %
4	0.06 %	0.06 %	0.06 %
5	0.05 %	0.05 %	0.05 %
6	0.04 %	0.04 %	0.04 %
7	0.04 %	0.04 %	0.04 %
8	0.04 %	0.04 %	0.04 %
9	0.08 %	0.07 %	0.07 %
10	0.05 %	0.05 %	0.05 %
11	0.05 %	0.05 %	0.05 %
12	0.04 %	0.04 %	0.04 %
13	0.05 %	0.05 %	0.05 %
14	0.04 %	0.04 %	0.04 %
15	0.04 %	0.04 %	0.04 %
16	0.04 %	0.04 %	0.04 %
17	0.04 %	0.04 %	0.04 %
18	0.04 %	0.04 %	0.04 %
19	0.04 %	0.04 %	0.04 %
20	0.04 %	0.04 %	0.04 %
21	0.05 %	0.05 %	0.05 %
22	0.05 %	0.05 %	0.05 %
23	0.06 %	0.06 %	0.06 %
24	0.06 %	0.06 %	0.06 %
25	0.07 %	0.07 %	0.07%

El rango interarmónico es el rango de las lecturas de los valores RMS medios de los interarmónicos mostrando que en un orden de frecuencia a otro hay valores ínfimos de presencia interarmónica , siendo los mismos valores en todos los escenarios, por lo que el sistema no presenta componentes que puedan generar inconvenientes con la calidad de energía respecto a dichos parámetros.

3.8. Calculo analítico del flicker

Usando el ejemplo muestral de cálculo analítico de Flicker podemos verificar los valores medidos:

Tabla 10*: Calculo Muestral de Plt*

Hora [UTC]	**U12(Med) [V]**	**Plt12(Med) []**	**% Tension Relativa**	**Pst**	**Pst3**
00:00.0	227.694	0.133	0.518291324	0.1702587	0.00493546
01:00.0	227.78	0.133	0.556257072	0.18273045	0.00610145

Hora [UTC]	U12(Med) [V]	Plt12(Med) []	% Tension Relativa	Pst	Pst3
02:00.0	227.77	0.133	0.55184245	0.18128024	0.00595733
03:00.0	227.853	0.133	0.588483811	0.19331693	0.00722453
04:00.0	227.687	0.133	0.515201088	0.16924356	0.00484771
05:00.0	227.788	0.133	0.559788769	0.18389061	0.0062184
06:00.0	227.753	0.133	0.544337593	0.1788149	0.00571756
07:00.0	227.768	0.133	0.550959525	0.1809902	0.00592878
08:00.0	228.009	0.133	0.657351913	0.2159401	0.01006931
09:00.0	228.176	0.133	0.731076098	0.2401585	0.01385141
10:00.0	228.012	0.133	0.658676299	0.21637516	0.0101303
11:00.0	228.146	0.133	0.717832232	0.23580789	0.01311218
12:00.0	228.272	0.133	0.773456468	0.25408045	0.01640264
13:00.0	228.285	0.133	0.779195476	0.25596571	0.01677048
14:00.0	228.138	0.133	0.714300535	0.23464773	0.0129196
15:00.0	228.169	0.133	0.727985863	0.23914336	0.0136765
16:00.0	227.952	0.133	0.632188568	0.20767394	0.00895666
17:00.0	227.848	0.133	0.5862765	0.19259183	0.00714354
18:00.0	227.888	0.133	0.603934988	0.19839264	0.00780866
19:00.0	227.598	0.133	0.475910954	0.15633675	0.00382105
20:00.0	227.25	0.133	0.322282112	0.10586967	0.00118663
21:00.0	227.248	0.133	0.321399188	0.10557963	0.0011769
22:00.0	227.23	0.133	0.313452869	0.10296927	0.00109175
23:00.0	227.267	0.133	0.329786969	0.10833502	0.00127147
24:00.0	227.467	0.133	0.418079407	0.13733909	0.00259049
25:00.0	227.236	0.133	0.316101642	0.10383939	0.00111966
26:00.0	227.105	0.133	0.258270095	0.08484173	0.0006107
27:00.0	227.137	0.133	0.272396885	0.08948238	0.00071649
28:00.0	227.234	0.133	0.315218717	0.10354935	0.0011103
29:00.0	227.208	0.133	0.3037407	0.09977882	0.00099338
30:00.0	227.053	0.133	0.235314061	0.07730067	0.0004619
31:00.0	227.146	0.133	0.276370045	0.09078756	0.00074831
32:00.0	227.116	0.133	0.263126179	0.08643695	0.0006458
33:00.0	227.062	0.133	0.239287221	0.07860585	0.0004857
34:00.0	227.079	0.133	0.246792078	0.0810712	0.00053284
35:00.0	227.23	0.133	0.313452869	0.10296927	0.00109175
36:00.0	227.075	0.133	0.245026229	0.08049112	0.00052149
37:00.0	227.313	0.133	0.35009423	0.11500595	0.00152111
38:00.0	227.49	0.133	0.428233037	0.14067455	0.00278386
39:00.0	227.087	0.133	0.250323776	0.08223136	0.00055605
40:00.0	226.91	0.133	0.172184969	0.05656276	0.00018096
41:00.0	227.018	0.133	0.219862885	0.07222496	0.00037676
42:00.0	226.983	0.133	0.204411708	0.06714925	0.00030278
43:00.0	227.072	0.133	0.243701843	0.08005606	0.00051308
44:00.0	226.981	0.133	0.203528784	0.06685921	0.00029887
45:00.0	226.844	0.133	0.143048464	0.04699142	0.00010377

Hora [UTC]	U12(Med) [V]	Plt12(Med) []	% Tension Relativa	Pst	Pst3
46:00.0	226.979	0.133	0.202645859	0.06656916	0.000295
47:00.0	226.802	0.133	0.124507052	0.04090057	6.8421E-05
48:00.0	226.692	0.133	0.075946212	0.02494833	1.5528E-05
49:00.0	226.773	0.133	0.111704649	0.03669498	4.9411E-05
50:00.0	226.835	0.133	0.139075304	0.04568624	9.5358E-05
51:00.0	226.724	0.133	0.090073002	0.02958898	2.5905E-05
52:00.0	226.515	0.133	0.002192596	0.00072027	3.7366E-10
53:00.0	226.396	0.133	0.054726596	0.01797769	5.8103E-06
54:00.0	226.217	0.133	0.133748327	0.04393633	8.4815E-05
55:00.0	226.195	0.133	0.143460496	0.04712677	0.00010467
56:00.0	226.271	0.133	0.109909369	0.03610523	4.7066E-05
57:00.0	226.341	0.133	0.079007016	0.0259538	1.7482E-05
58:00.0	226.231	0.133	0.127567857	0.04190604	7.3592E-05
59:00.0	226.393	0.133	0.056050982	0.01841275	6.2425E-06
00:00.0	226.199	0.133	0.141694647	0.04654669	0.00010085
01:00.0	226.052	0.133	0.206589588	0.06786468	0.00031256
02:00.0	226.033	0.133	0.21497737	0.07062007	0.0003522
03:00.0	226.025	0.133	0.218509067	0.07178023	0.00036984
04:00.0	225.949	0.133	0.252060194	0.08280177	0.0005677
05:00.0	225.853	0.133	0.294440564	0.09672373	0.0009049
06:00.0	226.044	0.133	0.210121286	0.06902484	0.00032886
07:00.0	225.954	0.133	0.249852883	0.08207667	0.00055292
08:00.0	225.841	0.133	0.29973811	0.09846397	0.00095462
09:00.0	225.986	0.133	0.235726093	0.07743602	0.00046433
10:00.0	226.204	0.133	0.139487336	0.04582159	9.6208E-05
11:00.0	226.261	0.133	0.114323991	0.03755543	5.2969E-05
12:00.0	226.129	0.133	0.172597	0.05669811	0.00018227
13:00.0	226.141	0.133	0.167299454	0.05495787	0.00016599
14:00.0	226.101	0.133	0.184957941	0.06075868	0.0002243
15:00.0	225.872	0.133	0.286052782	0.09396834	0.00082975
16:00.0	225.735	0.133	0.346533102	0.11383612	0.00147516
17:00.0	225.62	0.133	0.397301253	0.13051346	0.00222314
18:00.0	225.446	0.133	0.474115674	0.155747	0.00377797
19:00.0	225.742	0.133	0.343442866	0.11282098	0.00143605
20:00.0	225.995	0.133	0.231752933	0.07613084	0.00044125
21:00.0	225.867	0.133	0.288260093	0.09469344	0.0008491
22:00.0	225.872	0.133	0.286052782	0.09396834	0.00082975
23:00.0	225.906	0.133	0.271043068	0.08903765	0.00070586
24:00.0	225.526	0.133	0.438798699	0.14414537	0.00299504
25:00.0	225.376	0.133	0.505018027	0.16589842	0.0045659
26:00.0	225.481	0.133	0.458664497	0.15067129	0.00342051
27:00.0	225.466	0.133	0.46528643	0.15284659	0.00357081
28:00.0	225.337	0.133	0.522235052	0.17155421	0.00504899
29:00.0	225.402	0.133	0.49354001	0.16212789	0.00426161

Hora [UTC]	U12(Med) [V]	Plt12(Med) []	% Tension Relativa	Pst	Pst3
30:00.0	225.525	0.133	0.439240161	0.14429039	0.00300409
31:00.0	225.341	0.133	0.520469204	0.17097413	0.00499794
32:00.0	225.571	0.133	0.418932901	0.13761946	0.00260639
33:00.0	225.595	0.133	0.408337808	0.13413897	0.0024136
34:00.0	225.516	0.133	0.443213321	0.14559558	0.00308635
35:00.0	225.494	0.133	0.452925489	0.14878602	0.00329372
36:00.0	225.658	0.133	0.38052569	0.12500269	0.00195325
37:00.0	225.61	0.133	0.401715875	0.13196367	0.00229807
38:00.0	225.368	0.133	0.508549725	0.16705858	0.00466237
39:00.0	225.452	0.133	0.471466901	0.15487688	0.00371501
40:00.0	225.589	0.133	0.410986581	0.13500909	0.00246087
41:00.0	225.851	0.133	0.295323488	0.09701377	0.00091306
42:00.0	225.909	0.133	0.269718681	0.08860259	0.00069557
43:00.0	225.739	0.133	0.344767253	0.11325604	0.00145273
44:00.0	225.603	0.133	0.404806111	0.13297881	0.00235151
45:00.0	225.467	0.133	0.464844968	0.15270157	0.00356066
46:00.0	225.419	0.133	0.486035153	0.15966255	0.00407014
47:00.0	225.847	0.133	0.297089337	0.09759385	0.00092954
48:00.0	225.764	0.133	0.333730698	0.10963053	0.00131763
49:00.0	225.848	0.133	0.296647875	0.09744883	0.0009254
50:00.0	225.936	0.133	0.257799202	0.08468704	0.00060737
51:00.0	225.764	0.133	0.333730698	0.10963053	0.00131763
52:00.0	225.717	0.133	0.354479421	0.11644649	0.00157899
53:00.0	225.804	0.133	0.316072211	0.10382972	0.00111935
54:00.0	225.805	0.133	0.315630749	0.1036847	0.00111466
55:00.0	225.834	0.133	0.302828345	0.09947911	0.00098445
56:00.0	225.99	0.133	0.233960244	0.07685594	0.00045398
57:00.0	226.004	0.133	0.227779773	0.07482566	0.00041894
58:00.0	225.939	0.133	0.256474816	0.08425198	0.00059805
59:00.0	226.231	0.133	0.127567857	0.04190604	7.3592E-05
Promedio	226.519967			Suma de Pst	0.30651194
				Entre N	0.00255427
				Plt	0.13669587

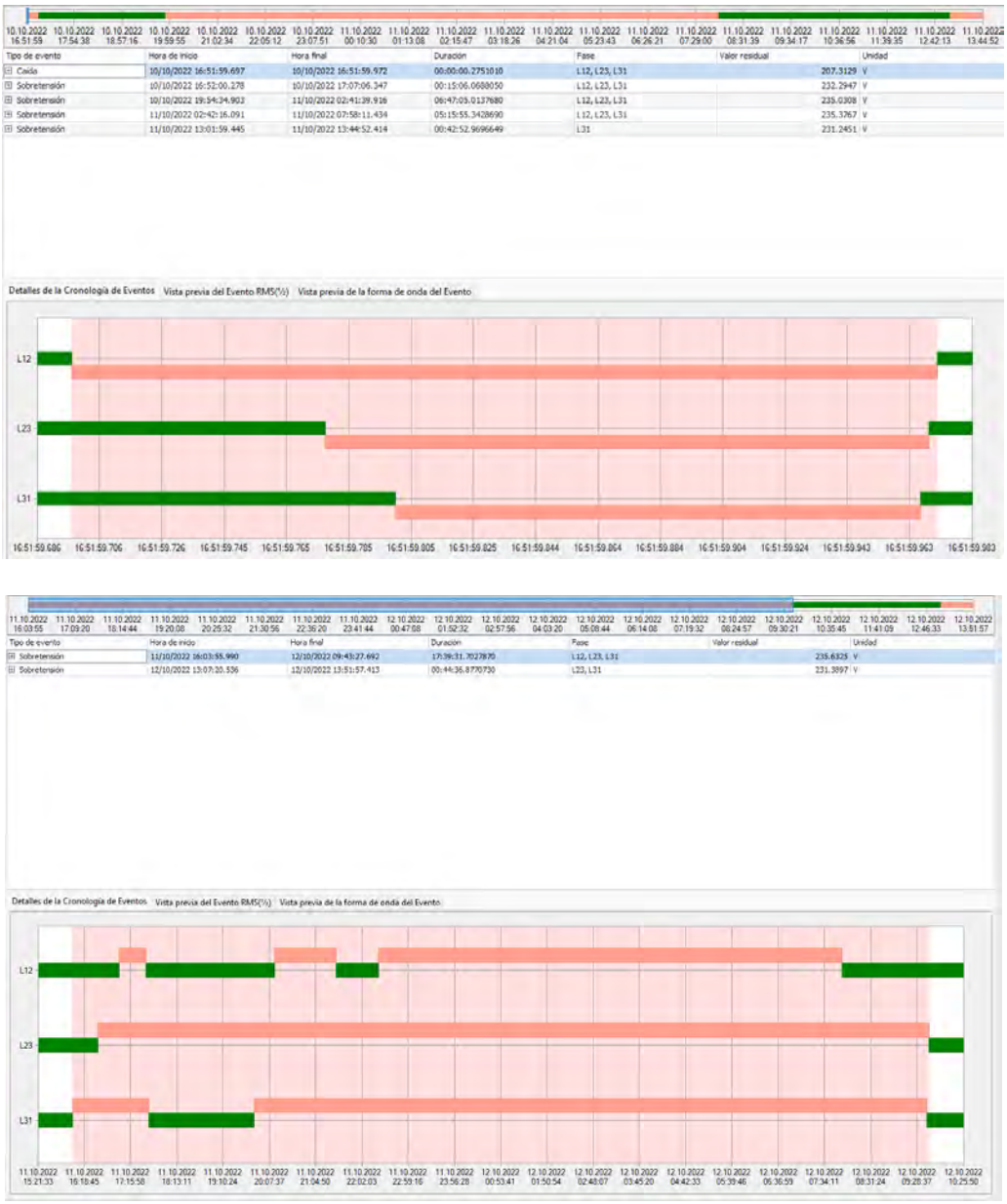
El análisis muestral comprende un periodo de 2 horas donde el Plt medido fue de 0.133 mientras que el calculado fue de 0.136. Cabe resaltar que el analizador de redes usa un registro de Pst instantáneo cada 10 segundos por lo que la sensibilidad aumenta mucho más que solo calculando en base a la variación de tensión relativa. Esto no supone un problema en calculo de

Plt bajos pero puede diferir al momento de calcular Plt de mayor valor que hayan pasado por eventos de maniobra o interrupciones de menos de un minuto.

3.9. Eventos del sistema

En la medición se detecta ciertos eventos de Sobretensión y Subtensión, así como interrupciones del sistema que forman parte del análisis de calidad. La mayor parte de estos son Sobretensiones sostenidas que no exceden a lo permitido por norma y se presentan principalmente por las noches cuando la carga es muy baja.

Figura 42: *Cronogramas de Eventos ocurridos durante la recopilación de datos*





Estos eventos no representan un peligro al sistema puesto que la tensión del sistema aumenta en horas de demanda pico que son desde el mediodía hasta la noche para mantener sus niveles óptimos. Se observa que la mayoría de estos eventos se dan entre 05:00 y 06:00 PM hasta las 8:00 y 09:00 AM, esto se debe a que la carga usual del sistema baja considerablemente durante esas horas por lo que es normal experimentar una ligera sobretensión del valor nominal 230 V en la salida del transformador siendo el máximo registrado un evento de 237.71 V un día domingo. También se observa una situación atípica que se da el día sábado 15 a las 03:23 PM ya que se da una interrupción en el servició de energía por 40 minutos y el día domingo 16 que se da una caída de tensión breve de menos de un minuto. Estos se debieron a interrupciones del servicio de la red para el día sábado y maniobras de conexión y desconexión para el día domingo.

Es interesante observar esos eventos para esos días puesto que se realizó la desconexión de los paneles fotovoltaicos para la recopilación de datos de la red por lo que podemos afirmar que con la presencia de paneles fotovoltaicos se habría evitado en mayor medida estos eventos y que en condiciones normales este habría ayudado con la estabilidad de la red en el Pabellón de Ingeniería Eléctrica.

Capítulo IV:

Modelamiento De Datos Mediante Software

4.1. Establecimiento de parámetros de medición

Según los establecido en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, los parámetros a tomar en cuenta son Tensión, Frecuencia y Perturbación Armónica para determinar el estado de calidad de un sistema eléctrico.

Basado en los datos obtenidos se establecerán los escenarios de medición y sus variables en los parámetros indicados.

Tabla 11*: Tabla de Parámetros establecidos según escenario*

Escenario de estudio en Software	Rango de Parámetros establecidos							
	±ΔV	±Δf (Hz)	Plt	THD			P(kW)±	Q(kVAR) ±
				L12	L23	L31		
Escenario de Sistema de Generación de Paneles Solares con presencia armónica en condiciones normales (1)	225.57-229.75	59.89-60.21	0.12-0.13	3.39%	3.12%	3.43%	5.811	10.56 Ind.
Escenario de Sistema de Generación de Paneles Solares con presencia armónica en estado de irradiancia cero. (2)	226.45-234.19	59.90-60.19	0.11-0.25	2.33%	2..06%	2.41%	-	-
Escenario de Sistema Eléctrico del Pabellón de Ingeniería Eléctrica con carga normal. (3)	224.31-229.77	59.89-60.19	0.13-0.14	3.56%	3.67%	3.49%	18.42	16.88 Ind.
Escenario de Sistema Eléctrico del Pabellón de Ingeniería Eléctrica con baja carga. (4)	225.05-229.86	59.89-60.15	0.11-0.14	2.91	3.17	2.88	5.76	8.84 Ind.
Escenario de Sistema Eléctrico del Pabellón	226.28-233.16	59.81-60.17	0.11-1.00	1.41	1.70	1.62	-	-

de Ingeniería Eléctrica sin carga. (5)								
Escenario del Sistema de Generación Distribuida Solar con presencia armónica en estado de alta irradiancia y baja carga. (6)	223.92-232.31	59.88-60.13	0.12-0.14	2.95	3.15	3.16	4.532 (Gener.)	2.72 Cap.
Escenario del Sistema de Generación Distribuida Solar con presencia armónica en estado de irradiancia cero y baja carga. (7)	226.01-231.93	59.94-60.06	0.1-0.12	2.50	2.65	2.55	6.51	9.00 Ind.
Escenario del Sistema de Generación Distribuida Solar con presencia armónica en estado de baja irradiancia y carga normal. (8)	225.16-229.97	59.90-60.14	0.23-0.45	3.22	3.51	3.16	10.24	12.57 Ind.
Escenario del Sistema de Generación Distribuida Solar con presencia armónica en estado de irradiancia cero y carga media. (9)	227.00-231.90	59.93-60.07	0.23-0.45	2.47	2.66	2.63	7.16	9.95 Ind

4.2. Representación del sistema

El Sistema es modelado de acuerdo a los parámetros nominales de funcionamiento de los equipos en esta, así como el diagrama unifilar del tablero general de distribución BT proporcionado en la subestación.

Figura 43: *Diagrama de unifilar de la Subestación de Ingeniería Eléctrica*

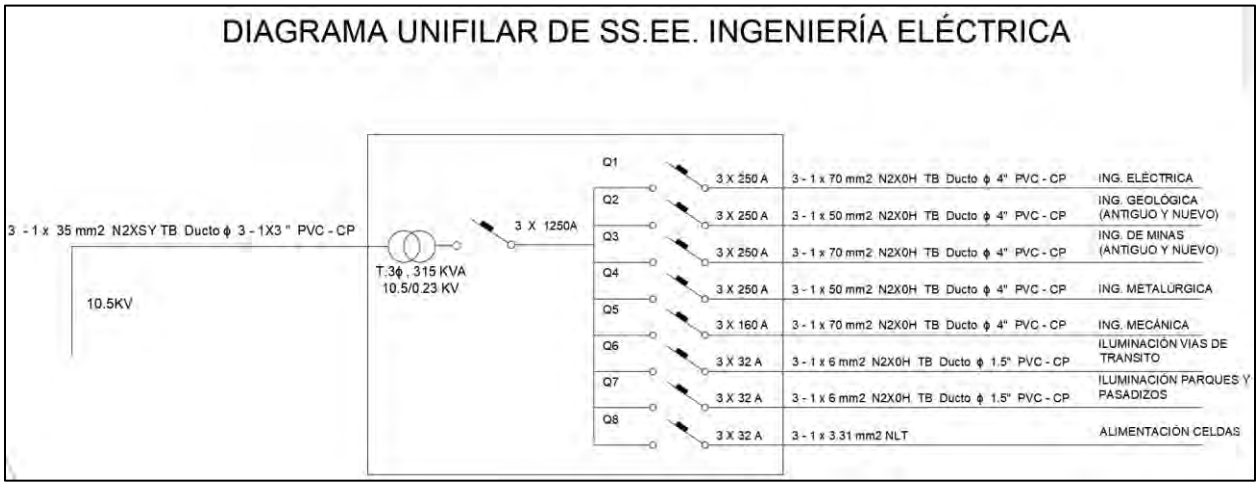
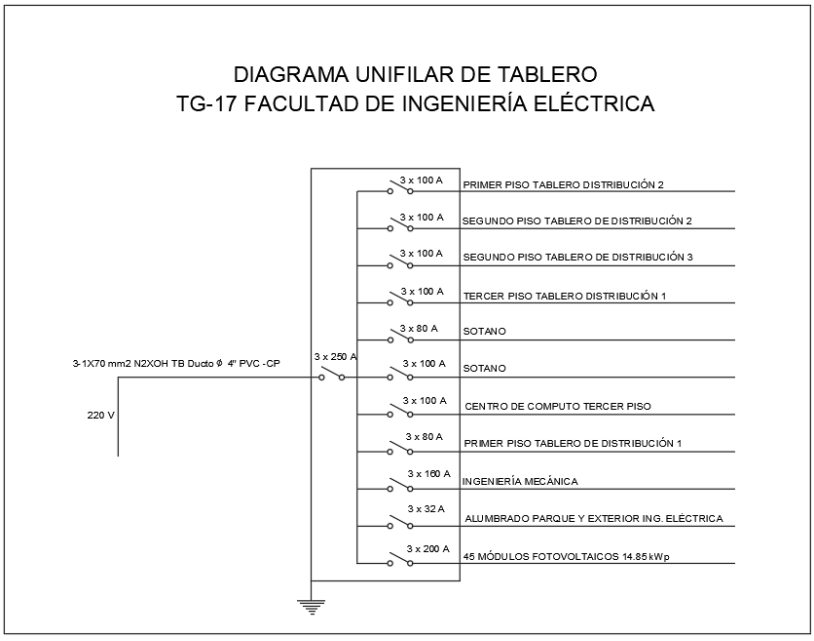


Figura 44: *Diagrama de unifilar del Tablero de la Facultad de Ingeniería Eléctrica*



4.3. Modelamiento de escenarios

4.3.1. Introducción

Si bien el modelo de calidad de energía contempla todo lo indicado por la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos para un correcto análisis, es importante tomar en consideración factores como el TDD (Distorsión de Demanda Total) el cual permitirá modelar el

comportamiento de los paneles y los sistemas de los diferentes escenarios de generación y operación considerados obteniendo un modelo fiable de experimentación. Así mismo los datos obtenidos de irradiancia nos permitirá calcular la energía producida por los paneles solares a ciertas horas.

4.3.2. Modelamiento de escenario del panel solar

El modelamiento del Panel Solar se realizará con los escenarios (I) Escenario de Sistema de Generación de Paneles Solares con presencia armónica en condiciones normales y (II) Escenario de Sistema de Generación de Paneles Solares con presencia armónica en estado de irradiancia cero.

Figura 45: *Diagrama de unifilar del Sistema con datos medidos en los escenarios de Paneles Solares llevados a Software*

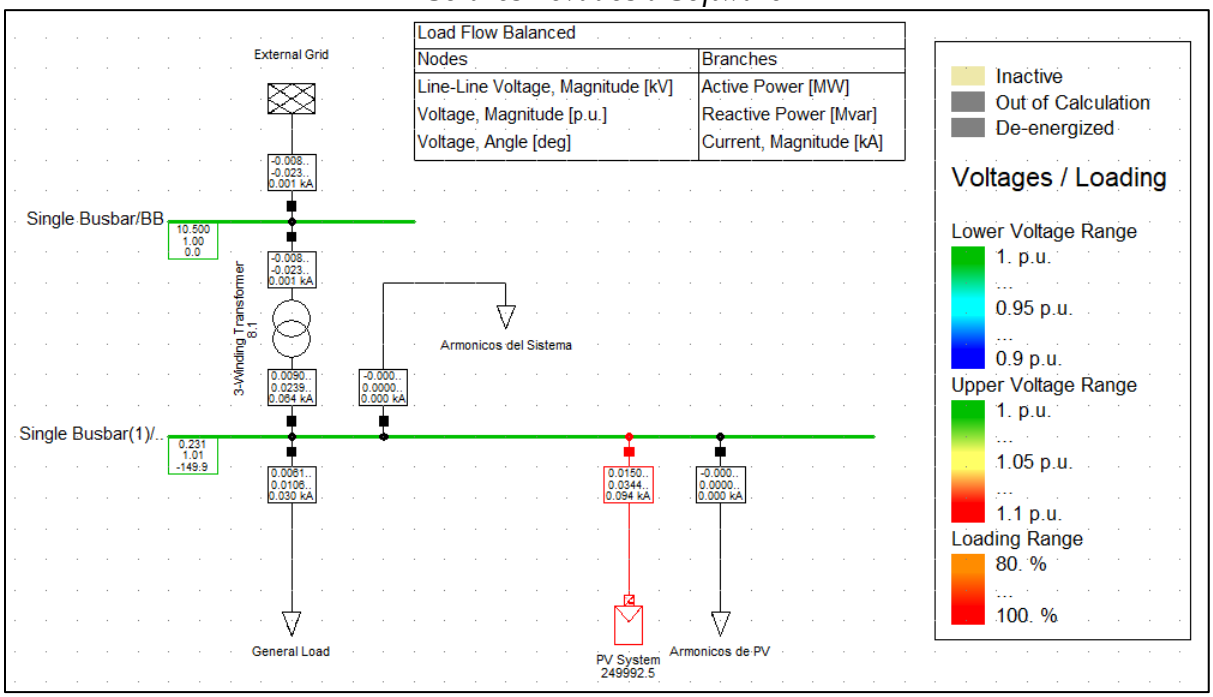
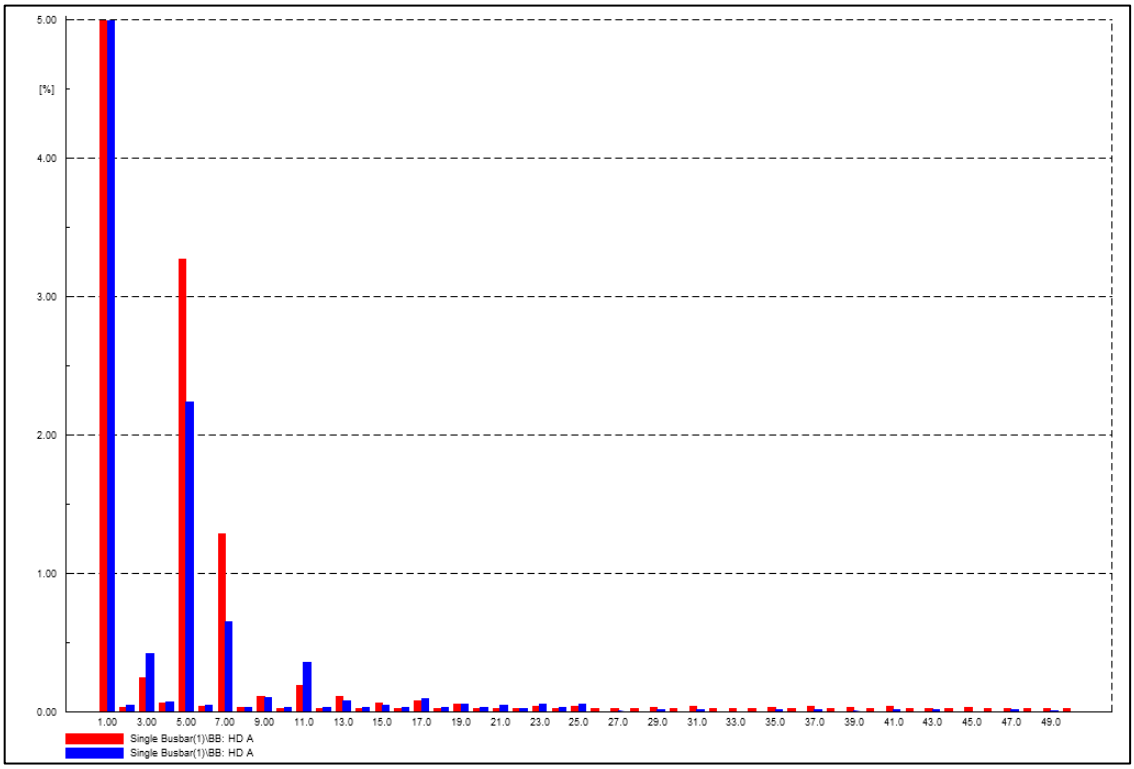


Figura 46*: Diagrama de barras del THD comparando los escenarios (1) y (2)*



4.3.3. Modelamiento de escenario del sistema eléctrico conectado a red

El modelamiento del Sistema Eléctrico conectado a red se realizará con los escenarios (III) Escenario de Sistema Eléctrico del Pabellón de Ingeniería Eléctrica con carga normal, (IV) Escenario de Sistema Eléctrico del Pabellón de Ingeniería Eléctrica con baja carga y (V) Escenario de Sistema Eléctrico del Pabellón de Ingeniería Eléctrica sin carga.

Figura 47: *Diagrama de unifilar del Sistema con datos medidos en los escenarios de Conexión a red llevados a Software*

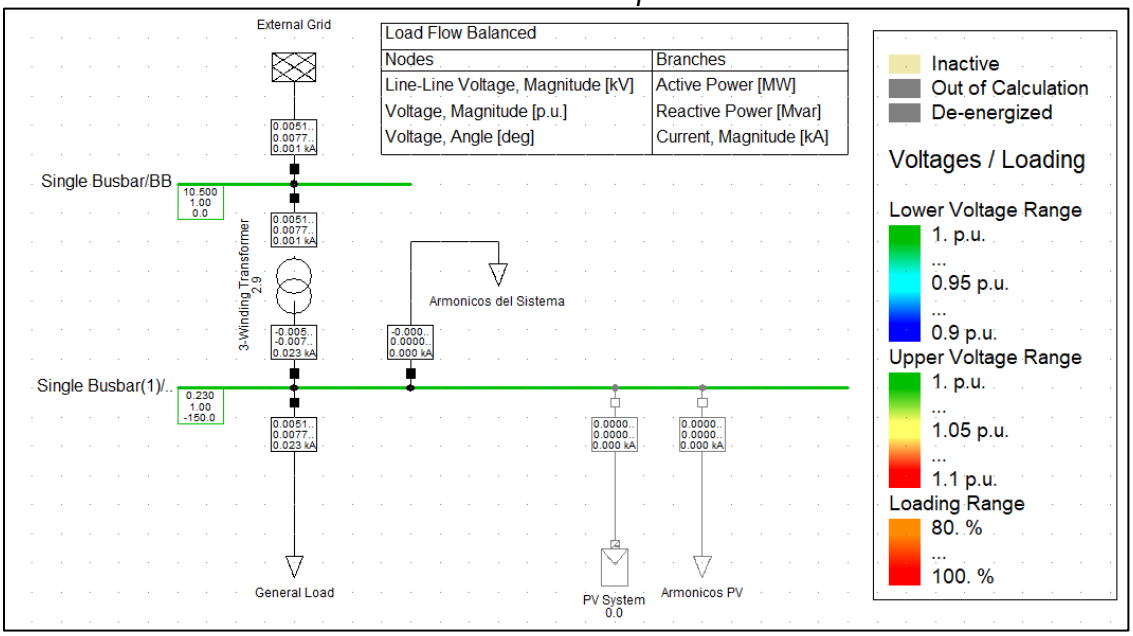
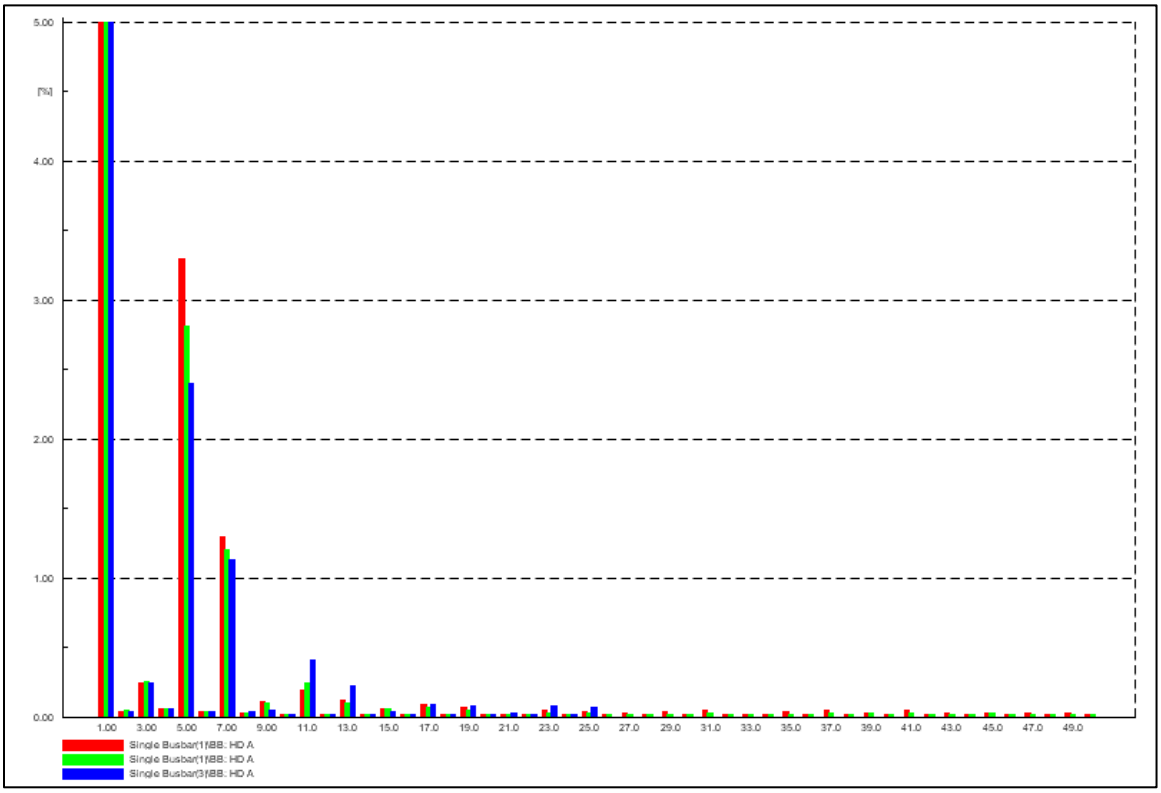


Figura 48*: Diagrama de barras del THD comparando los escenarios (3), (4) y (5)*



4.3.4. Modelamiento de escenario del sistema de generación distribuida

El modelamiento del sistema de Generación Distribuida se realizará con los escenarios (VI) Escenario del Sistema de Generación Distribuida Solar con presencia armónica en estado de alta irradiancia y baja carga, (VII) Escenario del Sistema de Generación Distribuida Solar con presencia armónica en estado de irradiancia cero y baja carga (VIII) Escenario del Sistema de Generación Distribuida Solar con presencia armónica en estado de baja irradiancia y carga normal y (IX) Escenario del Sistema de Generación Distribuida Solar con presencia armónica en estado de irradiancia cero y carga media.

