



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

ESTUDIO DE CASO CALIDAD DE LA ENERGÍA DE AUTOGENERADOR A PEQUEÑA ESCALA

AUTOR

LUIS FELIPE GONZÁLEZ ARCHILA

DIRECTOR

M. Sc. LUIS DAVID PABÓN FERNÁNDEZ

CODIRECTOR

PhD. OSCAR JAVIER SUAREZ SIERRA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y

TELECOMUNICACIONES

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA NORTE DE SANTANDER

2022

**ESTUDIO DE CASO CALIDAD DE LA ENERGÍA DE AUTOGENERADOR A
PEQUEÑA ESCALA**

**AUTOR
LUIS FELIPE GONZÁLEZ ARCHILA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO**

**DIRECTOR
M. SC. LUIS DAVID PABÓN FERNÁNDEZ**

**CODIRECTOR
PhD. OSCAR JAVIER SUAREZ SIERRA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA NORTE DE SANTANDER
2022**

DEDICATORIA

Este trabajo se lo quiero dedicar a DIOS, mis padres y mi hermana por su apoyo en esta proceso, a los profesores de ingeniería eléctrica que me acompañaron e impartieron sus conocimiento y paciencia durante este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al profesor Luis David Pabón Fernández por su colaboración, apoyo y paciencia durante la realización y la terminación de este proyecto, así mismo al profesor Edison Andrés Caicedo Peñaranda y al profesor Paulo Alexander Santafé por su colaboración y asesoría durante estos años de formación en la universidad, a los demás docentes de la universidad con los que compartí y me han acompañado durante este proceso de formación, a mis amigos que me han acompañado en este proceso y me han ayudado a llegar a este punto.

CONTENIDO

RESUMEN	12
1. CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	14
1.1. INTRODUCCIÓN	14
1.2. OBJETIVOS	15
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3.2. JUSTIFICACIÓN	16
1.4. IMPACTO DEL PROYECTO	17
2. CAPITULO 2 MARCO CONCEPTUAL	18
2.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	19
2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA	30
3. CAPITULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	44
3.1. LOCALIZACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	44
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	45
3.3. MARCO NORMATIVO	49
3.3.1. NORMATIVA INTERNACIONAL	49
3.3.2. NORMATIVA NACIONAL	52
3.3.3. A NIVEL REGIONAL	57
4. CAPITULO 4 TOMA DE MEDICINES Y MEDICIONES DE POTENCIA	59
4.1. DESCRIPCIÓN DEL ANALIZADOR DE REDES	60
4.2. MEDICIÓN DE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	63
4.3. MEDICIÓN DE POTENCIA ACTIVA, REACTIVA Y FACTOR DE POTENCIA	66
5. CAPITULO 5 CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA	89
5.1. CONFIGURACIÓN DEL ANALIZADOR DE REDES	89
5.2. PRIMERA SEMANA DE MEDICIONES	90
5.3. SEGUNDA SEMANA DE MEDICIONES	97
6. CAPITULO 6 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES	104

7. CONCLUSIONES	105
8. RECOMENDACIONES	106
9. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	107
10. ANEXOS	110
10.1. ANEXO 1 CONTRATO AGPE MENOR A 10 KW	110
10.2. ANEXO 2 CONTRATO AGPE MAYOR IGUAL 10 KW - MENOR A 100 KW	111
10.3. ANEXO 3 CONTRATO AGPE MAYOR O IGUAL A 100 KW - MENOR A 1 MW	112
10.4. ANEXO 4 CONTRATO AGGE MAYOR O IGUAL A 1 MW - MENOR A 5 MW	113
10.5. ANEXO 5 ESTUDIO DE CONEXIÓN SIMPLIFICADO MENORES 0.1 MW Y GD CENS.....	114
10.6. ANEXO 6 ESTUDIO DE CONEXIÓN SIMPLIFICADO ENTRE 01-MW Y 1 MW CENS	115
10.7. ANEXO 7 ESTUDIO DE CONEXIÓN SIMPLIFICADO ENTRE 1 MW Y 5MW CENS.....	116
10.8. ANEXO 8 TABLA RESUMEN ESTUDIOS DE CONEXIÓN SIMPLIFICADOS Y CAUSALES DE RECHAZO	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de celdas fotovoltaicas	25
Tabla 2 Clasificación de transitorios según el estándar IEEE 1159 -2019	30
Tabla 3 Fuentes de los transitorios	31
Tabla 4 variaciones de corta duración	33
Tabla 5 Variaciones de corta duración según la clasificación IEEE 1159	37
Tabla 6 Distorsión de forma de onda Estándar IEEE 1159 – 2019	40
Tabla 7 límites de distorsión de tensión	50
Tabla 8 Descripción documentación tipo de la Tabla 1	54
Tabla 9 Componentes de un analizador de redes Fluker 434 – II	62
Tabla 10 clasificación de eventos 3 semana	66
Tabla 11 Clasificación de eventos de forma de onda.....	90
Tabla 12 Eventos de swell de tensión presentados	93
Tabla 13 Eventos de Transitorios presentados	94
Tabla 14 Eventos de interrupciones presentados.....	94
Tabla 15 Eventos de SAG de tensión presentados.....	96
Tabla 16 Clasificación de eventos de forma de onda.....	97
Tabla 17 Eventos de SWELL de tensión presentados.....	100
Tabla 18 Eventos de transitorios presentados.....	101
Tabla 19 Eventos de interrupciones presentados.....	101
Tabla 20 Eventos de caídas de tensión SAG presentados.....	103

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Componentes de sistema fotovoltaico para autoconsumo	20
Ilustración 2 Sistema fotovoltaico conectado a la red	21
Ilustración 3 Promedio anual de irradiación en el departamento de Norte de Santander Colombia	22
Ilustración 4 Promedio anual de irradiación en Colombia	23
Ilustración 5 Transitorio impulsivo	31
Ilustración 6 Transitorio oscilatorio	33
Ilustración 7 Variación de corta duración Sag	34
Ilustración 8 Variación de corta duración Swell.	35
Ilustración 9 Interrupción de corta duración	36
Ilustración 10 Variación de larga duración bajo voltaje	37
Ilustración 11 Variación de larga duración sobre voltaje	38
Ilustración 12 Variación de larga duración interrupción sostenida	38
Ilustración 13 Onda sinusoidal con offset de CD	40
Ilustración 14 Contenido armónico	41
Ilustración 15 Muesca	42
Ilustración 16 Ruido	43
Ilustración 17 Ubicación del sistema fotovoltaico conectado a la red	44
Ilustración 18 Área de control del sistema fotovoltaico	44
Ilustración 19 Distribución de los módulos fotovoltaicos.....	45
Ilustración 20 Protecciones en CD bajantes de los módulos fotovoltaicos	46
Ilustración 21 Inversor de red de C.C / C.A	47
Ilustración 22 Modulo de control.....	47
Ilustración 23 Transformador.....	48
Ilustración 24 Tablero de distribución edificio Virgilio Barco Vargas.....	48
Ilustración 25 Clasificación de efectos electromagnéticos según el estándar IEEE 1159	51
Ilustración 26 Requisitos de documentación de los procedimientos de conexión.....	54
Ilustración 28 Menú Tramita Tu Proyecto a Continuación	58
Ilustración 29 Contratos de conexión proforma	58
Ilustración 30 Menú de lineamientos de pruebas, protecciones y estudios de conexión.....	59
Ilustración 31 Instalación analizador de redes en el PCC.....	59
Ilustración 32 Analizador Fluker 434 – II	60
Ilustración 33 Componentes de un analizador de redes	61
Ilustración 34 Conexión del analizador de redes	63
Ilustración 35 Verificación del sistema fotovoltaico	63
Ilustración 36 Verificación del tablero de control.....	64
Ilustración 37 Mantenimiento correctivo	64
Ilustración 38 verificación funcionamiento del sistema fotovoltaico	65
Ilustración 39 Verificación con cámara térmica del funcionamiento del transformador	65
Ilustración 40 Onda de voltaje	66
Ilustración 41 Onda de corriente	66

Ilustración 42 Diagrama fasorial del voltaje.....	67
Ilustración 43 Diagrama fasorial de la corriente	67
Ilustración 44 Comparativo de Potencia total activa	67
Ilustración 45 Comparativo de potencia total activa	68
Ilustración 46 Registro de potencia activa	69
Ilustración 47 Comparación de potencial total reactiva	70
Ilustración 48 Comparación de potencial total reactiva	71
Ilustración 49 Registro de potencia reactiva.....	71
Ilustración 50 Comparación de potencia total aparente	72
Ilustración 51 Comparación de potencia total aparente	73
Ilustración 52 Registro de potencia aparente	74
Ilustración 53 Comparación del factor de potencia	74
Ilustración 54 Comparación del Factor de potencia	75
Ilustración 55 Comparativo del factor de potencia de desplazamiento	76
Ilustración 56 Comparativo del factor de potencia de desplazamiento	77
Ilustración 57 Comparativo de la potencia de los armónicos	78
Ilustración 58 Comparativo de la potencia de los armónicos	79
Ilustración 59 Comparativo de energía activa.....	80
Ilustración 60 Comparativo de energía activa.....	81
Ilustración 61 Comparativo de energía reactiva	82
Ilustración 62 Comparativo de energía reactiva	83
Ilustración 63 Comparativo de energía aparente	84
Ilustración 64 Comparativo de energía aparente	85
Ilustración 65 Comparativo de energía suministrada	86
Ilustración 66 Comparativo de energía suministrada	87
Ilustración 67 Comparativo de energía consumida	88
Ilustración 68 Comparativo de energía consumida	89
Ilustración 69 configuración del analizador de redes	90
Ilustración 70 Frecuencia del autogenerador sincronizada a 60 Hz	91
Ilustración 71 Desequilibrio de tensión en Vn%	91
Ilustración 72 Armónicos de tensión fase A.....	92
Ilustración 73 Armónicos de tensión fase B.....	92
Ilustración 74 Armónicos de tensión fase C	93
Ilustración 75 PLT en la fase A.....	95
Ilustración 76 PLT en la fase B.....	95
Ilustración 77 PLT en la fase C.....	95
Ilustración 78 Curva cebema	97
Ilustración 79 Frecuencia del autogenerador sincronizada a 60Hz	98
Ilustración 80 Desequilibrio de tensión Vn%	98
Ilustración 81 Armónicos de la fase A	99
Ilustración 82 Armónicos de la fase B	99
Ilustración 83 Armónicos de la fase C	100

Ilustración 84 Fliker en la fase A.....	102
Ilustración 85 Fliker en la fase B.....	102
Ilustración 86 Fliker en la fase C.....	103
Ilustración 87 Curva cebema.....	104
Ilustración 88 Anexo 1.....	110
Ilustración 89 Anexo 2.....	111
Ilustración 90 Anexo 3.....	112
Ilustración 91 Anexo 4.....	113
Ilustración 92 Anexo 5.....	114
Ilustración 93 Anexo 6.....	115
Ilustración 94 Anexo 7.....	116
Ilustración 95 Anexo 8.....	117

RESUMEN

Generar un gran impacto de la utilización del sistema fotovoltaico para la proyección a diferentes áreas de la economía crea en si la necesidad de que cada día se realicen estudios en pro de conseguir nuevos conocimientos mediante la revisión de la calidad de la energía y perfil de reactivos de un autogenerador fotovoltaico a pequeña escala conectado a la red, fuente del presente trabajo base fundamental de los análisis y generadores de recomendaciones para próximas investigaciones, el cual fue analizado con el apoyo del equipo llamado analizador de redes Fluker 434-II, en el cual se realizó las mediciones correspondientes; luego de tres semanas continuas de análisis, con la obtención de los datos suministrados por el analizador, se procede a examinar los datos que este arrojo y se realiza una comparación de estos, teniendo en cuenta los estándares internacionales como el estándar IEEE 1159 y el estándar IEEE 519, de igual manera se gestionan los análisis de los datos de potencia presente durante las mediciones resultantes en el sistema fotovoltaico. En la parte final de trabajo se efectuó la clasificación de los eventos de calidad de la energía presentes, se proyecta el planteamiento de posibles soluciones a los eventos presentados buscando dar solución a los distintos problemas de calidad la energía y perfil de reactivos presente.

PALABRAS CLAVES

Calidad de la energía, sistema fotovoltaico, armónico, IEEE 1159 y IEEE 519

ABSTRACT

To generate a great impact of the use of the photovoltaic system for the projection to different areas of the economy creates in itself the need for every day studies to be carried out in order to obtain new knowledge by reviewing the quality of the energy and profile reagents from a small-scale grid-connected photovoltaic self-generator, source of the present work fundamental basis of the analyses and generators of recommendations for future investigations, which was analyzed with the support of the equipment called network analyzer Fluke 434-II, in which the corresponding measurements were made; after three continuous weeks of analysis, with the collection of the data provided by the analyser, the data that is collected is examined and compared, taking into account international standards such as the IEEE 1159 standard and the IEEE 519 standard, the analyses of the power data present during the resulting measurements in the photovoltaic system are also managed. In the final part of the work the classification of the energy quality events present was carried out, the approach of possible solutions to the presented events is projected seeking to give solution to the different problems of quality energy and profile of reagents present.

KEYWORDS

Power quality, photovoltaic system, harmonic, IEEE 1159 y IEEE519

1. CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

A medida que la tecnología ha venido avanzando y el consumo energético ha aumentado De energía no convencionales o fuentes renovables ha sido el nuevo horizonte de la generación de energía, los sistemas fotovoltaicos, hidroeléctricas, sistemas eólicos y biomasa han cogido gran auge por su utilización, permitiendo al usuario según la tecnología que utilicen obtener beneficios aparte de la generación de energía eléctrica.

Los autogeneradores de pequeña escala según la Comisión de regulación de energía y gas por sus siglas CREG establece los lineamientos en los cuales se clasifican los auto generadores a pequeña escala, establece los parámetros en los cuales las empresas de energía realizan los contratos para la inyección de potencia a la red, y otros parámetros importantes para mantener la seguridad, flexibilidad y confiabilidad de los sistemas de distribución.

En este trabajo de grado se realiza la toma de mediciones con el analizador de redes de marca Fluke 434-II utilizando la función de monitor en la cual se permite tomar las mediciones D la frecuencia desbalance de voltaje, swell, sag, interrupciones, Flicker, factor de potencia, mediante la función de medición de potencia se obtuvo las mediciones de potencia activa, potencia reactiva, energía activa, energía reactiva entre otros parámetros; una vez obtenido las mediciones de calidad de la energía se procedió a realizar los respectivos análisis.

Seguidamente se realizó la comparación con los estándares de calidad de la energía tales como es el estándar IEEE 1159 y el estándar IEEE 519, en los cuales se establece tiempos de duración, magnitudes típicas, Límites máximos según la tensión del sistema entre otros parámetros.