Figura 49: *Diagrama de unifilar del Sistema con datos medidos en los escenarios de Generación Distribuida llevados a Software*

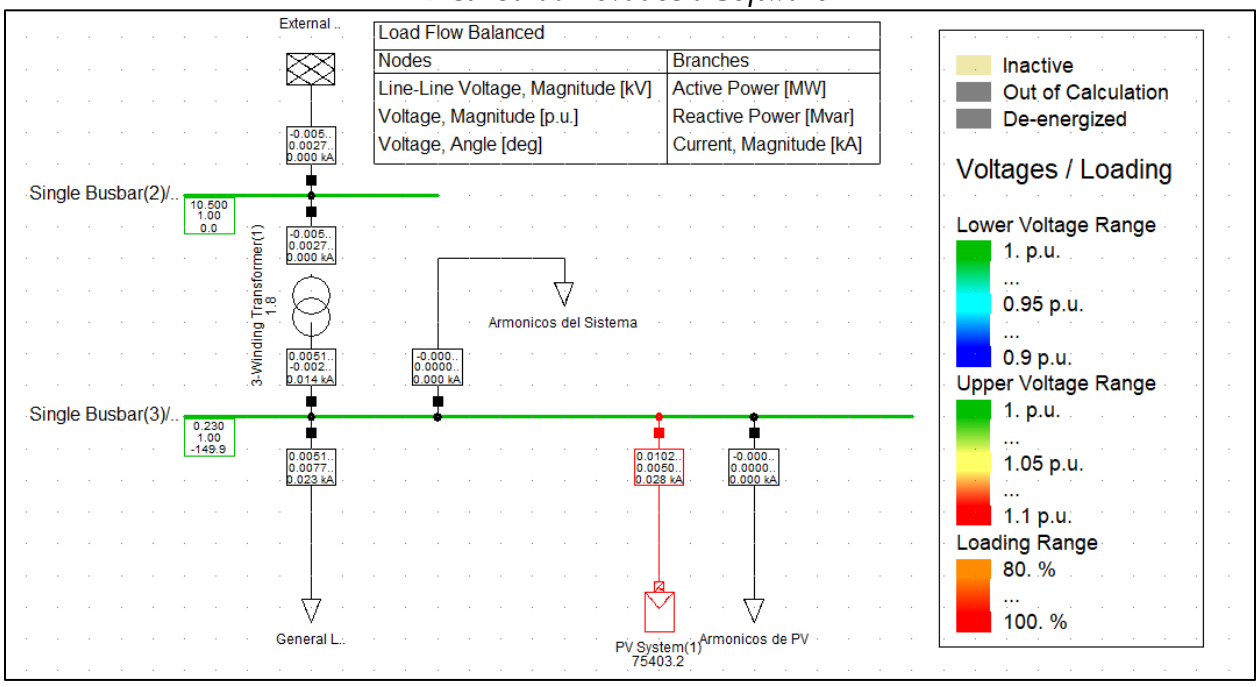
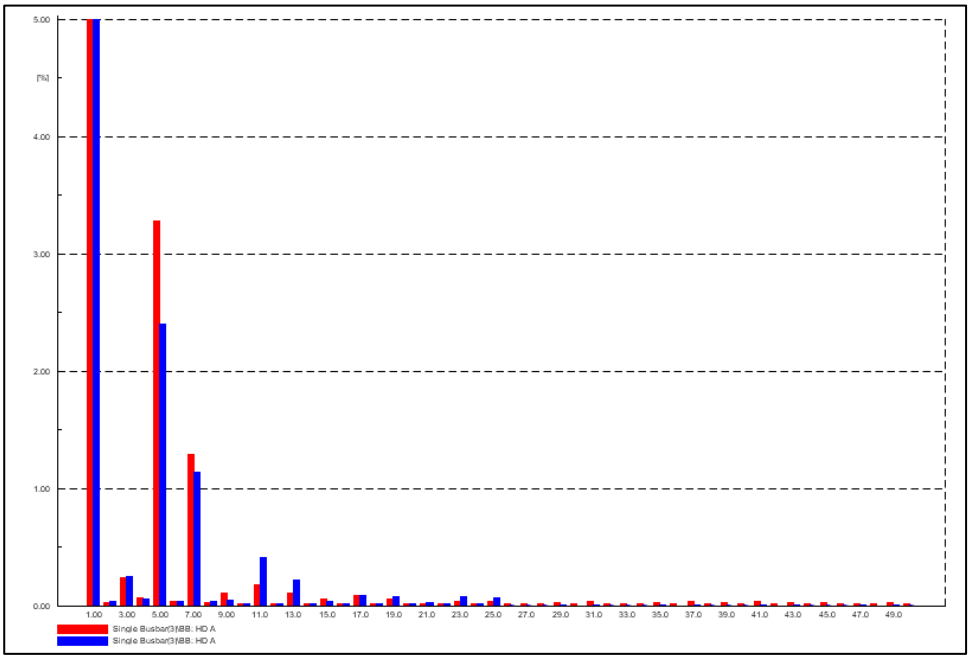


Figura 50: *Diagrama de barras del THD comparando los escenarios (6) y (7)*



4.4. Comparación y verificación de datos

En el modelo se ingresó las corrientes armónicas tanto de red como de los paneles fotovoltaicos, de esta manera podemos establecer una diferencia entre los resultados medidos y los resultados modelados demostrando la fiabilidad de este mismo.

Tabla 12*: Tabla de comparación de parámetros medidos y modelados*

Escenarios	THD			Promedio	THD Modelo	Margen de Diferencia	% de similitud
	L12	L23	L31				
(1)	3.66%	3.42%	3.72%	3.60%	3.54%	1.67%	98.33%
(2)	2.30%	2.06%	2.55%	2.30%	2.409%	-4.73%	95.27%
(3)	3.55%	3.69%	3.5%	3.58%	3.564%	0.45%	99.55%
(4)	3.17%	3.45%	3.18%	3.27%	3.087%	5.50%	94.50%
(5)	2.55%	2.53%	2.61%	2.56%	2.712%	-5.80%	94.20%
(6)	3.34%	3.62%	3.63%	3.53%	3.54%	-0.28%	99.72%
(7)	2.38%	2.59%	2.48%	2.48%	2.593%	-4.55%	95.45%
(8)	3.35%	3.61%	3.56%	3.51%	3.554%	-1.25%	98.74%
(9)	2.52%	2.67%	2.63%	2.61%	2.725%	-4.54%	95.46%

Se puede observar un porcentaje de similitud de 94.2% - 99.72% por lo que podemos decir que el modelo en el software es estable y fiable.

Capitulo V:

Análisis De Calidad De Energía Eléctrica

5.1. Introducción

Para un correcto análisis de calidad de energía tenemos que tomar en consideración los parámetros indicados según la norma peruana NTCSE (Medición de Voltaje Eficaz, Medición de Frecuencia, Perturbaciones Armónicas y Flickr) además del análisis de TDD. Estos serán presentados y explicados en los diferentes apartados del capítulo partiendo por el comportamiento armónico del estudio, luego haciendo la comparación de los parámetros obtenidos en los diferentes escenarios y finalmente analizando su afectación en la red.

5.2. Respuesta armónica del estudio

Se obtiene que la respuesta armónica del sistema Fotovoltaico y el sistema de la Red en conjunto no presenta una gran variación en cuanto al THD%, esto dado a que la tensión armónica es una consecuencia directa de la corriente armónica, la cual se ve mucho más afectada por la demanda que por la inyección de energía por parte del Panel Fotovoltaico. Por su parte las corrientes armónicas llegan a ser mucho más estables por separado. Esta respuesta armónica se ve influenciada por la irradiancia solar y la carga eléctrica del sistema.

Para el análisis de esta interacción se usará el estadígrafo de orden para definir los percentiles con las características específicas de irradiancia y carga. Donde:

$$Z_{(1)} = 2.5\% \, , Z_{(n)} = 4\% \, , Rango\ de\ Datos\ Medible\ de\ THD$$

$$P_{20} = 2.8 \, , P_{40} = 3.1 \, , P_{60} = 3.4 \, , P_{80} = 3.7 \, , Percentiles\ de\ Orden\ para\ THD$$

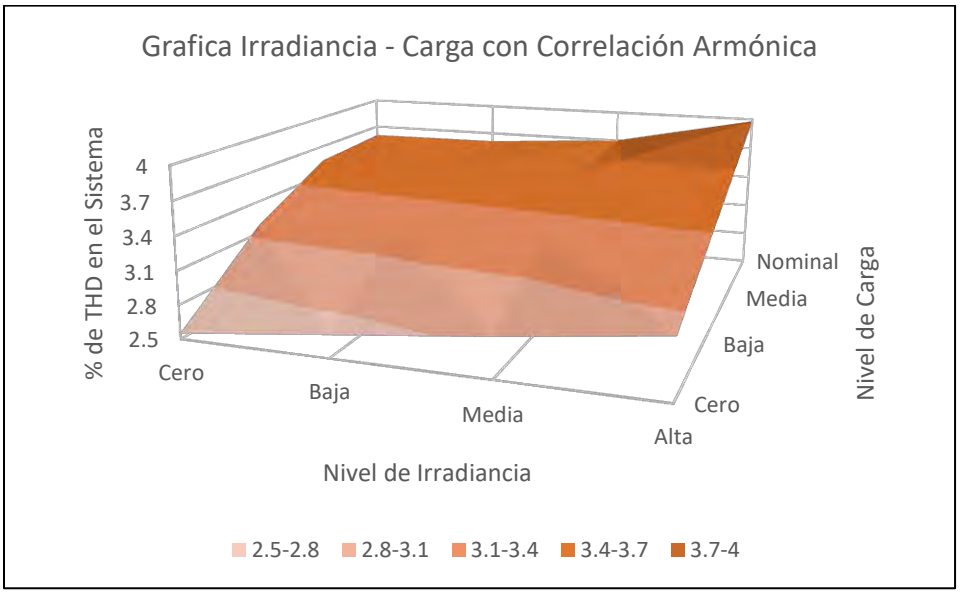
$$Y_{(1)} = 2.15\ kW \, , Y_{(n)} = 17.79\ kW \, , Rango\ de\ Datos\ Medible\ de\ Carga$$

$$P_{33} = 7.36 \, , P_{66} = 12.57 \, , Percentiles\ de\ Orden\ de\ Carga$$

$$X_{(1)} = 0\ w/m2 \, , X_{(n)} = 949\ w/m2 \, , Rango\ de\ Datos\ Medible\ de\ Irradiancia$$

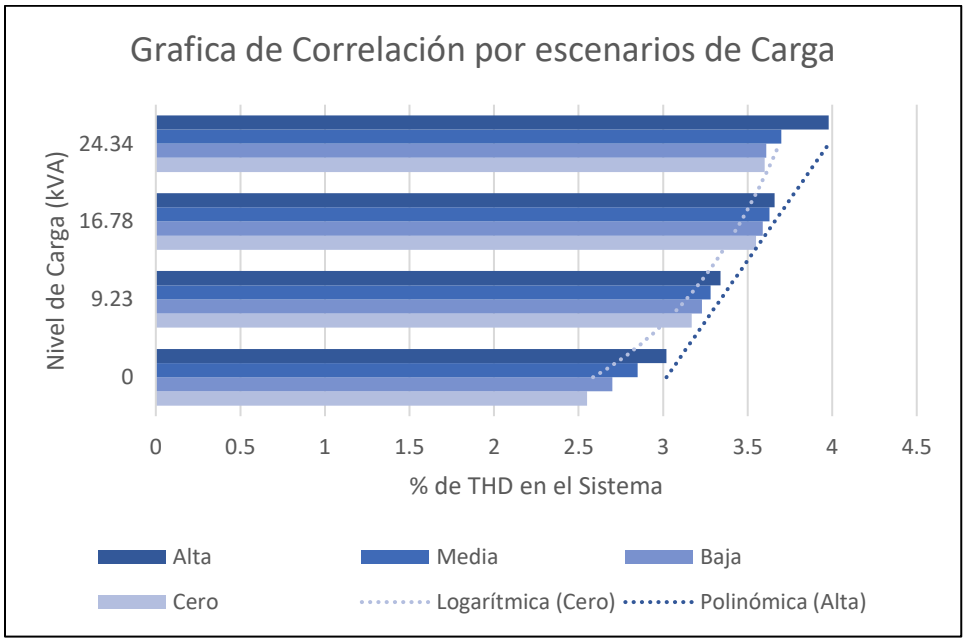
$$P_{33} = 316.3\,, P_{66} = 632.6\,, Percentiles\ de\ Orden\ de\ Irradiancia$$

Figura 51: *Diagrama de barras de los parámetros medidos del sistema fotovoltaico respecto a su limite*



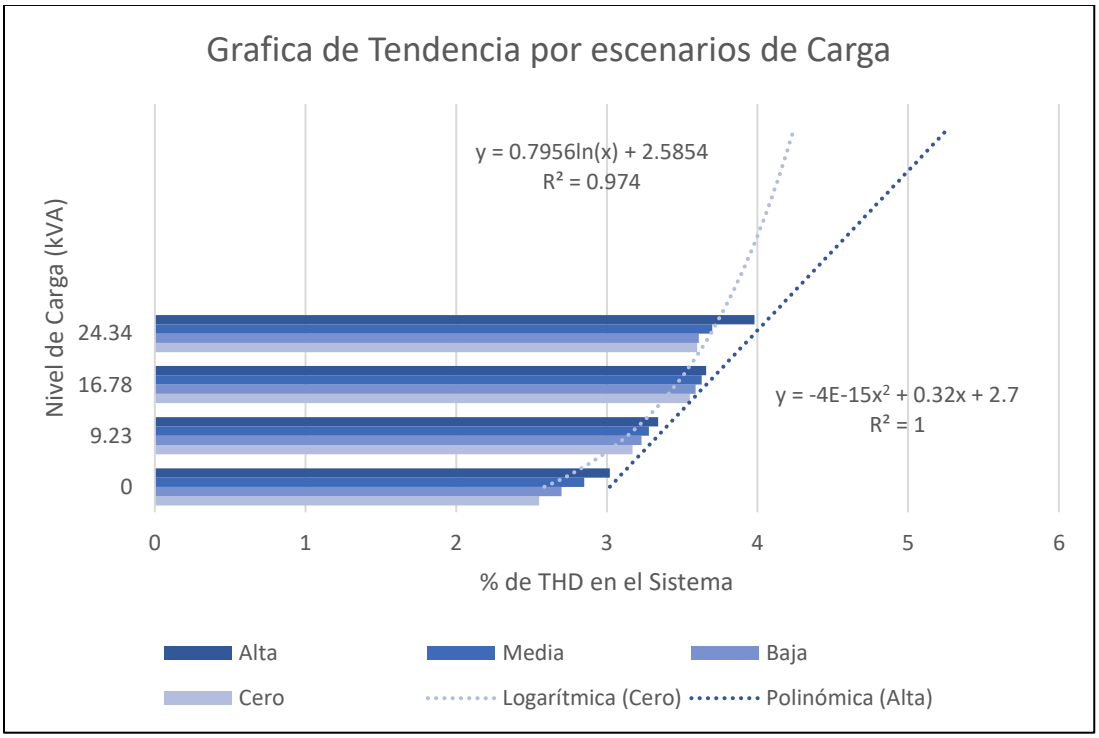
En la Fig. 51 se puede apreciar una tendencia de presencia armónica dependiente del nivel de carga del sistema|a de Generación Distribuida y el nivel de irradiancia solar al que se encuentran sometidos los paneles fotovoltaicos.

Figura 52: *Grafica de barras de correlación irradiancia – armónica con carga constante*



El nivel de carga nominal se encuentra medido con un valor de 24.34 kVA siendo 17.79 kW de potencia activa 16.67 kVAR potencia reactiva inductiva. Por otro lado, los niveles de irradiancia máximos serán los medidos en los días del estudio llegando a un máximo de 949 w/m2 donde se alcanza el pico de 14.95 kWp en los paneles fotovoltaicos.

Figura 53: *Gráfica de líneas de tendencia entre alta irradiancia e irradiancia cero*



La tendencia muestra la variación armónica a mayores niveles de carga y se puede ver una clara inclinación a aumentar el porcentaje de THD en el Sistema cuando hay presencia de paneles fotovoltaicos en vez de operar solo con la energía de Red.

5.2. Análisis de valores permisibles según normativa

Según la NTCSE se tendrá valores permisibles en cuanto a niveles de tensión, frecuencia, perturbaciones armónicas:

Tabla 13*: Tabla de tolerancias de los valores de calidad permisibles según norma*

Referencia	Tolerancias	Valores medidos	Valores Calculados
Tensión	±5%	-2.64% - 1.82%	-0.43% - 0.56%
Frecuencia	±0.6%	-0.18% - 0.35%	-
Perturbaciones Armónicas	8%	2.30% - 3.66%	2.41% - 3.56%
Flicker	1	0.11 - 1	-

Los límites de tensión en todo el tiempo de medición nunca fueron excedidos teniendo ciertos periodos de ligera sobretensión en prácticamente todos los días en las mañanas por las 07:00 AM u 8:00 AM debido a la inyección de energía de los Paneles Fotovoltaicos supliendo ligeramente la carga y elevando la tensión; por la 01:00 PM u 2:00 PM y por las 05:00 PM o 06:00 PM debido a una reducción de carga por los cambios de horario.

La frecuencia no se ve afectada por la conexión de los paneles fotovoltaicos ya que su inversor se encarga de entregar energía a frecuencia de red y este al ser de baja potencia, tiene un efecto casi nulo en la variación de frecuencia de red.

Como se vio en el apartado anterior el THD se ve afectado por la cantidad de cargas no lineales en el sistema y la cantidad de energía entregada por los paneles solares expresado en irradiancia solar.

La presencia de flicker en el sistema se debe principalmente a variaciones de tensión en el Sistema siendo más un efecto ocasionado por conexiones y desconexiones bruscas de carga. Salvo casos aislados como la caída de tensión durante el sábado y domingo del tiempo de medición presumiblemente por maniobras cerca de la zona, los valores usuales van desde 0.11 hasta 0.6.

La presencia de 3ra armónica es inusual ya que la configuración de salida del transformador del sistema eléctrico del Pabellón de Ingeniería Eléctrica es Delta, y por la misma configuración, la presencia de esta armónica debería ser nula ya que esta se debe a la presencia de corrientes de secuencia cero la cual no existe por la falta de neutro en la configuración Delta, sin embargo los inversores de los paneles fotovoltaicos genera una forma de onda con cierta distorsión armónica afectando a la red y dando una ligera presencia de 3ra armónica.

La presencia de 5ta y 7ma son más notorios debido a la falta de presencia de neutro en el sistema ya que son ocasionados por las corrientes de secuencia negativa. Estos son afectados por la carga principalmente y hay muchos elementos que son los responsables de esto, principalmente los equipos de computación, fotocopiadoras, proyectores y la iluminación fluorescente de todo el Pabellón, sin embargo, suele haber elementos en los laboratorios que son puntuales y pueden afectar la forma de onda de la red como variadores de frecuencia, rectificadores y/o convertidores. El desbalance es notorio en el THD de la forma de onda poseyendo 3 diferentes por cada fase RST, pero estos manejan un margen que se encuentra dentro de los niveles tolerables.

La presencia de componentes armonios impares mayores a la 7ma son ligeros y su origen se debe a equipos más específicos que trabajan a cierta frecuencia como variadores de frecuencia o variadores de carga para pruebas de motores que, de ser en gran número, pueden afectar en cierta manera estos mismos.

La presencia de 2da armónica es uno de los pocos armónicos múltiplos de la frecuencia fundamental que si tiene una cierta participación en los sistemas eléctricos y se presenta de manera breve por el in-rush de un transformador, pero al ser un efecto transitorio la forma de onda solo se ve afectada ligeramente. Se podrá mostrar en las pruebas de transformadores de laboratorio.

Según el Estándar IEEE 3002.8 con base en la Norma Internacional IEC 61000 tendremos los límites de TDD según la cantidad de corriente en el sistema. Para sistemas de distribuciones entre los 120 V hasta los 69 000 V los límites de TDD en corrientes menores a 20A es 5%, 20A < 50A es 8% y 50A < 100A es 12%.

Tabla 14*: Tabla de tolerancias de los valores permisibles de TDD según norma*

Referencia	Tolerancias	Valores medidos
TDD de PV	5%/8%	1.27%
TDD de Red	5%/8%/12%	4.86%
TDD de Sistema GD	5%/8%/12%	7.11%

Los valores de TDD no son contados en la normativa nacional como un indicador de calidad ya que estos dependen enteramente del usuario y su carga, sin embargo, a medida que este tome una participación más activa en el mercado con los modelos de micro generación o cargas más notables serán necesarios los análisis de TDD en los sistemas. Según la normativa internacional el Sistema GD se encuentra dentro de los márgenes de distorsión de demanda total y es importante analizar este porque nos da una imagen más clara de la afectación armónica causada por la carga, esta al encontrarse en los márgenes de tolerancia no afecta en gran medida el THD de la red por lo que podemos decir que el Sistema cumple con la norma.

5.3. Comparación de calidad de energía entre la red y el sistema de generación distribuida

La calidad de energía de estos dos se puede diferencia por el nivel de THD, Estabilidad de Tensión y variación de frecuencia. A ello se le puede sumar el análisis Flicker y la perturbación de corrientes armónicas TDD.

Tabla 15*: Tabla de comparación de calidad entre la energía proporcionada por red y la proporcionada por los paneles fotovoltaicos basado en promedios de medición*

Parámetro	Energía de Red	Energía de los Paneles Fotovoltaicos	Energía del Sistema de Generación Distribuida
THD	3.54%	3.8%	3.43%
Estabilidad de Tensión	±3.63%	± 2.75%	±2.36%
Variación de Frecuencia	±0.16%	±0.183%	±0.183%
TDD	4.86%	1.27%	7.11%
Flicker	0.12	0.11	0.11

El THD presentara una variación ligera dependiendo de la carga siendo más dependiente de este, sin embargo, podemos identificar un ligero aumento en el THD de los paneles fotovoltaicos, esto debido a la presencia de un equipo electrónico no lineal que es el inversor de los paneles, que, según su ficha técnica, garantiza una distorsión menor al 3%. (Anexo 10)

La estabilidad de tensión es mucho mejor con el sistema de generación distribuida, esto debido a que la carga tiene una fuente de generación prácticamente a tensión constante muy cerca por lo que los niveles de tensión ajustarían la tensión en barra haciéndola mucho más estable en vez de solo usar energía de red.

La variación de frecuencia presenta una ligera variación del 0.02% entre los modelos planteados, siendo esta casi despreciable considerando que la frecuencia en red depende de si hay sobre generación o sobre carga en la red, la variación de frecuencia podría ser mucho más notoria en sistemas de generación aislados donde se puede estudiar la frecuencia neta producido por el sistema de generación fotovoltaica.

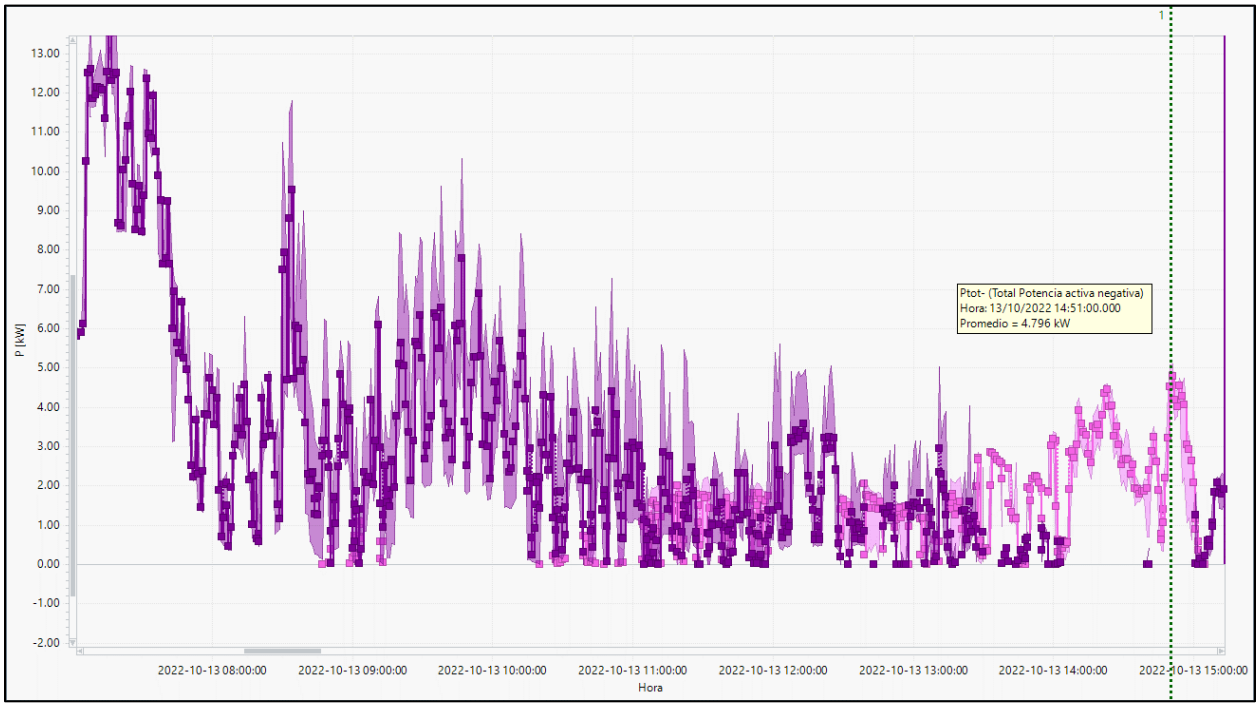
El TDD es de los elementos con mayor variación ya que este mide la distorsión proporcionado por el comportamiento de corriente y es el que nos da información más fiable de la contribución armónica de los paneles fotovoltaicos siendo que, por separado, el sistema de generación fotovoltaico entrega corriente de mejor calidad que la red de distribución, sin embargo su combinación puede entregar distorsión de valores mucho mayores que deben ser considerados para análisis en caso de incrementar los módulos de generación distribuida.

El flicker es un elemento que depende de variaciones en la tensión por lo que al tener mayor estabilidad con la presencia del sistema de generación fotovoltaico se puede ver una ligera reducción de la Severidad de Flicker a largo plazo, sin embargo, este se puede ver afectado por eventos como sobretensiones o maniobras de desconexión que puede afectar su valor puntualmente por tiempos muy cortos.

5.4. Análisis de afectación a la red

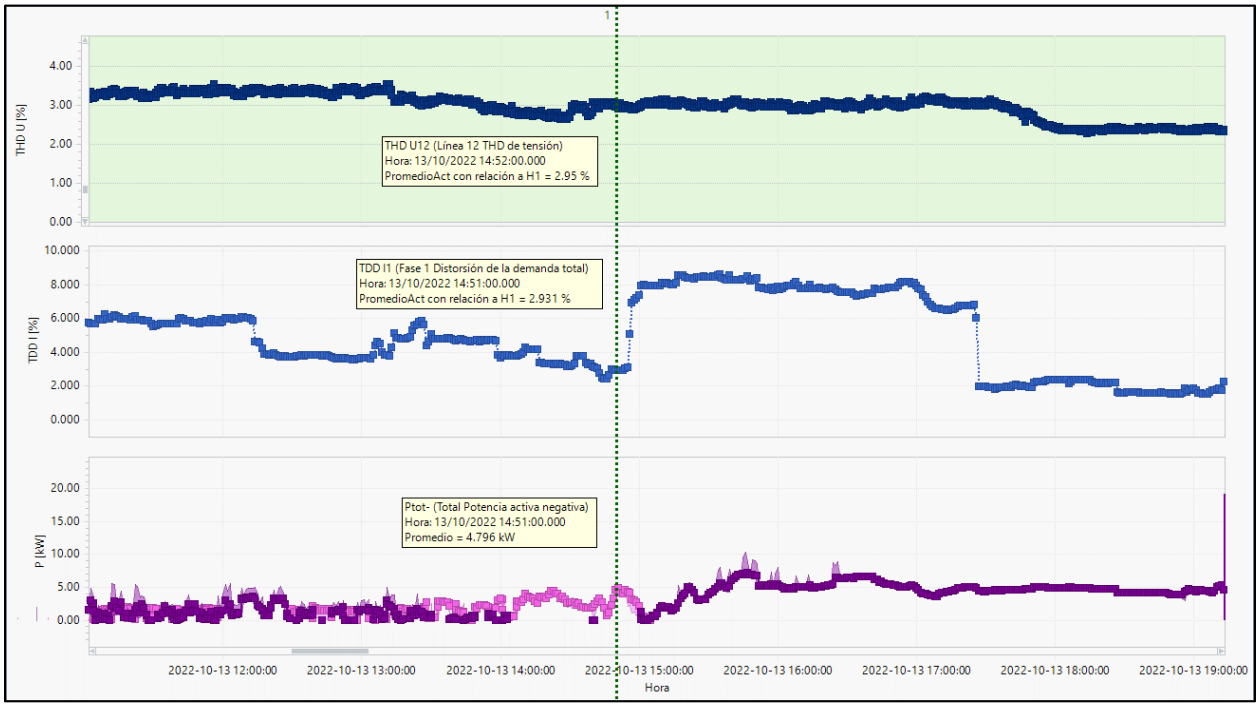
Se puede observar en la fig. 45 del escenario de Alta irradiancia y baja carga que la generación producida por los Paneles fotovoltaicos es excedente pasado el mediodía donde hay un periodo particular entre la 1:00 y 3:00 PM donde la carga es baja y los paneles fotovoltaicos entregan energía al sistema. Como se puede observar en la gráfica, hay una tendencia a medida que se acercan dichas horas donde hay una reducción de carga y una maximización en la generación solar. En consecuencia, la parte reactiva de la energía entregada es leída como capacitiva ya que trabaja como una inyección de reactivos al sistema.

Figura 54: *Gráfica de Potencia Consumida – Potencia Generada*



En la gráfica se puede observar que tanto el THD como el TDD no se ven afectados en gran medida conservando valores cercanos a 2.95% y 3.931% respectivamente dando a entender que la inyección de energía a la red no afecta la variabilidad armónica en la red siendo que quien más afecta al TDD es el comportamiento de la carga y este a su vez tiene que ser una carga muy grande o una generación muy grande para afectar el THD del sistema en lo que podría llamarse una suerte de “inercia” armónica.

Figura 55: *Gráfica de THD y TDD medido en los periodos de generación al sistema*



Esto se puede revisar en el modelo de simulación donde obtenemos los valores THD y TDD en el escenario calculándolos en el periodo de la gráfica anterior añadiendo las cargas cercanas a la del Pabellón de Ingeniería Eléctrica que son las más próximas a recibir la energía producida por los paneles fotovoltaicos.

Figura 56: *Diagrama Unifilar del Sistema de Generación Distribuida a nivel de Irradiancia máxima y carga reducida*

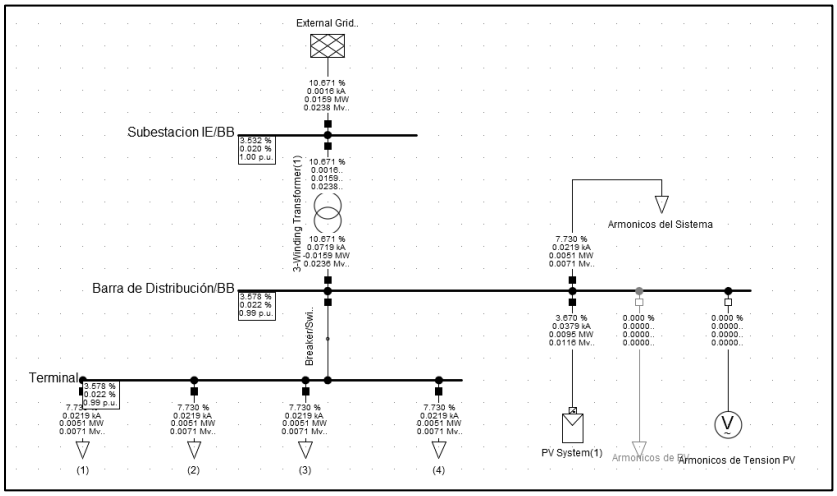


Figura 57: *a) Informe del análisis de distorsión considerando la nula contribución de los Paneles Fotovoltaicos y b) Informe de análisis de distorsión considerando la contribución de los Paneles Fotovoltaicos*

		DIgSILENT PowerFactory 2021 SP2	Project: Date: 6/7/2023

Harmonics Calculation Balanced, positive sequence	Busbars/Terminals

Nominal Frequency 60.00 Hz	Output Frequency 3000.00 Hz	Calculate HD and THD Based on fundamental frequency values

Grid: Grid_Red Expandida	System Stage: Grid_Red Expand	Study Case: Afectación a la red	Annex: / 1

	Rated Voltage [kV]	Bus-voltage (3000.00 Hz) [p.u.]	Bus-voltage (3000.00 Hz) [deg]	Bus-voltage RMS [p.u.]	Distortion Sum [p.u.]	Distortion (3000.00 Hz) [%]	Distortion Total [%]
Barra de Distribución							
BB	0.23	0.00	0.00	0.99	1.06	3.59	6.80
Single Busbar(2)							
BB	10.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Single Busbar(3)							
BB	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Subestacion IE							
BB	10.50	0.00	0.00	1.00	1.06	3.53	6.32
Terminal							
	0.23	0.00	0.00	0.99	1.06	3.59	6.80

		DIgSILENT PowerFactory 2021 SP2	Project: Date: 6/7/2023

Harmonics Calculation Balanced, positive sequence	Busbars/Terminals

Nominal Frequency 60.00 Hz	Output Frequency 3000.00 Hz	Calculate HD and THD Based on fundamental frequency values

Grid: Grid_Red Expandida	System Stage: Grid_Red Expand	Study Case: Afectación a la red	Annex: / 1

	Rated Voltage [kV]	Bus-voltage (3000.00 Hz) [p.u.]	Bus-voltage (3000.00 Hz) [deg]	Bus-voltage RMS [p.u.]	Distortion Sum [p.u.]	Distortion (3000.00 Hz) [%]	Distortion Total [%]
Barra de Distribución							
BB	0.23	0.00	0.00	0.99	1.06	3.58	6.78
Single Busbar(2)							
BB	10.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Single Busbar(3)							
BB	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Subestacion IE							
BB	10.50	0.00	0.00	1.00	1.06	3.53	6.32
Terminal							
	0.23	0.00	0.00	0.99	1.06	3.58	6.78

Los resultados indican una reducción en el THD de 3.595% a 3.578% y un aumento TDD de 7.730% a 10.671% con la implementación de los paneles fotovoltaicos. El TDD debido a el aumento de carga en el sistema (siendo la carga real de la subestación) añadiendo la contribución armónica del sistema de generación fotovoltaica, considerando que el resto de cargas consideradas en las otras facultades son similares en comportamiento ya que fueron modeladas casi similarmente en el diagrama unifilar original, sin embargo el THD disminuye ligeramente ya que precisamente por funcionar como un generador disminuye la carga de la red, sin embargo su contribución no es muy grande por lo que la reducción armónica es solo de 0.017%. Es de recalcar que si bien las corrientes armónicas afectan directamente a la forma de onda de la red la carga es

demasiada como para que la inyección de energía del sistema fotovoltaico afecte a la red y considerar un aumento de carga o de generación implicaría analizar las nuevas contribuciones armónicas de estos, a menos que se modele con cargas similares y nuevas instalaciones de paneles fotovoltaicos con las mismas características.

5.5. Validación de hipótesis

La validación de hipótesis busca comprobar como la teoría planteada con la evidencia recolectada en campo, para ello se procesó los datos con el software IBM SPSS Statistics, se aplicaron pruebas no paramétricas y paramétricas para validar las relaciones de causalidad. Se utilizaron los coeficientes de correlación de Spearman y Pearson, así como la Prueba T para muestras independientes, según corresponde cada hipótesis y la naturaleza de las variables. Como criterio de decisión para el rechazo de la hipótesis nula (H_0) y la aceptación de las hipótesis alternativas (H_1).

5.5.2. Hipótesis general

HIPOTESIS NULA H0: La instalación del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica en la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica no genera un efecto negativo en la calidad del producto de energía eléctrica de la red. ($\alpha \leq 0$)

HIPOTESIS ALTERNATIVA H1: La instalación del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica en la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica genera efecto ligeramente negativo en la calidad del producto de energía eléctrica de la red ($\alpha > 0$)

Correlación de Variables usando correlación de Spearman – Sistema de Generación distribuida Solar Fotovoltaica – Calidad del Producto de la Energía Eléctrica. Se compara con los límites permitidos de calidad de producto permisible.

Tabla 16: *Correlación de Variables de la Hipótesis General*

Coeficiente de Spearman	
Variables y Dimensiones	α
Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica y Calidad del Producto de la Energía Eléctrica	0.783

Según el coeficiente de Spearman, hay una alta correlación entre el Sistema de Generación distribuida solar fotovoltaica y la Calidad del Producto de la Energía Electric por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

5.5.3. Hipótesis específicas

5.5.3.1. Hipótesis especifica 1

HIPOTESIS NULA H0: El analizador de redes no proporciono la información suficiente para poder determinar los parámetros de calidad del producto de energía eléctrica como tensión, frecuencia y THD en el sistema de generación distribuida solar fotovoltaica. ($\alpha \geq 0.05 \wedge \beta \leq 0.8$)

HIPOTESIS ALTERNATIVA H1: El analizador de redes proporciono la información suficiente para poder determinar los parámetros de calidad del producto de energía eléctrica como tensión, frecuencia y THD en el sistema de generación distribuida solar fotovoltaica. ($\alpha < 0.05 \wedge \beta > 0.8$)

Sistema de generación distribuida solar fotovoltaica – información de calidad de energía del analizador de redes. Se analiza la cantidad de parámetros necesarios y parámetros medibles

Tabla 17: *Correlación de Variables de la Hipótesis Especifica 01*

Desviación Estándar Promedio	
Variables y Dimensiones	α
Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica e Información de Calidad del Producto de la Energía Eléctrica	0.0112
Prueba T de Muestras Independientes	
Variables y Dimensiones	β
Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica e Información de Calidad del Producto de la Energía Eléctrica	0.987

Se realiza una comparativa de muestras para determinar la fiabilidad de los resultados de las muestras concluyendo que la cantidad de información necesaria para determinar los parámetros del sistema son suficientes y, por ende, la fiabilidad es muy alta. Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

5.5.3.2. Hipótesis especifica 2

HIPOTESIS NULA H0: No se logró obtener un modelo de simulación confiable del sistema de generación distribuida solar fotovoltaica que ayudó a determinar la calidad de energía. ($\alpha \leq 0.8$)

HIPOTESIS ALTERNATIVA H1: Se logró obtener un modelo de simulación confiable del sistema de generación distribuida solar fotovoltaica que ayudó a determinar la calidad de energía. ($\alpha > 0.8$)

Sistema de generación distribuida solar fotovoltaica – Modelo de Simulación de calidad de energía – comparación de resultados medidos y calculados en el software

Tabla 18: *Correlación de Variables de la Hipótesis Especifica 02*

Coeficiente de Pearson	
Variables y Dimensiones	α
Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica y Modelo de Simulación de Calidad de Energía	0.987

Realizamos una correlación entre los resultados obtenidos de la medición y los resultados obtenidos en la simulación coincidiendo en una alta correlación e indicando que el modelo de simulación es confiable y corrobora los resultados obtenidos en campo. Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

5.5.3.3. Hipótesis especifica 3

HIPOTESIS NULA H0: El sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica prueba tener una calidad del producto de energía eléctrica de mayor calidad que el de la red de distribución. ($\alpha \leq 0$)

HIPOTESIS ALTERNATIVA H1: El sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica prueba tener una calidad del producto de energía eléctrica de menor calidad que el de la red de distribución. ($\alpha > 0$)

Calidad de Producto de energía eléctrica del Sistema de generación distribuida solar fotovoltaica – Calidad de producto de energía eléctrica de la red de distribución. Comparación de datos del sistema de GD con el de la red.

Tabla 19: *Correlación de Variables de la Hipótesis Especifica 03*

Desviación Estándar Promedio	
Variables y Dimensiones	α
Calidad del Producto del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica y Calidad del Producto de la Energía Eléctrica en la Red de Distribución	0.0438

El resultado de desviación estándar promedio sugiere que el Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica prueba tener una calidad de producto de menor calidad, pero la desviación es muy baja para considerarlo. Esto sucede debido a que, en la comparativa de calidad, ambas variables estuvieron muy parejas por lo que una presentaba ciertas ventajas frente a otro y viceversa por lo que al final una se sobrepuso ligeramente dando un margen bastante ajustado. Por ejemplo, el Sistema de Red presentaba menos estabilidad de tensión que el Sistema de Generación Distribuida, pero a su vez tenía menor presencia armónica. Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

5.5.3.4. Hipótesis especifica 4

HIPOTESIS NULA H0: La implementación de un sistema de generación distribuida solar fotovoltaica no ocasiona efectos negativos en la calidad del producto de energía eléctrica de la red debido a perturbaciones armónicas ($\alpha \leq 0$)

HIPOTESIS ALTERNATIVA H1: La implementación de un sistema de generación distribuida solar fotovoltaica ocasiona efectos ligeramente negativos en la calidad del producto de energía eléctrica de la red debido a perturbaciones armónicas ($\alpha > 0$)

Sistema de generación distribuida solar fotovoltaica – Calidad de producto de energía eléctrica. Evaluar la calidad de energía eléctrica antes y después de la conexión

Tabla 20: *Correlación de Variables de la Hipótesis Especifica 04*

Desviación Estándar Promedio	
Variables y Dimensiones	α
Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica y Calidad del Producto de la Energía Eléctrica	0.3804

El resultado de Desviación Estándar Promedio de Perturbaciones Armónicas de Corriente en el antes y después de la conexión del Sistema de Generación Distribuida nos indica un incremento en dichas perturbaciones con una afectación regular. Este resultado puede variar dependiendo de los valores del Sistema de Generación Distribuida de la validación de la hipótesis general al tener esta gran correlación con la Calidad de Producto. Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La evaluación de la calidad de energía eléctrica en el sistema de generación distribuida solar fotovoltaica instalada en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica de la UNSAAC arrojó resultados significativos respecto a los parámetros de calidad de energía, tales como la variabilidad de frecuencia, la tensión, el flicker y la distorsión armónica total (THD).

Los resultados de la medición mostraron que la frecuencia en el sistema de generación distribuida solar se mantuvo dentro de los límites establecidos por la normativa nacional e internacional. La frecuencia promedio se situó en torno a los 60 Hz, con variaciones mínimas que no superaron los ±0.1 Hz. Estos valores son indicativos de un buen desempeño del inversor utilizado, que es capaz de sincronizar eficazmente con la red eléctrica. No obstante, es importante considerar las condiciones extremas de operación y cómo estas podrían influir en la estabilidad de la frecuencia a largo plazo.

La medición de la tensión reveló una estabilidad considerable en el sistema fotovoltaico, con valores que se mantuvieron en el rango de 220 V ±5%, conforme a las normativas vigentes. Sin embargo, se observó una ligera tendencia al sobrevoltaje durante los picos de irradiancia solar, especialmente durante los días con alta exposición solar. Esto sugiere que el sistema de generación distribuida tiene un impacto directo en la regulación de la tensión, lo cual debe ser monitoreado y controlado adecuadamente para evitar problemas de sobrecarga en la red.

El análisis de flicker mostró que los niveles de parpadeo se encontraban dentro de los límites permisibles, lo que indica que la variación de luminancia debido a fluctuaciones de tensión es mínima y no debería causar molestias a los usuarios ni dañar los equipos eléctricos. Los valores medidos del flicker estuvieron por debajo del umbral crítico de percepción humana, garantizando así una calidad aceptable desde el punto de vista del confort visual.

El THD es un indicador clave de la calidad de energía, y los resultados mostraron una distorsión armónica en el sistema de generación distribuida solar que, aunque presente, se mantuvo dentro de los límites aceptables según la normativa IEEE 519. Se registraron valores de THD que oscilaron entre 2% y 4%, lo cual es indicativo de una buena calidad de energía, aunque con una ligera contribución a la distorsión armónica por parte del inversor alcanzando un 7% en la corriente, esto producto de la carga y la irradiancia que, como se vio en la investigación, son factores considerables en el aumento de perturbaciones armónicas en el Sistema de Generación Distribuida. Cabe resaltar que la presencia de armónicos de orden superior podría ser mitigada con el uso de filtros pasivos o activos, mejorando así la calidad general del suministro eléctrico aún más.

Una comparación detallada entre la energía proporcionada por la red y la generada por el sistema fotovoltaico mostró que la calidad de energía generada localmente es comparable a la suministrada por la red, con algunas diferencias notables en los niveles de armónicos y estabilidad de la tensión. Mientras que la red eléctrica convencional presentó un perfil más estable en términos de tensión, el sistema de generación distribuida mostró una mayor variabilidad asociada a las fluctuaciones de irradiancia solar.

El análisis del impacto del sistema de generación distribuida en la red reveló que la integración de este tipo de generación puede contribuir positivamente a la estabilidad del sistema eléctrico en términos de soporte de tensión y reducción de pérdidas en la red. No obstante, es fundamental considerar la coordinación y regulación adecuada del flujo de energía para evitar problemas de sobrecarga y asegurar la compatibilidad con otros generadores distribuidos.

CONCLUSIONES

Primero. El proyecto de implementación de Paneles Fotovoltaicos en la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica corresponde con la sostenibilidad y responsabilidad ambiental en la aplicación de nuevas tecnologías teniendo impactos positivos económicos y de rendimiento. Dicha implementación ha alcanzado al ámbito educativo, partiendo por el desconocimiento de los datos referentes a calidad de energía en el sistema de generación distribuida solar. En ese sentido el proyecto concluye en que la calidad de energía eléctrica generada por el Sistema de Generación Distribuida Solar del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica se encuentra en los niveles óptimos según la NTCSE no presentando ningún riesgo en la conexión con la red, tanto para su carga como para cargas aledañas, presentando valores en tensión máximos de ±2.64%, perturbaciones de frecuencia máximos de ±0.35% y perturbaciones armónicas máximas de ±3.66%. Si bien los valores de perturbaciones armónicas presentes en la normativa peruana se limitan al THD, no está demás el análisis del TDD bajo normativa internacional como la IEC 61000 o IEEE Std. 3002.8 ya que este parámetro adquiere mayor relevancia en sistemas eléctricos más complejos como sistemas con un exceso de puntos degeneración (Generación Distribuida) o sistemas con cargas no lineales más notables como cargadores de vehículos eléctricos.

Segundo. Para establecer una recopilación de datos variadas sin reducir la cantidad de muestras necesarias se consideraron factores ambientales y operacionales (tales como nubosidad y desconexión de los paneles fotovoltaicos), esto con el fin de establecer diferentes escenarios de estudio en el que podamos analizar con detenimiento los diferentes comportamientos del Sistema de Generación Distribuida Solar. Ergo, los parámetros de

calidad de energía fueron obtenidos de la recopilación de datos satisfactoriamente aprovechando la variabilidad climática lo que facilito la reunión de información estableciendo un total de 9 escenarios que ayudaron al análisis de información.

Tercero. El correcto modelamiento computacional nos permite corroborar información y experimentar con los escenarios establecidos, de esta forma, uno tiene mayor entendimiento sobre el comportamiento de los parámetros eléctricos del sistema. Por ello, modelamiento del sistema de generación distribuida solar del Pabellón de Ingeniería Eléctrica se realizó de manera adecuada con las herramientas computacionales puntuales presentado una similitud de 94.2% - 99.72% con respecto a los datos medidos por el analizador de redes MI 2892 Power Metrel.

Cuarto. Los resultados obtenidos en la simulación y datos obtenidos del equipo indican un menor nivel de distorsión armónica entregada por el Panel Fotovoltaico que por el Sistema, siendo que, en condiciones de generación aislada la energía producida por los Paneles Fotovoltaicos pasando por el inversor es de mejor calidad que la entregada por la red teniendo un TDD obtenido en el los paneles fotovoltaicos de 1.27% comparado con el obtenido en la Red de 4.86%, si bien esto depende de la carga, ambos estuvieron sometidos a la misma. El THD de ambos se conserva casi similar dado que se encuentran conectados en la misma barra siendo de 3.55% en la Red y 3.66% en los Paneles Fotovoltaicos, sin embargo, gracias a las mediciones se puede ver una dependencia de las tensiones armónicas hacia el nivel de irradiancia solar y la carga del sistema mostrando una clara tendencia a aumentar el THD con Paneles Fotovoltaicos que sin ellos.

Quinto. Los efectos negativos en la calidad de energía ocasionados debido al uso del Sistema de Generación Distribuida Solar son un aumento en la corriente armónica resultante llegando a un TDD de 7.11% siendo esta un 46.29% mayor respecto a la componente armónica en condiciones operativas normales. Esto se debe principalmente al comportamiento de la carga del Pabellón de Ingeniería Eléctrica sumado a la energía producida, sin embargo, la distorsión armónica de tensión se mantiene casi constante en barra ya que esta es más dependiente de la carga que de la inyección de energía. Tomando el sistema completo, la carga es tanta que el THD de la red permanece casi sin cambios, con una variación de 10.6% aun si el TDD aumenta por la contribución conjunta de carga y generación, entonces aumentar la generación hasta el punto de acercarse a la carga nominal otorgaría una contribución armónica más notable en el THD.

RECOMENDACIONES

Primero. A la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica, se recomienda prescindir, en la etapa actual, del modelamiento de filtros para la reducción de corrientes armónicas, debido a que el Sistema de Generación Distribuida presenta una calidad de energía óptima; no obstante, se sugiere establecer un programa de monitoreo semestral para asegurar que los niveles de distorsión se mantengan dentro de los límites de la NTCSE.

Segundo. Al Vicerrectorado de Investigación de la UNSAAC, utilizar el modelo de simulación desarrollado en esta tesis para realizar estudios de prefactibilidad en las demás facultades de la universidad. Esto permitirá proyectar el comportamiento técnico ante cargas similares y planificar la incorporación de paneles fotovoltaicos, evaluando preventivamente la necesidad de filtros armónicos según el crecimiento de la red institucional.

Tercero. A los futuros investigadores y tesistas del área de Potencia, se recomienda ampliar el modelo computacional incorporando los elementos de potencia "aguas arriba" del transformador de distribución. Esto permitirá obtener un panorama integral del comportamiento eléctrico, considerando la interacción entre el pabellón de Ingeniería Eléctrica y los pabellones circundantes.

Cuarto. A la Unidad de Mantenimiento de Infraestructura, considerar que el sistema fotovoltaico opera con un factor de potencia promedio de 0.45, influenciado por el comportamiento de la carga local. Por ello, se recomienda que futuras implementaciones de energías renovables incluyan mediciones previas de carga, debido a que la inyección de potencia activa y reactiva variará y modificará el perfil de afectación a la red de la concesionaria.

Bibliografía

Abengoa. (2018). *¿Qué es una Micro Grid?* La energía del cambio. http://www.laenergiadelcambio.com/que-es-microgrid/

Acero, J., Ortiz, A., Butron, M., & Hernandez, S. (2022). *Estudio del impacto de la generación fotovoltaica en la calidad de la energía eléctrica* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional.

Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6ª ed.). Editorial Episteme.

Atria Energía. (s. f.). *Blog de Atria Energía*. https://atriaenergia.com/blog/page/3/

Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación* (3ª ed.). Grupo Editorial Patria.

Cisterna Arellano, L., Améstica-Rivas, L., & Piderit Moreno, M. B. (2020). Proyectos fotovoltaicos en generación distribuida ¿Rentabilidad privada o sustentabilidad ambiental? *Revista Politécnica*, *45*(2), 31-40.

COES. (2022). *Estadísticas 2022*. https://www.coes.org.pe/Portal/publicaciones/estadisticas/estadistica?anio=2022

Comunidad de Madrid. (2007). *Guía básica de la generación distribuida*. Gráficas Elisa.

Coris, M., Torres, J., & Sihuincha, R. (2025). *Impacto de la generación distribuida solar en la calidad del producto de la energía* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

De la Torre, J. (2022). *Diseño de un sistema de generación distribuida fotovoltaica para el bloque D del Campus Sur* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional.

De Lorenzo. (s. f.). *Conversión CC-CA - Inversor y convertidores de frecuencia*. https://delorenzoglobal.com/es/electronica-de-potencia/convertidores/

Díaz, M. A. (2022). *Fundamentos de transitorios en redes eléctricas*. Universidad Carlos III de Madrid. https://ocw.uc3m.es/pluginfile.php/3890/mod_page/content/18/tema4_portada-2.pdf

DigSILENT. (s. f.). *PowerFactory applications*. https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html

EADIC. (s. f.). *Fundamentos electrónicos y configuración del sistema eléctrico de una central*.

Energos. (2019). *Calidad de energía*. https://www.grupoenergos.com/calidad-energia

ESSA Grupo EPM. (2021). *NTE-03 Calidad de potencia eléctrica*. https://www.essa.com.co/site/Portals/proveedores/nte-03%20calidad%20de%20potencia.pdf

Fornieles, F. (2021). *¿Qué es el THD?* Perturbaciones eléctricas. https://fornieles.es/perturbaciones-electricas/que-es-el-thd/

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.

Hossain, E., Razzak, S. M. A., Islam, S. M. R., Amin, R. A., Alam, S. M. M., & Haque, E. (2023). High penetration of solar photovoltaic structure on the grid system disruption. *Sustainability, 15*(2), 1174.

IEEE. (2014). *IEEE Std 519-2014: IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. IEEE.

IEEE. (2019). *IEEE Std 1159-2019: IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. IEEE.

Ministerio de Energía y Minas. (2010). *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos*. Lima, Perú.

Novum Solar. (2021). *Media celda y celda completa: ¿Qué panel solar es mejor?* https://novumsolar.com/que-panel-solar-es-mejor/

Pepeenergy. (s. f.). *¿Qué es un Flicker de electricidad?* https://www.pepeenergy.com/blog/glosario/definicion-flicker-de-electricidad/

Salazar, R. (2025). Evaluación técnica de la generación distribuida en redes de baja tensión mediante modelamiento computacional. *Revista de Ingeniería Eléctrica*.

Schneider Electric. (2023). *PowerLogic: Calculate the number of required pulses*. https://digital-energy-help.se.com/pm8000/es/content/18-accuracy/calculate-the-number-of-required-pulses.htm

ANEXOS

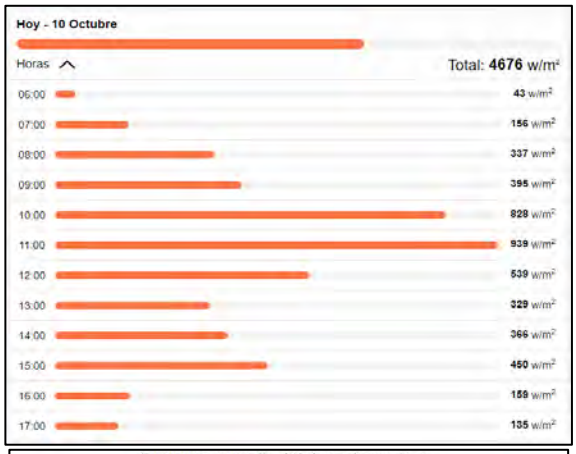
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

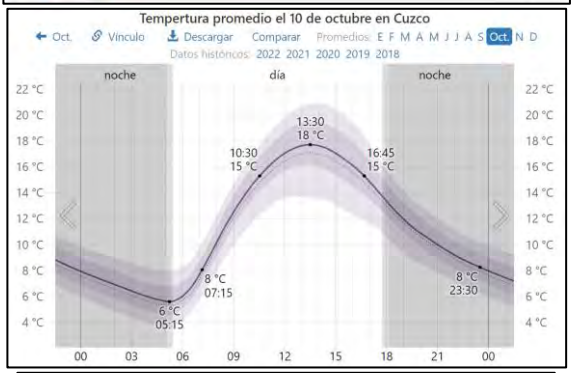
MATRIZ DE CONSISTENCIA

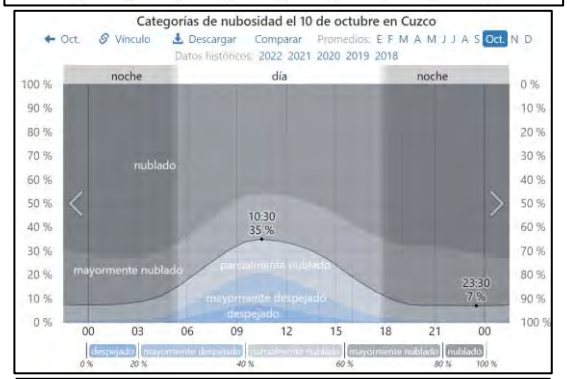
Tema: "Evaluación de la calidad del producto de la energía eléctrica en el Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica del Pabellon de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica – UNSAAC"

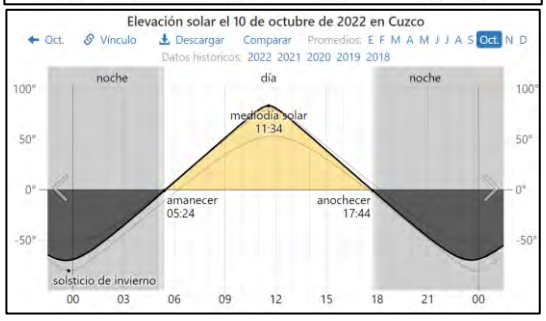
PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEORICO	HIPÓTESIS	CONCLUSIONES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA	TECNICAS E INSTRUMENTOS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL		HIPÓTESIS GENERAL	CONCLUSIÓN GENERAL			
¿Cuál es el resultado de la evaluación de la calidad del producto de la energía eléctrica en el Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica?	Evaluar la calidad del producto de la energía eléctrica generada del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica del Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica.		La instalación de Paneles Fotovoltáicos en la Escuela Profesional de Ingenieria Eléctrica genera efecto ligeramente negativo en la calidad del producto de la energía eléctrica de la red pero se mantiene dentro de los limites	La calidad del producto de la energía eléctrica generada por el Sistema de Generación Distribuida Solar se encuentra en los niveles óptimos según la NTCSE no presentando ningún riesgo en la conexión con la red.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN El nivel de investigación empleado es **exploratorio y descriptivo.** TIPO DE INVESTIGACIÓN Según su proposito: **Aplicada** Según su Profundización: **Descriptiva y Explicativa.** Según el tipo de datos empleados: **Cuantitativa** Según el grado de manipulación de variables: **No experimental** Según su Inferencia: **Deductiva** Según su temporalidad: **Longitudinal**	POBLACIÓN La población esta formada por los sistemas de Generación Distribuida de la región. TAMAÑO DE MUESTRA La muestra esta conformada por el sistema de Generación Distribuida del Pabellon de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica	TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN - Método de observación - Análisis Documental INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS - Fichas Técnicas - Analizador de redes - Simulacion por Software DigSilent - Procesamiento de Información por Software especializado METREL PowerView
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS		HIPÓTESIS ESPECIFICAS	CONCLUSIONES ESPECIFICAS			
1)¿Serán los parámetros de calidad del producto de la energía eléctrica obtenidos de la recopilación de datos mediante el analizador de redes y datos climatológicos los más óptimos para el análisis y evaluación del problema en el sistema de generación distribuida solar fotovoltaica del Pabellón de Ingeniería Eléctrica? 2)¿Con que exactitud se podrá modelar el sistema de generación distribuida solar fotovoltaica del pabellón de Ingeniería Eléctrica mediante herramientas computacionales para el análisis de calidad del producto de la energía eléctrica de diferentes escenarios? 3)¿Qué tanto se diferencia la calidad del producto de la energía eléctrica entregada por el Sistema de Generación Distribuida Solar fotovoltaica con respecto a la entregada por la red? 4)¿Cuáles serían los efectos ocasionados en la calidad del producto de la energía eléctrica de la red de distribución con la implementación del Sistema de Generación Distribuida Solar fotovoltaica en el Pabellón de Ingeniería Eléctrica?	1. Determinar los parametros de calidad del producto de la energía eléctrica obtenidos de la recopilación de datos del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica del Pabellón de Ingeniería Eléctrica. 2. Modelar el sistema de generación distribuida solar del pabellón de Ingeniería Eléctrica mediante herramientas computacionales para determinar la calidad del producto Fotovoltaica de la energía eléctrica. 3. Comparar los resultados de calidad del producto de la energía eléctrica obtenidos del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica con los de la red. 4. Evaluar los efectos negativos en la calidad del producto de la energía eléctrica ocasionados debido al uso del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica.	- Paneles Fotovoltaicos - Generación Distribuida - La calidad del producto de la energía eléctrica Eléctrica - Perturbaciones Armónicas	1. El analizador de redes proporciono la informacion suficiente para poder determinar los parametros de calidad del producto de la energía eléctrica como tensión, frecuencia y THD en el SIstema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica. 2. Se Logro obtener un modelo de simulación confiable del Sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica que ayudó a determinar la calidad del producto de la energía eléctrica. 3. El sistema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica prueba tener una calidad del producto de la energía eléctrica de menor calidad que el de la red de distribución. 4. La implementación de un SIstema de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica ocasiona efectos ligeramente negativos en la calidad del producto de la energía eléctrica debido a componentes no lineales.	1. Los parametros de calidad del producto de la energía eléctrica proporcionados por el analizador de redes son satisfactorios para el analisis de escenarios. 2. El modelo del sistema de generación distribuida presenta una similitud entre 94.2% con respecto a la relidad. 3. Los resultados obtenidos indican una menor distorsión de demanda por el Panel Fotovoltaico que por el Sistema y una distorsión armonica relativamente similar. 4. El uso del Sistema de Generación Distribuida Solar aumento los niveles de TDD un 46.29% al sistema pero al poseer baja carga no lineal, el THD permanecio casi sin cambios.			

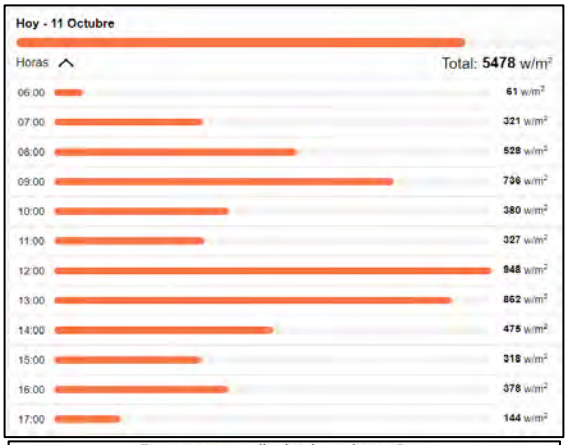
ANEXO 2: DATOS CLIMATOLOGICOS DE LOS DIAS DE MEDICIÓN

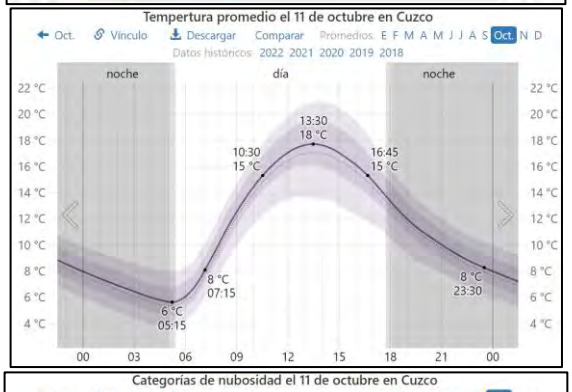


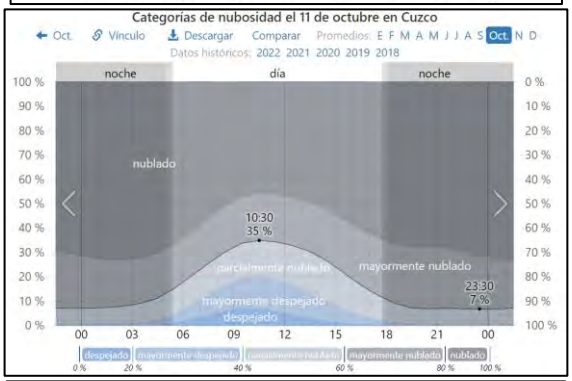


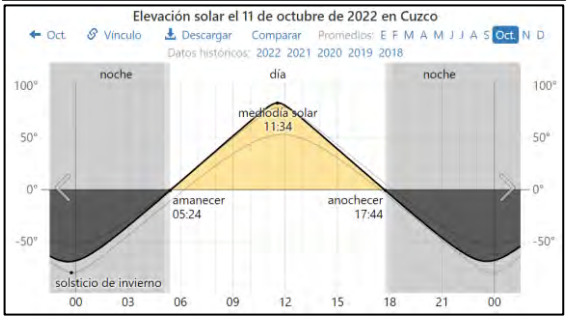


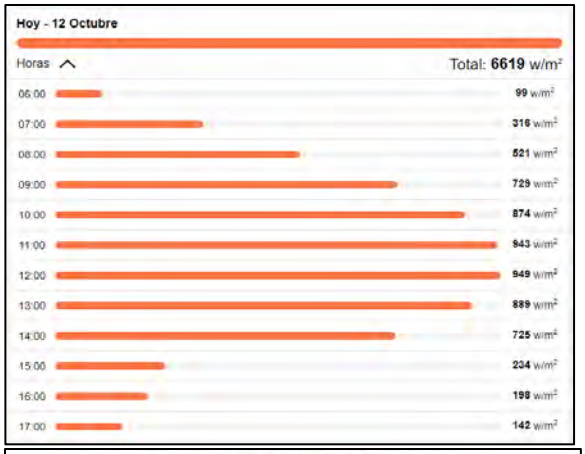




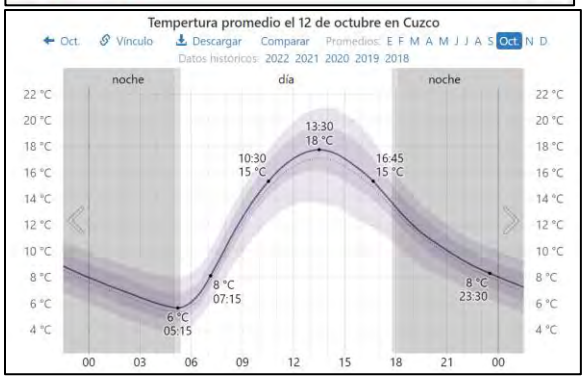


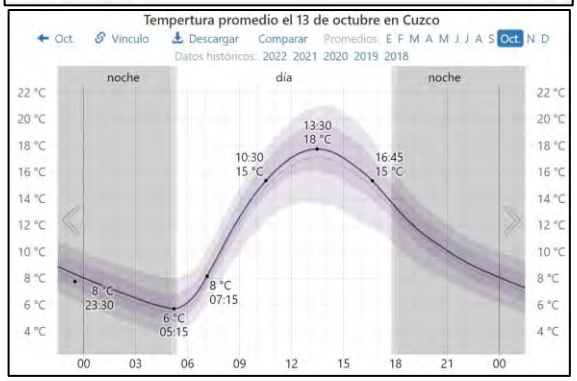


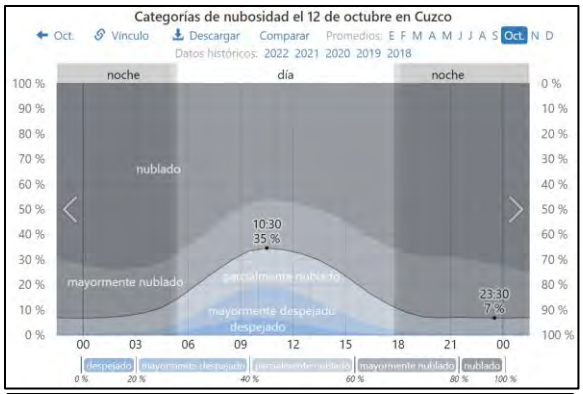


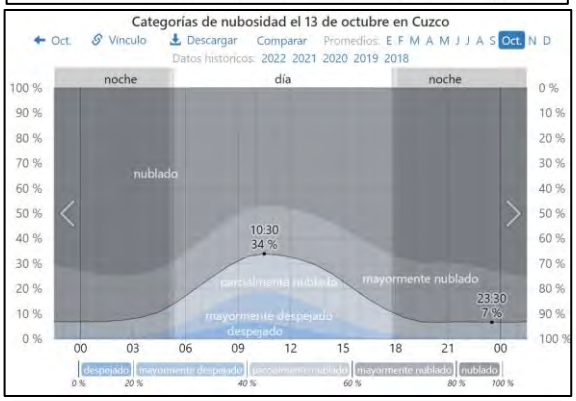

Hoy - 12 Octubre
Horas
Total: 6619 w/m²
06:00 99 w/m²
07:00 316 w/m²
08:00 521 w/m²
09:00 729 w/m²
10:00 874 w/m²
11:00 943 w/m²
12:00 949 w/m²
13:00 889 w/m²
14:00 725 w/m²
15:00 234 w/m²
16:00 198 w/m²
17:00 142 w/m²