Por último, se realizó el planteamiento de soluciones a los efectos de la calidad de la energía que fueron detectados mediante el analizador de redes, teniendo en cuenta la posibilidad de esta solución de brindar una solución a todos los fenómenos de calidad de la energía presentes.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio de la calidad de la energía y perfil de reactivos de un autogenerador fotovoltaico a pequeña escala conectado a la red con miras a determinar impactos ambientales negativos.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el autogenerador a pequeña escala.
- Realizar las mediciones requeridas en el estudio de la calidad de la energía y la determinación del perfil de consumo de energía reactiva.
- Determinar los impactos negativos en cuanto a calidad de la energía y consumo de reactivos del autogenerador a pequeña escala, creando posibles soluciones de los impactos determinados.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, la instalación de generadores fotovoltaicos a pequeña escala se ha venido implementado como parte de la solución de la gran demanda de consumo energético en las construcciones urbanas y rurales, lo cual ha ocasionado un gran impacto ambiental que llega a ser muy favorable al momento de su implementación, ya que este tipo de sistema maneja una fuente de energía renovable.

Con el avance de la tecnología, los inversores de C.C/C.A suelen presentar eventos relacionados en el proceso de inversión de voltaje, causando disturbios en la calidad de la energía al momento de realizar la sincronización del sistema fotovoltaico a pequeña escala y el sistema de transmisión regional STR, el cual esta sincronizado con el sistema interconectado nacional SIN.

Es así que mediante la resolución 174 de 2021 de la Comisión Reguladora de Energía y Gas CREG regula la conexión de estos autogeneradores al sistema interconectado nacional (SIN), haciéndose indispensable que para ello se deba cumplir con unos parámetros entre los que encontramos las memorias de cálculo, realización del contrato con la empresa encargada de la distribución de energía en cada departamento, la calidad de la energía la cual es de gran importancia para disminuir las pérdidas en el sistema de transmisión entre otros aspectos.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN

El propósito de este proyecto es realizar un estudio de la calidad de la energía de un autogenerador fotovoltaico a pequeña escala, el cual se encuentra conectado a la red de forma tal que se pueda determinar el perfil de consumo de reactivos los cuales pueden ser consumidos o inyectados y los efectos de la calidad de energía que se encuentran presentes al momento de que se realiza la inversión de voltaje y es inyectado al sistema interconectado, brindándole así, una posible solución a estos efectos que se encuentran presente dentro del sistema tales como son: fluctuaciones de voltaje, sag, swell, armónicos, entre otros.

1.4. IMPACTO DEL PROYECTO

Con base en la realización del trabajo de grado se lograron los siguientes impactos

- Las mediciones permitieron la detección de la falla del sistema fotovoltaico, y posteriormente con ayuda del profesor Luis David Pabón Fernández dentro del marco del proyecto de interacción social en el cual participa actualmente, se llevó a cabo el mantenimiento correctivo con el cual el sistema volvió a funcionamiento.
- La recopilación de documentación, toma de datos y análisis de los mismos, los cuales se encuentran disponibles para docentes y estudiantes, permite la apropiación de nuevos conocimientos de los efectos de la calidad de la energía que se encuentran en el sistema fotovoltaico.
- La caracterización del sistema fotovoltaico, permite compartir el conocimiento de su funcionamiento con docentes y estudiantes de los programas pertenecientes a la facultad de ingenierías y arquitectura.
- Permite plantear nuevos proyectos de trabajo de grado e investigación enfocados en la búsqueda de soluciones a los eventos de calidad de la energía presentes.
- Genera nuevas oportunidades de investigación para trabajos de grado en búsqueda de soluciones a los requerimiento de potencia reactiva presentes, aplicables a diferentes ramas de la economía colombiana.

2. CAPITULO 2 MARCO CONCEPTUAL

En los siguientes trabajos se puede observar el estado del arte basados en libros, artículos, tesis, entre otros.

- P. Sanjeevikumar, C. Sharmeela, J. Holm-nielsen, y P. Sivaraman, Power Quality in Modern Power Systems. la Ciudad Condal, España: Elsevier Masson, 2022.

En este libro se presenta las categorías y características de fenómenos electromagnéticos en los sistemas de potencias según los estándares IEEE 1159 – 2019 en el cual se puede evidenciar ejemplos de cada uno de los fenómenos, sus causas y sus impactos[1].

- A. Góngora Castro y L. Cano Mazuera, “análisis de la calidad de la potencia y suministro eléctrico en el sistema fotovoltaico de 150 kWp de la universidad autónoma de occidente”, Universidad Autónoma de Occidente, SANTIAGO DE CALI, 2018.

En este documento se puede observar el estudio teórico – práctico de la calidad de la potencia y suministro eléctrico del sistema solar fotovoltaico el cual está conectado a la red en la universidad autónoma de occidente (UAO)[2].

- D. Andrade Rosero, “Análisis de calidad de la potencia en la integración de sistemas fotovoltaicos en la Microrred de la Universidad de Nariño”, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia, 2018.

En esta tesis de grado de maestría se encuentra el estudio técnico del impacto que tiene el sistema de generación fotovoltaico en la red eléctrica interna de la universidad de Nariño mediante cuatro escenarios de prueba[6].

- D. Domínguez Guamán y B. Salvatierra Canepa, “Análisis de calidad de energía en sistemas fotovoltaicos conectados a la red”, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Cuenca México, julio de 2016.

Para este proyecto de grado realizado en Ecuador, se lleva a cabo el análisis de calidad de la energía por parte de los paneles fotovoltaicos siendo evaluados con los estándares y normas vigentes en el país[4].

- “IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric Power Systems”, IEEE, Piscataway, NJ, USA, jun. 2014.

En este artículo se ilustra la manera de cómo realizar la práctica recomendada para el control de armónicos, se instauran objetivos para el diseño de sistemas eléctricos que incluyen cargas tanto lineales como no lineales, se especifican las formas de onda de voltaje y corriente que pueden presentar en todo el sistema y se establecen los objetivos de distorsión de forma de onda para el diseñador del sistema[7].

- Á. Marroquín, J. Olivares, E. Ortiz, D. Martínez, B. Ugalde, y G. Cervantes, “Análisis armónico de un sistema fotovoltaico operando bajo la modalidad tipo isla”, Ecorfan.org. [En línea]. Disponible en: https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Ingenieria%20y%20Tecnologia%20-IV/Articulo_11.pdf. [Accedido: 15-mar-2022].

En este artículo se analizó los armónicos presentados en un sistema fotovoltaico en cual se encuentra operando mediante la modalidad tipo isla y se realiza la verificación de la calidad de la energía correspondiente a los armónicos presentes en la red[3].

- J. Aristizabal, J. Hernández, y G. Gordillo, “Análisis de Calidad de Potencia para un Sistema Fotovoltaico Interconectado”.

En este artículo científico se presenta el análisis realizado al sistema fotovoltaico interconectado que se encuentra instalado en la universidad nacional en el departamento de física mediante la comparación de los datos obtenidos mediante mediciones y los establecido en la normativa, se realizó un instrumento virtual mediante el programa LabVIEW que toma datos con un muestreo de 2000 muestra/segundo, el programa es capaz el programa calcula y muestra los demás parámetros que determinan la calidad de la potencia: Valores RMS de la tensión y corriente, factor de potencia, frecuencia e informa mediante un indicador si hay presencia de flicker[5].

2.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La generación de energía eléctrica mediante la radiación solar o también conocido como efecto fotovoltaico que fue presentado por el físico Antoine Becquerel en el año 1839, el cual plantea por medio de la implementación de materiales que absorben la radiación solar y la convierten en energía eléctrica[8],[9].

Posteriormente en 1870 el profesor W. Grylls Adams y su estudiante R. Evans Day se encontraban realizando un experimento con la luz solar en los materiales no metálicos y semiconductores como es el selenio, el cual al momento de recibir la radiación solar en el material, este empieza a generar movimiento de electrones generando un flujo eléctrico; en 1885, continúan los experimentos dando como resultado el primer módulo fotovoltaico realizado por el señor Charles Fritss en colaboración con el señor Wener Von Siemens, los cuales presentaron a la real academia de Prusia la evidencia de sus experimentos realizados con respecto a la conversión de radiación solar en energía eléctrica; a medida que la tecnología evolucionaba, los paneles fotovoltaicos fueron mejorando en la composición de e implementación de células mejoradas que se ven reflejadas en los paneles implementados en la actualidad[8].

La radiación solar se clasifica según su utilización teniendo dos formas de utilización de la radiación solar la primera es conocida como generación térmica solar la cual usa el sol como fuente de calor para calentar un fluido y generar vapor para hacer girar unas turbinas, el segundo método es captar la radiación solar y convertirla en energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas[10].

Los sistemas fotovoltaicos que se encuentra conectados a la red son instalados en aquellas zonas donde la red del sistema distribución local (SDL) se encuentra presentes y pueden ser utilizados en distintas formas según sea demandadas por el usuario final[6].

- Generación de energía eléctrica para autoconsumo

Este sistema es utilizado en con apoyo de la red eléctrica existente la cual se activa en el momento de existir un déficit de energía en las baterías de almacenamiento este sistema de generación fotovoltaica se encuentra compuesto por el módulo fotovoltaico, regulador de carga, batería, inversor, protecciones y un consumo de corriente directa (CD) como se observa en la ilustración 1[6].

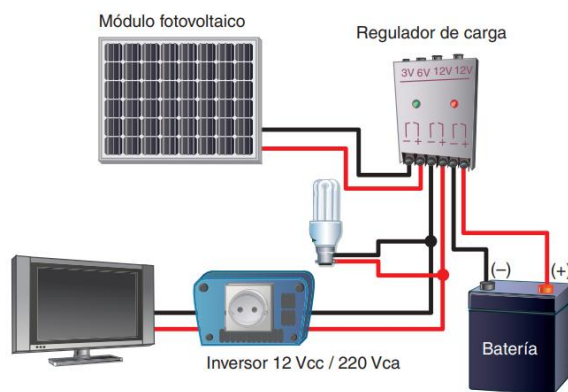


Ilustración 1 Componentes de sistema fotovoltaico para autoconsumo [11].

- Generación de energía suministrada a la red

Este sistema utiliza la energía generada por el sistema fotovoltaico y es inyectada directamente a la red eléctrica del sistema de distribución local (SDL) en forma de venta de energía a la empresa encargada según la región en tanto la persona sigue siendo alimentado por la red eléctrica, permitiendo de esta forma que la persona pueda obtener beneficios tales como descuentos en su recibo o recibir la diferencia entre lo vendido y lo consumido en la ilustración 2 se ilustra un ejemplo de un sistema fotovoltaico conectado a la red[6].

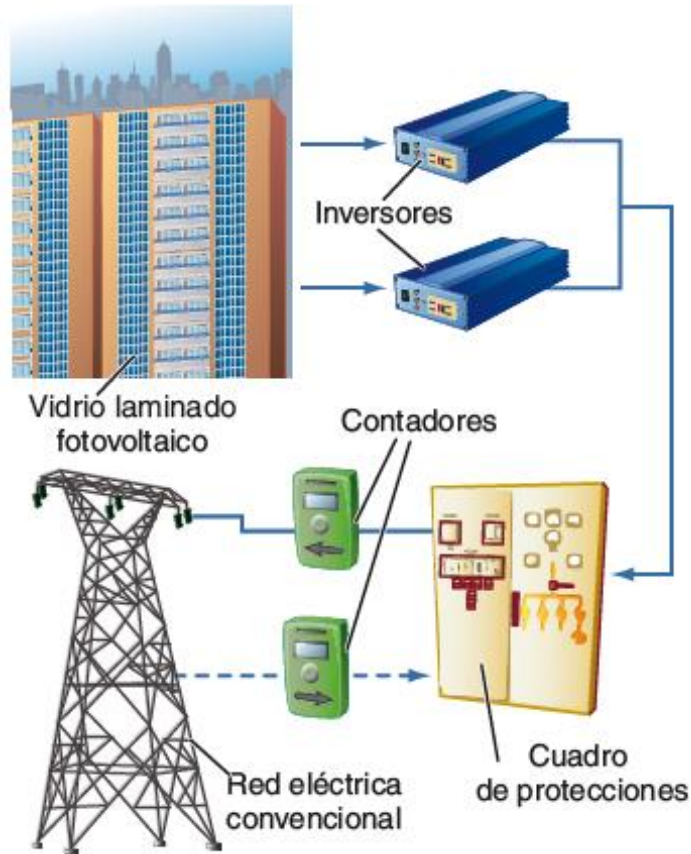


Ilustración 2 Sistema fotovoltaico conectado a la red [11].

Según la resolución 281 del 2015 de la unidad planeación minero-energética por sus siglas (UPME) estable en su artículo primero “el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala será de un (1) MW y corresponderá a la capacidad instalada del sistema de generación del autogenerador”.

2.1.1. ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA

La generación de energía eléctrica en Colombia se ha venido desarrollando mediante combustibles fósiles, hidroeléctricas y en menor capacidad biomasa, eólicas y fotovoltaica, la energía solar en Colombia se está planteando como una de las grandes propuestas para la generación de energía eléctrica permitiendo suplir la demanda en zonas aisladas del país y del sistema interconectado nacional (SIN) gracias a su ubicación privilegiada en la zona ecuatorial lo que permite tener irradiación solar durante todo el año[6].

Como se puede observar en la ilustración 3, el departamento de Norte de Santander se puede destacar gracias a su ubicación en la geografía colombiana la cual le brinda la posibilidad de recibir un buen recurso de brillo solar (horas de sol), alrededor de un promedio de 7 a 12 horas al día con un promedio anual de irradiación de 4,25 kWh/m²; observando detalladamente la ilustración 4, la cual proyecta de manera general la irradiación de brillo solar que Colombia recibe anualmente, obteniendo un promedio anual de 4,5 kWh/m² permitiendo ubicarse como un potencial para la instalación de sistema fotovoltaicos en miras de poder suplir la demanda de energía eléctrica. Entre las diversas aplicaciones que tiene los sistemas fotovoltaicos encontramos: servicios, residencial, electrificación de viviendas en zonas aisladas, industria y telecomunicaciones agropecuario transporte.

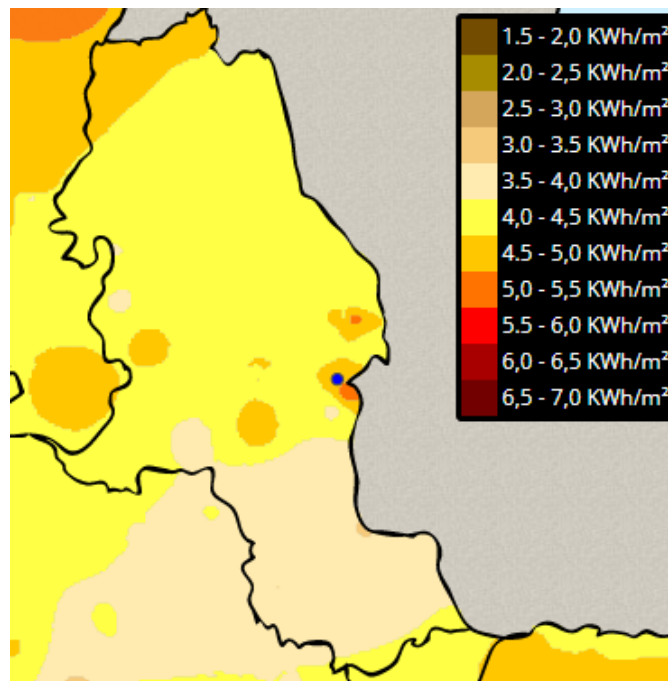


Ilustración 3 Promedio anual de irradiación en el departamento de Norte de Santander Colombia [12].