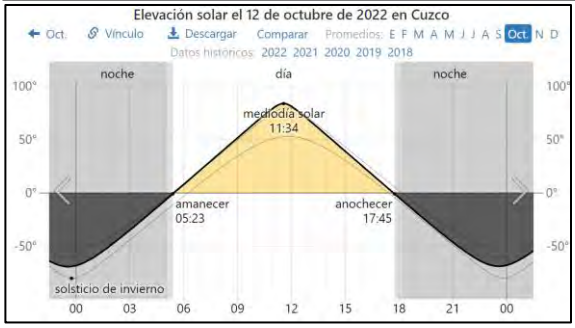

Hoy - 13 Octubre
Horas
Total: 6310 w/m²
06:00 106 w/m²
07:00 348 w/m²
08:00 555 w/m²
09:00 689 w/m²
10:00 875 w/m²
11:00 886 w/m²
12:00 948 w/m²
13:00 671 w/m²
14:00 511 w/m²
15:00 307 w/m²
16:00 271 w/m²
17:00 143 w/m²

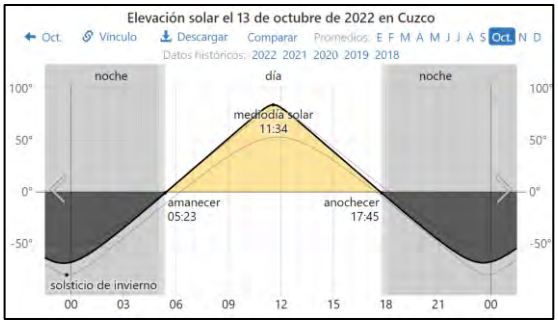

Tempertura promedio el 12 de octubre en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
13:30
18 °C
10:30
15 °C
16:45
15 °C
8 °C
07:15
6 °C
05:15
8 °C
23:30

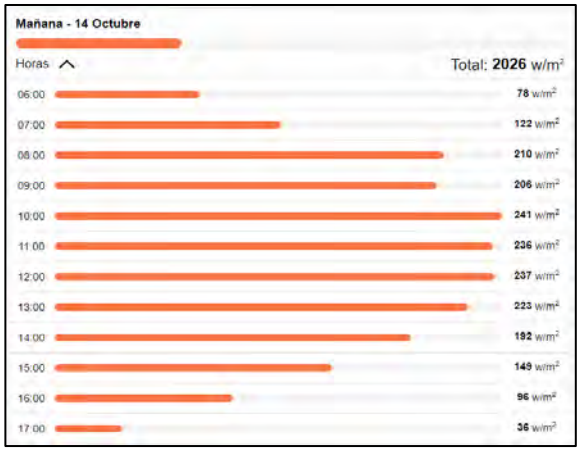

Tempertura promedio el 13 de octubre en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
13:30
18 °C
10:30
15 °C
16:45
15 °C
8 °C
23:30
6 °C
05:15
8 °C
07:15

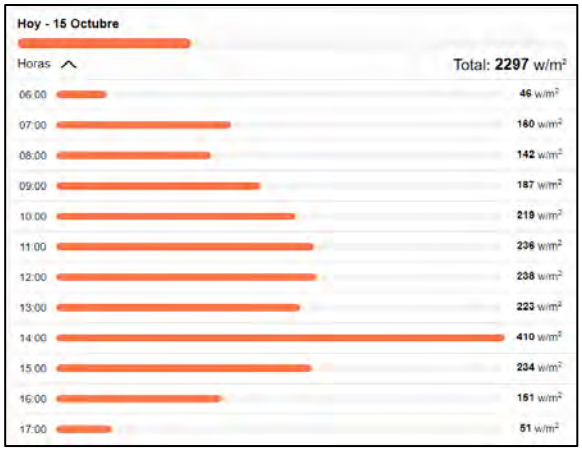

Categorías de nubosidad el 12 de octubre en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
nublado
10:30
35 %
mayormente nublado
parcialmente nublado
23:30
7 %
mayormente despejado
despejado
despejado
mayormente despejado
parcialmente nublado
mayormente nublado
nublado

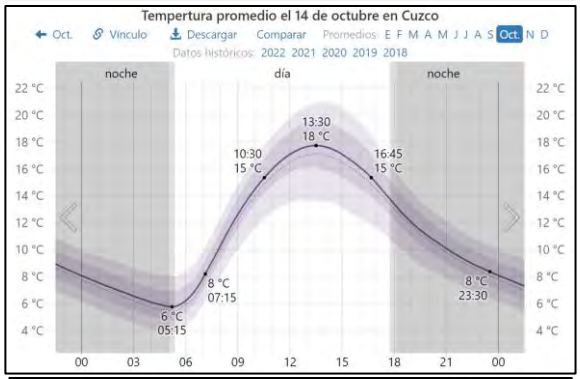

Categorías de nubosidad el 13 de octubre en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
nublado
10:30
34 %
parcialmente nublado
mayormente nublado
23:30
7 %
mayormente despejado
despejado
despejado
mayormente despejado
parcialmente nublado
mayormente nublado
nublado

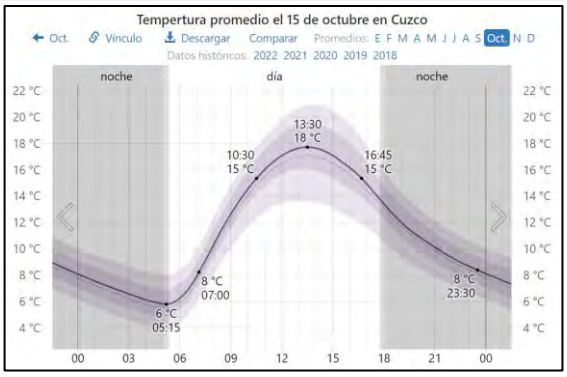

Elevación solar el 12 de octubre de 2022 en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
mediodía solar
11:34
amanecer
05:23
anochecer
17:45
solsticio de invierno

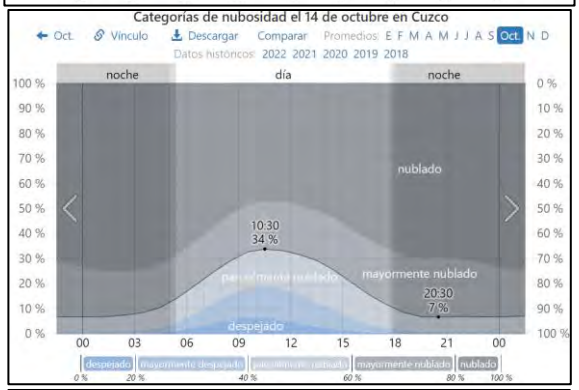

Elevación solar el 13 de octubre de 2022 en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
mediodía solar
11:34
amanecer
05:23
anochecer
17:45
solsticio de invierno

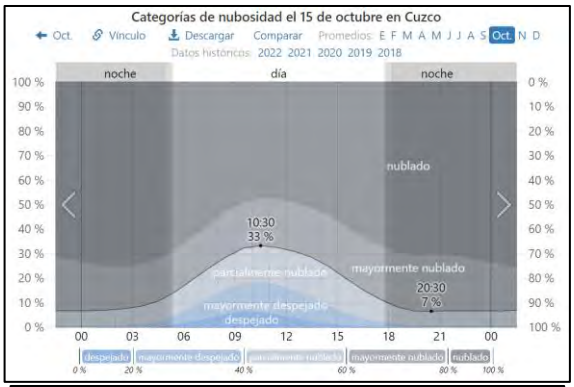

Mañana - 14 Octubre
Horas
Total: 2026 w/m²
06:00 78 w/m²
07:00 122 w/m²
08:00 210 w/m²
09:00 206 w/m²
10:00 241 w/m²
11:00 236 w/m²
12:00 237 w/m²
13:00 223 w/m²
14:00 192 w/m²
15:00 149 w/m²
16:00 96 w/m²
17:00 36 w/m²

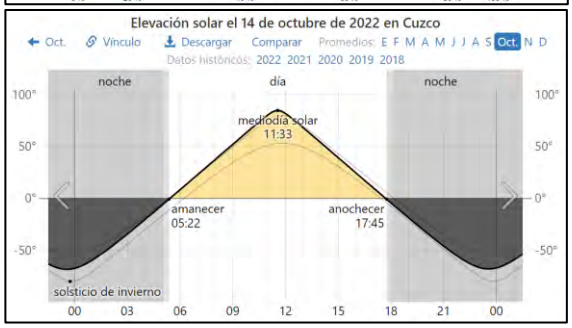

Hoy - 15 Octubre
Horas
Total: 2297 w/m²
06:00 46 w/m²
07:00 160 w/m²
08:00 142 w/m²
09:00 187 w/m²
10:00 219 w/m²
11:00 236 w/m²
12:00 238 w/m²
13:00 223 w/m²
14:00 410 w/m²
15:00 234 w/m²
16:00 151 w/m²
17:00 51 w/m²

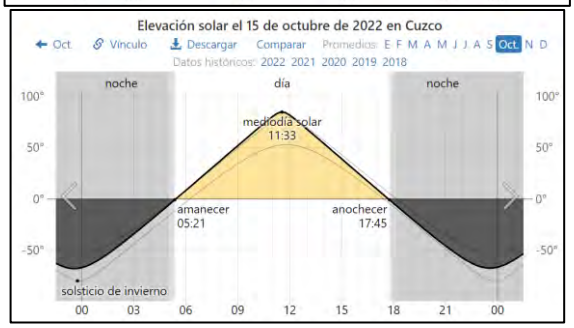

Tempertura promedio el 14 de octubre en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
13:30
18 °C
10:30
15 °C
16:45
15 °C
8 °C
07:15
6 °C
05:15
8 °C
23:30

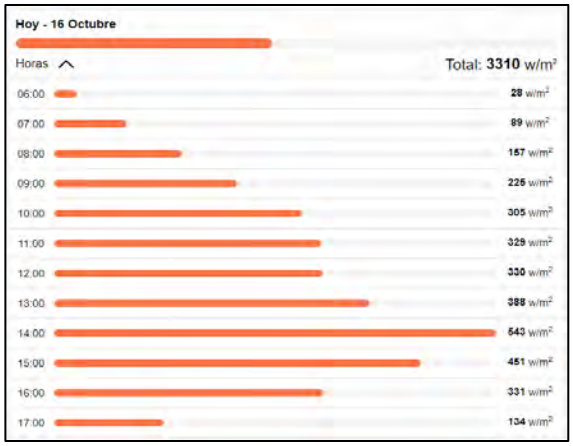

Tempertura promedio el 15 de octubre en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
13:30
18 °C
10:30
15 °C
16:45
15 °C
8 °C
07:00
6 °C
05:15
8 °C
23:30

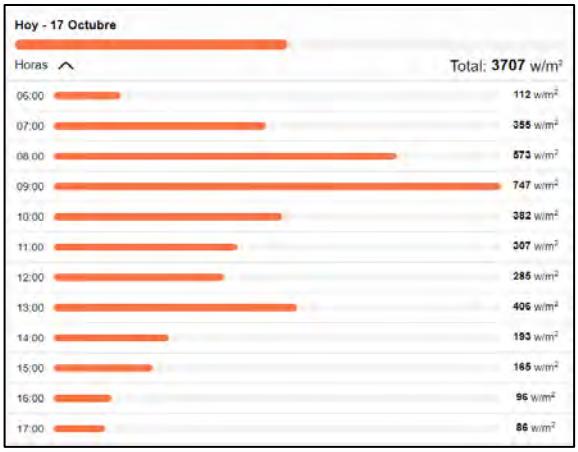

Categorías de nubosidad el 14 de octubre en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
nublado
10:30
34 %
mayormente nublado
20:30
7 %
despejado

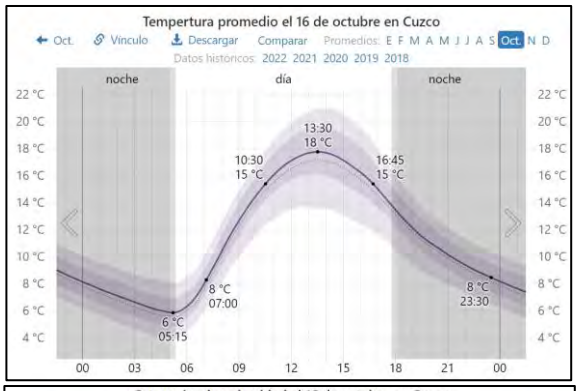

Categorías de nubosidad el 15 de octubre en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
nublado
10:30
33 %
parcialmente nublado
mayormente nublado
20:30
7 %
mayormente despejado
despejado

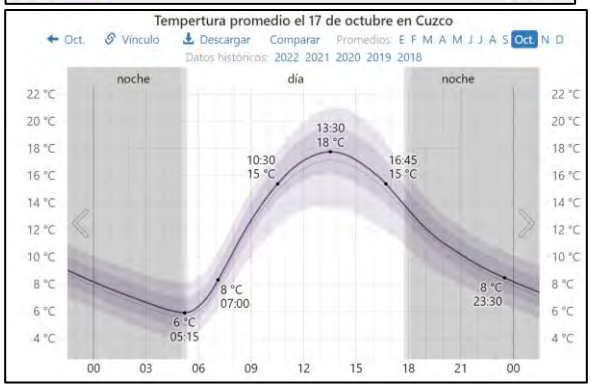

Elevación solar el 14 de octubre de 2022 en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
mediodía solar
11:33
amanecer
05:22
anochecer
17:45
solsticio de invierno

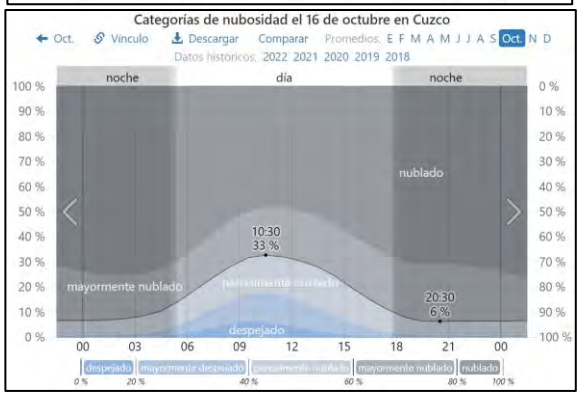

Elevación solar el 15 de octubre de 2022 en Cuzco
Oct. Vínculo Descargar Comparar Promedios: E F M A M J J A S Oct. N D
Datos históricos: 2022 2021 2020 2019 2018
noche
día
noche
mediodía solar
11:33
amanecer
05:21
anochecer
17:45
solsticio de invierno

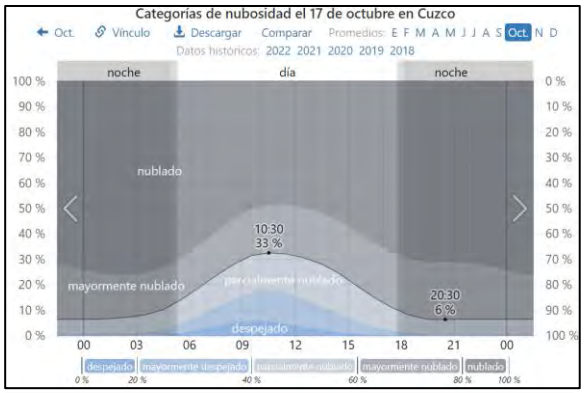


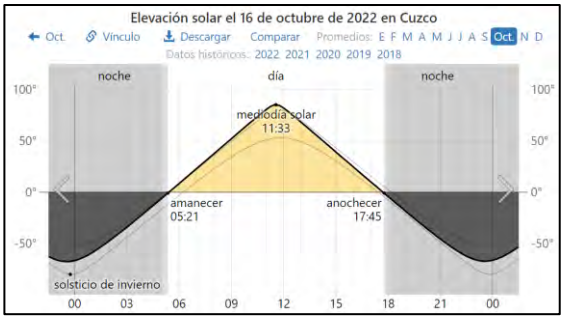


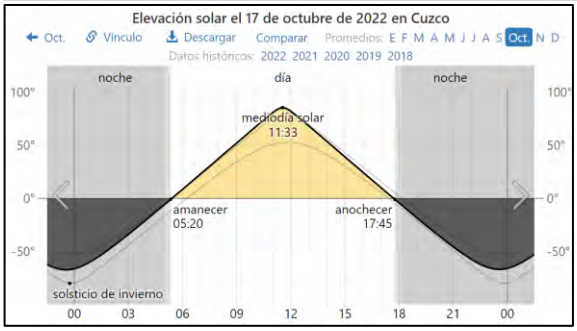








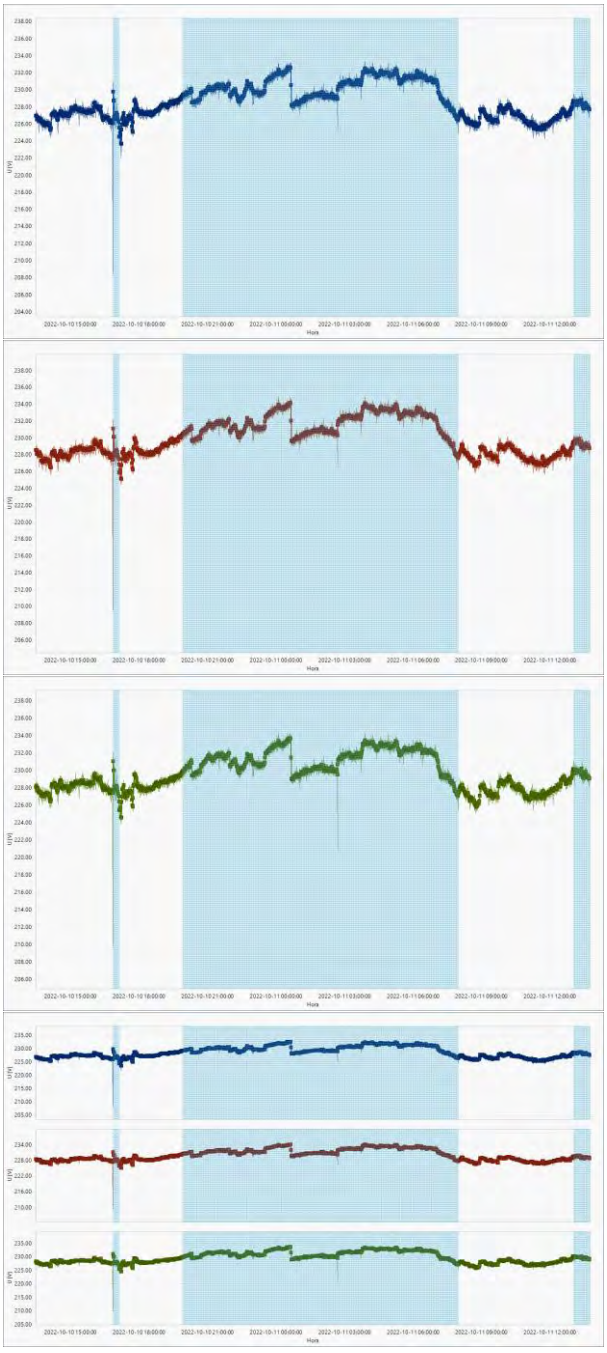




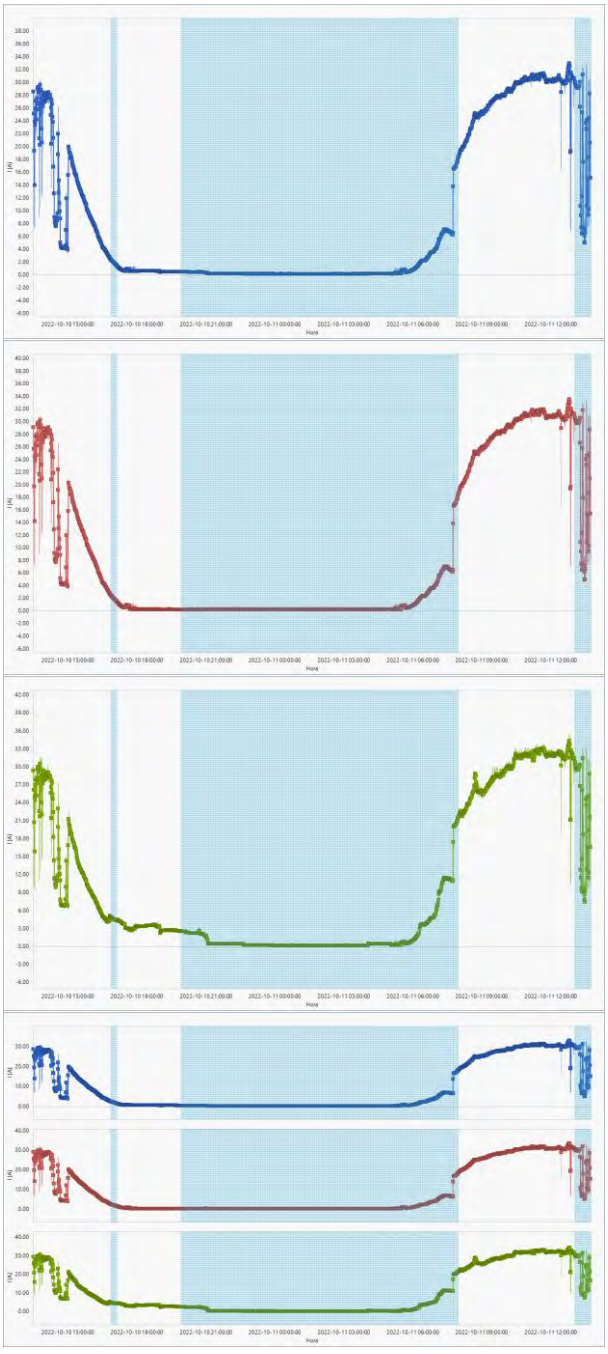
Nota: Tutiempo.net / Wheather Spark

ANEXO 3: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 01

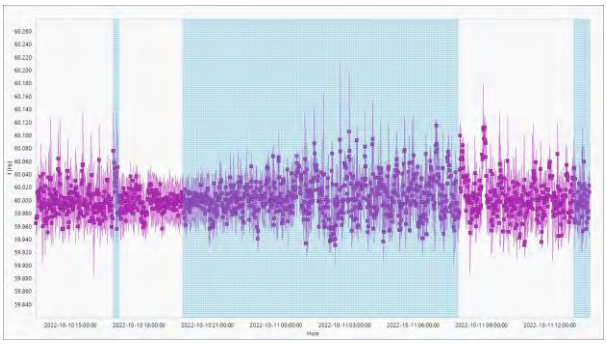
GRAFICAS DE TENSION



GRAFICAS DE CORRIENTE

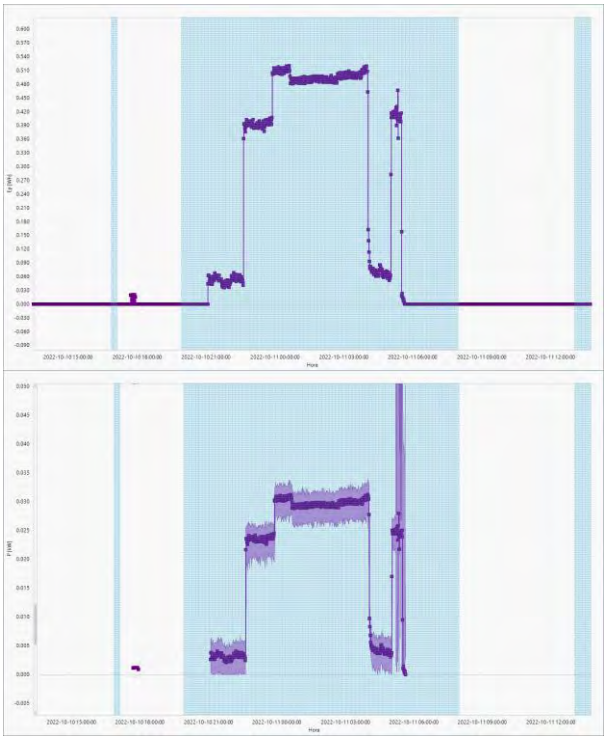


FRECUENCIA

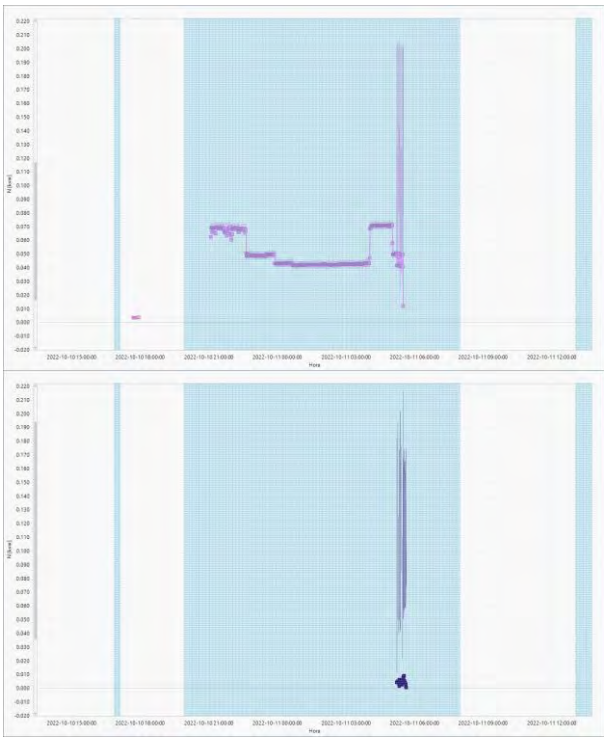


POTENCIA CONSUMIDA COMBINADA (FUNDAMENTAL Y NO FUNDAMENTAL)