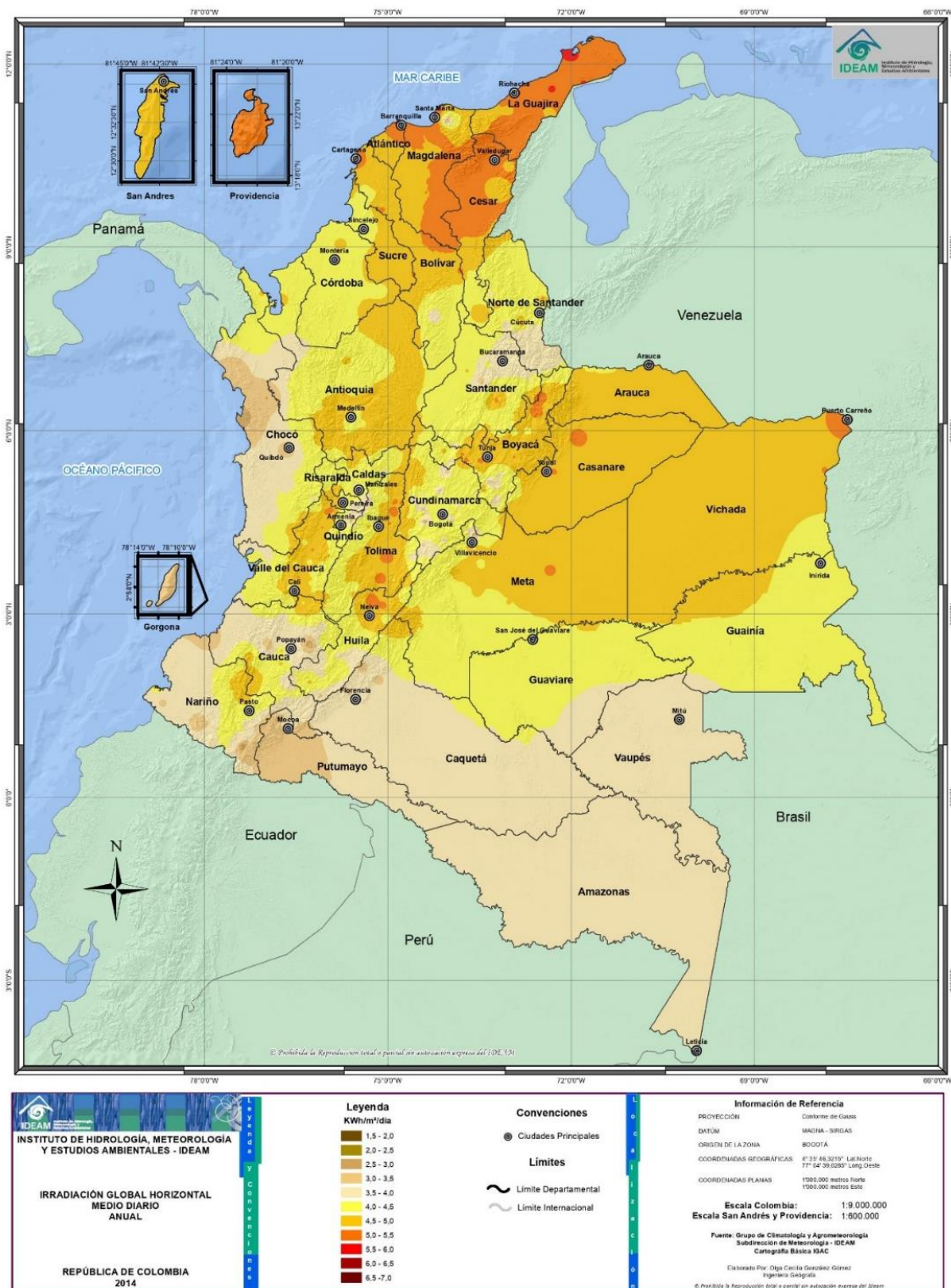


Ilustración 4 Promedio anual de irradiación en Colombia [12].

La legislación colombiana para realizar la promoción del uso de energías no convencionales promulga la ley 1715 de 2014 por la cual se concede grandes beneficios a las personas naturales o jurídicas que fomenten el uso de fuentes no convencionales de energía (FNCE) entre los que vamos a encontrar [13].

- Con base a la implementación de los sistemas fotovoltaicos, se plantea la disminución del 50% en el impuesto de renta, a quienes estén obligados a declarar y hayan invertido en energías renovables no convencionales.
- Los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en energía solar FV, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, el 50% del valor total de la inversión realizada. Durante los 5 años siguientes al año gravable en el que hayan realizado la inversión.
- Los generadores de energía renovable en pequeña y gran escala podrán vender a la red eléctrica, el excedente de energía que ellos no consuman (medición bidireccional), según disponga la CREG.
- Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre-inversión, inversión, medición y evaluación de las FNCE, estarán excluidos de IVA [13].

2.1.2. CELDAS FOTOVOLTAICAS

La fabricación de las celdas fotovoltaicas normalmente se desarrolla en materiales semiconductores el más usado es el silicio el cual al ser mezclado con otros elementos mejora sus propiedades técnicas volviéndolo un material de mayor conductibilidad de este semiconductor obtendremos dos de los paneles más usados a nivel mundial, en la tabla 1 se clasifican los tres tipos de celdas fotovoltaicas que se están utilizando en el mercado donde se encuentra su rendimiento y características [14].

Tabla 1 Tipos de celdas fotovoltaicas [11], [14].

Células	Silicio	Rendimiento en laboratorio	Rendimiento directo	Características
	Monocrystalino	24%	12 – 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre si (Czochralski)
	Policristalino	19 – 20 %	12 – 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.
	Amorfo	16 %	<10%	Tiene un color homogéneo (marrón) pero no existe conexión visible entre las células

- Silicio monocrystalino

Son módulos de color azul o casi negro la forma física de las células que lo componen es de bordes redondeados, están formadas por cristales de silicio monocrystalino los cuales se encuentran orientados en la misma dirección. Con luz perpendicular garantizan una buena producción de energía [15].

- Silicio policristalino

Son módulos azules en el mercado se pueden encontrar de distintos compuestos por cristales de silicio orientados de manera no uniforme. Su eficiencia en la aplicación se encuentra entre 12 al 14 % como se encuentra ilustrado en la tabla 1 es aunque su rendimiento es mayor a lo largo del día [15].

- Silicio amorfo

También conocidas como células de película delgada se desarrollan a partir silicio o su producción se desarrolla a partir de nuevos materiales, como el arseniuro de galio, telurio de cadmio o el Cobre Indio Diselenido [16].

2.1.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son una de las principales aplicaciones de la energía solar fotovoltaica que han crecido de manera exponencial en los últimos años permitiendo la sustitución de los sistemas energéticos tradicionales; Colombia posee un gran potencial debido a su diversidad geográfica y su ubicación privilegiada en la zona Ecuatorial lo que permite una buena radiación durante todo el año [17].

Los sistemas fotovoltaicos que se encuentran conectados a la red por lo general lo realizan mediante un inverso, efectuando así un intercambio energético entre éste y el sistema fotovoltaico, el cual es característico en estas instalaciones. Así, el sistema fotovoltaico inyecta energía en la red cuándo el consumo del lugar donde se encuentra instalado es inferior a la potencia generada; existen distintos tipos de sistemas fotovoltaicos que se encuentran conectados a la red entre los que tenemos: [17]

- sistemas fotovoltaicos en edificios
- Sistemas fotovoltaicos en casas
- Huertos o centrales eléctricas fotovoltaicas

2.1.3.1. COMPONENTES DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED

Los sistemas solares fotovoltaicos que se encuentran conectados a la red según a su dimensionamiento en el diseño pueden tener más equipos que otros a continuación se identificara el equipo y una breve descripción.

- Paneles solares

Los paneles solares se encuentran compuestos por la Unión sucesiva de módulos los cuales se encuentran formados por la Unión de celdas, permitiendo la captación de la radiación solar y transformándola a energía eléctrica generando una mayor oferta en el momento de la auto generación, realizar una buena dimensión de la instalación del sistema fotovoltaico es primordial para la obtención de los elementos que lo compone para eso se deben tener en cuenta los siguientes parámetros [18].

Punto de máxima potencia: es el producto entre el valor de la tensión V_m e intensidad I_m máxima.

Factor de forma: cociente entre la potencia máxima que puede entregarse a una carga y el producto entre la tensión a circuito abierto y la intensidad de cortocircuito. Suelen ser habituales los valores comprendidos entre 0.7 y 0.8.

$$FF = \frac{I_m * V_m}{V_o * I_{cc}} \quad \text{Ecua (1)}$$

Eficiencia de conversión energética: cociente entre la potencia eléctrica máxima y la potencia dependiente de la irradiancia incidente (PL) sobre la célula.

$$\eta = \frac{P_m}{P_l} = \frac{I_m * V_m}{P_l} \quad \text{Ecua (2)}$$

Temperatura: si la temperatura aumenta, aumenta la intensidad de cortocircuito (Icc), disminuye la tensión a circuito abierto (Vo), disminuye el factor de forma, decrece el rendimiento

Tensión de circuito abierto: al dejar los terminales del panel en circuito abierto (intensidad cero), la tensión que proporciona la radiación será máxima [17].

Corriente de cortocircuito: al cortocircuitar los terminales del panel (tensión cero), la radiación solar proporcionara una corriente máxima [17].

Potencia pico (Pp): potencia máxima (en vatios, W) que genera un módulo en condiciones normales de radiación [17].

Intensidad pico (Ip) y Tensión pico (Vp) son los valores de intensidad y tensión que hacen máxima la potencia en condiciones normales [17].

- Inversores

En las instalaciones fotovoltaicas, los paneles son los encargados de captar la radiación y convertirla en energía eléctrica, la potencia o el voltaje que vienen de los paneles fotovoltaicos son en corriente directa CD, los cuales después ingresa a un inversor el cual es un equipo electrónico que realiza la conversión de corriente continua en corriente alterna, cumpliendo las características establecidas por la red según el país cómo es el valor eficaz y la frecuencia de funcionamiento [17].

Debido al elevado costo que tiene el diseño de sistemas fotovoltaicos y su principal elemento en el funcionamiento es el inversor, este debe brindar un alto rendimiento y una fiabilidad para ello el inversor cuenta con las siguientes partes fundamentales:

- Control principal
- Etapa de potencia
- Control de red
- Seguidor del punto de máxima potencia (MPPT)
- Protecciones
- Monitorización de datos [17].

Según la utilización si son para generación distribuida o para autogeneración el inversor puede variar sus componentes internos de construcción a continuación enunciaremos varios tipos de inversore [17].

- **Inversores conmutados por red** utilizado en la automatización y en grandes plantas fotovoltaicas
- **inversores auto conmutados**
- **Inversores centrales**
- **Inversores modulares** [17].

2.1.3.2. Dimensionamiento básico de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red según CENTELSA [18].

Para realizar el diseño de un sistema fotovoltaico óptimo para la autogeneración es necesario definir la cantidad de generación necesaria en el lugar donde se va a realizar la instalación, para ello en el presente manual de CENTELSA Presenta las ecuaciones y una breve descripción del proceso que se debe llevar para realizar los cálculos [18].

- Cantidad de generación necesaria

$$C_{diario} = \frac{C_m}{30 \text{ días}} \quad \text{Ecu (3)}$$

Donde

Cdiario: Consumo diario estimado (kWh)

Cm: Consumo promedio mensual (kWh)

- Cantidad de potencia instalada en paneles necesarios según la geografía

$$P_{requerida} = \frac{C_{diario}}{H_{EF}} \quad \text{Ecua (4)}$$

Donde

Preq: Potencia de paneles requerida (kW)

Cdiario: Consumo diario estimado (kWh)

HEF: Horas efectivas de generación según la zona geográfica (h)

- Horas efectivas

$$H_{EF} = \frac{I_{solar}}{I_{panel}} \quad \text{Ecua (5)}$$

Donde

HEF: Horas efectivas de producción de potencia (h)

ISOLAR: Índice solar de la región (kWh/m²)

IPANEL: Irradiancia del panel (W/m²)

- Cantidad de paneles solares

$$N_p = \frac{P_{REP}}{P_{panel}} \quad \text{Ecua (6)}$$

Donde

NP: Número de paneles necesarios

PREQ: Potencia requerida (W)

PPANEL: Potencia del panel (W)

- Inversores de conexión

$$N_{inv} = \frac{P_{REP}}{P_{inv}} \quad \text{Ecua (7)}$$

Donde

NINV: Número de inversores necesarios

PREQ: Potencia requerida (W)

PINV: Potencia del inversor (W)[18].

2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA

Los problemas de la calidad de la energía, se pueden clasificar en dos grupos el primero son los problemas relacionados con la corriente y el segundo los problemas relacionados con el voltaje, según el estándar IEEE 1159 - 2019 se pueden clasificar en los siguientes tipos [1].

- Transitorios
- Variaciones de corta duración
- Variaciones de larga duración
- Desbalances de voltaje
- Distorsiones de forma de onda
- Fluctuaciones de voltaje
- Variaciones de la frecuencia

2.2.1. TRANSITORIOS

Los transitorios son cambios en el voltaje o la corriente que se producen de forma momentánea en la onda de CA, estos son el resultado de cambios repentinos en el voltaje producidos por fuentes internas o externas las cuales se clasifican en la tabla 3, los sistemas de transmisión la cual se caracteriza por un cambio rápido de la forma de onda, en la tabla 2 se encuentra la clasificación de los transitorios, duración típica según la clasificación del estándar IEEE 1159 – 2019 [1], [18].

Tabla 2 Clasificación de transitorios según el estándar IEEE 1159 -2019 [1], [19].

Categoría			Duración típica	Frecuencia
Transitorios	Impulsivo	Nanosegundos	< 50 ns	-
		Microsegundos	50 ns – 1ms	-
		milisegundos	>1 ms	-
	Oscilatorio	Baja frecuencia	0.5 – 50 ms	< 5kHz
		Media frecuencia	20 microsegundos	5 – 500 kHz
		Alta frecuencia	5 microsegundos	0.5 – 5 MHz

Tabla 3 Fuentes de los transitorios [1].

Fuente de los transitorios		
Categoría	Tipo	Fuente de problemas
Transitorios	Fuente externa	Descargas atmosféricas
		Apertura y cierre de líneas energizadas
		Apertura y cierre de interruptores
		Transitorios de otros usuarios en fuentes compartidas
	Fuente interna	Operación de conmutación
		Equipos de soldadura
		Conmutación de bancos de condensadores
		Conmutación de alta frecuencia en la fuente de alimentación del inversor o del modo de conmutación

2.2.1.1. IMPULSIVO

Un transitorio impulsivo es el cambio que se produce en la onda sinusoidal corriente o voltaje con una polaridad unidireccional positiva o negativa. En la ilustración 5 se observar un transitorio impulsivo el cual se encuentra en polaridad positiva de igual manera los transitorios impulsivos con una polaridad negativa pueden aparecer, estos pueden ser caracterizados por su duración y magnitud[1].

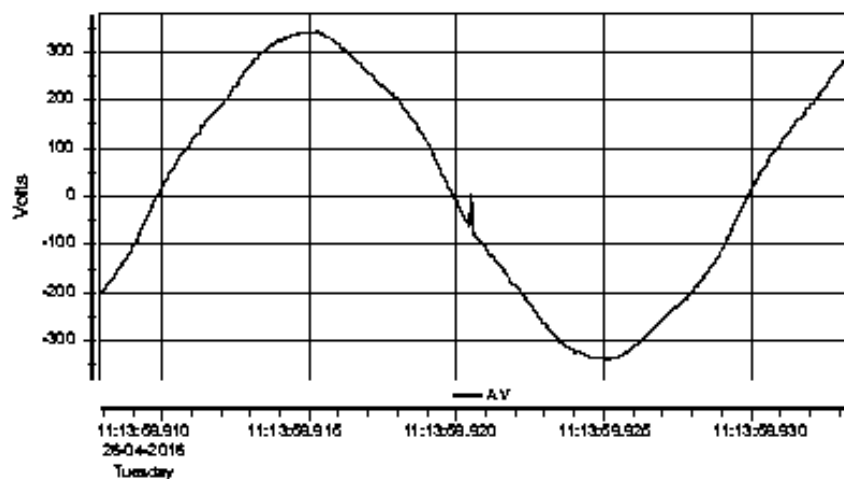


Ilustración 5 Transitorio impulsivo [1]

Los transitorios impulsivos son muy comunes al momento de una descarga atmosférica en el sistema de transmisión en un menor grado pueden ser producidas por la conexión o desconexión de banco de condensadores, los transitorios pueden producir pérdidas económicas y materiales en el momento que aparecen en el sistema produciendo el daño permanente de chips de computadoras, pérdida de datos o llegar a dañar equipos que aíslan a los sistemas [20].

Para dar solución a estos problemas en el libro de calidad de la energía [20] nos brinda distintas soluciones que permiten mitigar estos entre las que encontramos Apartarrayos, supresores de sobrevoltajes transitorio (TVSS), filtros, transformadores de aislamiento [20].

2.2.1.2. OSCILATORIO

Un transitorio oscilatorio es un cambio repentino de la frecuencia a la que se encuentra la onda sinusoidal del voltaje o la corriente en una polaridad bidireccional es decir de forma positiva como negativa las variaciones de frecuencia dentro del ciclo de voltaje pueden llegar a hasta valores de 5 MHz en la ilustración 6 se muestra un transitorio oscilatorio en la forma de voltaje de un circuito trifásico en el cual se encuentra ubicado en un sistema de distribución local (SDL) que se encuentra funcionando a 400 V [1].

Los transitorios oscilatorios según el estándar IEEE 1159 – 2019 se clasifican en tres tipos: baja, media y alta frecuencia, el cual varían hasta 5 MHz el método de caracterización de los transitorios son su forma de onda, su magnitud y su componente de frecuencia, estos transitorios son generados por el Switchero de líneas y/o cables, switchero de capacitores, switchero de cargas, fallas remotas en el sistema [20].

Para dar solución en el libro de calidad de la energía [20] nos brinda distintas soluciones con el fin de evitar las pérdidas económicas producidas entre las cuales encontramos perdidas de chips de computadora, perdidas de datos y para dar solución a estos problemas tenemos Apartarrayos, supresores de sobrevoltaje transitorio, filtros, transformadores de aislamiento, UPS como posibles soluciones para los transitorios oscilatorios [20].

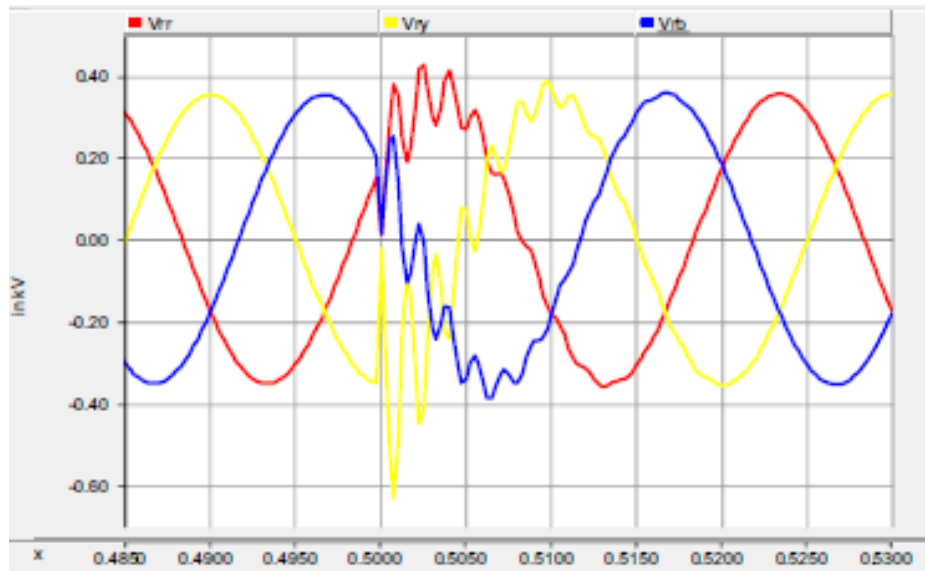


Ilustración 6 Transitorio oscilatorio [1].

2.2.2. VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN

Según el estándar IEEE 1159 – 2019 las variaciones de corta duración se clasifican en 3 categorías Sag, Swell e Interrupciones cada uno se clasifica en tres tipos según su tiempo de duración en los que encontramos Instantáneo, momentáneo y temporal en la tabla 1 se observa las tres categorías y sus tres subcategorías donde está la duración del efecto y su magnitud en pu [1].

Tabla 4 variaciones de corta duración

Parámetro	Instantáneo		Momentáneo		Temporal	
	Duración	Magnitud	Duración	Magnitud	Duración	magnitud
Sag	0.5 – 30 ciclos	0.1 – 0.9 pu	30 ciclos – 3s	0.1 – 0.9 pu	>3s – 1min	0.1 – 0.9 pu
Swell	0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 pu	30 ciclos – 3s	1.1 – 1.4 pu	>3s – 1min	1.1 – 1.2 pu
interrupciones	-	-	0.5 ciclos – 3s	<0.1 pu	>3s – 1min	<0.1 pu

2.2.2.1. SAG

Los Sag de voltajes son reducciones de la magnitud del voltaje o de la corriente de CA la cual varia en una magnitud de 0.1 a 0.9 pu según la subclasificación de los sags como se observa en la tabla 4 donde su duración se encuentra entre 0.5 ciclos hasta menor o igual a un (1) minutos, en la ilustración 7 se observa un Sag de voltaje presentado en la fase A [1].

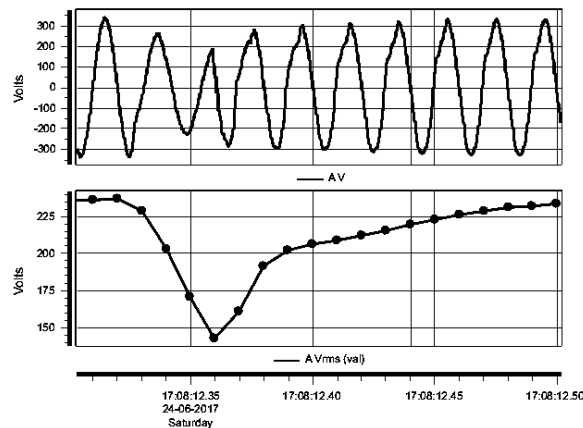


Ilustración 7 Variación de corta duración Sag [1]

Según el estándar IEEE 1159 – 2019 [21] clasifica los Sag de tensión en tres: tipos según el tiempo de duración en instantáneo 0.5 ciclo a 30 ciclos momentáneo de 30 ciclos a 3s y temporal de 3 segundos a 1 minuto, los sag de voltaje o corriente pueden afectar el funcionamiento continuo de controladores, la robótica, destrucción de chips generando suspensión de líneas de producción hasta la parálisis total de la planta, entre las posibles causas de los sag según [1] son:

- Arranque directo en línea de motores grandes
- Conmutación de cargas grandes en una sola instancia
- Cortocircuito eléctrico
- Fallo de arco en el sistema
- Transformador de potencia de mayor capacidad de energía
- Desconexión de una gran fuente de potencia reactiva
- Funcionamiento de los supresores de sobretensiones en el sistema eléctrico[1]..

Para dar solución y minimizar los problemas en el libro de calidad de la energía [20] se presenta un conjunto de posibles soluciones en el momento de identificarlos tales como son la magnitud del evento y su duración entre alguna de las soluciones encontramos Transformadores ferroresonantes, tecnologías de almacenamiento de energía, fuentes de potencia interrumpible (UPS)[20].

2.2.2.2. SWELL

Los swell de voltajes son los incrementos de la magnitud del voltaje o de la corriente de CA la cual varia en una magnitud de 1.1 a 1.8 pu según la sub clasificación de los swell como se observa en la tabla 4 donde su duración se encuentra entre 0.5 ciclos hasta menor o igual a un (1) minutos, en la ilustración 8 se observa un Sag de voltaje presentado en la fase C como se puede observar en la ilustración 8 la forma común de identificarlos son por su magnitud y el tiempo de la duración del evento [1].

Los swell de tensión son uno de los efectos de la calidad de la energía que tienden a afectar a los equipos de los usuarios finales en los cuales se encuentren procesos de controladores lógicos, robótica, disminuye el rendimiento del motor entre otros efectos que generan perdidas de al empresario o a la persona que no tiene protegido su equipo, las principales causas de los swell de tensión son producidos en el momento de desconexión de motores grandes, desconexión de grandes cargas, corto circuito línea - tierra[1], [20].

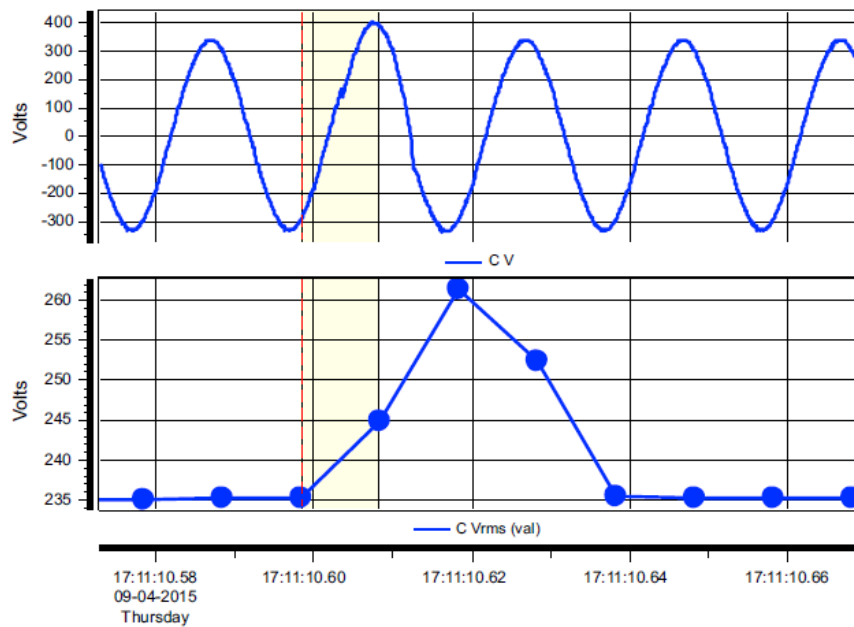


Ilustración 8 Variación de corta duración Swell. [1]

Para dar solución y minimizar los problemas en el libro de calidad de la energía [20] nos presenta un conjunto de posibles soluciones tales como son los Transformadores ferresonantes, tecnologías de almacenamiento de energía, fuentes de potencia ininterrumpida (UPS) [20].

2.2.2.3. INTERRUPCIONES

Una interrupción de corta duración se presenta en ocasiones en el que el voltaje de alimentación o la corriente que se encuentra en el sistema disminuyen a menos de 0.1 pu, las interrupciones se pueden presentar en los sistemas de potencia, por fallas en el equipo o mal funcionamiento de los controles según el estándar IEEE 1159 – 2019 se subclasificación en tres categorías instantáneas con una duración de 0.5 ciclos a 3 segundos y temporal de 3 segundos a 1 minutos su magnitud en las dos subcategoría es menor a 0.1 pu [1], [20].

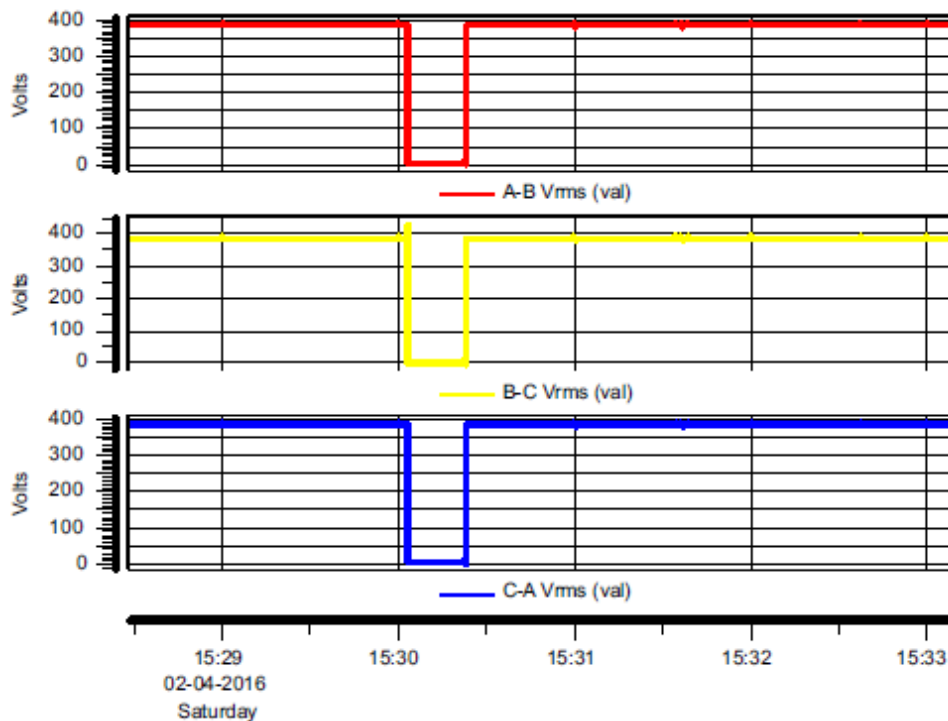


Ilustración 9 Interrupción de corta duración [1]

Según el libro de calidad de la energía [20] las interrupciones pueden producir fallos en equipos de líneas de producción, suspensión de procesos productivos para dar solución a estos problemas el autor plantea soluciones como son tecnología de almacenamiento de energía, fuentes de potencia interrumpida (UPS) o generadores de respaldo [20].