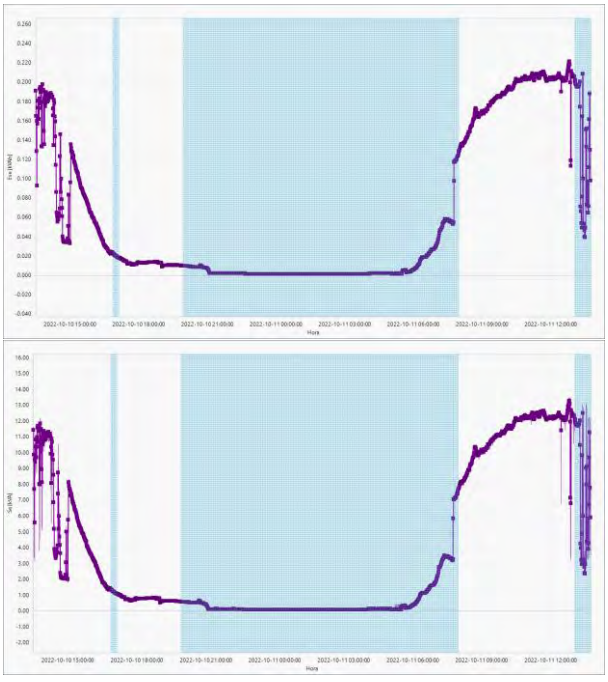
POTENCIA Y ENERGIA ACTIVA



POTENCIA Y ENERGIA REACTIVA



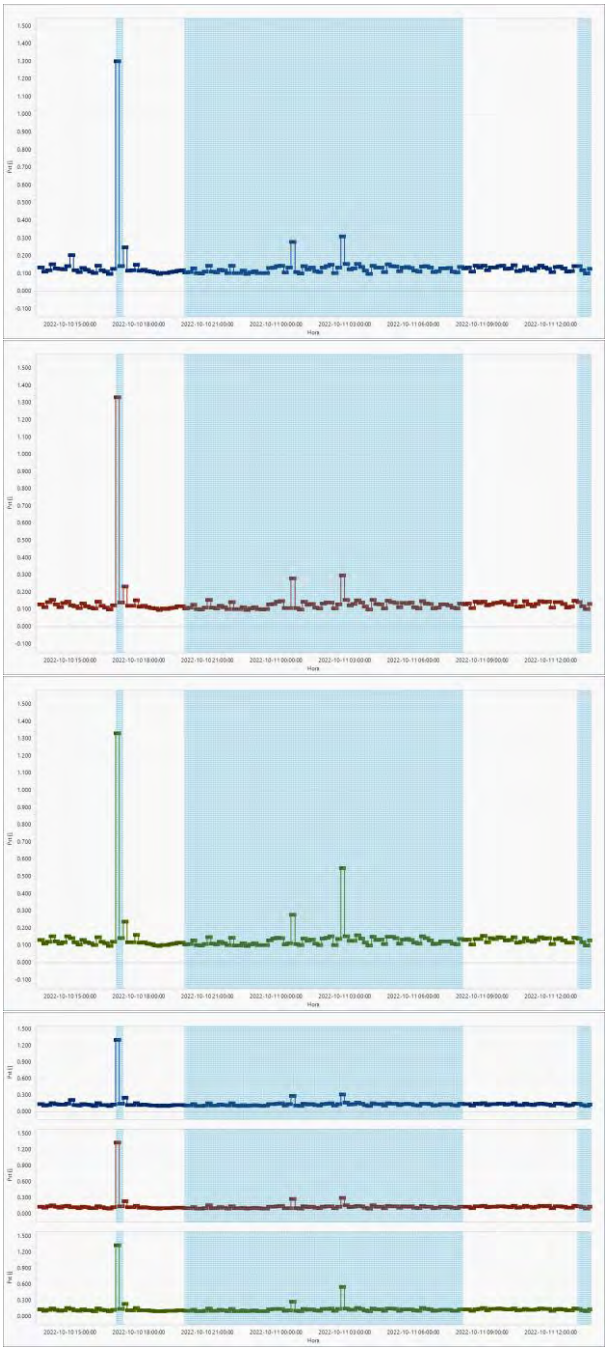
POTENCIA Y ENERGIA APARENTE



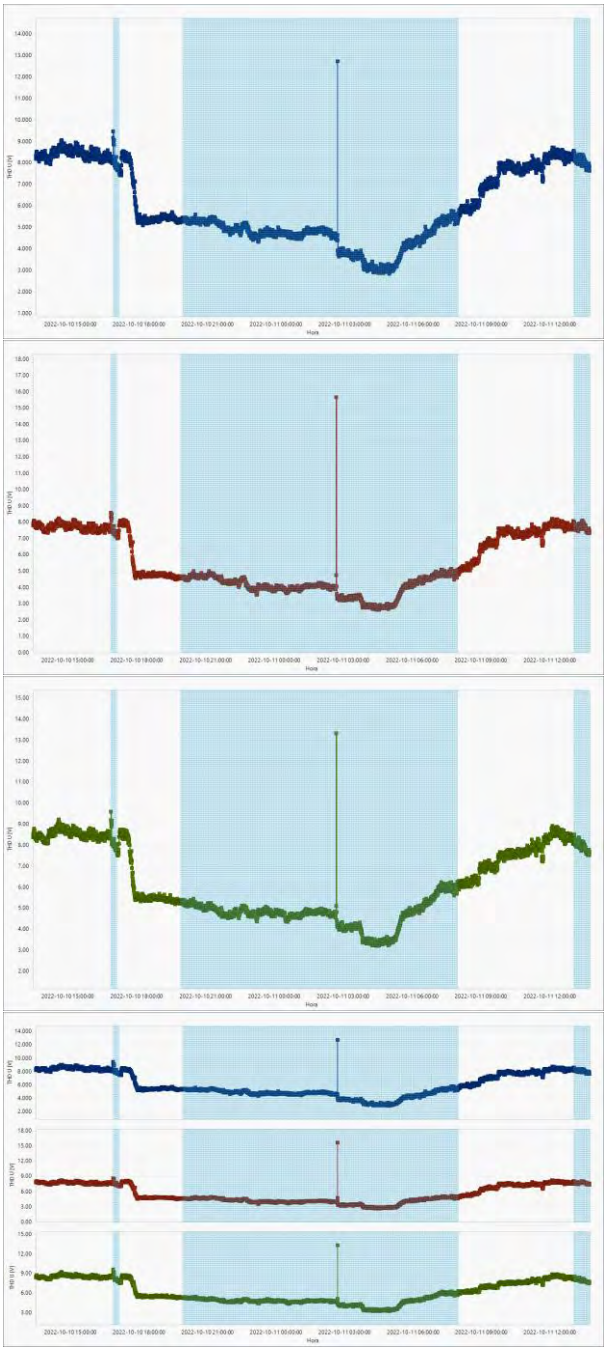
LONG TERM FLICKER PERCEPTIBILITY



SHORT TERM FLICKER PERCEPTIBILITY



THD DE TENSIÓN

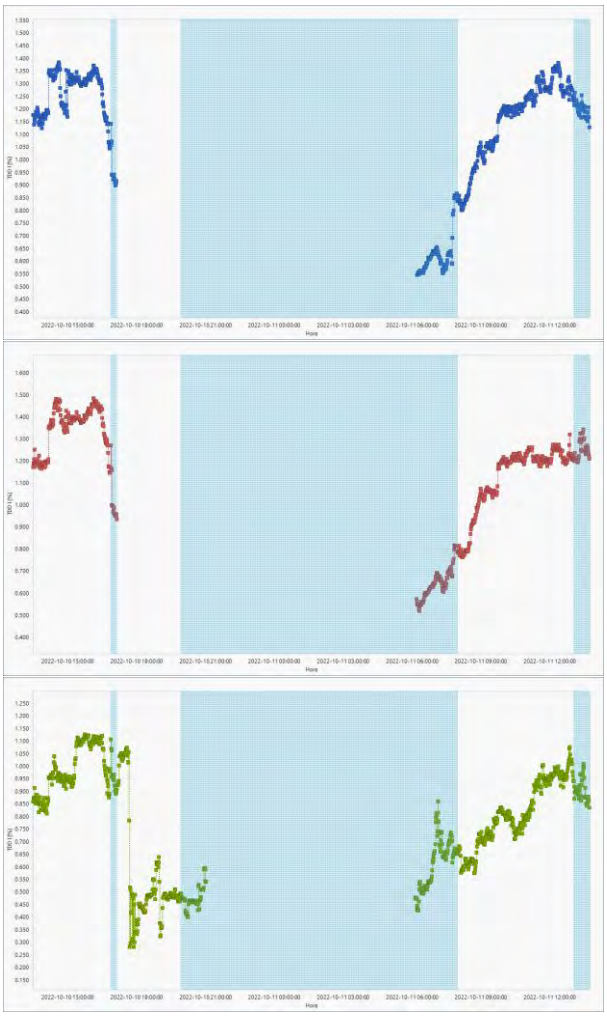


THD DE CORRIENTE

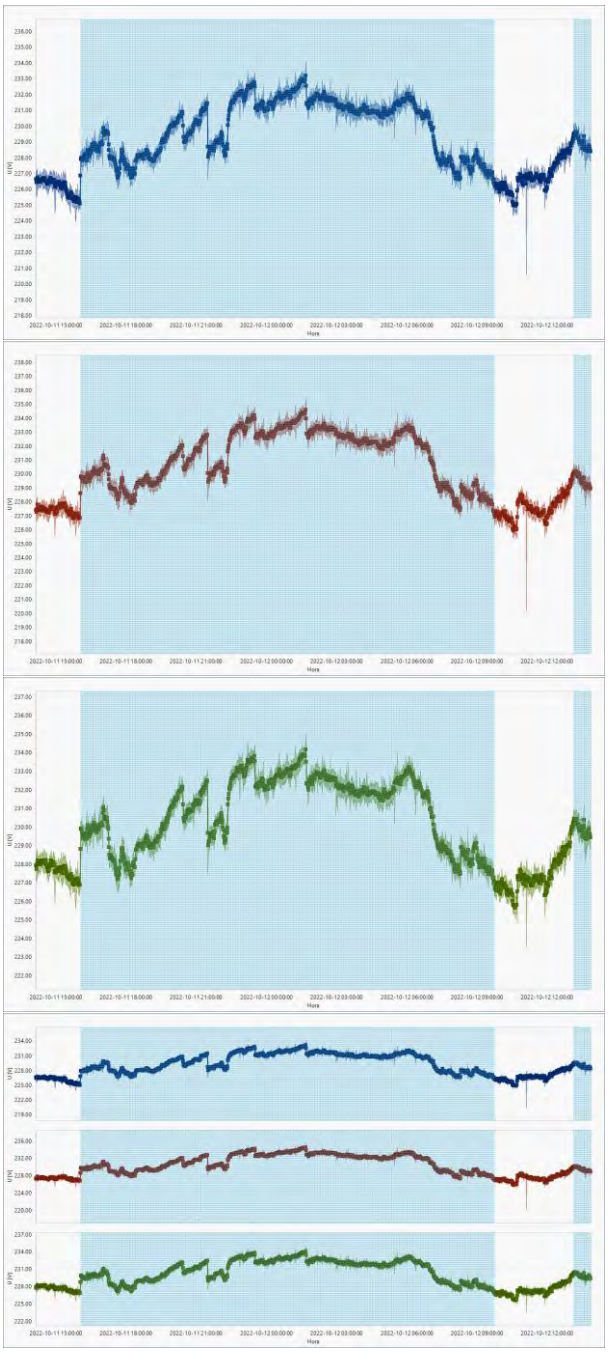


ANEXO 4: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 02

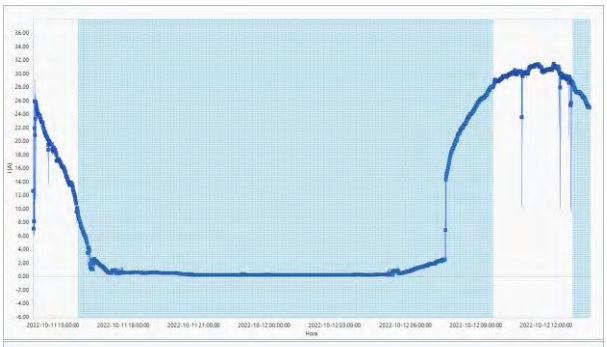
DISTORSION DE LA DEMANDA TOTAL

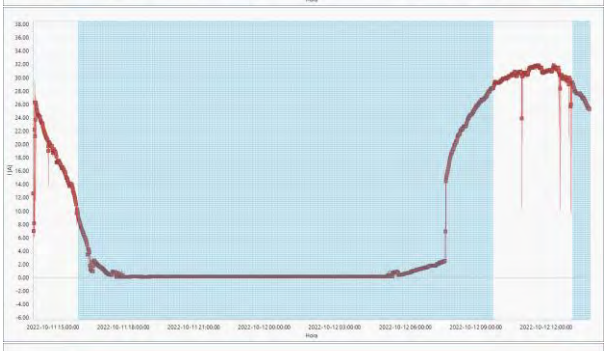


TENSION

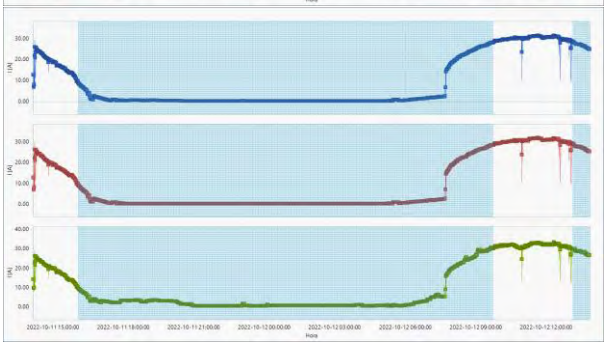


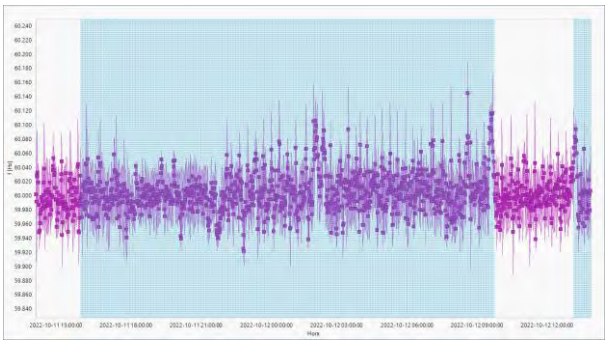
CORRIENTE





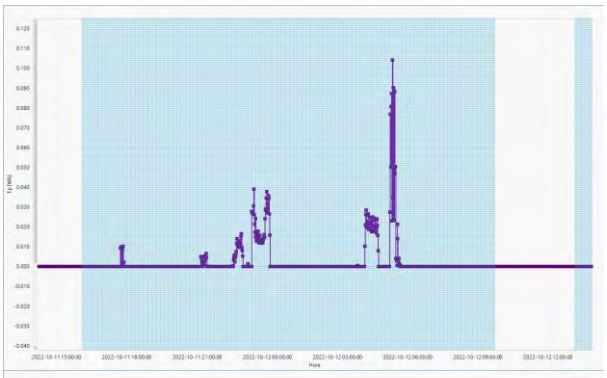


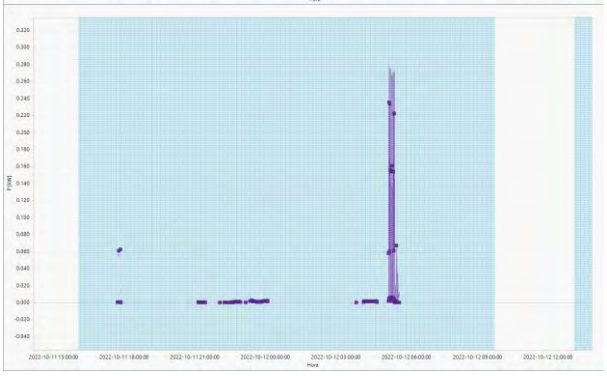




POTENCIA CONSUMIDA COMBINADA (FUNDAMENTAL Y NO FUNDAMENTAL)

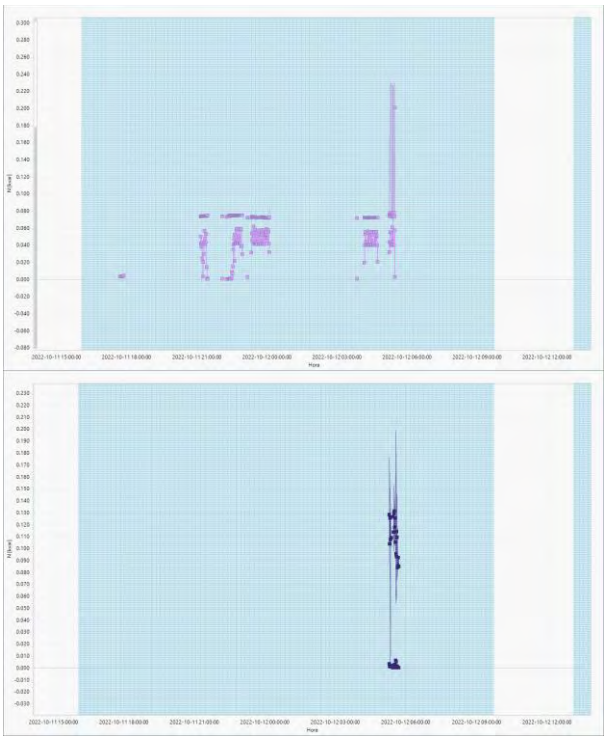
POTENCIA Y ENERGIA ACTIVA



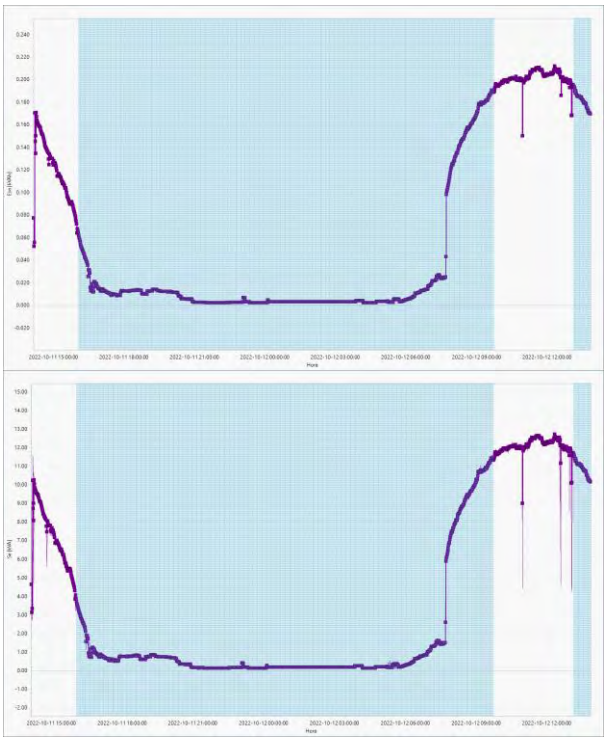


POTENCIA Y ENERGIA REACTIVA

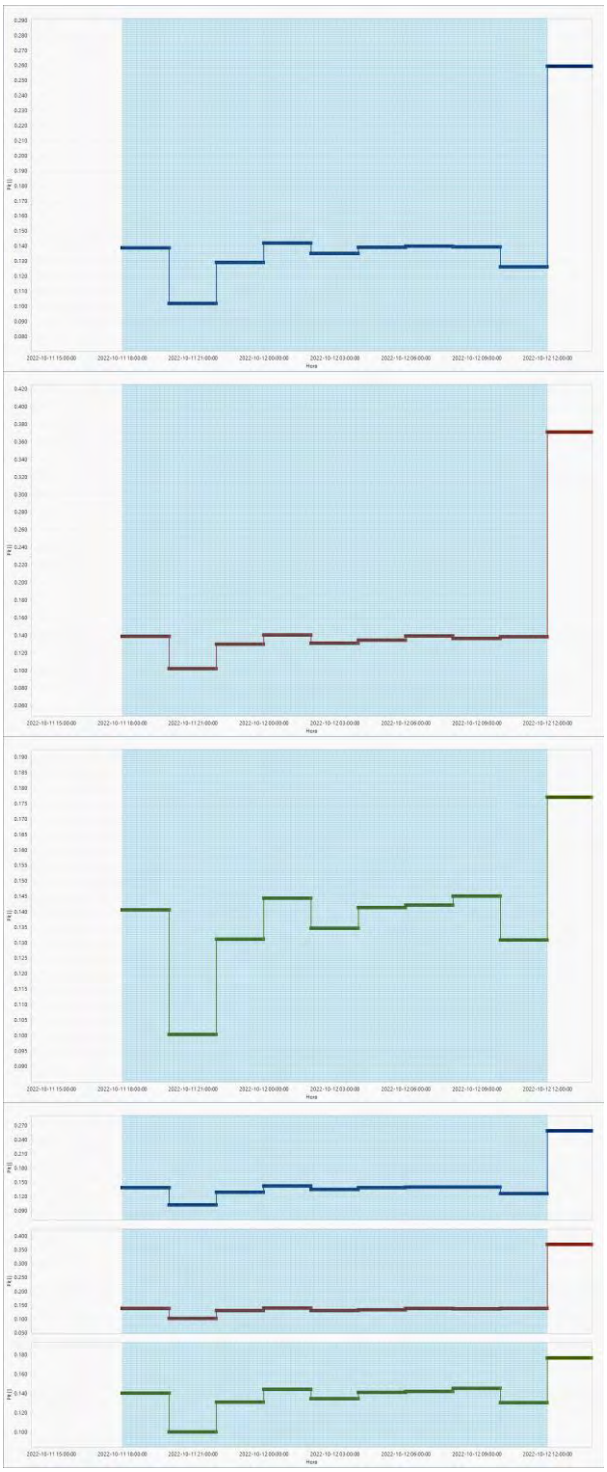
FRECUENCIA



POTENCIA Y ENERGIA APARENTE



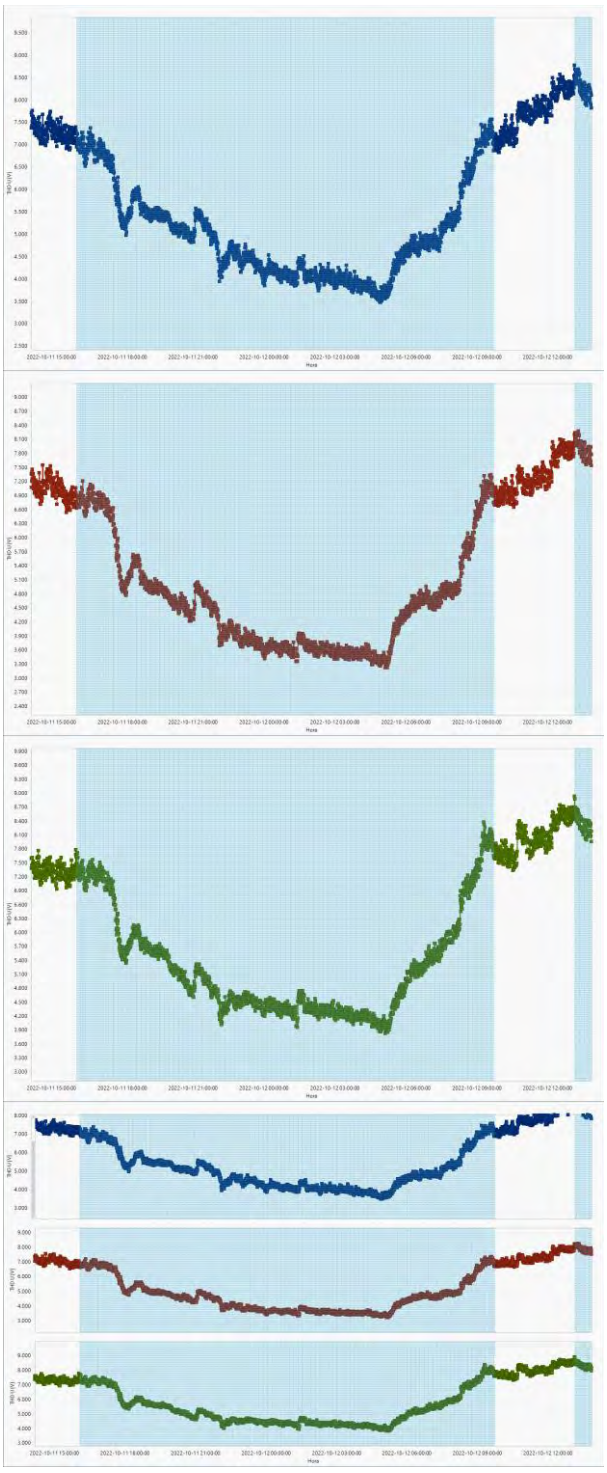
LONG TERM FLICKER PERCEPTIBILITY



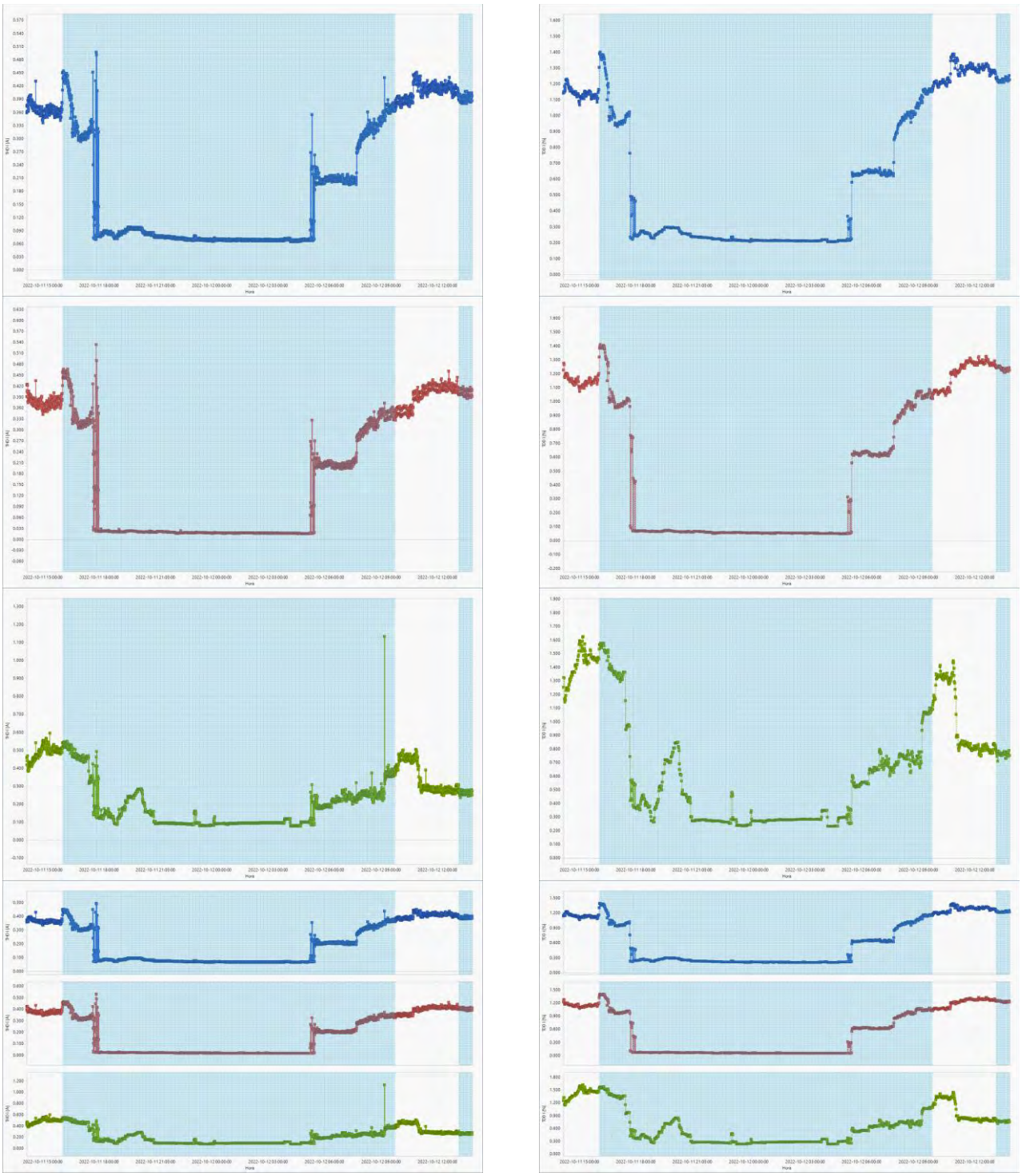
SHORT TERM FLICKER PERCEPTIBILITY



THD DE TENSIÓN



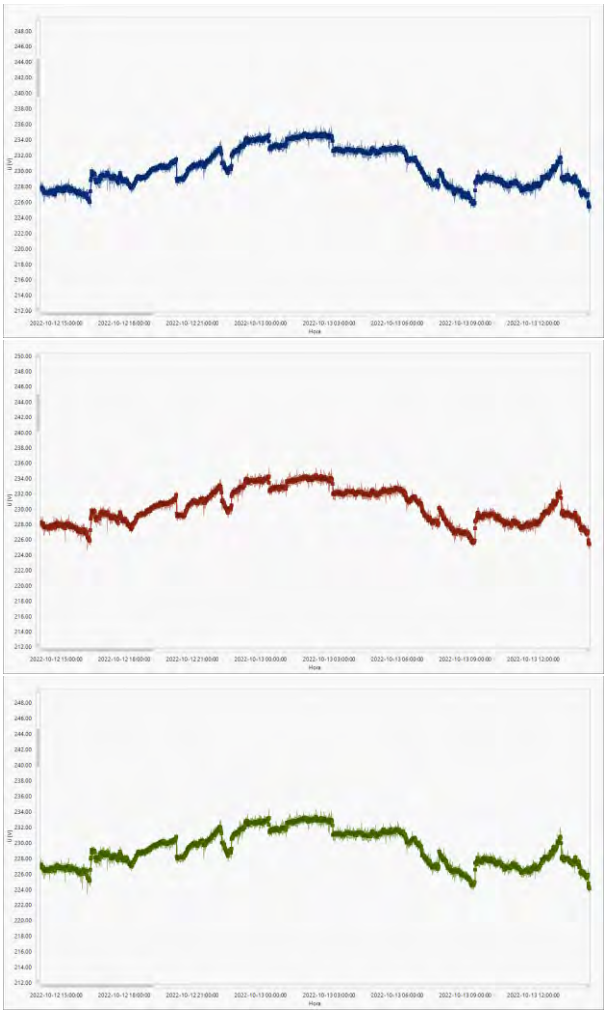
THD DE CORRIENTE



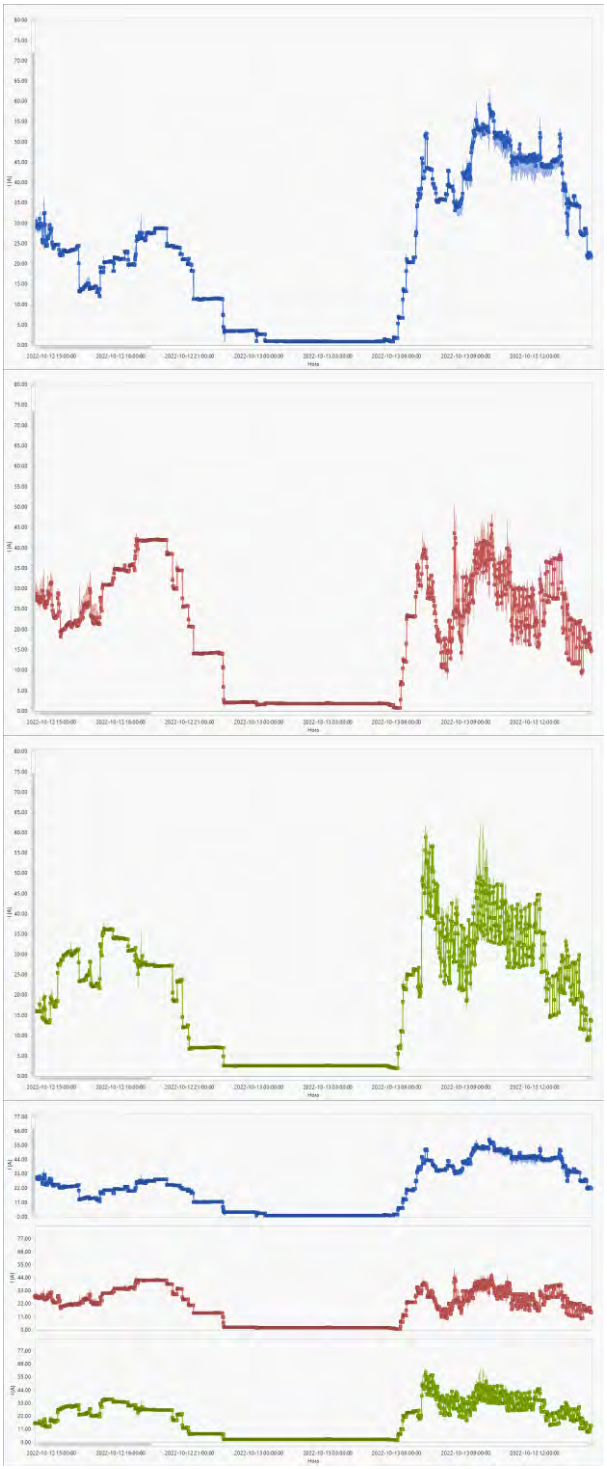
DISTORSIÓN DE LA DEMANDA TOTAL

ANEXO 5: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 03

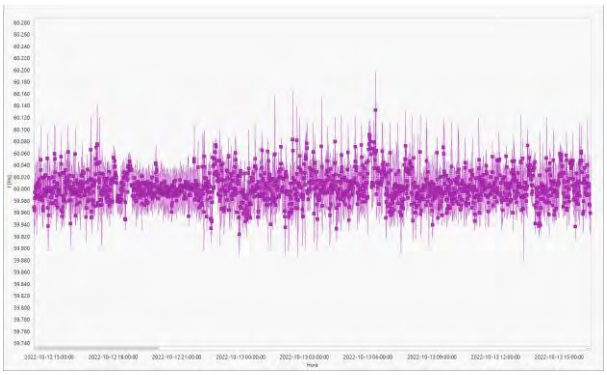
TENSION



CORRIENTE

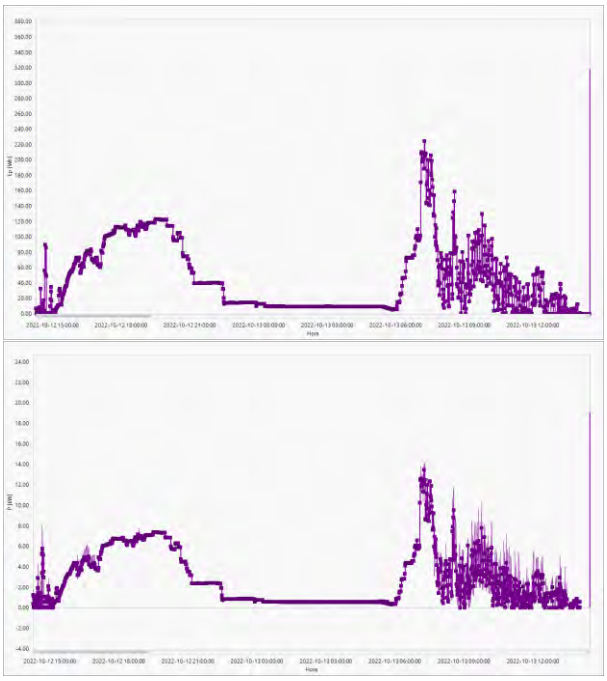


FRECUENCIA

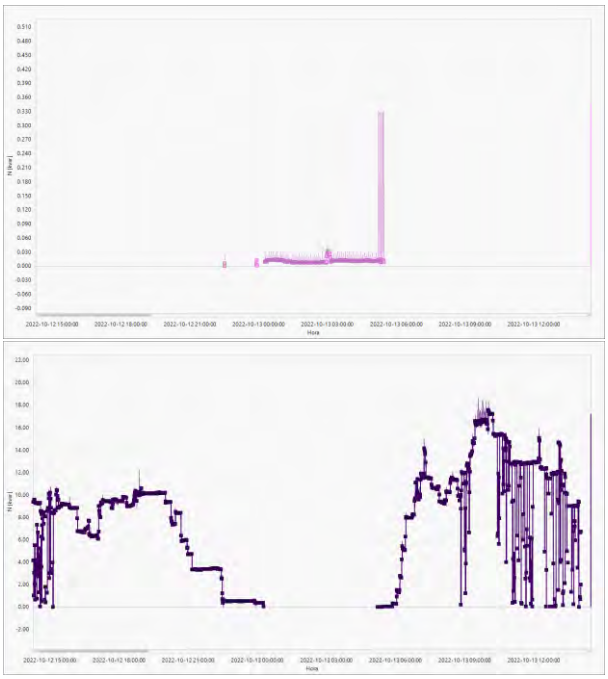


POTENCIA CONSUMIDA COMBINADA (FUNDAMENTAL Y NO FUNDAMENTAL)

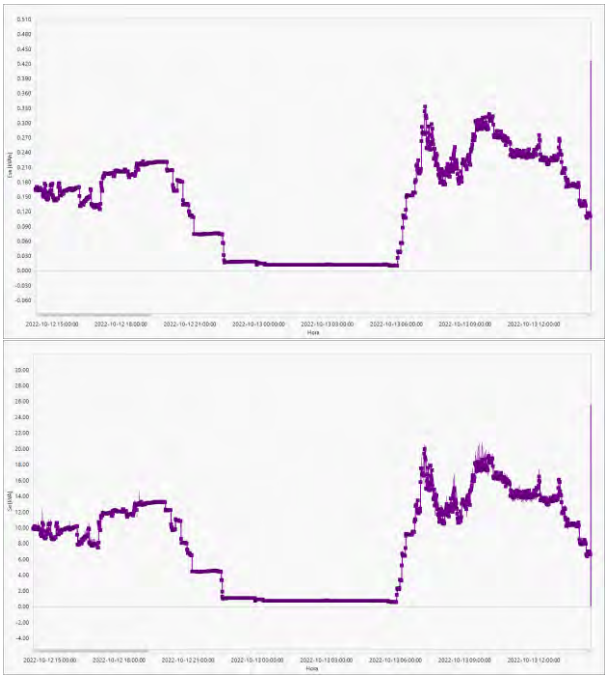
POTENCIA Y ENERGIA ACTIVA



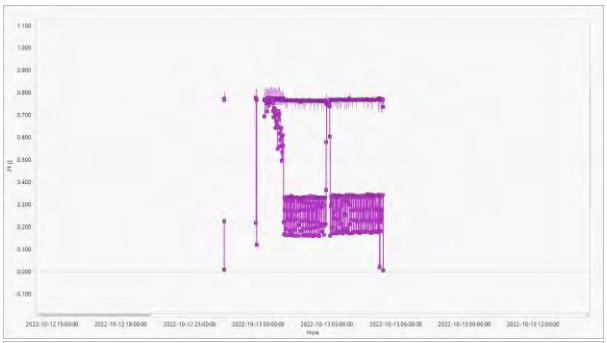
POTENCIA Y ENERGIA REACTIVA

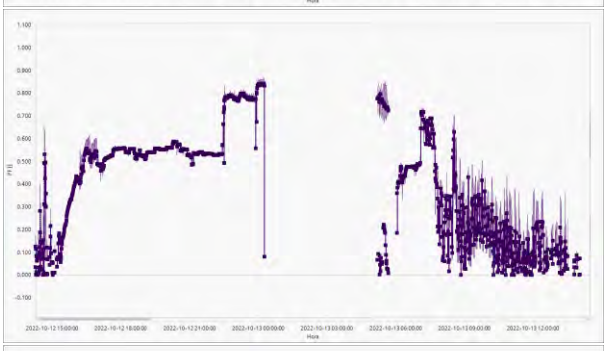


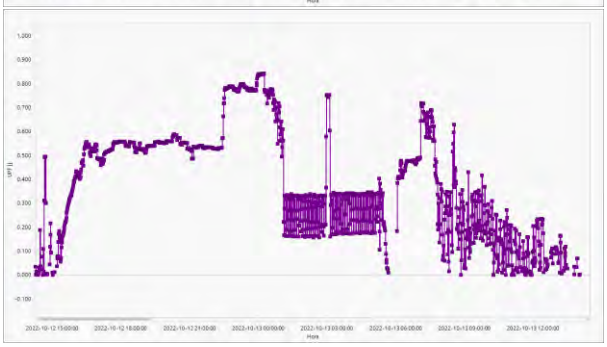
POTENCIA Y ENERGÍA APARENTE



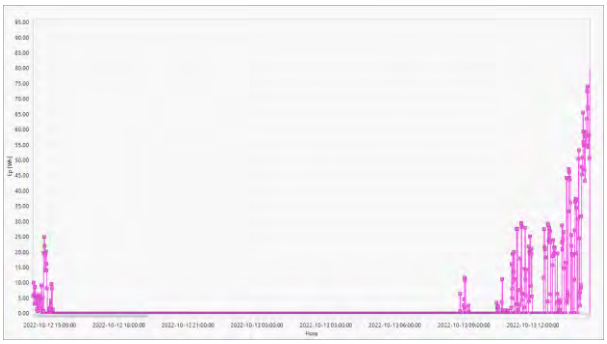
FACTOR DE POTENCIA

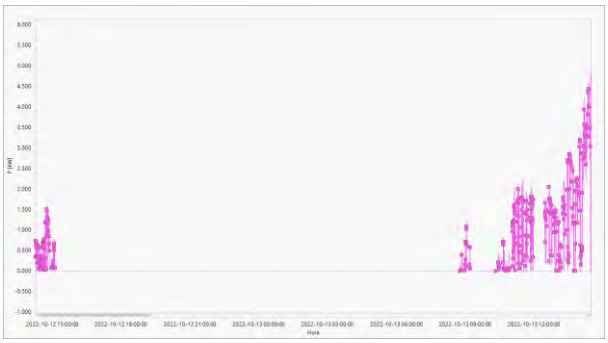




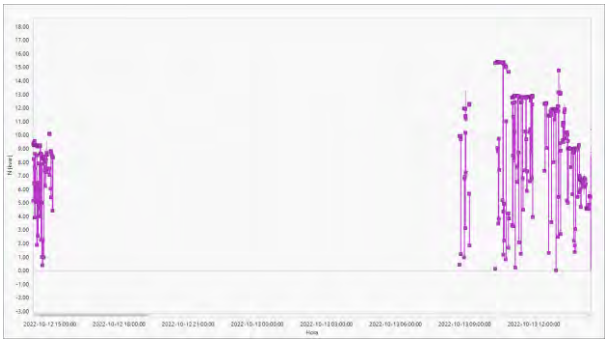


POTENCIA Y ENERGIA GENERADA





POTENCIA Y ENERGIA CAP. REACTIVA GENERADA



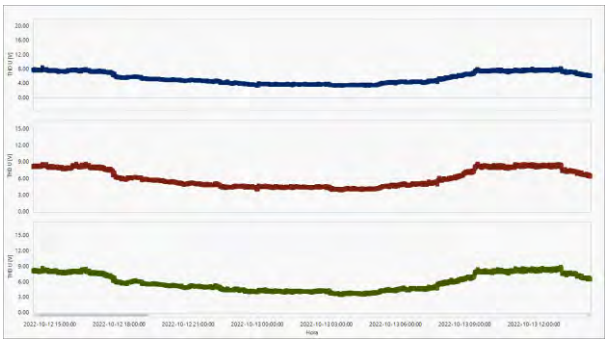
POTENCIA Y ENERGIA APARENTE GENERADA



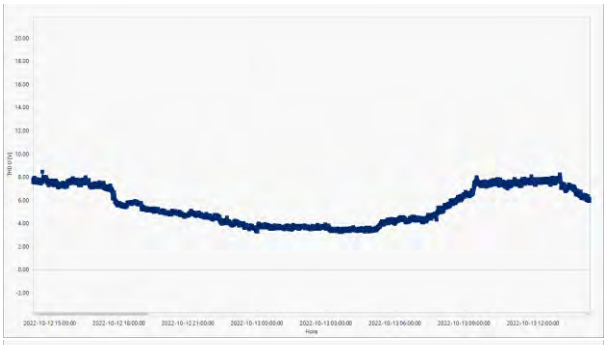


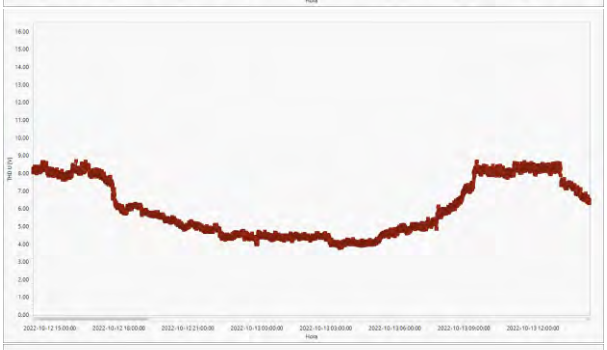
FACTOR DE POTENCIA CAP

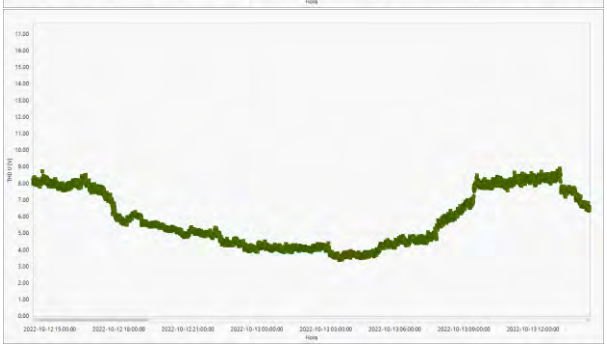




THD DE TENSION





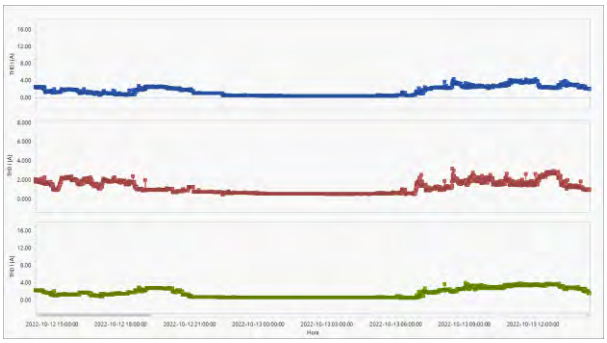


THD DE CORRIENTE









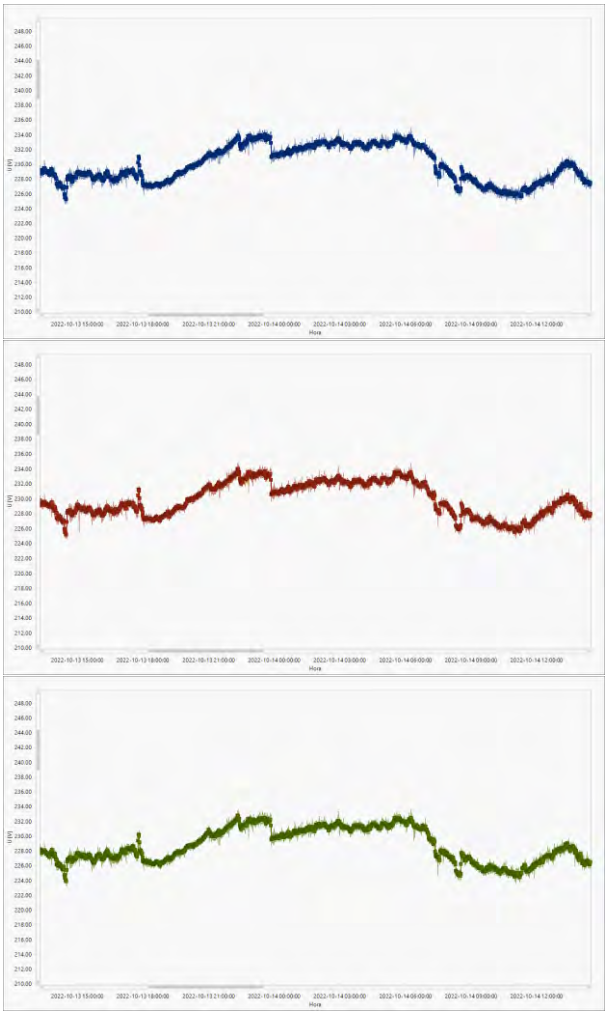


DISTORSION DE LA DEMANDA TOTAL

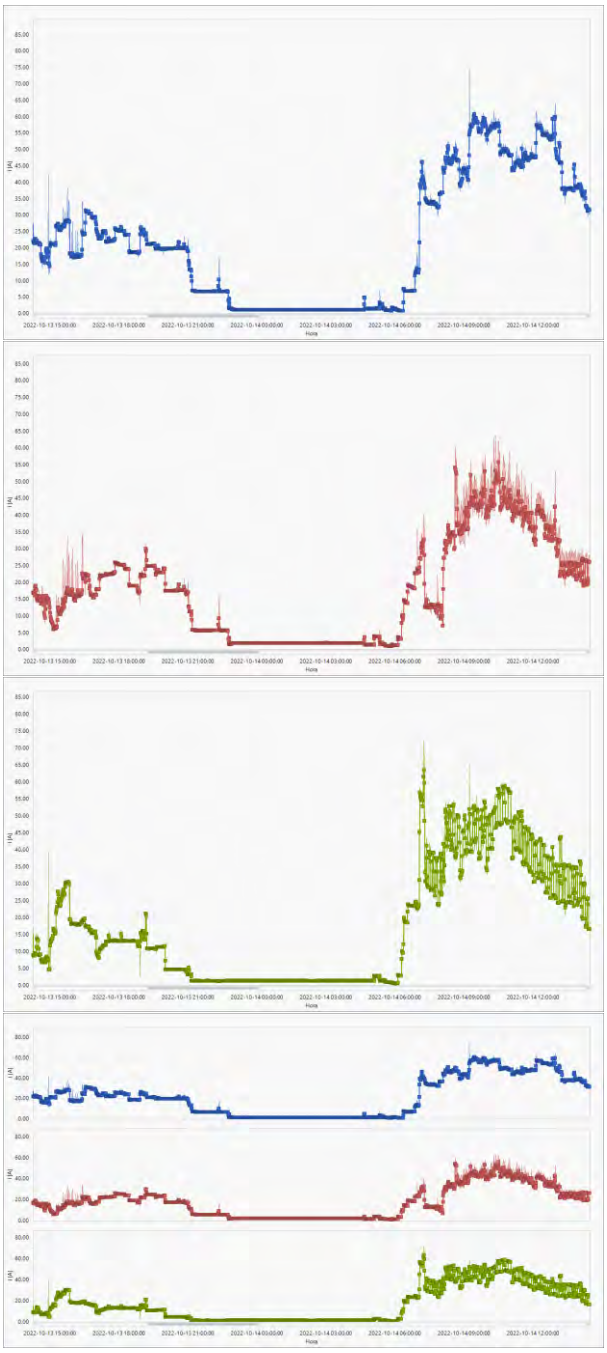
ANEXO 6: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 04