2.2.3. VARIACIONES DE LARGA DURACIÓN

Las variaciones de larga duración según el estándar IEEE 1159 – 2019 son fenómenos con una duración mayor a un minuto se pueden clasificar en tres categorías la primera bajo voltaje su magnitud comprende entre 0.8 – 0.9 pu, sobre voltaje su magnitud comprende

de 1.1 – 1.2 pu y por últimos tenemos a las interrupciones sostenida en el cual el valor del voltaje tendera a 0.0 pu como se puede observar en la tabla 5 [1].

Tabla 5 Variaciones de corta duración según la clasificación IEEE 1159 [1].

Parámetros	Duración	Magnitud
Bajo voltaje	>1 min	0.8 – 0.9 pu
Sobre voltaje	>1 min	1.1 – 1.2 pu
Interrupción sostenida	>1 min	0.0 pu

2.2.3.1. BAJO VOLTAJE

Los bajos voltajes son la reducción del valor del voltaje a un valor menor del 0.9 pu o 90% del valor nominal de CA se diferencia del sag en su tiempo de duración del efecto el cual es de mayor a un minuto momento en el cual la carga que se encuentra conectada a este sistema presenta cambios en su funcionamiento en los motores presentara reducción en su velocidad, en la ilustración 10 se presencia un bajo voltaje en un periodo de 65 segundo [1], [20].

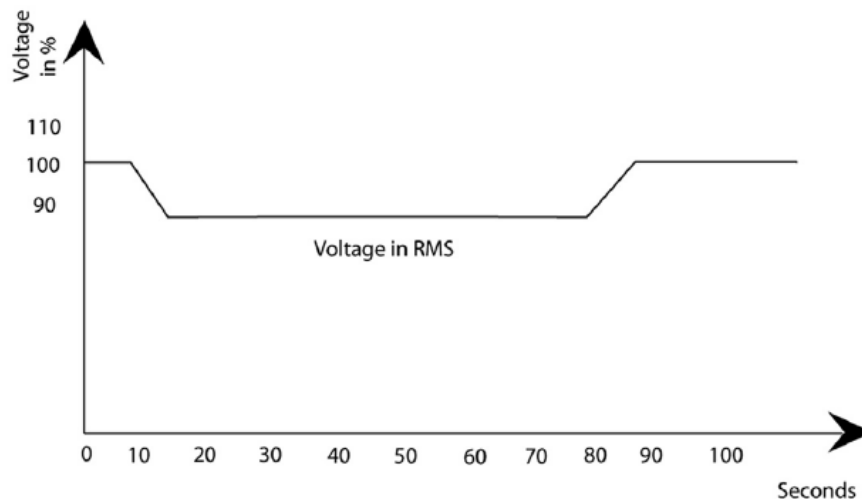


Ilustración 10 Variación de larga duración bajo voltaje [1]

Los bajos voltajes son el resultado de las maniobras de (switcheo) mal dimensionamiento de conductores, selección inadecuada de transformadores, entrada de grandes cargas al circuito o la desconexión de banco de condensadores, [1] según el libro de calidad de la energía nos presenta distintas soluciones como son “Reguladores de voltaje, transformadores ferroresonantes” [20].

2.2.3.2. SOBREVOLTAJE

Los sobre voltajes son la elevación del valor del voltaje a un valor mayor del 1.1 pu o 110% del valor nominal de CA se diferencia del swell en su tiempo de duración del efecto el cual es de mayor a un minuto es común que se produzcan debido a la salida de grandes cargas, entrada de banco de capacitores y por operaciones de conmutación (switchero) en el sistema, en la ilustración 11 se presencia un bajo voltaje en un periodo de 65 segundo [1], [20].

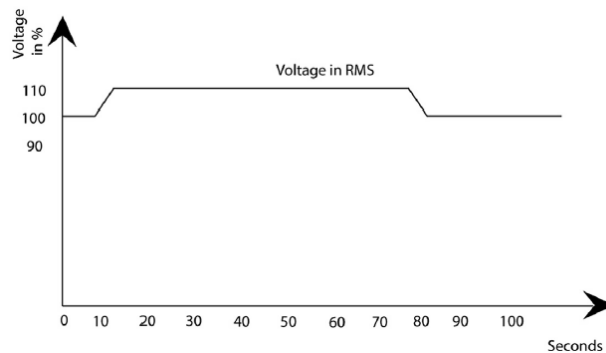


Ilustración 11 Variación de larga duración sobre voltaje [1]

2.2.3.3. INTERRUPCIÓN SOSTENIDA

Las interrupciones sostenidas son aquellas que su duración y mayor a un tiempo de un minuto en el cual la magnitud del voltaje disminuye menor a 10% o 0.1 pu, según IEEE 1159 es que el voltaje RMS se reduce a menos de 0,1 pu o 10% de su voltaje nominal y una duración de tiempo de más de 1 min, entre las causas que encontramos en las interrupciones encontramos fallas en el sistema de potencia, falla en los equipos o mal funcionamiento de los controles [1], [20].

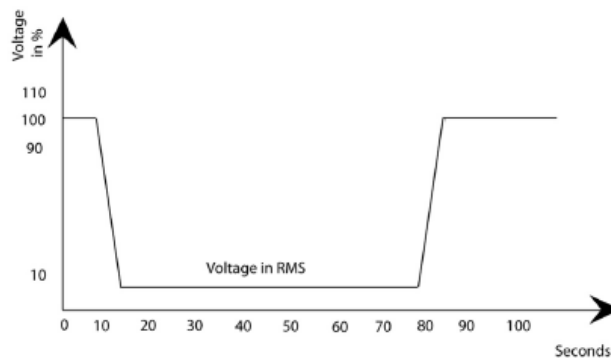


Ilustración 12 Variación de larga duración interrupción sostenida [1]

2.2.4. DESBALANCES DE VOLTAJE

Según el estándar IEEE 1159 – 2019 define el desequilibrio en un sistema trifásico como la relación que existe entre la magnitud del componente de secuencia negativa y la magnitud del componente de secuencia positiva expresada en porcentaje. El desequilibrio de tensión visto de forma matemática se puede expresar como la relación entre la magnitud de la componente de secuencia negativa y la magnitud del componente de secuencia positiva expresado en porcentaje como se puede observar en la ecuación 8 a continuación [1].

$$V_{umv}(\%) = \frac{V_{neg}}{V_{pos}} \times 100\% \quad \text{Ecu (8)}$$

Los desbalances de tensión pueden generar efectos adversos en las maquinas como en los motores se presenta calentamiento en los devanados desgastando el barniz o esmalte que lo protege bajando el rendimiento que presenta los motores y los transformadores los cuales no están exentos a presentar este tipo de problemas, aumento de la distorsión armónica total y aumento en la corriente de neutro en sistema que estén conformado por 4 hilos [1].

2.2.5. FLUCTUACIONES DE VOLTAJE

La fluctuación de voltaje o más conocido como flicker (parpadeo) es el cambio instantáneo en el voltaje el cual se presenta debido a la variación de la resistencia que se encuentra en la carga en cada ciclo, según la norma IEC 61000-3-3 la fluctuación de voltaje es una serie de cambios de la tensión RMS evaluados como un único valor por cada medio período sucesivo entre cruces cero de la tensión de la fuente [1].

En algunas ocasiones este efecto es visible en los en las luminarias, pantallas de computadores si este efecto ocurre de forma esporádica no generara molestia en las personas para dar solución a este problema se clasifico en dos categorías flicker a corto plazo (Pst) su medición y análisis se realiza en un periodo de tiempo corto de 10 minutos, se encuentra dado por la ecuación 9 y flicker a largo plazo (Plt) su medición y análisis se realiza en un periodo de tiempo largo de aproximadamente 2 horas, se encuentra dado por la ecuación 10 [1], [20].

$$P_{st} = \left(\frac{SL}{STR} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecu (9)}$$

$$P_{lt} = 0.65 \times \left(\frac{SL}{STR} \right)^{\frac{1}{3}} \quad Ecua (10)$$

2.2.6. DISTORSIONES DE FORMA DE ONDA

Según el estándar IEEE 1159 – 2019 clasifica en cinco grupos los cuales se puede encontrar en la tabla 6 según sea su distorsión de la forma de onda como una desviación de las características de una onda sinusoidales ideal [1].

Tabla 6 Distorsión de forma de onda Estándar IEEE 1159 – 2019 [21]

Distorsión de Forma de Onda	Off de CD
	Armónicos
	Interarmónicos
	Muesca
	Ruido

2.2.6.1. COMPONENTE DE CD

La componente de CD (offset de CD) también conocida como el voltaje o corriente de CD Según el libro de calidad de la energía [20] “Esto puede ocurrir por disturbios geomagnéticos o por asimetría de convertidores electrónicos de potencia. La corriente directa en redes de CA puede tener un efecto indeseable al polarizar núcleos de transformadores de manera que se saturan en operación normal”, estos efectos generan que el aislamiento del transformador se desgaste por calentamiento disminuyendo su tiempo de vida útil en los puntos de conexión [1].

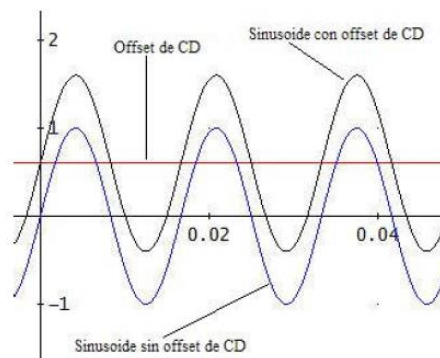


Ilustración 13 Onda sinusoidal con offset de CD[20]

2.2.6.2. CONTENIDO ARMÓNICO

Los armónicos son aquellos que presentan de múltiples frecuencias superpuestas a la frecuencia de tensión o corriente o hasta las dos. Según el estándar IEEE1159 - 2019 un armónico es una tensión o corriente que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia de operación del sistema de suministro diseñado según el país se pueden encontrar frecuencias de 50 o 60 Hz en la ilustración 14 donde se puede observar la onda resultante con contenido armónico[1].

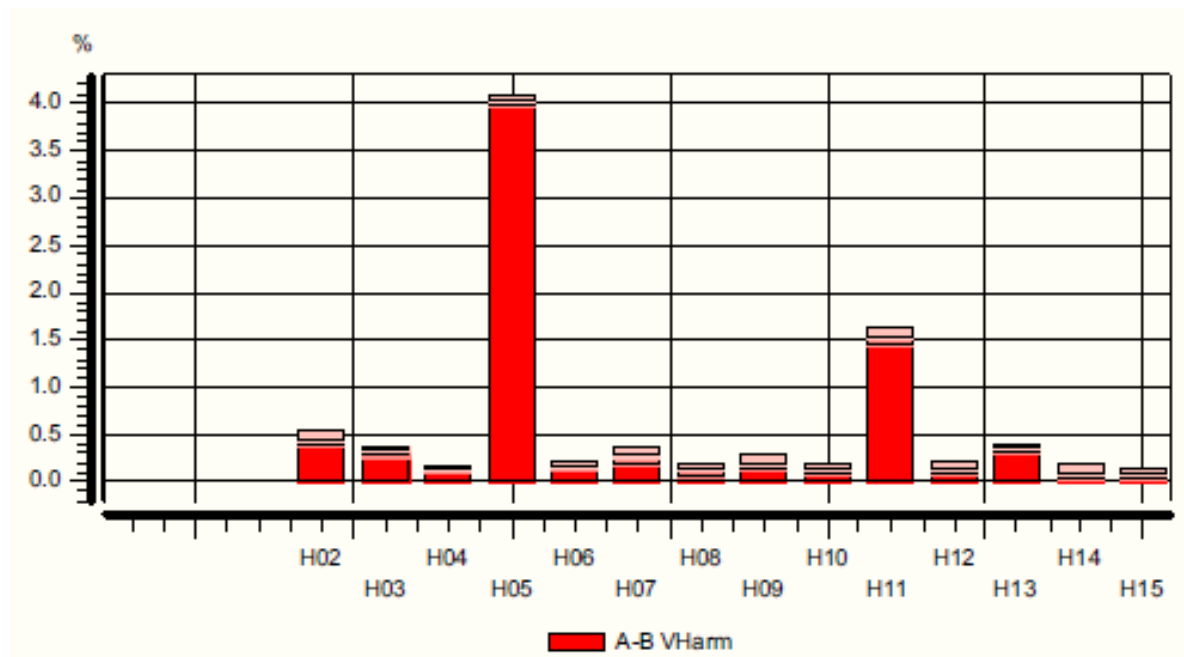


Ilustración 14 Contenido armónico [1]

Entre las fuentes principales de distorsión armónica se encuentran las cargas no lineales, resonancia en el sistema elevando al sobrecalentamiento en los motores y transformadores, esto genera el disparo de relevadores de protección debido a la mala operación de medidores. Entre las soluciones que se pueden encontrar, se pueden tener los filtros activos y pasivos, transformadores K-nominados pueden ser acondicionadores de potencia dando una solución efectiva al contenido armónicos en los sistemas de potencia[20].

2.2.6.3. INTERARMONICOS

Los interarmónicos son frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, se pueden encontrar en cualquier nivel de voltaje de los sistemas de transmisión, pueden aparecer como una frecuencia discreta. Entre las principales fuentes de interarmónicos encontramos los convertidores de frecuencia estáticos, los ciclos convertidores, los hornos de inducción y los dispositivos de arco [1], [20].

Los niveles de distorsión armónica se pueden caracterizar por el espectro armónico completo con magnitudes y ángulos de fase de cada componente armónico individual. Es común usar una sola cantidad, la distorsión armónica total como medida de la magnitud de distorsión armónica [22].

2.2.6.4. MUESCAS

Son un disturbio periódico de la forma de onda de voltaje, causada por el funcionamiento de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra lleva a producir un cortocircuito momentáneo en el momento del cambio de las fases. Las muescas de voltaje pueden ocasionar errores de frecuencia o de tiempo en dispositivos de electrónica de potencia que cuentan cruces por cero para derivar la frecuencia o tiempo al fabricar cruces adicionales por cero un ejemplo se puede observar en la ilustración 15 [20].

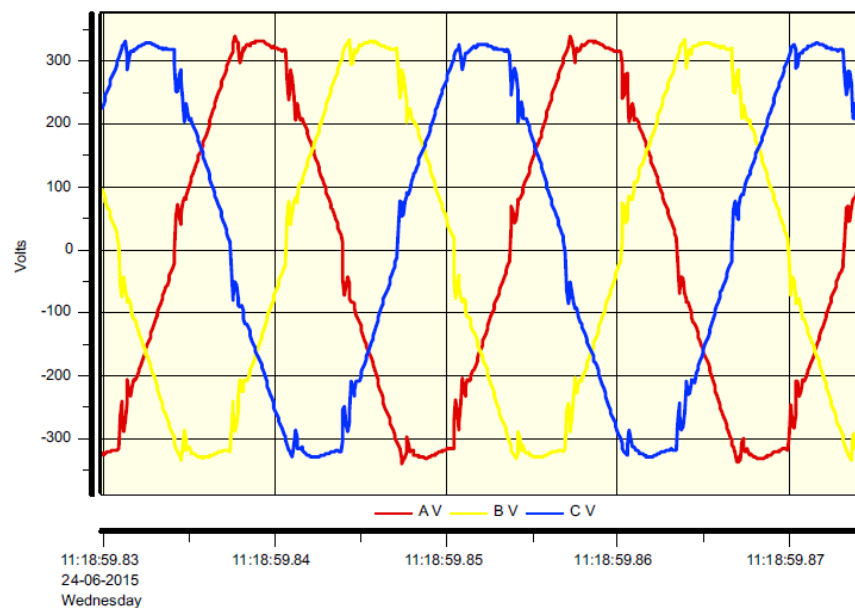


Ilustración 15 Muesca [1]

2.2.6.5. RUIDO

Señales eléctricas no deseadas que ocasionan efectos indeseados en los circuitos de los sistemas de control en que ocurren, este problema se incrementa con frecuencia debido a una conexión a tierra inadecuada o deficiente en el sistema, por la participación de dispositivos de electrónica de potencia, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido. La magnitud del ruido y el rango de frecuencia generalmente dependen de la fuente y las características del sistema. Típicamente, la magnitud es menos del 1% de la magnitud de voltaje y el contenido espectral es menos de 200 kHz [20], [22].

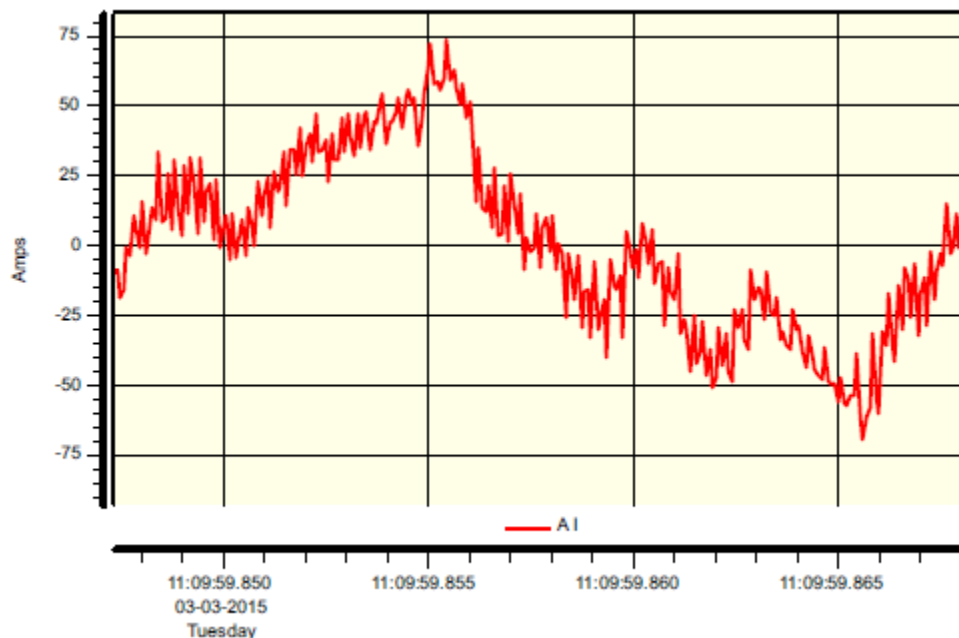


Ilustración 16 Ruido [1]

2.2.7. VARIACIONES DE LA FRECUENCIA

Son la desviación de la frecuencia fundamental del sistema de potencia de su valor nominal especificado según el país donde se encuentre, estos pueden ser de 50 Hz o 60 Hz; si las variaciones de frecuencia están fuera de los límites estipulados para la operación normal del sistema, estas variaciones pueden presentar falencias, las cuales son causadas normalmente por fallas en la red de transmisión que pueden generar la salida de bloques grandes de carga o, menos frecuentemente, la salida de unidades generadoras [20].

3. CAPITULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.1. LOCALIZACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El sistema fotovoltaico se encuentra instalado en el primer piso del edificio Virgilio Barco Vargas, en el cual funciona el área administrativa de la facultad de ingenierías y arquitectura de la universidad de pamplona ubicada en el Km 1 Vía Bucaramanga, ciudadela universitaria en la ciudad de Pamplona Norte de Santander y se encuentra señalado en rojo en la ilustración 17; en la ilustración 18 se observa el área donde se encuentra funcionando el área de control del sistema fotovoltaico conectado a la red .



Ilustración 17 Ubicación del sistema fotovoltaico conectado a la red



Ilustración 18 Área de control del sistema fotovoltaico

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.2.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

El sistema fotovoltaico fue diseñado con una cantidad de 36 paneles fotovoltaicos los cuales se encuentran instalados en el techo del edificio Virgilio Barco Vargas, en la ilustración 28 se observa la distribución de los 36 paneles que se encuentran conectados en dos cadenas, cada cadena encuentra diseñadas de 18 módulos los cuales se conectan en serie y posteriormente se dirigen al inversor como se muestra en la ilustración 19 la distribución de los paneles solares.

El módulo solar que se utilizó en el diseño de este sistema fotovoltaico es de la marca Powest el cual tiene una potencia de $P = 320 \text{ Wp}$ cada cadena o rama del sistema fotovoltaico, este sistema tiene una cantidad de 18 módulos en los cuales cada una de las cadenas de módulos presenta una potencia de $P = 320 \text{ Wp} \times 18 = 5760 \text{ Wp}$ en condiciones óptimas de generación.

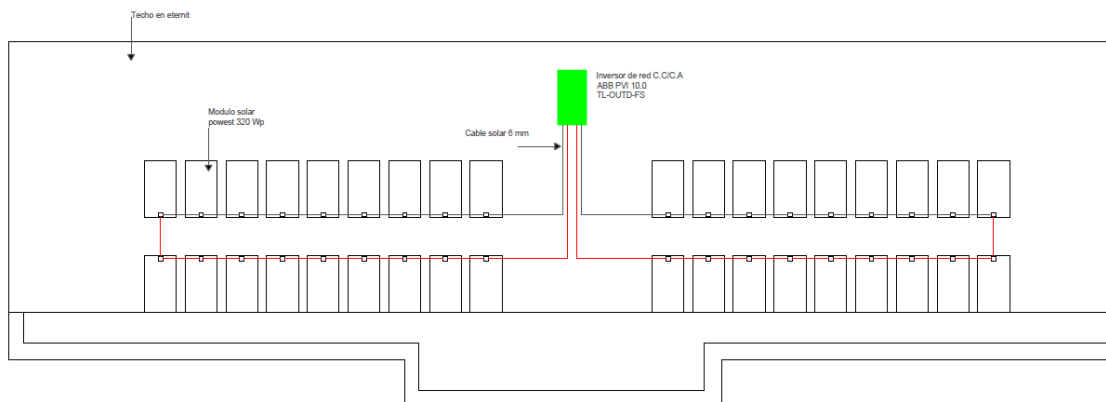


Ilustración 19 Distribución de los módulos fotovoltaicos

3.2.2. PROTECCIONES

El sistema fotovoltaico presenta dos cadenas de las que descienden dos conductores solares de un diámetro de 6 mm por cada cadena, los conductores solares pasan por una caja de paso hacia un juego de protecciones para cada MPPT los cuales tiene una protección de 4X16 A y un DPS para protección contra sobretensiones, en la ilustración 20 se observa el juego de protecciones antes de ingresar a la inversión.



Ilustración 20 Protecciones en CD bajantes de los módulos fotovoltaicos

3.2.3. INVERSOR

El inversor de red de C.C / C.A utilizado en el diseño del sistema es de la marca ABB modelo PVI-10.0-TL-OUTD-FS como se muestra en la ilustración 21, este tipo de inversores se encuentran funcionando con las siguientes características:

En corriente directa

- $V_{do\ max} = 900\ V$
- $V_{do\ MPP} = 200 - 850\ V$
- $V_{dc\ Full\ power} = 300 - 750\ V$
- $I_{do\ max} = 2 \times 17A$
- $I_{so\ max} = 2 \times 22A$

En corriente alterna

- $V_{acr} = 400\ V\ 3\phi$
- $f_r = \frac{50}{60}\ Hz$
- $P_{acr\ cos\phi=1} = 10000\ W\ a\ 55\ ^\circ C$
- $P_{acr\ cos\phi=0.9} = 10000\ W\ a\ 50\ ^\circ C$
- $I_{ac\ max} = 16.6\ A$



Ilustración 21 Inversor de red de C.C / C.A

3.2.4. MÓDULO DE CONTROL

En el módulo de control que se puede observar en la ilustración 22 la cual está compuesta inicialmente por un breaker de 3X20 A, el cual cumple la función de aislar la salida del inversor a 400 V y el transformador reductor que se encuentra en conexión Y/Y con una clase térmica H y una capacidad de 10 KVA a una frecuencia de 60 Hz.

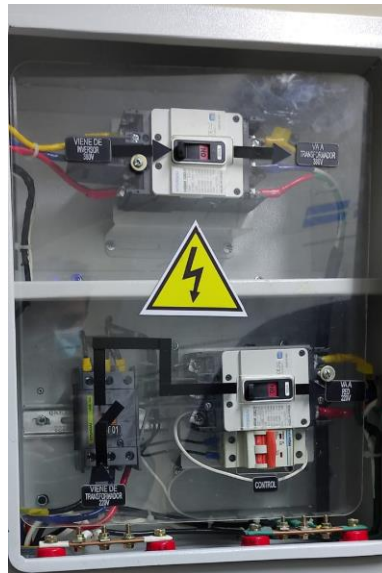


Ilustración 22 Modulo de control

La salida del transformador encontramos un valor en los bornes de 220 V como se puede observar en la ilustración 32,1 el cual entra en una segunda etapa de protección, la cual se encuentra constituida por un contactor en el cual se conecta la salida del bobinado secundario del transformador, posteriormente la salida del contactor se conecta a un

breaker de 3X32 A, que se encarga de realizar el control del contactor mediante la ayuda de un breaker, el cual está encargado de activar o desactivar el contactor permitiendo la conexión a red como se observa en la ilustración 23, en la ilustración 24 se muestra el panel de distribución del bloque donde funciona la facultad de ingenierías y arquitectura.



Ilustración 23 Transformador

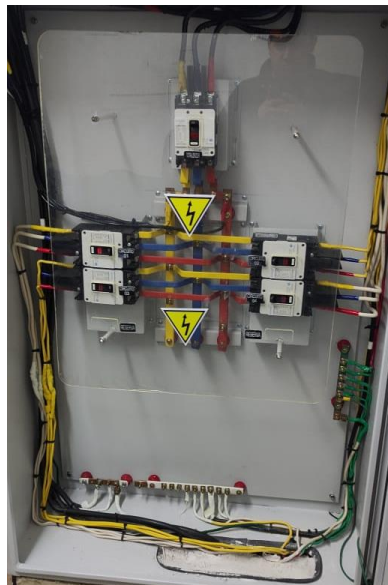


Ilustración 24 Tablero de distribución edificio Virgilio Barco Vargas

En dado caso que el sistema interconectado regional llegase a salir del sistema por un mantenimiento programado, una falla o alguna otra situación que se presente el inversor entrara en funcionamiento modo isla, esto significa que el inversor se desconectara y dejara de inyectar potencia a la red hasta que esta misma se encuentre en funcionamiento nuevamente y se realice la sincronización entre el inversor y la red.

3.3. MARCO NORMATIVO

3.3.1. NORMATIVA INTERNACIONAL

3.3.1.1. NORMA EN 50160

En esta norma muestra las principales características que presenta la tensión suministrada por una red de distribución en baja y media tensión en condiciones normales de funcionamiento y en el punto suministro al usuario define los límites de frecuencia nominal de la tensión nominal, la amplitud, amplitud de la tensión, variaciones de tensión, huecos de tensión y las interrupciones de tensión[23].

3.3.1.2. NORMA IEC 61000-3-2

En esta norma se presentan los límites que deben presentar las emisiones de corrientes armónicas que se inyectan a las redes de transmisión, esta norma se aplica en específico a sistemas que su alimentación de corriente sea inferior a 16 A por fase[24].

3.3.1.3. NORMA IEC 61000-2-4

En esta norma se establece los distintos niveles de compatibilidad presente en las perturbaciones en la parte industrial, la cual se aplica en las frecuencias de 50 y 60 Hz en sistemas de baja y media tensión. En esta norma es importante identificar los diferentes equipos y sus características[25].

- Clase 1: son equipos muy sensibles a perturbaciones
- Clase 2: son aquellas perturbaciones causadas por convertidores de potencia en los entornos industriales
- Clase 3: esta clase cubre todas las posibles perturbaciones que se presentan en entornos industriales[25].

3.3.1.4. NORMA IEC 61000-4-30

En esta norma se describen los métodos que se den lugar para la realización de cada tipo de medición con el fin de obtener resultados fiables reproducibles y comparables, no importa el instrumento de medición que sea utilizado mientras que se encuentre utilizando esta norma y cual quiera que sean sus condiciones en el entorno[26].

3.3.1.5. IEEE 1547

En el estándar IEEE 1547 platea las especificaciones y los distintos requerimientos técnicos para la realización de interconexión de los equipos generación distribuida con los SEP, los objetivos que tiene esta norma es presentar los criterios referente a la operación, ensayos, consideraciones de seguridad mantenimiento de la interconexión, siendo aplicada a gran parte de las de la instalaciones que se encuentra conectadas al PCC con una capacidad agregada menor a 10 MVA, dejando aspectos específicos en los cuales no se encuentra la aplicación de esta norma[27].

3.3.1.6. UL 1741

El estándar UL 1741 Standard for Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources, Estos requisitos cubren inversores, convertidores, controladores de carga y equipos de sistemas de interconexión (ISE) destinados a su uso en sistemas de energía autónomos (no conectados a la red) o interactivos (conectados a la red). Los inversores, convertidores e ISE interactivos están diseñados para operar en paralelo con un sistema de energía eléctrica (EPS) para suministrar energía a cargas comunes.[28]

3.3.1.7. ESTÁNDAR IEEE 519

El estándar IEEE 519 “recomendaciones prácticas y requerimientos para el control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia” en este estándar se define los criterios de distorsión armónica de la onda de tensión y de corriente para los diseños de sistemas eléctricos, para dar solución a los problemas causados por la inyección excesiva de corriente armónica o distorsión de tensión[7].