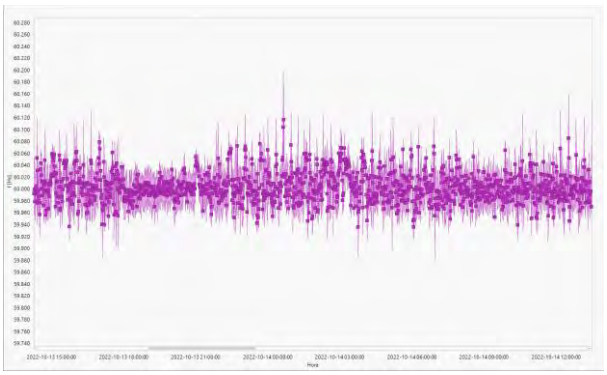
TENSION



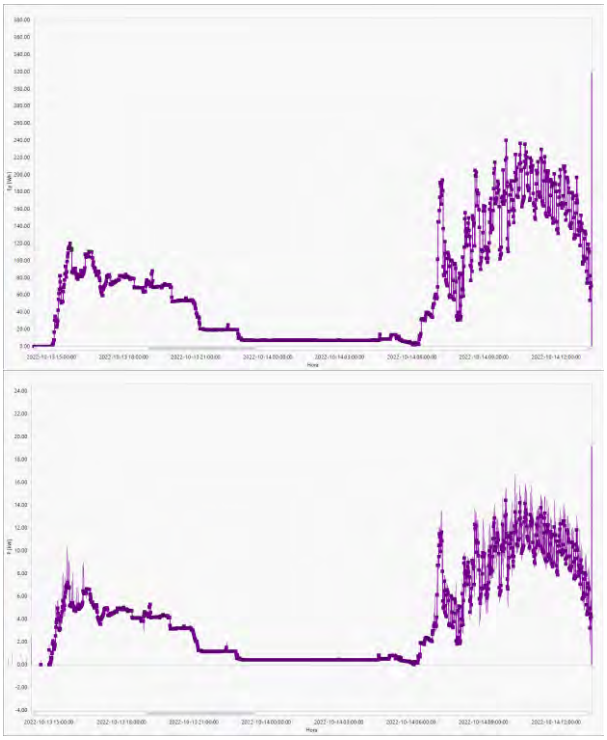
CORRIENTE



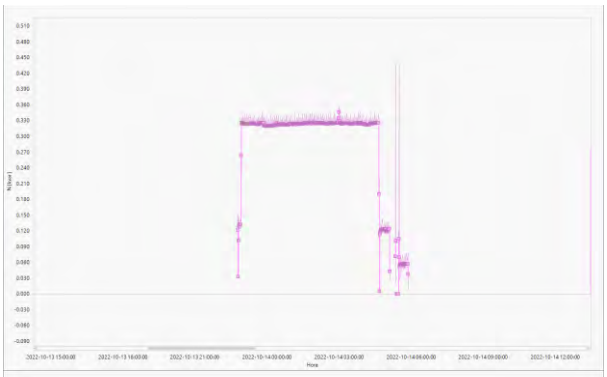
FRECUENCIA



POTENCIA Y ENERGIA ACTIVA CONSUMIDA

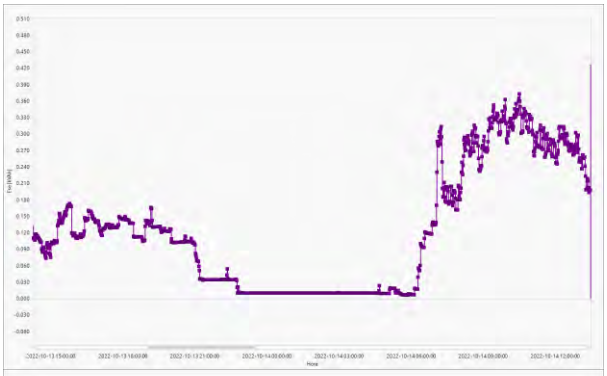


POTENCIA Y ENERGIA REACTIVA CONSUMIDA





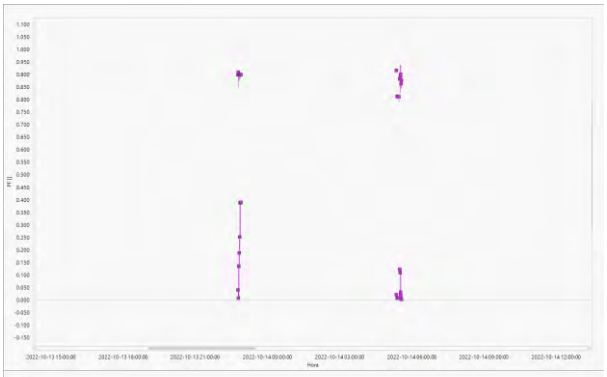
POTENCIA Y ENERGIA CONSUMIDA APARENTE

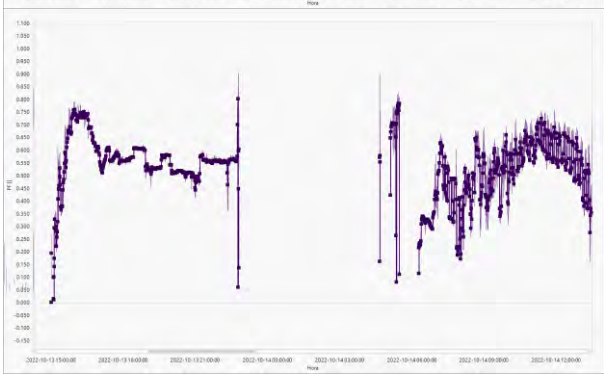






FACTOR DE POTENCIA





POTENCIA Y ENERGIA GENERADA





POTENCIA Y ENERGIA REACTIVA



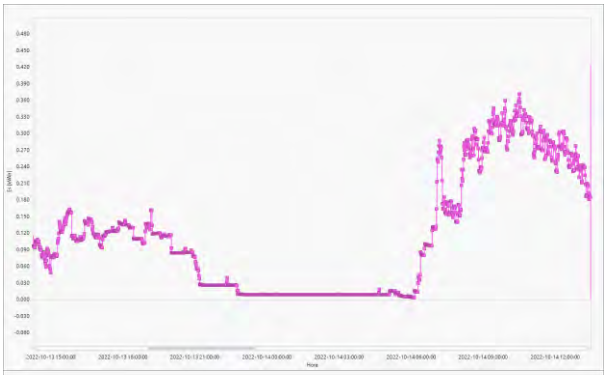
FACTOR DE POTENCIA

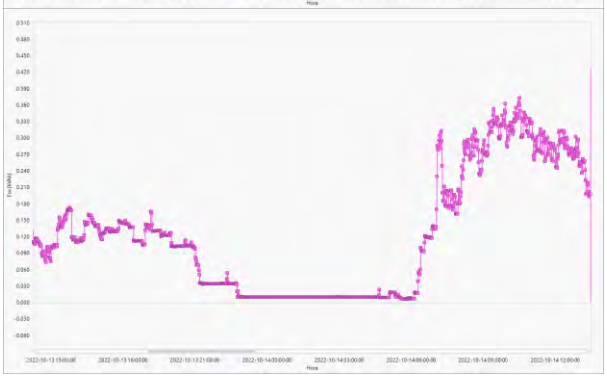


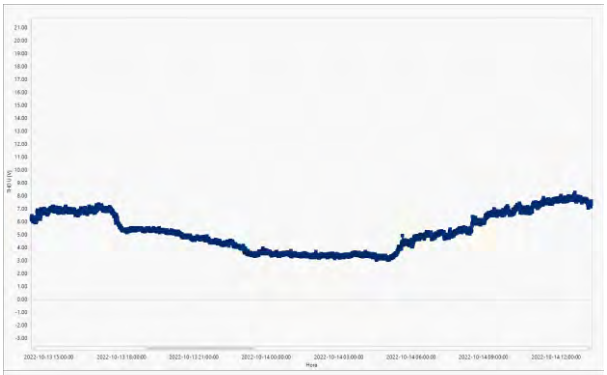
POTENCIA Y ENERGIA APARENTE

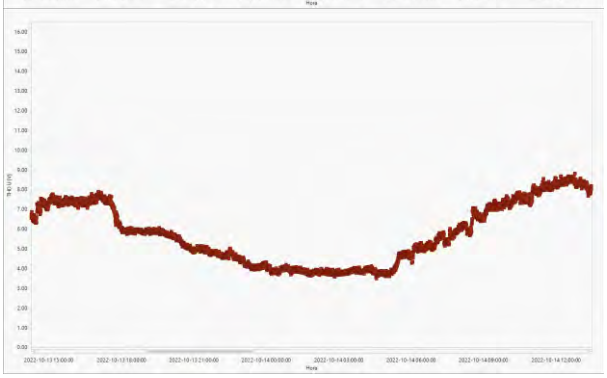


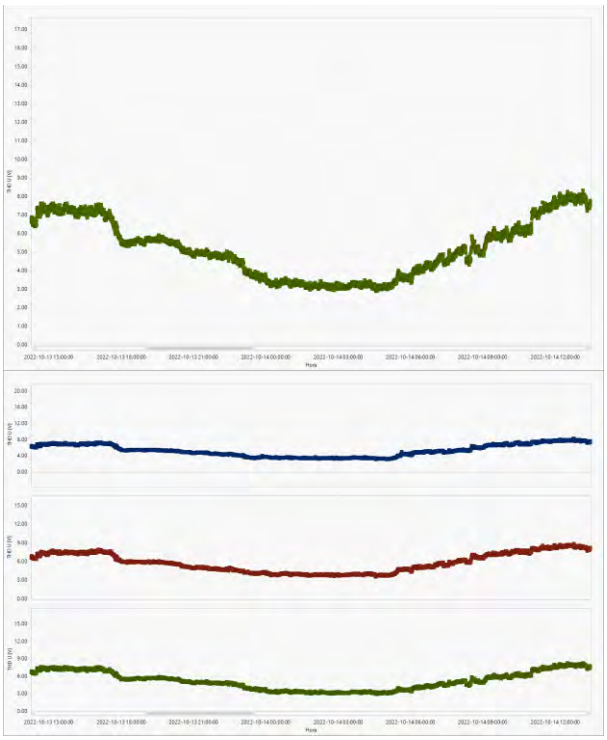
THD DE TENSIÓN

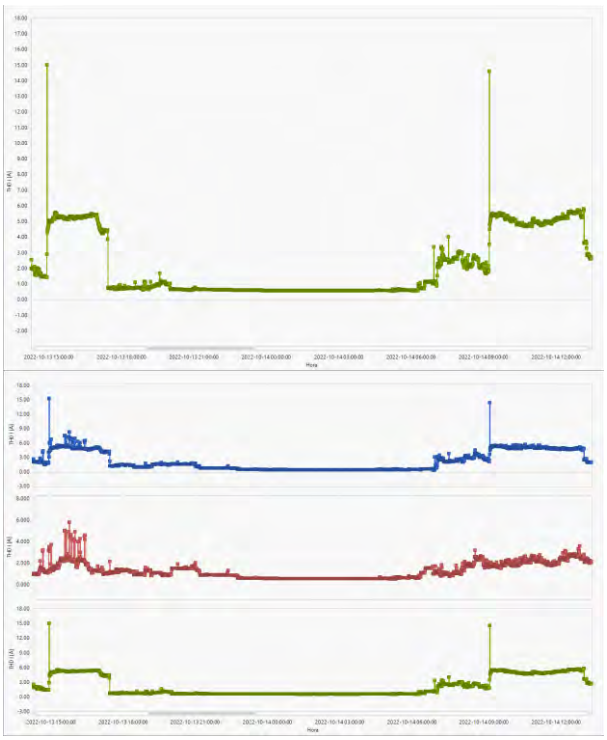










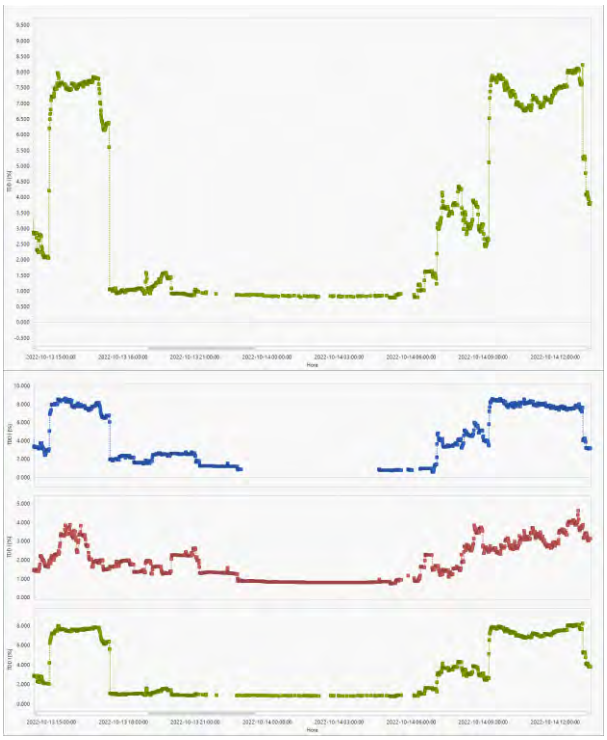


THD DE CORRIENTE



DISTORSION DE DEMANDA TOTAL

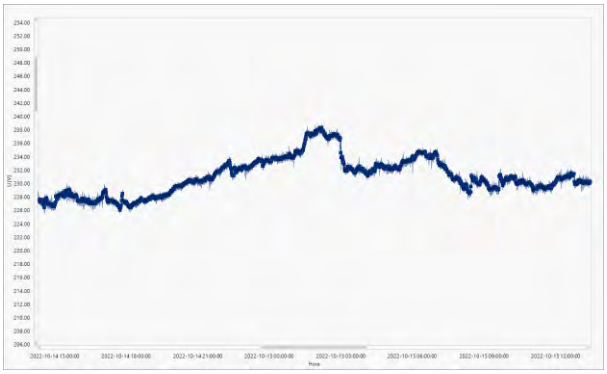




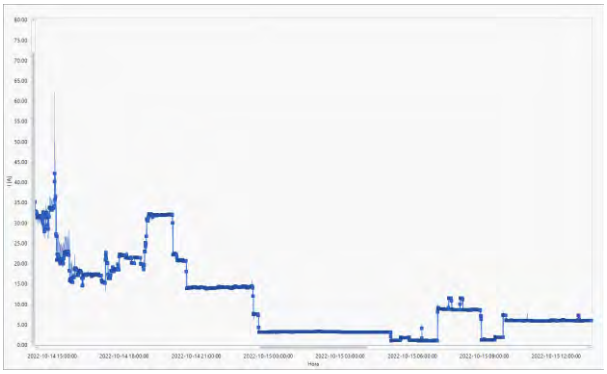


ANEXO 7: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 05

TENSION

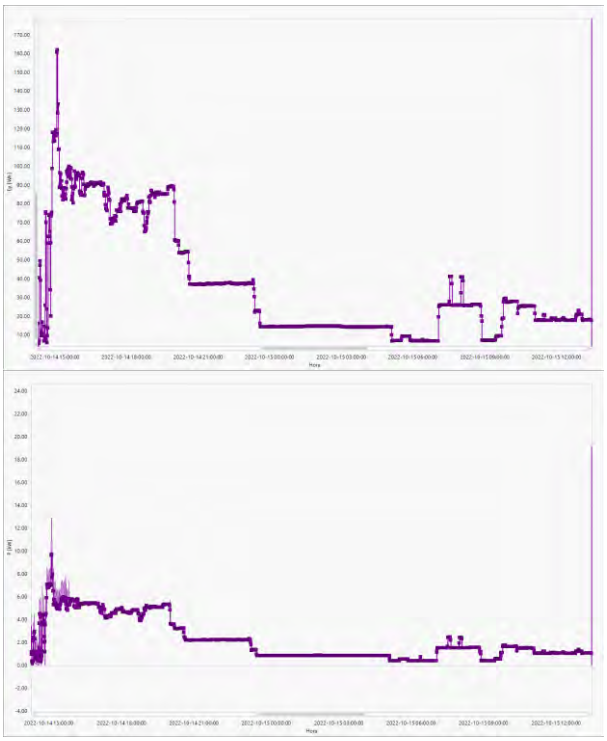


CORRIENTE

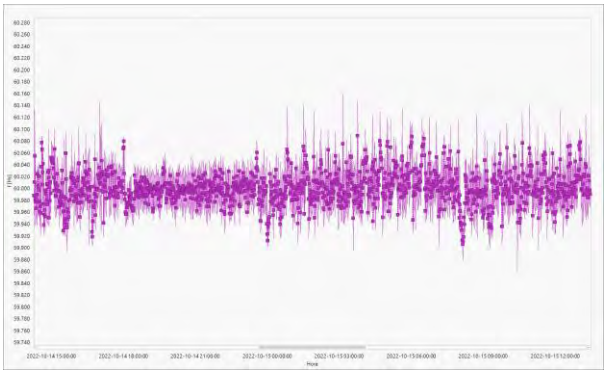




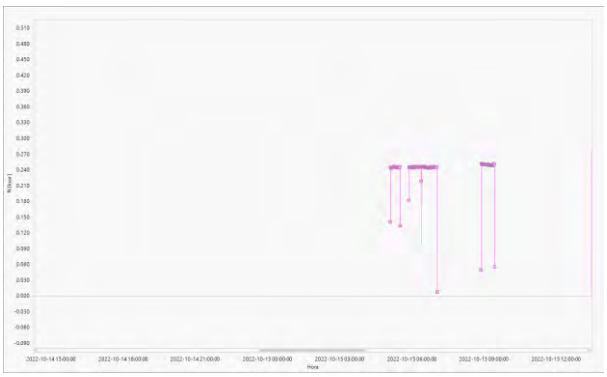
POTENCIA Y ENERGIA ACTIVA CONSUMIDA



FRECUENCIA

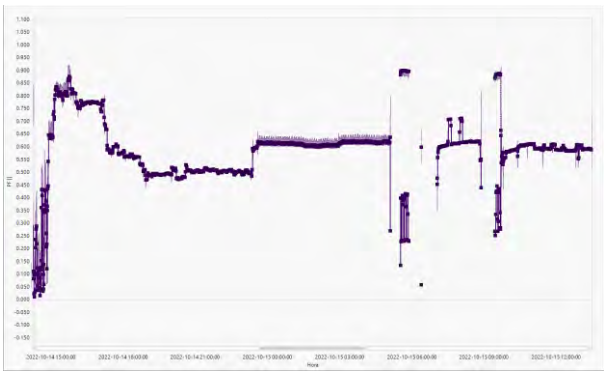


POTENCIA Y ENERGIA REACTIVA CONSUMIDA

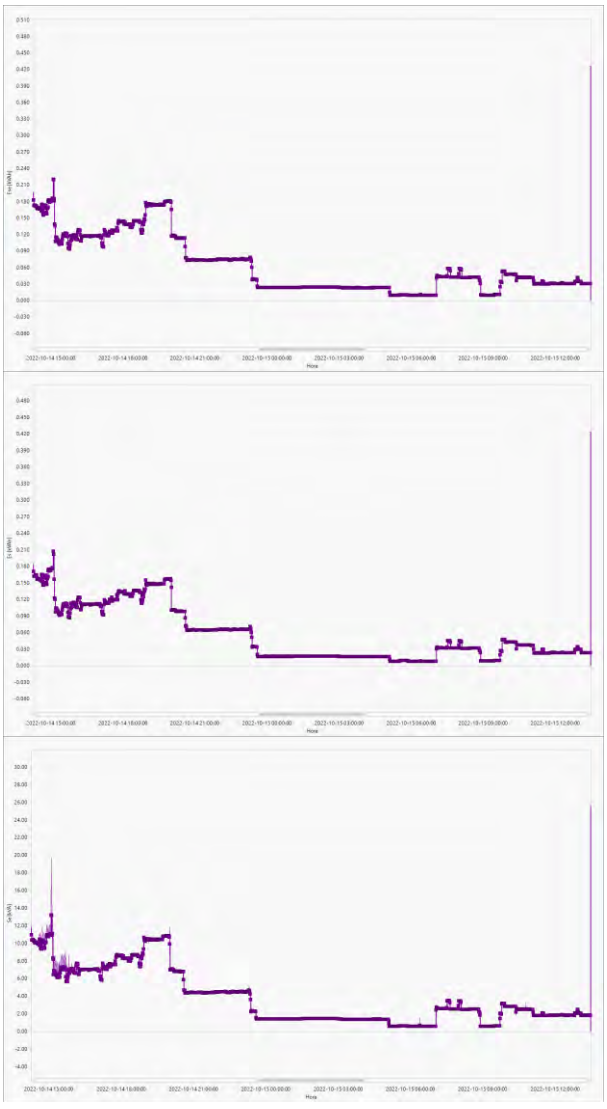




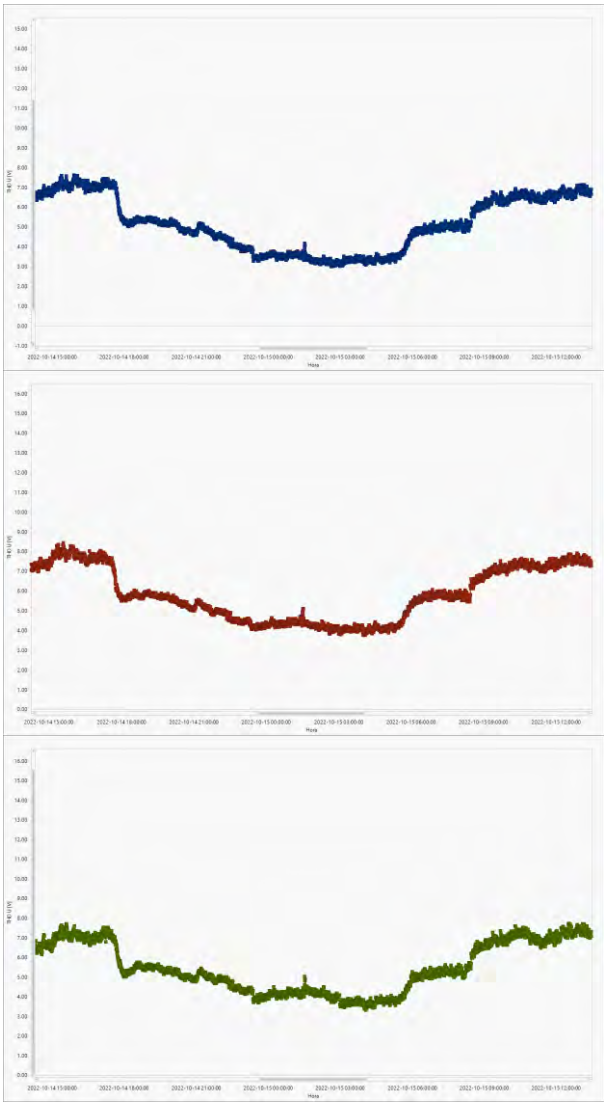
POTENCIA Y ENERGIA APARENTE CONSUMIDA

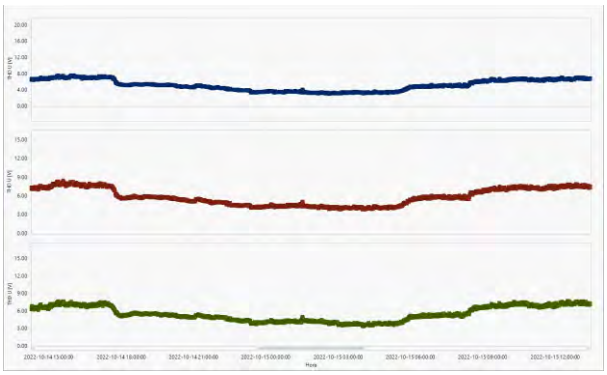


THD DE TENSION

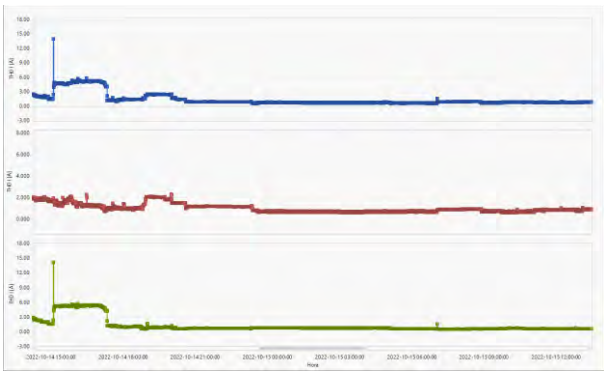


FACTOR DE POTENCIA

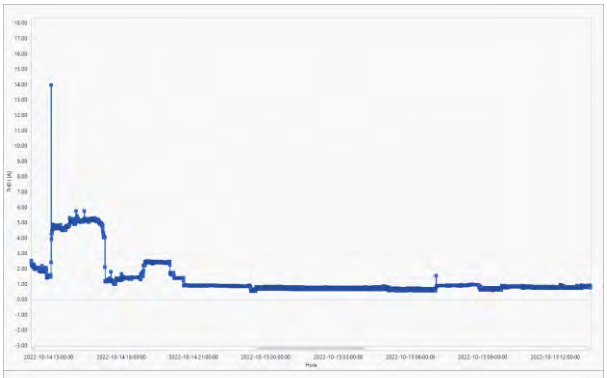




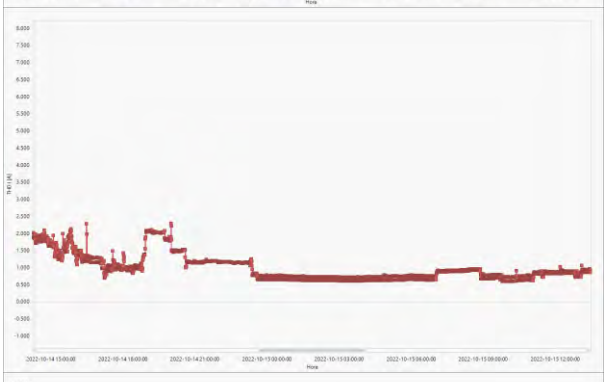
THD DE CORRIENTE



DISTORSION DE LA DEMANDA TOTAL



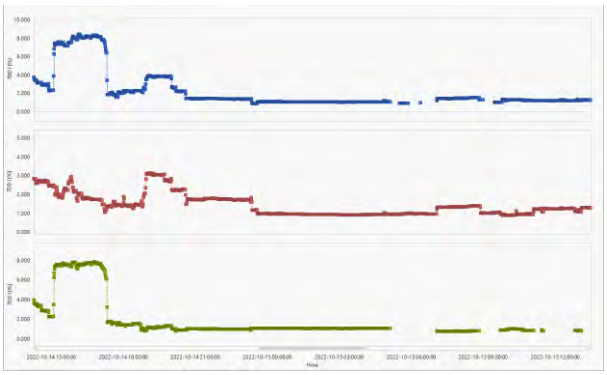




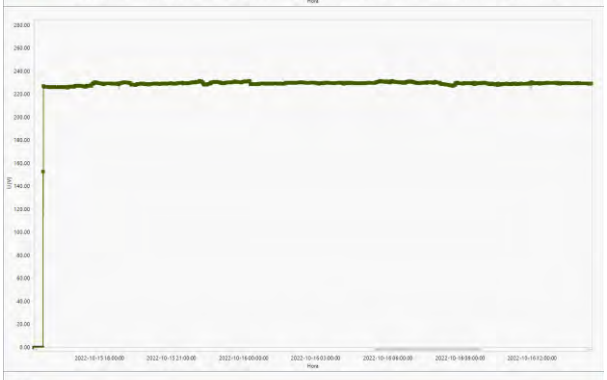








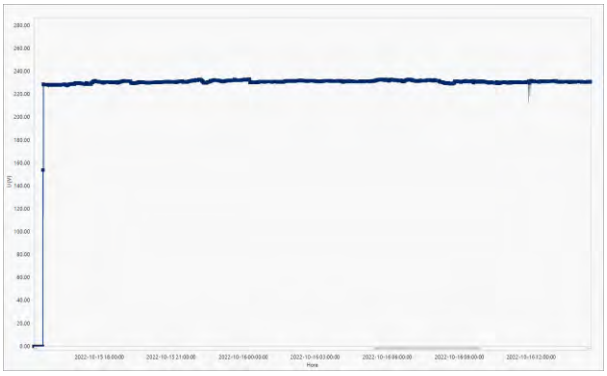




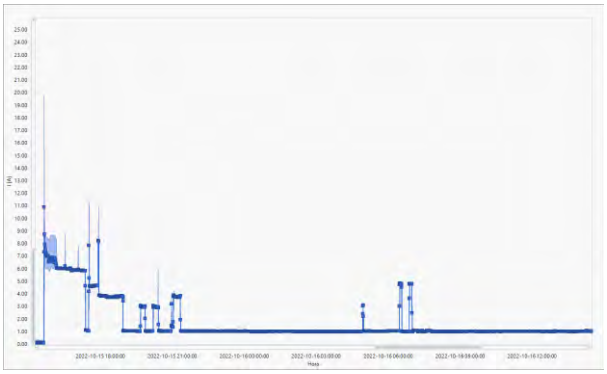


ANEXO 8: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 06

TENSIÓN

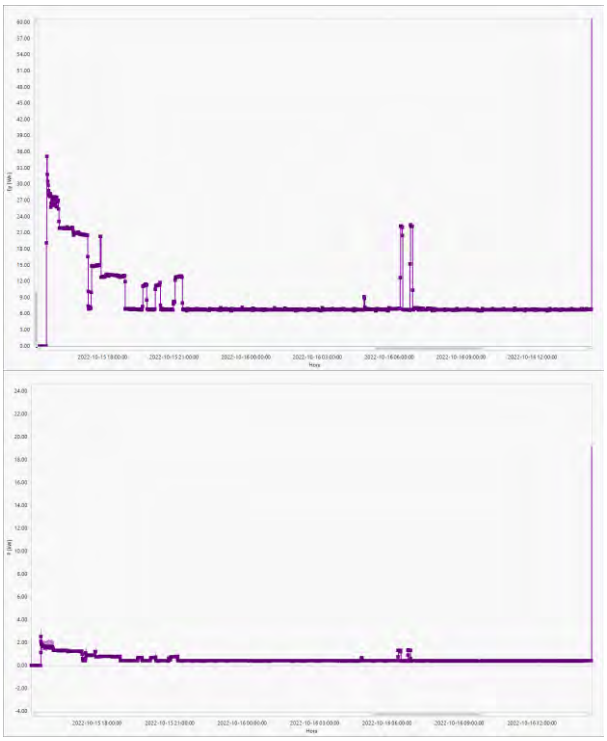


CORRIENTE

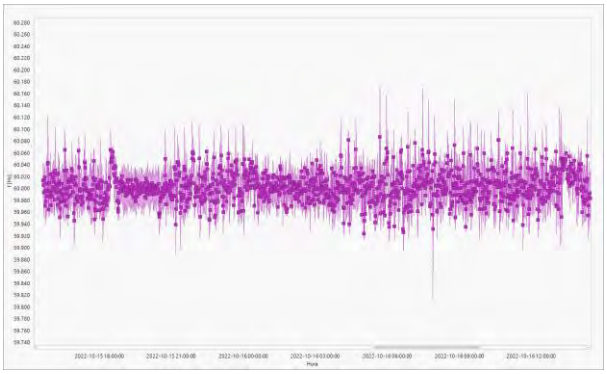




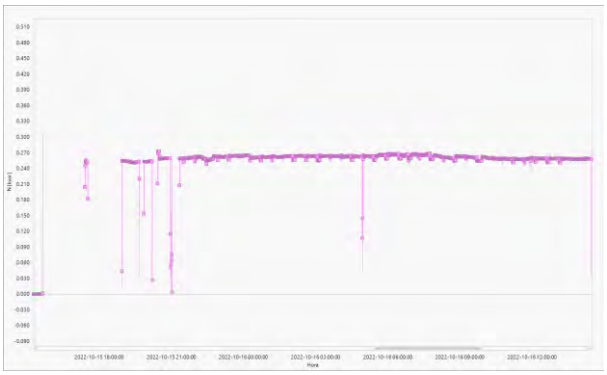
POTENCIA Y ENERGIA ACTIVA CONSUMIDA

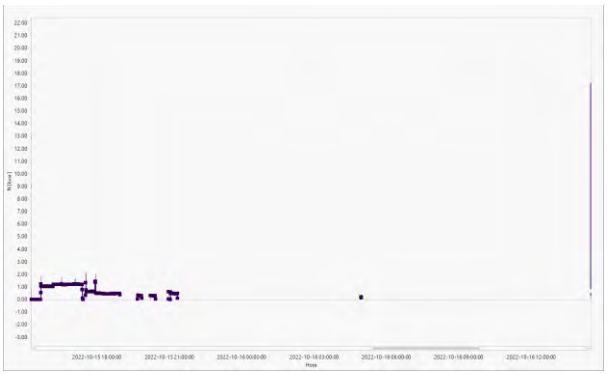


FRECUENCIA

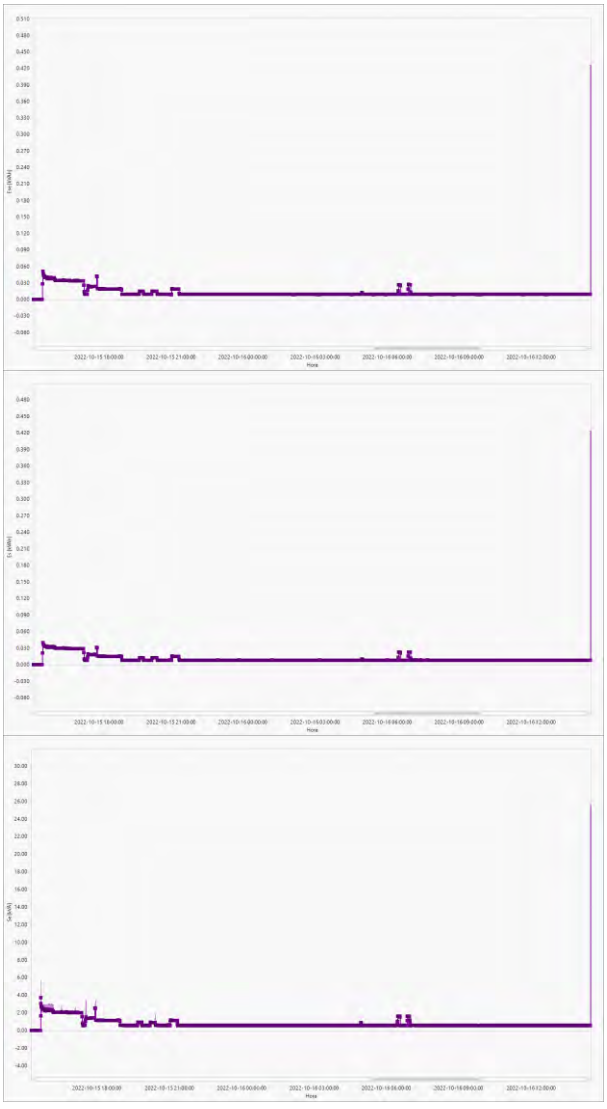


POTENCIA Y ENERGIA REACTIVA CONSUMIDA

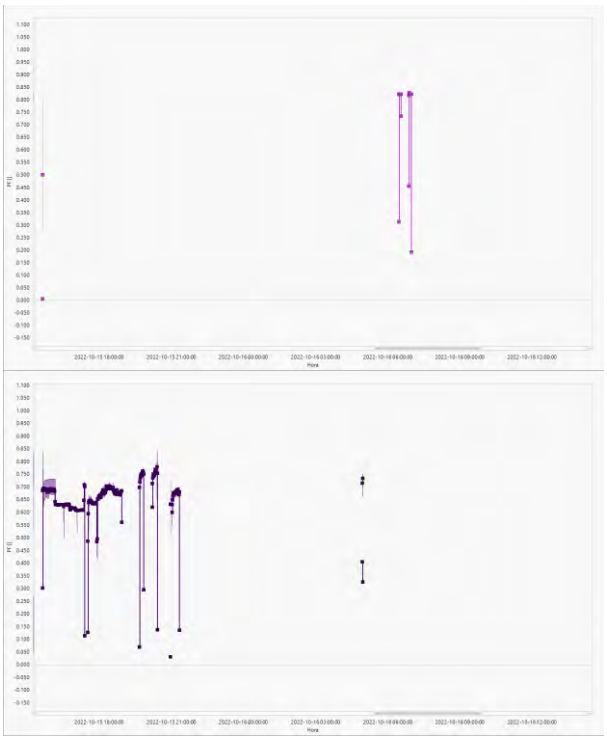




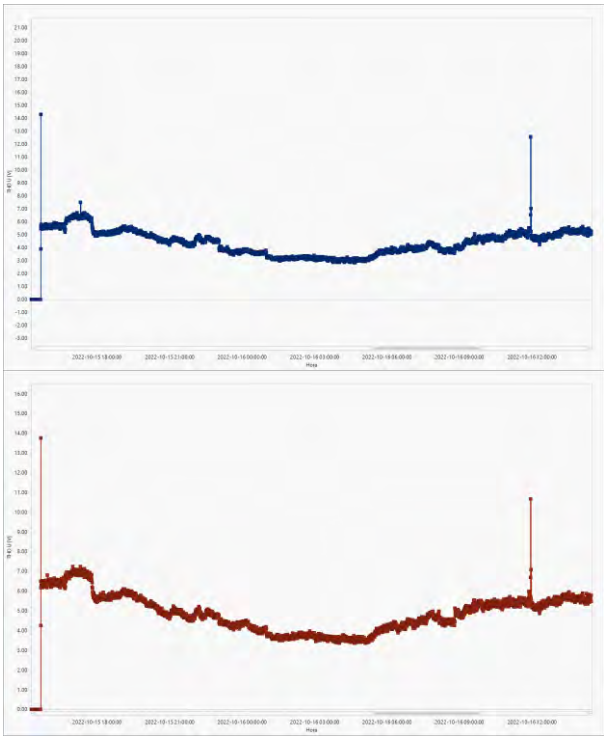
POTENCIA Y ENERGIA APARENTE

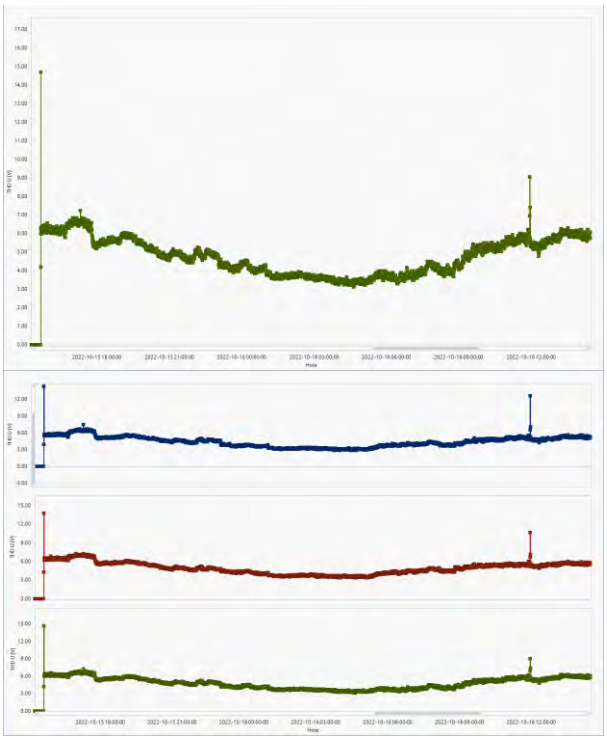


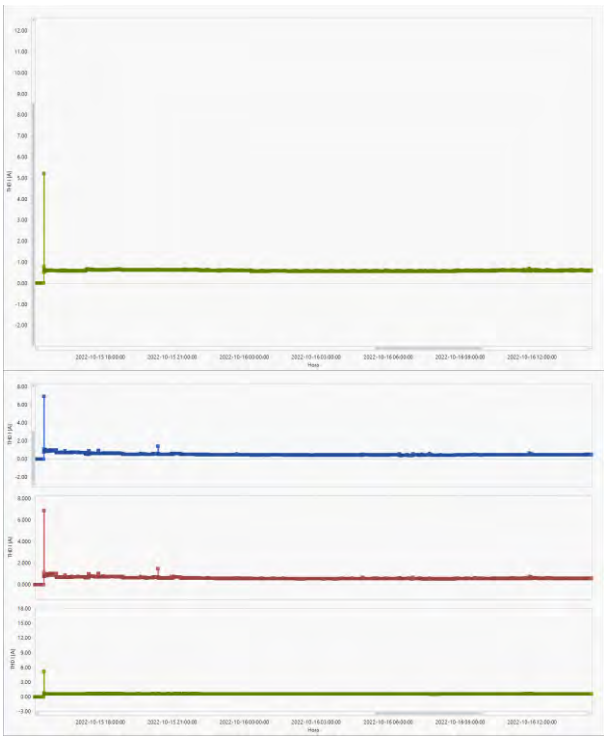
FACTOR DE POTENCIA



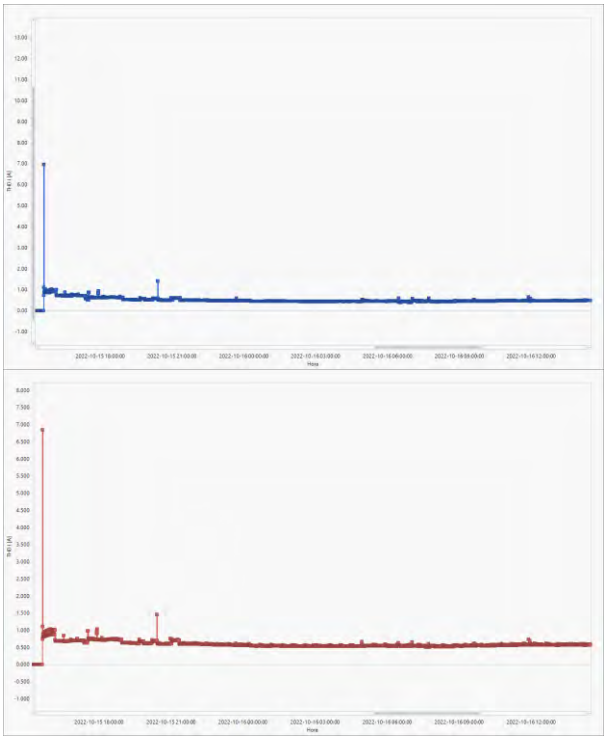
THD DE TENSION



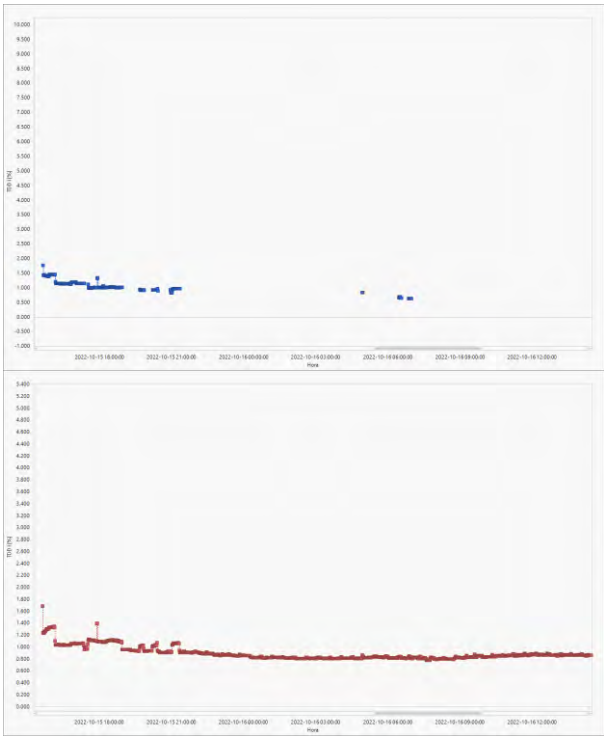


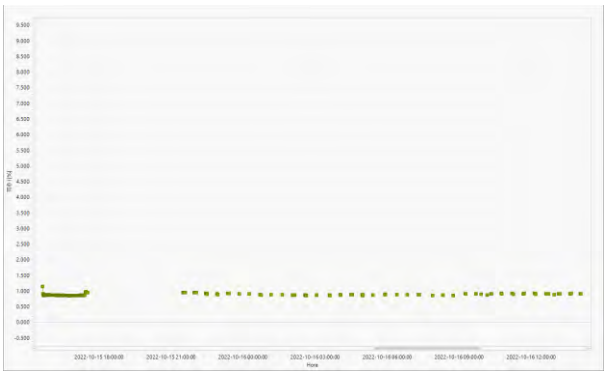


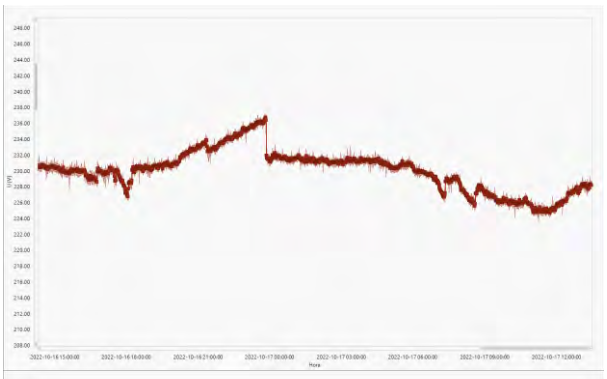
THD DE CORRIENTE

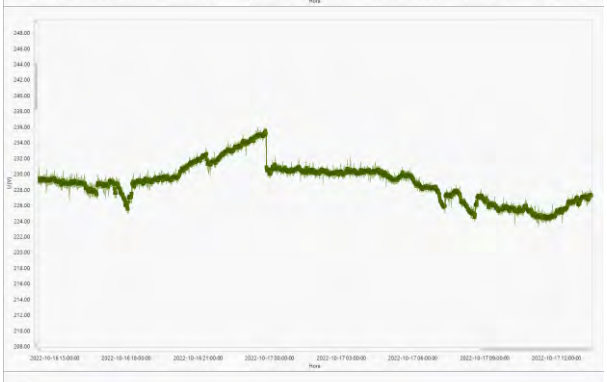


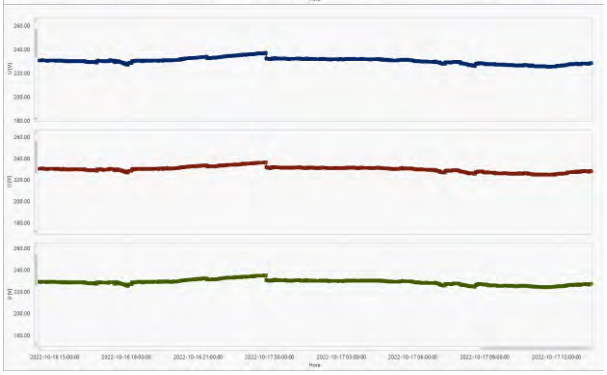
DISTORSION DE LA DEMANDA TOTAL





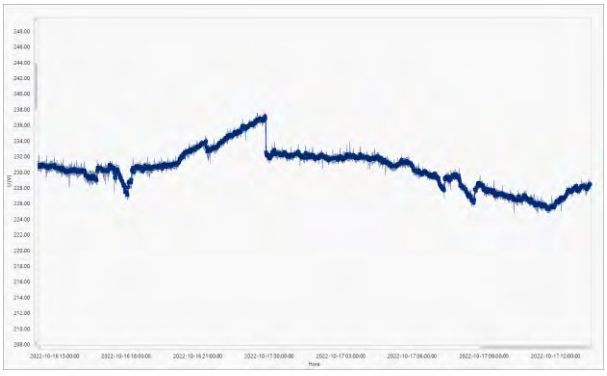




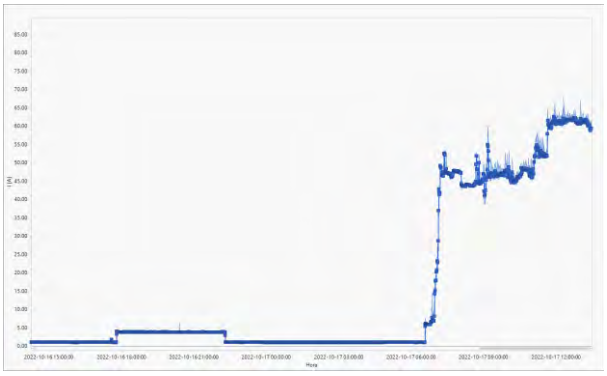


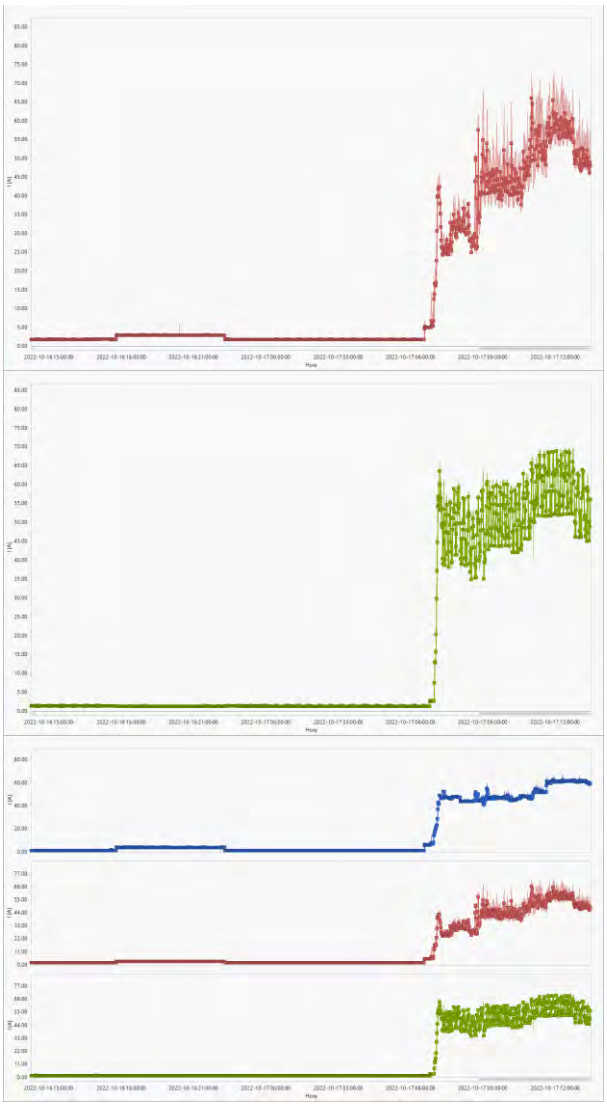
ANEXO 9: GRAFICAS DE DATOS DEL DIA 07

TENSIÓN

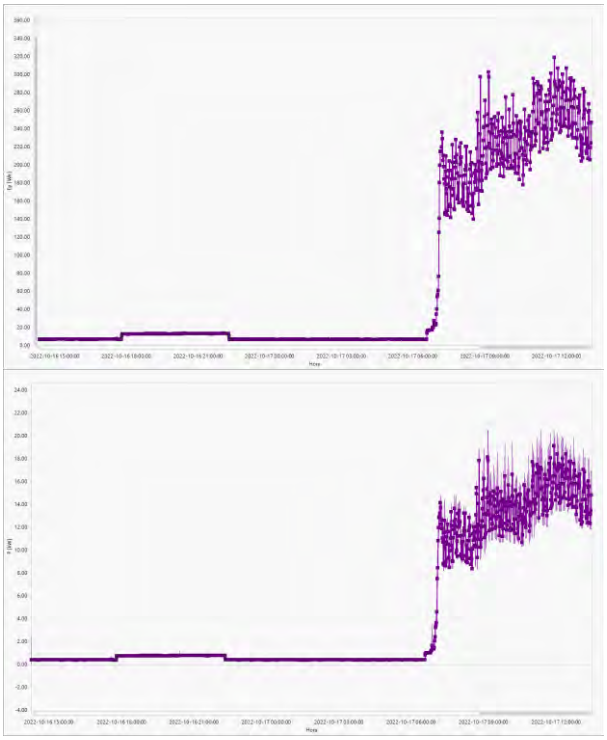


CORRIENTE

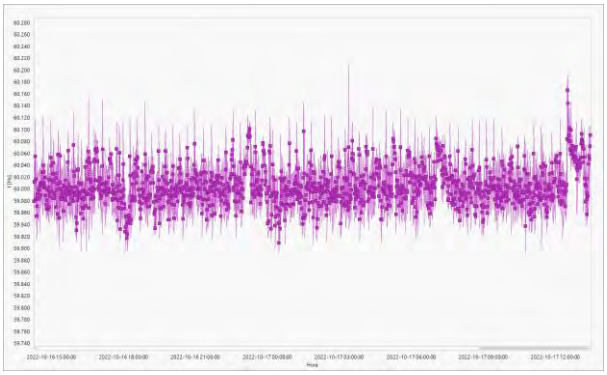




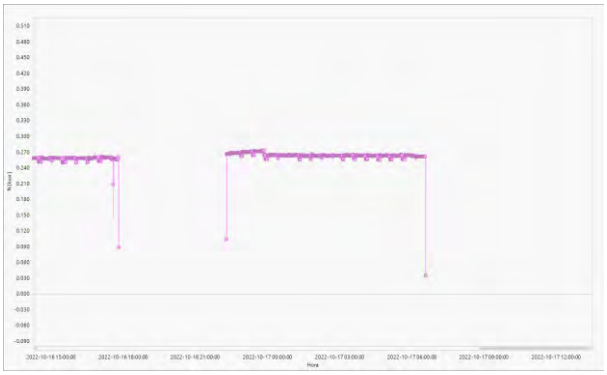
POTENCIA Y ENERGIA ACTIVA CONSUMIDA

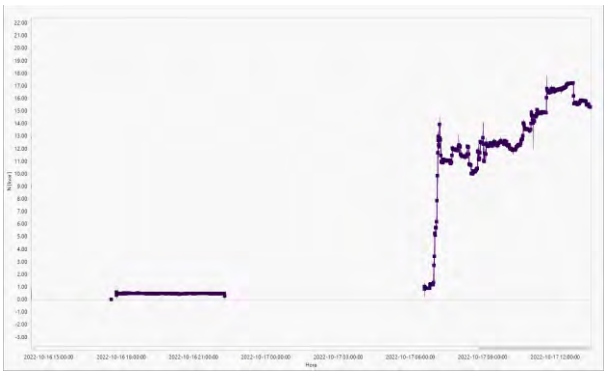


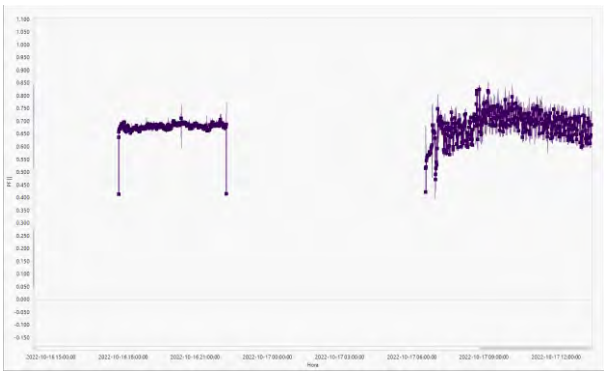
FRECUENCIA



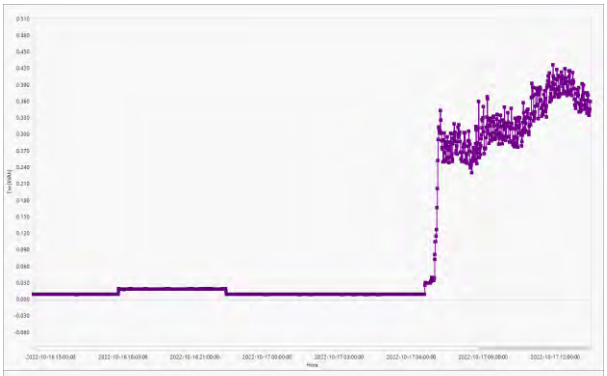
POTENCIA Y ENERGIA REACTIVA CONSUMIDA

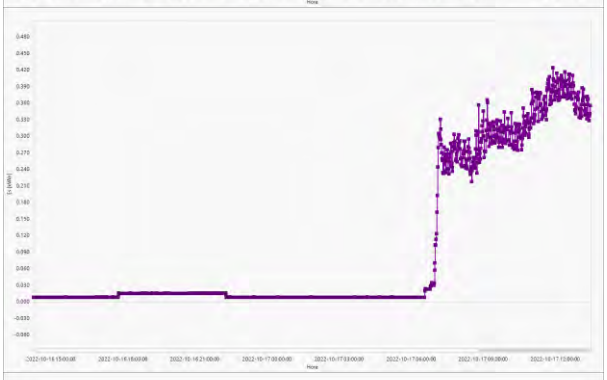


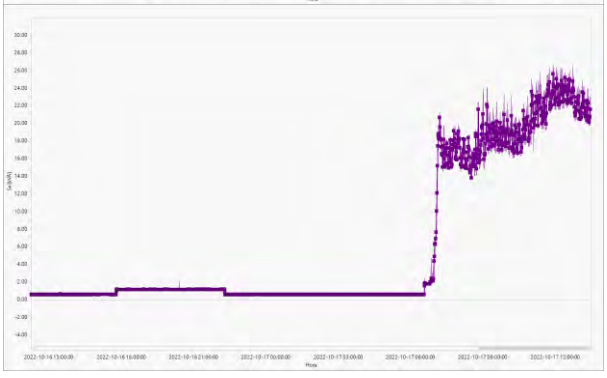




POTENCIA Y ENERGIA APARENTE

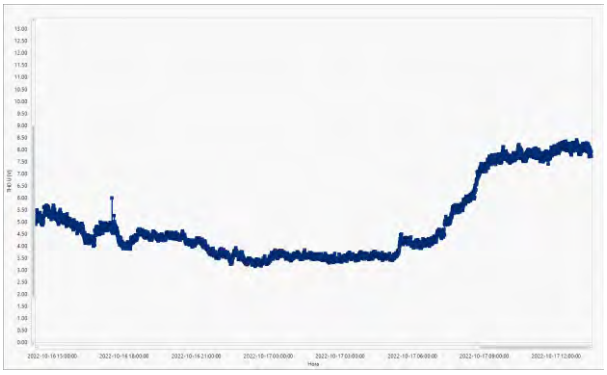


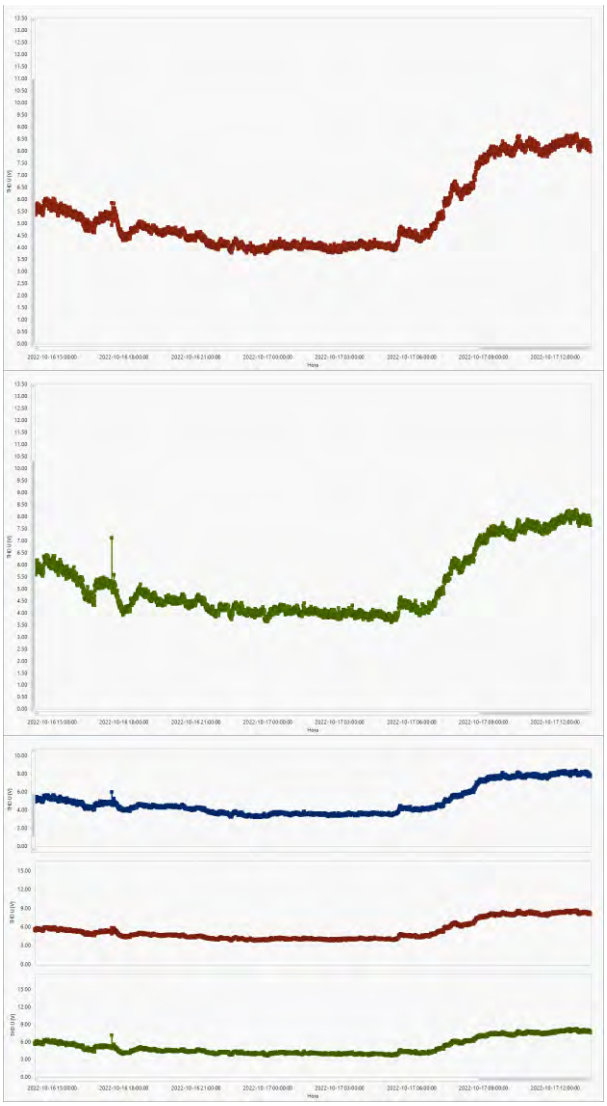




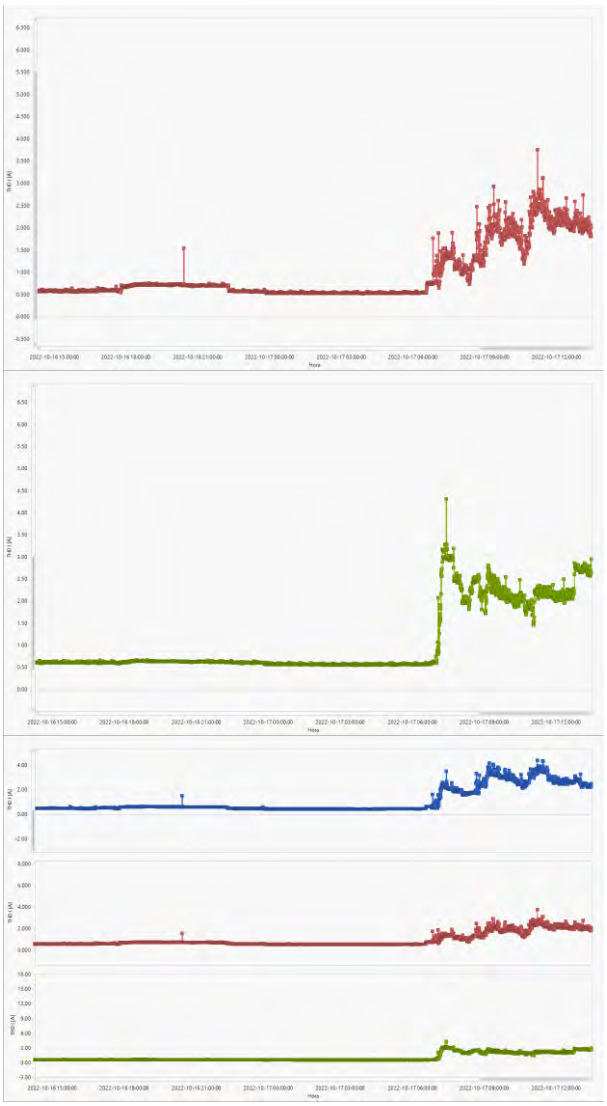
FACTOR DE POTENCIA

THD DE TENSION

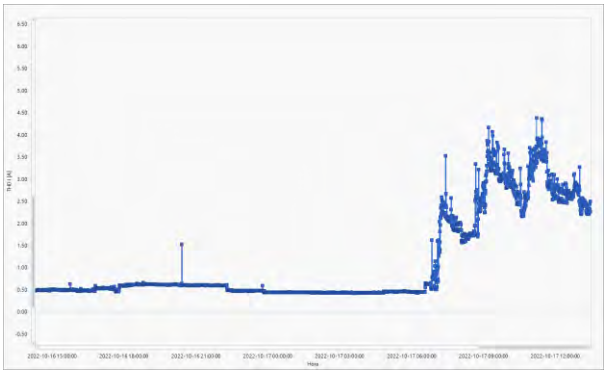


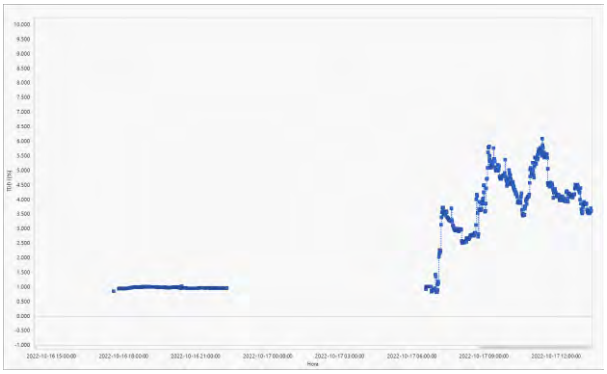


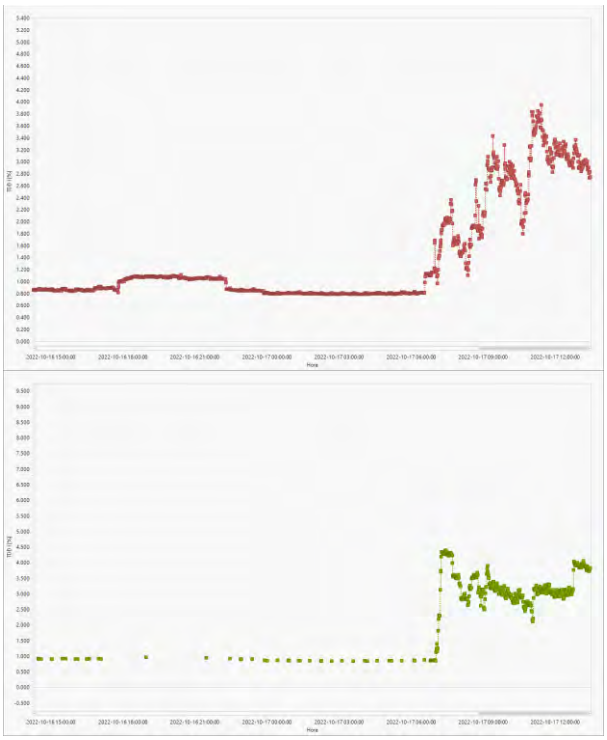
THD DE CORRIENTE



DISTORSION DE LA DEMANDA TOTAL







ANEXO 10: FICHA TECNICA DEL ANALIZADOR DE REDES MI 2892 POWER METREL

MI 2892 Power Master



El nuevo MI 2892 Power Master, es un analizador de redes trifásico portátil Clase A, que dispone de display gráfico y a color de grandes dimensiones fácil de leer y que permite al usuario detectar armónicos, anomalías de la forma de onda y muchos otros fenómenos en la red con solo conectar el dispositivo. El equipo ha sido diseñado para poder registrar datos por periodos prolongados de tiempo además de para detectar problemas en instalaciones monofásicas y trifásicas. El avanzado software PowerView3 permite un análisis pormenorizado de los datos grabados y la creación automática de informes profesionales.