En la tabla 7 se presenta los límites de distorsión de tensión que establece el estándar IEEE 519, presentándonos el porcentaje que puede tener un armónico individual y el porcentaje de THD qué puede presentar un sistema en el momento de realizar los análisis de calidad de la energía

Tabla 7 límites de distorsión de tensión[7]

Voltaje de bus V en PCC	percentil 95 semana corto		percentil 99 diario tiempo corto	
	armónico individual (%)	THD (%)	armónico individual (%)	THD (%)
V =< 1.0 Kv	5.0	8.0	7.5	12
1 Kv < V=< 69 Kv	3.0	5.0	4.5	7.5
69 Kv < V=< 161 Kv	1.5	2.5	2.25	3.75

3.3.1.8. ESTÁNDAR IEEE 1159

En este estándar se definen siete tipos de categorías como se observa en la ilustración 25 que permiten clasificar los fenómenos electromagnéticos que se presentan en las redes eléctricas tales como: transitorios, variaciones de corta duración, variaciones de larga duración, desequilibrios de tensión, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión, y variaciones de la frecuencia. Cada una de estas categorías puede presentar una subdivisión según su tiempo de duración u otros parámetros como es la magnitud típica de la tensión[21].

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5 ns rise	< 50 ns	
1.1.2 Microsecond	1 μ s rise	50 ns–1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1 ms rise	> 1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu
1.2.2 Medium frequency	5–500 kHz	20 μ s	0–8 pu
1.2.3 High frequency	0.5–5 MHz	5 μ s	0–4 pu
2.0 Short duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5–30 cycles	0.1–0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5–30 cycles	1.1–1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5 cycles–3 s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 cycles–3 s	0.1–0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles–3 s	1.1–1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3 s–1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		3 s–1 min	0.1–0.9 pu
2.3.3 Swell		3 s–1 min	1.1–1.2 pu
3.0 Long duration variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		> 1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages		> 1 min	1.1–1.2 pu
4.0 Voltage imbalance		steady state	0.5–2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0–0.1%
5.2 Harmonics	0–100th H	steady state	0–20%
5.3 Interharmonics	0–6 kHz	steady state	0–2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broad-band	steady state	0–1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25 Hz	intermittent	0.1–7%
7.0 Power frequency variations		< 10 s	

Ilustración 25 Clasificación de efectos electromagnéticos según el estándar IEEE 1159

3.3.2. NORMATIVA NACIONAL

3.3.2.1. LEY 697 DE 2001

Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. En esta ley se nos presenta la ley de 11 Artículos entre lo que encontramos definiciones, asigna actividades a las empresas de servicios públicos, estímulos y sanciones, promoción de uso de fuentes de energía no convencionales de energía entre otras disposiciones[29].

3.3.2.2. LEY 1715 DE 2014

En esta ley tiene como objetivo promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, sistemas de almacenamiento para esta fuentes y el uso eficiente de la energía, en específicamente las energías renovables en el sistema energético nacional, al realizar su integración al mercado eléctrico y su participación en las zonas no interconectadas[30].

3.3.2.3. RETIE

RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) se establecen los requisitos que garanticen los objetivos legítimos con respecto a la normativa nacional, clasifica los distintos riegos que se generen por origen eléctrico, distintas medidas de seguridad, simbología entre otras especificaciones técnicas en instalaciones eléctricas de baja tensión[31].

3.3.2.4. NTC 2050

La NTC 2050 o Norma Técnica Colombiana 2050 en su sección 690 Sistema Solares Fotovoltaicos de generación eléctrica, unidades de regulación y el control de los sistemas, los sistemas fotovoltaicos a los que le aplica esta norma puede ser los sistemas fotovoltaicos interconectados al sistema de transmisión o ser sistemas autónomos, presenta requisitos de los circuitos, dimensionamiento, protecciones entre otras disposiciones[32],[33].

3.3.2.5. DECRETO 2469 de diciembre de 2014

En este decreto firmado por el presidente de este año se establecieron los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedente de autogeneración como apoyo a la ley 1715 de 2014 el cual estableció un marco legal y los instrumentos para la

promoción, desarrollo y utilización de la fuentes no convencionales de energía por si siglas (FNCE) más específico las energías renovable, que se integran en el mercado energético[34].

3.3.2.6. DECRETO 2492 de diciembre de 2014

En el decreto 2492 se adopta disposiciones en materia de implementación de mecanismos en respuesta de la demanda energética, expedido por el ministerio de minas y energía de Colombia en su artículo 1 asigna a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) incluir en el diseño de los cargos que remuneran las actividades de transmisión y distribución, tarifas horarias entre otras disposiciones[35].

3.3.2.7. DOCUMENTO CREG 097 12/2014

Mediante el cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala definiendo los principales requisitos para ejercer la misma en Colombia, estableciendo los mecanismos para que se pudieran clasificar como autogenerador y puedan entregar los excedentes de energía a terceros[36].

3.3.2.8. RESOLUCIÓN UPME 045 12/2016

Mediante esta resolución de la Unidad de Planeación Minero Energética establece los procedimiento y requisitos para emitir la certificación y avalar que estén en la línea de fuentes no convencionales de energía (FNCE) con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA.[37]

3.3.2.9. RESOLUCIÓN CREG 030 2018

Mediante esta resolución se realiza la regulación de las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional SIN, Siendo aplicada a autogeneradores a pequeña escala y generadores distribuidos conectados al SIN, a los comercializadores que los atienden, a los operadores de red y transmisores nacionales, aplicando igualmente a autogeneradores a gran escala mayores a 1 MW y menores o iguales a 5 MW[38].

3.3.2.10. RESOLUCIÓN 174 2021 CREG

Mediante esta resolución se realiza la actualización a la resolución CREG 030 de 2018 por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional SIN, los procedimientos

de conexión de las autogeneradores a gran escala con potencia máxima declarada menor a 5 MW[39].

En el capítulo I del de la presente resolución estable los lineamientos para la aplicación del en los sistemas de autogeneración a pequeña escala que se encuentra conectados al SIN, incluye en la presente resolución a las autogeneradores a gran escala con un máximo declarada menor de 5 MW. El en capítulo II de la presente regulación se presenta los lineamientos para la integración a la red de los sistemas de autogeneración y el de generación distribuida[39].

En el capítulo III se plantea las limitaciones para que los AGPE, AGGE o los GD se realice la conexiones al SIN, en su artículo 14 procedimiento de conexión simplificados se presenta el anexo 5 de la presente resolución y se puede observar en la ilustraciones 26 y la ilustración 27, el cual presenta los requisitos de documentación requerida para la inspección y posterior certificación de los sistemas de autogeneración que se encuentran conectados o no al SIN, en este capítulo también se establece las demás condiciones que deben establecer cada empresa encargada de la distribución de energía el cumplimiento de la presente resolución[39].

Condición (1)	Tipo	Capacidad Instalada o nominal	Documentación tipo (SÍ: es necesario, NO: no es necesario)						
			A	B	C	D	E	F (3)	G
Entregan energía a la red	AGPE	≤ 100 kW	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	GD	≤ 100 kW	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ
	AGPE	> 100 kW	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ
	GD	> 100 kW	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ
	AGGE	< 5 MW (2)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ
No entregan energía a la red	AGPE	≤ 1 MW	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ
	AGGE	Cualquier capacidad	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Notas: (1) La condición de entrega o no de energía a la red aplica para autogeneradores. El GD siempre entrega energía a la red conforme a su actividad económica. (2) Corresponde a la potencia máxima declarada para el AGGE. (3) Solo en el caso de usar inversores para conexión a red. De lo contrario, NO aplica.									

Ilustración 26 Requisitos de documentación de los procedimientos de conexión[39]

Tabla 8 Descripción documentación tipo de la Tabla 1[39].

Tipo	Descripción del documento tipo
A	Estudio de conexión simplificado de que trata el artículo 12 de la presente Resolución

B	Formulario de conexión simplificado de que trata el artículo 12 de la presente Resolución
C	Certificado de capacitación o experiencia en la instalación tipo La empresa encargada de la instalación, o el instalador, debe certificar menos 1 años de experiencia específica acorde con el tipo de tecnología a instalar, o adjuntar un certificado de capacitación del personal en la instalación tipo se llevará a cabo Mientras el Ministerio de Minas y Energía reglamenta lo anterior la certificación deberá ser clara la experiencia acreditada y el tiempo requerido, o el certificado de capacitación. Transitoriamente se entiende que son certificaciones de capacitación que pueden ser expedidas por una institución educativa acreditada o que son de índole de educación no formal ofrecida por alguna empresa o que son certificaciones de experiencia certificada por alguna empresa donde se demuestre la experiencia en las instalaciones tipo que se lleven a cabo. La certificación debe contener la información suficiente para que los aspectos anteriormente mencionados puedan ser verificados en caso de aclaraciones.
D	Manual del (de los) dispositivo(s) que controla(n) la no inyección a red o la inyección a red en algún nivel fijo de potencia o energía. Si el inversor cuenta con dicha función, se debe entregar el manual del inversor. Si se tiene entrega de energía a la red y no se tiene un control de inyección en algún nivel fijo de potencia o energía, el documento no es necesario. Si no se tiene entrega de energía a la red, el documento sí es necesario. Para un GD no aplica, pues la potencia máxima declarada corresponde a la capacidad efectiva neta
E	Archivo de la consulta de la disponibilidad de red en el punto de conexión en la página web del IR, esto para casos de AGPE que inyecta energía a la red y los GD y que se conecta a nivel de tensión 1. El sistema de información de disponibilidad de la red debe generar el archivo con el resultado de la búsqueda en formato PDF, JPG u otros, para que el usuario lo pueda descargar
F	Documento donde se demuestre el cumplimiento de normas para inversores, definidas en el formulario de conexión simplificado. La demostración del cumplimiento de las normas técnicas debe ser mediante certificado de producto emitido por un organismo de certificación acreditado, que haga parte de acuerdos de reconocimiento internacional. En todo caso, si el RETIE ya establece la demostración anterior, se realizará conforme este o si actualización lo determine.
G	Otra documentación i) Los diagramas unifilares (usar una norma nacional o internacional) ii) Documento con la identificación esquemática de la conexión del sistema de puesta a tierra con sus conductor correspondiente y que contenga el esquema de protecciones con sus características iii) Documento con las distancias de seguridad respecto a las redes existentes y el cuadro de cargas de la demanda total Se deberá aplicar lo que el RETIE especifique para la documentación anterior

En el capítulo III en su artículo 15 se establecen las reglas de vigencia de aprobación de la conexión de los sistemas de autogeneradores o de generación distribuida, plantea tiempo para realizar notificación, aprobación entre otras disposiciones, en el artículo 16 se establecen los lineamientos para la realización del contrato de conexión del AGPE, el AGGE o el GD y el OR, en el artículo 18 se establecen las distintas causales para que los OR desconecten los AGPE, AGGE o los GD tale como son:[39]

- En caso de no seguir el procedimiento establecido en la presente resolución para la conexión de AGPE, AGGE o GD.
- Cuando se demuestra que una planta de GD fue fraccionada, para efectos de reportarla como planta independiente ante el sistema. Igualmente, cuando se demuestra que el sistema de generación de un autogenerador se ha fraccionado para efectos de reportarlos como varios AGPE o AGGE independientes ante el sistema.
- Cuando un OR detecte que un AGPE, AGGE o GD está conectado a la red sin atender a lo establecido en la presente resolución.
- Cuando, con posterioridad a la puesta en servicio de la conexión, el OR encuentre que no se cumple alguna de las características contenidas en la solicitud de conexión[39].

En el capítulo IV condiciones de medición que inicia en el artículo 19 y termina en el artículo 22 establece los parámetros para realizar las mediciones que deben cumplir los sistemas que se deseen conectar a la red, plantea las distintas fronteras comerciales los cuales se ven planteados en la resolución CREG 157 de 2011 y demás norma que realicen la modificación y/o sustitución[39].

En el capítulo V comercialización de energía se establece las ecuaciones para la comercialización de excedentes en el AGPE, AGGE o GD al SIN o SDL Sistema de Distribución Local siguiendo las disipaciones dadas por las resoluciones CREG 086 de 1996 y la resolución CREG 096 de 2019 también teniendo en cuenta las disposiciones que sean posteriormente vinculantes a estas[39].

3.3.2.11. RESOLUCIÓN CREG 135 DE 2021

En la presente resolución se establecen los mecanismos de protección y deberes de los usuarios del servicio público domiciliario de energía eléctrica que ejercen la actividad de Autogeneración a Pequeña Escala y entregan o venden sus excedentes al Comercializador que le presta el servicio, en el capítulo 1 de la presente resolución se presenta toda la etapa precontractual la cual se lleva a cabo en un periodo anterior a la aceptación y posterior formalización para realizar la entrega de excedentes al SIN,

siguiendo lo previsto en las resoluciones CREG 030 y 038 del 2018, aquellas que las modifiquen, adicionen o sustituyan[40].

El Capítulo II en este capítulo de la presente resolución se establece los parámetros para realizar la formalización contractual para la entrega de reactivos clasifica en dos tipos de contratos:

- Usuario AGPE - Regulado
- Usuario AGPE – No regulado

En el resto de los artículos de la presente resolución permite establecer más criterios permitiendo establecer los parámetros restantes para la actividad de los sistemas que sean conectados a red como tales como los parámetros de terminación del contrato entre otras disposiciones[40].

3.3.3. A NIVEL REGIONAL

En el ámbito regional se encuentra presentes la empresa Centrales Eléctricas del Norte de Santander con sus siglas CENS es el ente rector de verificar el buen funcionamiento y cumplimiento de la reglamentación colombiana en el ámbito eléctrico para los sistemas de autogeneración fotovoltaica en su página web aparece un apartado en la parte inferior derecha donde solicita la conexión a la red.

Para los sistemas fotovoltaicos se presenta la última resolución vigente la cual es la resolución CREG 174 de 2021 que reemplazó a la resolución CREG 030 de 2018 y establece los nuevos lineamientos para la conexión de los autogeneradores a pequeña escala AGPE y generadores distribuidos GD, CENS presenta el servicio de oferta solar el cual puede ser solicitado por en la página o por medio de otro proveedor de estos servicios.

En la página de CENS en el apartado **Tramita Tu Proyecto a Continuación** como se observa en la ilustración 28 se abre un menú de tres opciones la primera es referente a la resolución CREG 174 de 2021, en su segundo menú encontramos la disponibilidad de red que presenta CENS para realizar la conexión de proyectos en nivel de tensión I, en su tercer y último menú presentamos la solicitud de conexión simplificada para conexión de Autogeneradores a pequeña escala y generadores distribuidos con potencia instalada ≤ 100 KW[41].



Ilustración 27 Menú Tramita Tu Proyecto a Continuación

En la ilustración 29 en el menú de información de interés de la página de CENS se presenta dos menús el primero se presenta los contratos de conexión proforma planteando cada contrato según su capacidad revisar anexos 1 al 4.



Ilustración 28 Contratos de conexión proforma

En la ilustración 30 se presenta dos menús el primero lineamiento de pruebas y protecciones en el cual se establece las consideraciones al momento de realizar el diseño con el fin que las protecciones de CENS funciones de forma óptima, el segundo menú lineamientos estudios de conexión y los contenidos mínimos que deben incluir los estudios de conexión simplificado de acuerdo con la capacidad instalada del sistema de generación revisar anexos 5 al 8.