FUNCIONES DE MEDICIÓN:

- Tensión: TRMS, pico, factor de cresta (4 canales).
- Corriente: TRMS, pico, factor de cresta (4 canales).
- Potencia (activa, reactiva, aparente).
- Medidas de potencia según IEEEE 1459 (activa, no activa, fundamental, armónicos, desequilibrio de cargas).
- Desequilibrio, medición de flicker (50 Hz).
- Análisis de armónicos hasta el armónico 50, medición de la THD.
- Energía (activa, reactiva, generada, consumida).
- Captura y registro de eventos en el suministro eléctrico (desconexiones, interrupciones,subidas, caídas).
- Monitorización y registro de corrientes de arranque.
- Presentación, instantánea y registro de formas de onda.
- Registro de sobretensiones transitorias.
- Análisis de la calidad de la energía según la normativa EN 50160.
- Registro de hasta 10 alarmas ajustables.
- Medición de la temperatura.

CARACTERÍSTICAS CLAVE DE PRODUCTO

- 4 canales de tensión con una amplia escala de medición: 0 ... 1000 Vrms (CAT III / 1000 V);
- 4 canales de corriente con reconocimiento automático de las pinzas y selección de la escala "en el instrumento";
- Detección automática de pinzas Smart Clamp;
- Cumplimiento con la normativa de calidad de la energía IEC 61000-4-30 Clase A;
- Análisis completo de la calidad de la energía según la normativa EN 50160, incluida la señalización y los interarmónicos;
- Soporta tarjetas microSD (tarjeta de 8GB suministrada con el equipo), hasta 32GB;
- Terminales de entrada con código de colores y etiquetas en los terminales para personalizar el equipo según la zona geográfica;
- Menú principal intuitivo e iconos grandes que hacen que el equipo sea muy fácil de navegar y configurar;
- El potente software informático PowerView 3 permite la descarga, visualización y el análisis de los datos registrados, así como la creación de informes profesionales;
- Pinzas flexibles (sin alimentación adicional) incluidas en el equipo estándar;
- Comunicación remota a través de Ethernet (Sincronización horaria por GPS - opcional).

Especificaciones técnicas

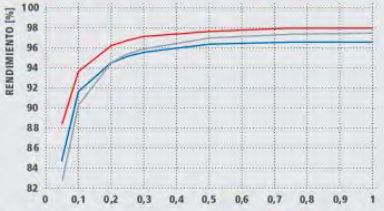
Entradas de tensión	**AC/DC**
Número de entradas	5
Rango de tensión nominal (L – N)	Fase(L-N): 50 ÷ 1000 VRMS Línea (L-L): 50 ÷ 1730 VRMS
Rango de medida	10% ÷ 150% de la tensión nominal
Precisión	IEC 61000-4-30 Clase A, ±0.1% de la tensión nominal
Frecuencia de muestreo	5.120 k Muestras po segundo at 50/60 Hz, se sincronizan con Freq. de red
Rango de frecuencia de la red	40 ÷ 70 Hz ±10 mHz

Entradas de corriente	**AC/DC**
Cantidad de entradas	4
Rango de medida: (con pinzas flexibles A 1227) (con pinzas rígidas A1281)	 3 ÷ 6000 ARMS ±1.5% de m.v. 50 m ÷ 1200 ARMS ±0.5% de m.v.

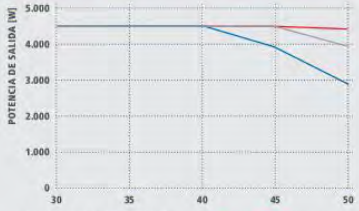
Funciones	**Rango de medida**	**Precisión**
Potencia (P, Q, S, cos ϕ, PF...)	Depende de la tensión y las pinzas seleccionadas	IEC 61557-12 Clase 1
Energía	Depende de la tensión y las pinzas seleccionadas	Activo: IEC 62053-21 Clase 1 Reactivo: IEC 62053-23 Clase 2
Armónicos (DC ÷ 50th)	0 ÷ 20% de tensión nominal	IEC 61000-4-7 Clase 1
Interarmónicos (1 ÷ 50th)	0 ÷ 20% de tensión nominal	IEC 61000-4-7 Clase 1
Flickers	0,2 ÷ 10	IEC 61000-4-15 Clase F3
Señalización básica	0 ÷ 15% de tensión nominal	IEC 61000-4-30 Clase A
Desequilibrio	Tensión: 0 ÷ 5% Corriente: 0 ÷ 17%	
Temperatura	-10 ÷ 85 °C	±0,5 °C
Caídas, Aumentos	10 ÷ 150% de tensión nominal	±0.2 % de tensión nominal ±1 ciclo
Interrupciones	0 ÷ 10% de tensión nominal	±1 ciclo

Grabación	
Memoria	8 GB microSD, posibilidad de hasta 32 GB
Grabación general	
Período de integración	1s ... 1h
Señales grabados	> 1000 (tensiones, corrientes, armónicos, potencia...) Valores mínimo, máximo y promedio por intervalo - Eventos de tensión - Alarmas personalizadas
Duración	>1 año (depende del tamaño de la tarjeta SD)
Grabación de forma de onda	
Duración	hasta 20 segundos de tensión y la forma de onda de corriente
Disparo	Manual, eventos de tensión, alarmas personalizadas, nivel de tensión o corriente (bajo consumo)
Grabación de transitorios	
Frecuencia de muestreo	> 50 km uestras/sec
Duración	Hasta 50 ciclos de tensión y la onda de corriente
Disparo	Manual, el sobre tensión o nivel
General	
Pantalla	4.3 pulgadas TFT a color (480 x 272)
Comunicación	USB, Ethernet, RS-232
Sincronisación en tiempo real	Receptor GPS (A 1355)
Fuente de alimentación	110 ÷ 240 Vac o 6 x NiMh baterías recargables, tamaño AA
Categoría	CAT IV / 600V o CAT III / 1000V
Peso	1 kg
Dimensiones	230 x 140 x 80 mm

CURVA DE RENDIMIENTO FRONIUS SYMO 4.5-3-S



REDUCCIÓN DE TEMPERATURA FRONIUS SYMO 4.5-3-S



DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

RENDIMIENTO	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Máximo rendimiento	98,0 %					
Rendimiento europeo (η_{EU})	96,2 %	96,2 %	97,0 %	96,5 %	96,9 %	97,2 %
η con 5 % $P_{AC,r}$ [1]	80,3 / 83,6 / 79,1 %	83,4 / 86,4 / 80,6 %	84,8 / 88,5 / 82,8 %	79,8 / 85,1 / 80,8 %	81,6 / 87,8 / 82,8 %	83,4 / 90,3 / 85,0 %
η con 10 % $P_{AC,r}$ [1]	87,8 / 91,0 / 88,2 %	90,1 / 92,5 / 88,7 %	91,2 / 93,7 / 90,3 %	86,5 / 91,6 / 87,7 %	87,9 / 93,6 / 90,5 %	89,2 / 94,1 / 91,2 %
η con 20 % $P_{AC,r}$ [1]	92,6 / 95,0 / 92,6 %	93,7 / 95,7 / 93,6 %	94,6 / 96,3 / 94,5 %	90,8 / 95,3 / 93,0 %	91,9 / 96,0 / 94,1 %	92,8 / 96,5 / 95,1 %
η con 25 % $P_{AC,r}$ [1]	93,4 / 95,6 / 93,8 %	94,5 / 96,4 / 94,7 %	95,2 / 96,8 / 95,4 %	91,8 / 96,0 / 94,2 %	92,9 / 96,6 / 95,2 %	93,5 / 97,0 / 95,8 %
η con 30 % $P_{AC,r}$ [1]	94,0 / 96,3 / 94,5 %	95,0 / 96,7 / 95,4 %	95,6 / 97,2 / 95,9 %	92,8 / 96,5 / 95,1 %	93,5 / 97,0 / 95,8 %	94,2 / 97,3 / 96,3 %
η con 50 % $P_{AC,r}$ [1]	95,2 / 97,3 / 96,3 %	96,3 / 97,8 / 96,7 %	96,4 / 97,7 / 97,0 %	94,3 / 97,5 / 96,5 %	94,6 / 97,7 / 96,8 %	94,8 / 97,8 / 97,2 %
η con 75 % $P_{AC,r}$ [1]	95,6 / 97,7 / 97,0 %	96,2 / 97,8 / 97,3 %	96,6 / 98,0 / 97,4 %	94,9 / 97,8 / 97,2 %	95,0 / 97,9 / 97,4 %	95,1 / 98,0 / 97,5 %
η con 100 % $P_{AC,r}$ [1] [2]	95,6 / 97,9 / 97,3 %	96,2 / 98,0 / 97,5 %	96,6 / 98,0 / 97,5 %	95,0 / 98,0 / 97,4 %	95,1 / 98,0 / 97,5 %	95,0 / 98,0 / 97,6 %
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %					

[1] Y con $U_{DC,min}$ / $U_{DC,r}$ / $U_{DC,max}$.

EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Medición del aislamiento CC	Sí					
Comportamiento de sobrecarga	Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia					
Seccionador CC	Sí					
Protección contra polaridad inversa	Sí					

INTERFACES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)					
6 inputs digitales y 4 inputs/outputs digitales	Interface receptor del control de ondas					
USB (Conector A) [3]	Datalogging, actualización de inversores vía USB					
2 conectores RJ 45 (RS 422) [3]	Fronius Solar Net					
Salida de aviso [3]	Gestión de la energía (salida de relé libre de potencial)					
Datalogger y Servidor web	Incluido					
Input externo [3]	Interface S0-Meter / Input para la protección contra sobretensión					
RS 485	Modbus RTU SunSpec o conexión del contador					

[3] También disponible en la versión light.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

Fronius

FRONIUS SYMO

/ Máxima flexibilidad para las aplicaciones del futuro



/ Tecnología SnapINverter / Comunicación de datos integrada / Diseño Supra Flex / Seguimiento inteligente GMPP / Smart Grid Ready / Inyección cero

/ Con un rango de potencia nominal entre 3,0 y 20,0 kW, el Fronius Symo es el inversor trifásico sin transformador para todo tipo de instalaciones. Gracias a su flexible diseño, el Fronius Symo es perfecto para instalaciones en superficies irregulares o para tejados con varias orientaciones. La conexión a Internet a través de WLAN o Ethernet y la facilidad de integración de componentes de otros fabricantes hacen del Fronius Symo uno de los inversores con mayor flexibilidad en comunicaciones en el mercado. El inversor Fronius Symo puede completarse de manera opcional con un Fronius Smart Meter, que es un equipo que envía la información más completa al sistema de monitorización, consiguiendo además, que el inversor no incluya energía a la red eléctrica.

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

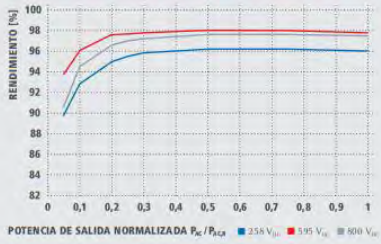
DATOS DE ENTRADA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\,máx}$ 1 / $I_{dc\,máx}$ 2) [1]	16 A / 16 A					
Máx. corriente de cortocircuito por serie FV (MPP_1/MPP_2) [1]	24 A / 24 A					
Mínima tensión de entrada ($U_{dc\,mín}$)	150 V					
Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc\,mínimo}$)	200 V					
Tensión de entrada nominal ($U_{dc,r}$)	595 V					
Máxima tensión de entrada ($U_{dc\,máx}$)	1000 V					
Rango de tensión MPP ($U_{MPP\,mín}$ – $U_{MPP\,máx}$)	200 - 800 V	250 - 800 V	300 - 800 V	150 - 800 V		
Número de seguidores MPP	1			2		
Número de entradas CC	3			2+2		
Máxima salida del generador FV ($P_{fv\,máx}$)	6,0 kW $_{pico}$	7,4 kW $_{pico}$	9,0 kW $_{pico}$	6,0 kW $_{pico}$	7,4 kW $_{pico}$	9,0 kW $_{pico}$

DATOS DE SALIDA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Potencia nominal CA ($P_{ca,r}$)	3.000 W	3.700 W	4.500 W	3.000 W	3.700 W	4.500 W
Máxima potencia de salida	3.000 VA	3.700 VA	4.500 VA	3.000 VA	3.700 VA	4.500 VA
Máxima corriente de salida ($I_{ca\,máx}$)	4,3 A	5,3 A	6,5 A	4,3 A	5,3 A	6,5 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)	3~NPE 400 V / 230 V o 3~NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)					
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)					
Coeficiente de distorsión no lineal	< 3 %					
Factor de potencia (cos $\varphi_{ca,r}$)	0,70 - 1 ind. / cap.			0,85 - 1 ind. / cap.		

DATOS GENERALES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	645 x 431 x 204 mm					
Peso	16,0 kg			19,9 kg		
Tipo de protección	IP 65					
Clase de protección	I					
Categoría de sobretensión (CC / CA) [2]	2 / 3					
Consumo nocturno	< 1 W					
Concepto de inversor	Sin Transformador					
Refrigeración	Refrigeración de aire regulada					
Instalación	Instalación interior y exterior					
Margen de temperatura ambiente	-25 - +60 °C					
Humedad de aire admisible	0 - 100 %					
Máxima altitud	2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones)					
Tecnología de conexión CC	3 x CC+ y 3 x CC- bornes roscados 2,5 - 16 mm²			4 x CC+ y 4 x CC- bornes roscados 2,5 - 16 mm² [3]		
Tecnología de conexión principal	5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm²			5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm² [3]		
Certificados y cumplimiento de normas	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777 [4], CEI 0-21 [4], NRS 097					

[1] Esto se aplica a Fronius Symo 3.0-3-M, 3.7-3-M y 4.5-3-M.
[2] De acuerdo con IEC 62109-1.
[3] 16 mm² sin necesidad de terminales de conexión. Más información sobre la disponibilidad de inversores en su país en **www.fronius.es**.

CURVA DE RENDIMIENTO FRONIUS SYMO 8.2-3-M



REDUCCIÓN DE TEMPERATURA FRONIUS SYMO 8.2-3-M



DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

RENDIMIENTO	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Máximo rendimiento	98,0 %			
Rendimiento europeo (η_{EU})	97,3 %	97,5 %	97,6 %	97,7 %
η con 5 % $P_{AC,r}$ [1]	84,9 / 91,2 / 85,9 %	87,8 / 92,6 / 87,8 %	88,7 / 93,1 / 89,0 %	89,8 / 93,8 / 90,6 %
η con 10 % $P_{AC,r}$ [1]	89,9 / 94,6 / 91,7 %	91,3 / 95,6 / 93,0 %	92,0 / 95,9 / 94,7 %	92,8 / 96,1 / 94,5 %
η con 20 % $P_{AC,r}$ [1]	93,2 / 96,7 / 95,4 %	94,1 / 97,1 / 95,9 %	94,5 / 97,3 / 96,3 %	95,0 / 97,6 / 96,6 %
η con 25 % $P_{AC,r}$ [1]	93,9 / 97,2 / 96,0 %	94,7 / 97,5 / 96,5 %	95,1 / 97,6 / 96,7 %	95,5 / 97,7 / 97,0 %
η con 30 % $P_{AC,r}$ [1]	94,5 / 97,4 / 96,5 %	95,1 / 97,7 / 96,8 %	95,4 / 97,7 / 97,0 %	95,8 / 97,8 / 97,2 %
η con 50 % $P_{AC,r}$ [1]	95,2 / 97,9 / 97,3 %	95,7 / 98,0 / 97,5 %	95,9 / 98,0 / 97,5 %	96,2 / 98,0 / 97,6 %
η con 75 % $P_{AC,r}$ [1]	95,3 / 98,0 / 97,5 %	95,7 / 98,0 / 97,6 %	95,9 / 98,0 / 97,6 %	96,2 / 98,0 / 97,6 %
η con 100 % $P_{AC,r}$ [1]	95,2 / 98,0 / 97,6 %	95,7 / 97,9 / 97,6 %	95,8 / 97,9 / 97,5 %	96,0 / 97,8 / 97,5 %
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %			

[1] Y con $U_{mpp\,min}$ / $U_{DC,r}$ / $U_{mpp\,max}$

EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Medición del aislamiento CC	Sí			
Comportamiento de sobrecarga	Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia			
Seccionador CC	Sí			
Protección contra polaridad inversa	Sí			

INTERFACES	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)			
6 inputs digitales y 4 inputs/outputs digitales	Interface receptor del control de ondas			
USB (Conector A) [1]	Datalogging, actualización de inversores vía USB			
2 conectores RJ 45 (RS422) [2]	Fronius Solar Net			
Salida de aviso [1]	Gestión de la energía (salida de relé libre de potencial)			
Datalogger y Servidor web	Incluido			
Input externo [2]	Interface S0 Meter / Input para la protección contra sobretensión			
RS485	Modbus RTU SunSpec o conexión del contador			

[1] También disponible en la versión light

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

DATOS DE ENTRADA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\,máx.1}$ / $I_{dc\,máx.2}$)	16 A / 16 A			
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV (MPP_1/MPP_2)	24 A / 24 A			
Mínima tensión de entrada ($U_{dc\,mín.}$)	150 V			
Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc\,arranque}$)	200 V			
Tensión de entrada nominal ($U_{dc,r}$)	595 V			
Máxima tensión de entrada ($U_{dc\,máx.}$)	1.000 V			
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\,mín.}$ – $U_{mpp\,máx.}$)	163 - 800 V	195 - 800 V	228 - 800 V	267 - 800 V
Número de seguidores MPP	2			
Número de entradas CC	2 + 2			
Máxima salida del generador FV ($P_{dc\,máx.}$)	10,0 kW $_{pico}$	12,0 kW $_{pico}$	14,0 kW $_{pico}$	16,4 kW $_{pico}$

DATOS DE SALIDA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	5.000 W	6.000 W	7.000 W	8.200 W
Máxima potencia de salida	5.000 VA	6.000 VA	7.000 VA	8.200 VA
Máxima corriente de salida ($I_{ac\,máx.}$)	7,2 A	8,7 A	10,1 A	11,8 A
Amplitud nominal a la red (rango de tensión)	3 NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)			
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)			
Coeficiente de distorsión no lineal	< 3 %			
Factor de potencia (cos $\varphi_{ac,r}$)	0,85 - 1 ind. / cap.			

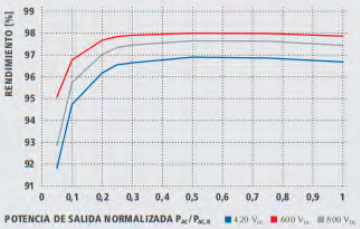
DATOS GENERALES	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	645 x 431 x 204 mm			
Peso	19,9 kg		21,9 kg	
Tipo de protección	IP 65			
Clase de protección	I			
Categoría de sobretensión (CC / CA) [1]	2 / 3			
Consumo nocturno	< 1 W			
Concepto de inversor	Sin Transformador			
Refrigeración	Refrigeración de aire regulada			
Instalación	Instalación interior y exterior			
Margen de temperatura ambiente	-25 - +60 °C			
Humedad de aire admisible	0 - 100 %			
Máxima altitud	2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones)			
Tecnología de conexión CC	4 x CC+ y 4 x CC- bornes roscados 2,5 - 16 mm² [2]			
Tecnología de conexión principal	5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm² [2]			
Certificados y cumplimiento de normas	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE-AR-N 4105, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777.2, AS 4777.3, CER 06 190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-21, NRS 097			

[1] De acuerdo con IEC 62109-1.

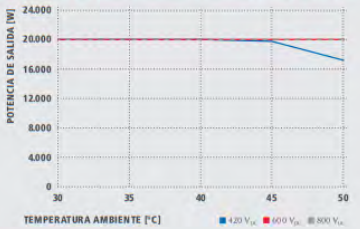
[2] 16 mm² sin necesidad de terminales de conexión.

Más información sobre la disponibilidad de inversores en su país en **www.fronius.es**.

CURVA DE RENDIMIENTO FRONIUS SYMO 20.0-3-M



REDUCCIÓN DE TEMPERATURA FRONIUS SYMO 20.0-3-M



DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

RENDIMIENTO	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Máximo rendimiento	98,0 %			98,1 %	
Rendimiento europeo (η_{EU})	97,4%	97,4 %	97,8 %	97,8 %	97,9 %
η con 5 % $P_{AC,r}$ [1]	87,9 / 92,5 / 89,2 %	88,7 / 93,1 / 90,1 %	91,2 / 94,8 / 92,3 %	91,6 / 95,0 / 92,7 %	91,9 / 95,2 / 93,0 %
η con 10 % $P_{AC,r}$ [1]	91,2 / 94,3 / 92,4 %	92,1 / 96,1 / 94,6 %	93,4 / 96,0 / 94,4 %	94,0 / 96,4 / 95,0 %	94,3 / 96,9 / 95,8 %
η con 20 % $P_{AC,r}$ [1]	94,6 / 97,1 / 96,1 %	95,6 / 97,3 / 96,6 %	95,9 / 97,4 / 96,7 %	96,1 / 97,6 / 96,9 %	96,3 / 97,8 / 97,1 %
η con 25 % $P_{AC,r}$ [1]	95,4 / 97,3 / 96,4 %	95,6 / 97,6 / 97,0 %	96,2 / 97,6 / 97,0 %	96,4 / 97,6 / 97,2 %	96,7 / 97,9 / 97,4 %
η con 30 % $P_{AC,r}$ [1]	95,6 / 97,5 / 96,9 %	95,9 / 97,7 / 97,2 %	96,5 / 97,8 / 97,3 %	96,6 / 97,9 / 97,4 %	96,8 / 98,0 / 97,6 %
η con 50 % $P_{AC,r}$ [1]	96,3 / 97,9 / 97,4 %	96,4 / 98,0 / 97,5 %	96,9 / 98,1 / 97,7 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %
η con 75 % $P_{AC,r}$ [1]	96,5 / 98,0 / 97,6 %	96,5 / 98,0 / 97,6 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %
η con 100 % $P_{AC,r}$ [1]	96,5 / 98,0 / 97,6 %	96,5 / 97,8 / 97,6 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %	96,9 / 98,1 / 97,6 %	96,8 / 98,0 / 97,6 %
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %				

EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Medición del aislamiento CC	Sí				
Comportamiento de sobrecarga	Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia				
Seccionador CC	Sí				
Protección contra polaridad inversa	Sí				

INTERFACES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)				
6 inputs digitales y 4 inputs/outputs digitales	Interfaces receptoras del control de ondas				
USB (Conector A) [2]	Datalogging, actualización de inversores vía USB				
2 conectores RJ 45 (RS 422) [2]	Fronius Solar Net				
Salida de aviso [3]	Gestión de la energía (salida de relé libre de potencial)				
Datalogger y Servidor web	Incluido				
Input externo [3]	Interface SO-Meter / Input para la protección contra sobretensión				
RS 485	Modbus RTU SunSpec o conexión del contador				

[1] Y con $U_{mpp\,mín.}$ / U_{dcn} / $U_{mpp\,máx.}$ [2] También disponible en la versión light

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

DATOS DE ENTRADA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\,máx.1}$ / $I_{dc\,máx.2}$)	27 A / 16,5 A [1]		33 A / 27 A		
Máxima corriente de entrada total utilizada ($I_{dc\,máx.1} + I_{dc\,máx.2}$)	43,5 A		51,0 A		
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV (MPP$_1$ / MPP$_2$)	40,5 A / 24,8 A		49,5 A / 40,5 A		
Mínima tensión de entrada ($U_{dc\,mín.}$)	200 V				
Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc\,arranque}$)	200 V				
Tensión de entrada nominal (U_{dcn})	600 V				
Máxima tensión de entrada ($U_{dc\,máx.}$)	1.000 V				
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\,mín.}$ – $U_{mpp\,máx.}$)	270 - 800 V	320 - 800 V		370 - 800 V	420 - 800 V
Número de seguidores MPP	2				
Número de entradas CC	3+3				
Máxima salida del generador FV ($P_{dc\,máx.}$)	15,0 kW $_{peak}$	18,8 kW $_{peak}$	22,5 kW $_{peak}$	26,3 kW $_{peak}$	30,0 kW $_{peak}$

DATOS DE SALIDA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	10.000 W	12.500 W	15.000 W	17.500 W	20.000 W
Máxima potencia de salida	10.000 VA	12.500 VA	15.000 VA	17.500 VA	20.000 VA
Máxima corriente de salida ($I_{ac\,máx.}$)	14,4 A	18,0 A	21,7 A	25,3 A	28,9 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)	3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)				
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Coeficiente de distorsión no lineal	1,8 %	2,0 %	1,5 %	1,5 %	1,3 %
Factor de potencia (cos $\varphi_{ac,r}$)	0 - 1 ind. / cap.				

DATOS GENERALES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	725 x 510 x 225 mm				
Peso	34,8 kg		43,4 kg		
Tipo de protección	IP 66				
Clase de protección	I				
Categoría de sobretensión (CC / CA) [1]	1 + 2 / 3				
Consumo nocturno	< 1 W				
Concepto de inversor	Sin Transformador				
Refrigeración	Refrigeración de aire regulada				
Instalación	Instalación interior y exterior				
Margen de temperatura ambiente	-40 - +60 °C				
Humedad de aire admisible	0 - 100 %				
Máxima altitud	2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones)				
Tecnología de conexión CC	6 x CC+ y 6 x CC- bornes roscados 2,5 - 16 mm²				
Tecnología de conexión principal	5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm²				
Certificados y cumplimiento de normas	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE-AR-N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777.2, AS 4777.3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097				

[1] 14,0 A para tensiones < 420 V

[1] De acuerdo con IEC 62109-1. Disponible rail DIN opcional para tipo 1 + 2 y tipo 2 de protección de sobretensión.

Más información sobre la disponibilidad de inversores en su país en **www.fronius.es**.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

SOMOS TRES DIVISIONES CON UNA MISMA PASIÓN: SUPERAR LÍMITES.

/ No importa si se trata de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica o tecnología de carga de baterías, nuestra exigencia está claramente definida: ser líder en innovación. Con nuestros más de 3.000 empleados en todo el mundo superamos los límites y nuestras más de 1.000 patentes concedidas son la mejor prueba. Otros se desarrollan paso a paso. Nosotros siempre damos saltos de gigante. Siempre ha sido así. El uso responsable de nuestros recursos constituye la base de nuestra actitud empresarial.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo visite **www.fronius.com**

v04-Nov 2014 ES

Fronius España S.L.U.
Parque Empresarial LA CARPETANIA
Miguel Faraday 2
28906 Getafe (Madrid)
España
Teléfono +34 91 649 60 40
Fax +34 91 649 60 44
pv-sales-spain@fronius.com
www.fronius.es

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Austria
Teléfono +43 7242 241-0
Fax +43 7242 241-953940
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com

ANEXO 12: FOTOGRAFIAS

Foto 01: Paneles Fotovoltaicos de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica



Foto 02: Seccionadores de la Subestación de Ingeniería Eléctrica



Foto 03: Transformador de Potencia de la Subestación de Ingeniería Eléctrica



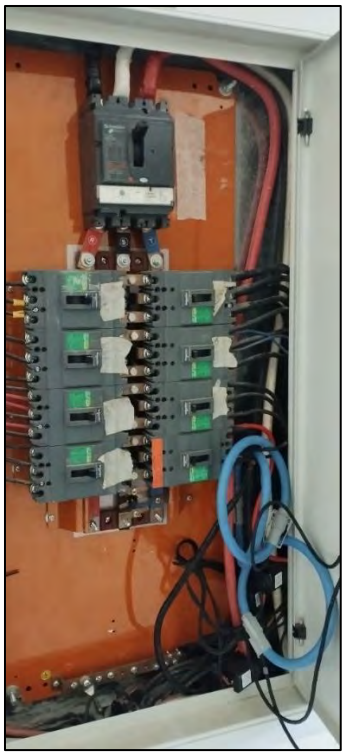
Foto 04: Placa del Transformador de Potencia de la Subestación de Ingeniería Eléctrica



Foto 05: Inversor Fronius de los Paneles Fotovoltaicos de Ingeniería Eléctrica



Foto 06: Tablero de distribución de la Escuela de Ingeniería Eléctrica



GLOSARIO

1. Electricidad: Forma de energía asociada con la presencia y movimiento de partículas cargadas eléctricamente, como electrones.

2. Voltaje (tensión): Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, medida en voltios (V). Representa la fuerza con la que fluye la corriente eléctrica.

3. Corriente eléctrica: Flujo de carga eléctrica a través de un conductor, medida en amperios (A).

4. Resistencia eléctrica: Propiedad de un material que se opone al flujo de corriente eléctrica, medida en ohmios (Ω).

5. Potencia eléctrica: Tasa de transferencia de energía eléctrica, medida en vatios (W).

6. Energía eléctrica: Cantidad de trabajo realizado por la corriente eléctrica durante un período determinado, medida en kilovatios-hora (kWh).

7. Calidad de energía eléctrica: Características de la energía eléctrica suministrada en términos de voltaje, frecuencia, forma de onda y distorsión armónica, que afectan el rendimiento de los equipos eléctricos.

8. Armónicos: Componentes adicionales de la forma de onda de la corriente o el voltaje que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

9. Factor de potencia: Relación entre la potencia activa y la potencia aparente en un circuito, indica la eficiencia en la utilización de la energía eléctrica.

10. Generación distribuida: Producción de energía eléctrica en pequeña escala y cercana al punto de consumo, a menudo utilizando fuentes de energía renovable como la solar, eólica o biomasa.

11. Paneles solares fotovoltaicos: Dispositivos que convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico.

12. Inversores: Dispositivos que convierten la corriente continua (DC) generada por paneles solares en corriente alterna (AC) utilizable para su uso en el hogar o la red eléctrica.

13. Red eléctrica: Sistema interconectado de transmisión y distribución de energía eléctrica que suministra electricidad a los usuarios finales.

14. Microred: Pequeño sistema eléctrico autónomo que integra fuentes de generación y almacenamiento, que puede operar de forma independiente o conectarse a la red principal.

15. Sistemas híbridos: Combinación de diferentes fuentes de generación de energía, como solar, eólica, diesel o baterías, para mejorar la confiabilidad y eficiencia del suministro eléctrico.

16. Eficiencia energética: Uso racional de la energía para obtener los mismos servicios, reduciendo las pérdidas y el consumo innecesario.

17. Autoconsumo: Práctica de consumir la energía generada localmente por los propios usuarios, reduciendo la dependencia de la red eléctrica.

18. Estabilidad de la red: Capacidad del sistema eléctrico para mantener una operación segura y estable, incluso ante variaciones de la demanda y las condiciones de generación.

19. Interconexión: Conexión física y eléctrica entre diferentes sistemas de generación y/o distribución de energía.

20. Frecuencia eléctrica: Número de ciclos completos de corriente alterna que se producen en un segundo, medida en hercios (Hz).

21. Despacho de carga: Proceso de gestión y control de la distribución de la energía eléctrica para satisfacer la demanda de los consumidores.

22. Punto de conexión: Punto físico donde se conecta un generador de energía a la red eléctrica.

23. Energía reactiva: Tipo de energía que no produce trabajo útil pero es necesaria para mantener el flujo de energía activa en sistemas de corriente alterna, medida en kilovolt-amperios reactivos (kVAR).

24. Transformador: Dispositivo que se utiliza para aumentar o disminuir el voltaje de una corriente alterna para su transmisión y distribución eficiente.

25. Eficiencia de conversión: Relación entre la cantidad de energía de entrada y la cantidad de energía de salida en un proceso de conversión eléctrica, como la generación solar o eólica.

26. Monitorización de energía: Uso de sensores y tecnología para medir, registrar y analizar el consumo y la calidad de energía eléctrica.

27. Gestión de la demanda: Estrategias y acciones para controlar y optimizar el consumo de energía eléctrica, especialmente en momentos de alta demanda o escasez de recursos.

28. Generación descentralizada: Modelo de generación de energía que se basa en una serie de pequeñas instalaciones distribuidas en diferentes ubicaciones geográficas.

29. Generación virtual: Concepto donde múltiples fuentes de generación distribuida, como paneles solares en hogares, se combinan para actuar como una sola central eléctrica en la red.

30. Sistema de protección: Conjunto de dispositivos y protocolos utilizados para garantizar la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico, evitando daños a equipos y personas.

31. Sobretensión: Un aumento temporal en el nivel de voltaje en un sistema eléctrico, que supera el valor nominal o esperado.

32. Subtensión: Una disminución temporal en el nivel de voltaje en un sistema eléctrico, por debajo del valor nominal o esperado.