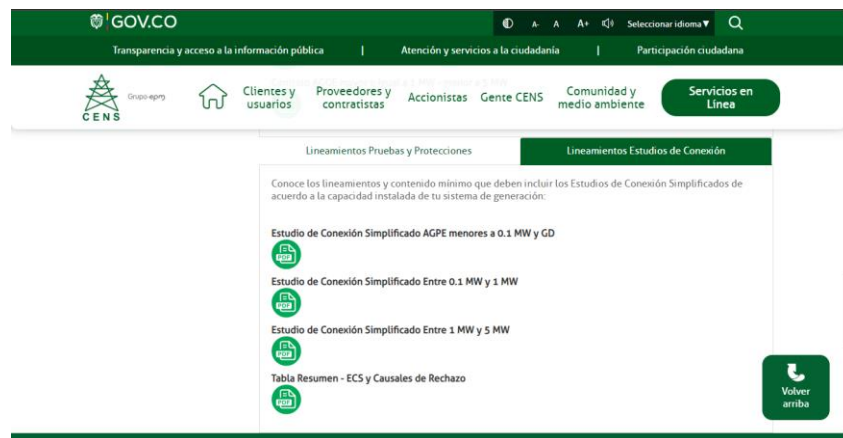


Ilustración 29 Menú de lineamientos de pruebas, protecciones y estudios de conexión

En el segundo menú lineamiento de estudio de conexión en el anexo 8 se presenta un Excel con un listado de posibles rechazo de la aceptación del sistema fotovoltaico.

4. CAPITULO 4 TOMA DE MEDICINES Y MEDICIONES DE POTENCIA

El estudio de calidad de la energía se realizó en el punto común de acoplamiento PCC del sistema fotovoltaico a pequeña escala como se observa en la ilustración 31, el cual se encuentra ubicado en el primer piso del edificio Virgilio Barco Vargas donde funciona el área administrativa de la facultad de ingenierías y arquitectura, zonas de asesoría de docentes de la facultad y direcciones de los programas.



Ilustración 30 Instalación analizador de redes en el PCC

4.1. DESCRIPCIÓN DEL ANALIZADOR DE REDES

El analizador de redes Fluke 434-II que se muestra en la ilustración 32 es un instrumento diseñado para mostrar datos y formas de ondas de las señales eléctricas de corriente, voltaje, armónicos, potencia en distintas formas como son los diagramas de barras, formas de onda, espectros de armónico, histogramas, estos como parámetros principales, ya que depende de las especificaciones de cada 1 de los analizadores [42].



Ilustración 31 Analizador Fluke 434 – II [43]

4.1.1. PARTES DEL ANALIZADOR DE REDES FLUKER 434 – II

El analizador Fluke 434 – II es un analizador de redes de tipo trifásico, durante su funcionamiento puede captar simultáneamente múltiples parámetros según su configuración, se muestran en formatos que describen rápidamente el estado general de la calidad eléctrica, con la información obtenida se puede realizar la toma de decisiones para la realización de mantenimientos, en la ilustración 33 se muestra cada uno de los

componentes con los cuales cuenta los analizadores de redes, como puede ser cargador, sondas de corriente, disco de instalación entre otros componentes, con los que se realizan la toma de mediciones.

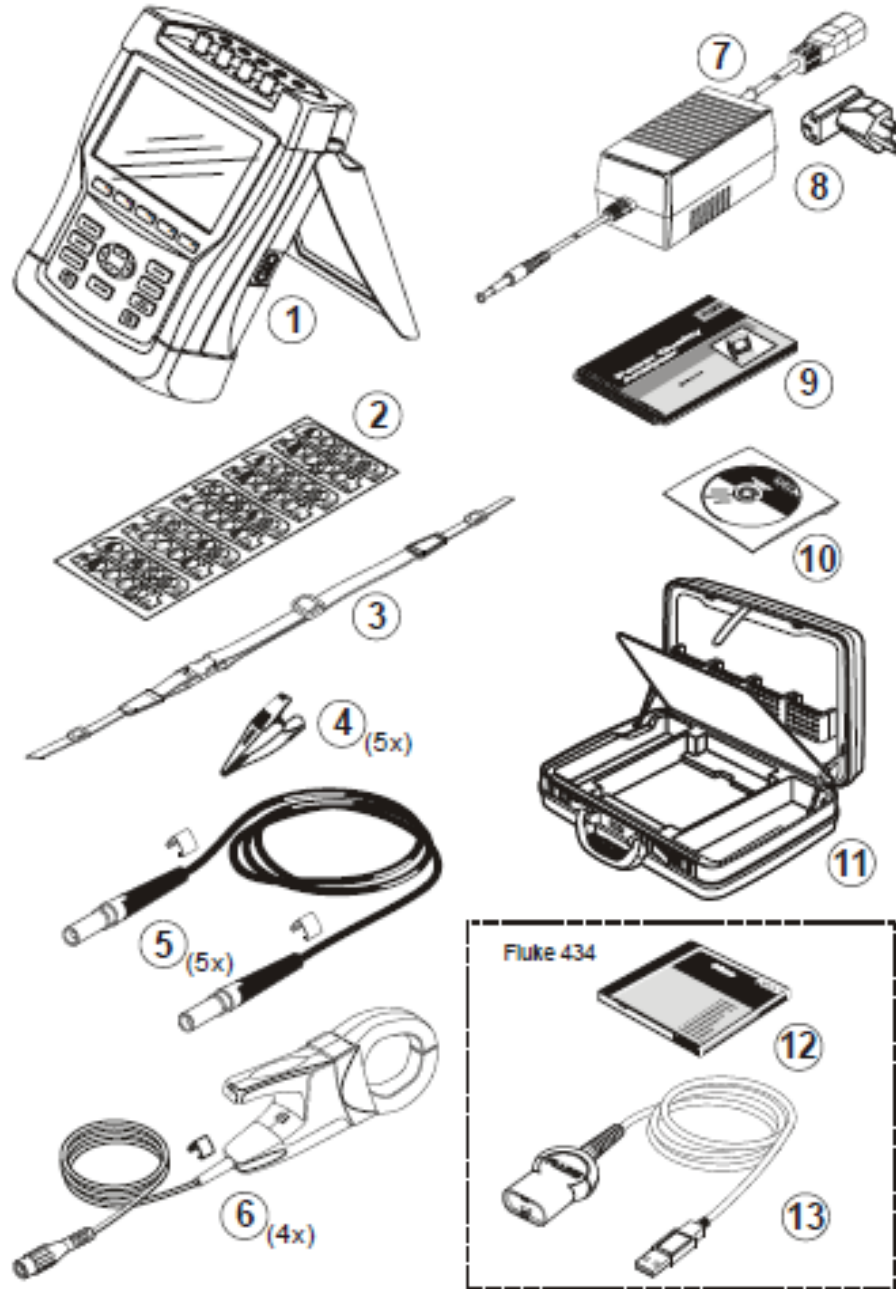


Ilustración 32 Componentes de un analizador de redes [43]

En la tabla 8 se realiza la descripción de cada uno de los componentes de que se encuentran enumerados en la ilustración 33 por el cual iniciamos por el analizador de redes entre los que se encuentran las sondas de corriente, pinzas cocodrilo, manual de funcionamiento, CD de instalación entre otros.

Tabla 9 Componentes de un analizador de redes Fluker 434 – II [43]

N°	Descripción	
1	Analizador de calidad de la energía Fluke 43x serie II + recorre a lateral, juegos de baterías BP290 (28Wh) y tarjeta de memoria SD de 8 GB instalada	
2	Juegos etiquetas para toma de entrada (nuevo UE y Reino Unido, China, Reino Unido, EE. UU, Canadá)	
3	Correa	
4	Pinzas cocodrilo, juegos de 5	
5	Cables de prueba, 2,5 m + pinzas codificadas con colores. Juegos de 5	
6	Adaptador de red	
7	Juego adaptadores de enchufe de red (UE, EE. UU, Reino Unido, Australia, China, Suiza, Brasil, Italia) o cable de alimentación regional	
8	Manual de instrucciones de seguridad (varios idiomas)	
9	CD-ROM con manuales (varios idiomas), software y controladores USB	
10	Cable de interfaz USB para conexión al PC	
11	Sonda de corriente de CA 6.000 A flexible (no incluye en la versión básica)	
	Fluker 434-II/435-II	Fluker 437-II
12	Enchufe de transporte flexible C1740	Maletín rígido con rueda C437-II

4.1.2. DIAGRAMAS DE CONEXIONES

En la ilustración 35 se muestra la conexión del analizador de redes, en qué lugar se encuentra los puntos de conexión de las sondas de corriente y los cables de prueba con las pinzas cocodrilo, la instalación de los sondas de corriente y cables de pruebas se debe realizar siguiendo las normas de seguridad, con el fin de evitar daño a las personas y los equipos que se encuentran instalados en el sistema de transmisión.

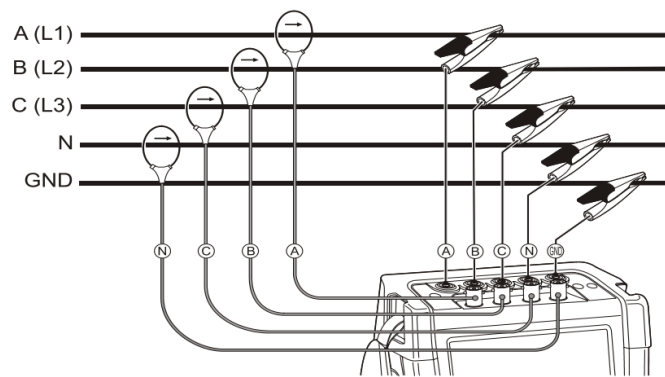


Ilustración 33 Conexión del analizador de redes

4.2. MEDICIÓN DE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En la ilustración 35 se presenta la verificación el día 3 de mayo del sistema fotovoltaico el cual presenta falla se procedió a realizar la verificación y mediciones correspondientes encontrando una falla en el contactor que se encuentra como medida de protección en el sistema fotovoltaico.



Ilustración 34 Verificación del sistema fotovoltaico

En la ilustración 36 se presenta los componentes del módulo de control del sistema fotovoltaicos entre los que encontramos un contactor, dos breaker trifásicos y un breaker monofásico con el cual se realiza el control de inyección a la red, como protección adicional el módulo de control presenta un frente muerto para la protección de las personas.

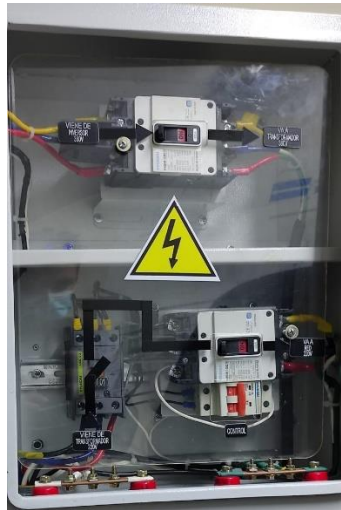


Ilustración 35 Verificación del tablero de control

En la ilustración 37 se presenta el módulo de control sin el frente muerto esto con el fin de iniciar el procedimiento de mantenimiento correctivo en el contactor, el cual presenta falla en una de sus bobina de enclavamiento lo que evita que el inversor inicie la sincronización mediante su software con la red en el tablero de distribución.



Ilustración 36 Mantenimiento correctivo

En la ilustración 38 se presenta el módulo de control posterior al mantenimiento correctivo realizado con ayuda del profesor Luis David Pabón, realizando la respectiva conexión y verificación mediante el analizador de redes verificando su funcionamiento y posteriormente se realiza la instalación para iniciar la mediciones correspondientes al trabajo de grado, en la ilustración 39 se observa la verificación de funcionamiento del transformador dos semanas posterior al mantenimiento correctivo, con la cámara térmica de marca Fluke se observó que el transformador se encuentra funcionando, y en su bobinado se encuentra a una temperatura de 76.2 °C siendo esta medición sobre las 11 de la mañana.



Ilustración 37 verificación funcionamiento del sistema fotovoltaico



Ilustración 38 Verificación con cámara térmica del funcionamiento del transformador

4.3. MEDICIÓN DE POTENCIA ACTIVA, REACTIVA Y FACTOR DE POTENCIA

4.3.1. TERCERA SEMANA DE MEDICIONES

En esta medición que se realizó se tomó los datos de potencia activa, reactiva y factor de potencia durante la semana comprendida entre el 27 de mayo de 2022 y el 03 de junio de 2022 con una duración de 7d 0h 0m 0s de captación de datos presentado un total de 30 eventos de forma de onda clasificados en la tabla 19.

Tabla 10 clasificación de eventos 3 semana

Evento	Cantidad
Caída de tensión	19
Swell	0
Transitorios	7
interrupciones	7
TOTAL	30

En la ilustración 40 y la ilustración 41 se presenta la forma de onda del voltaje y la corriente el cual se presentó durante la medición, presentado un voltaje que ronda de 128.9 V a 133 V en las tres fase, un frecuencia aproximadamente de 60 Hz la cual es la frecuencia fundamental.

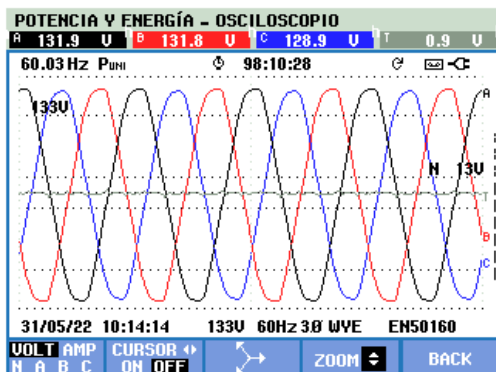


Ilustración 39 Onda de voltaje

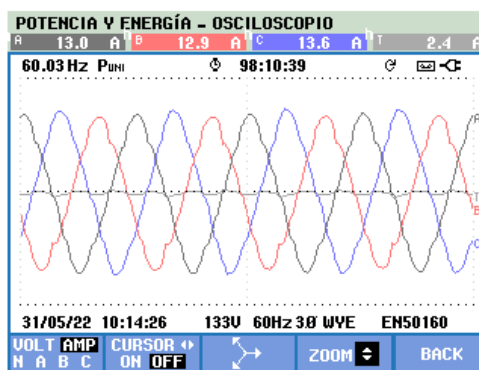


Ilustración 40 Onda de corriente

En la ilustración 42 y la ilustración 43 se presenta los diagramas fasoriales de la corriente y el voltaje con el cual se encuentra el autogenerador en el PCC, observando que el sistema se encuentra en secuencia negativa con un factor de potencia de unidad esto se debe a que la corriente y el voltaje se encuentran en fase.

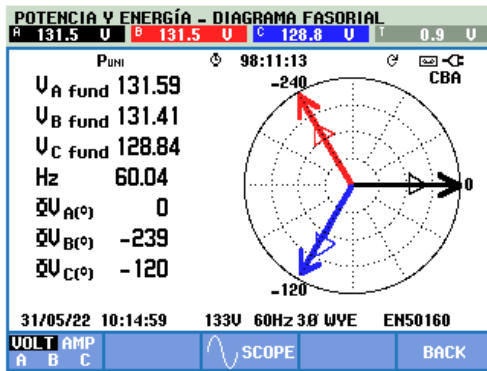


Ilustración 41 Diagrama fasorial del voltaje

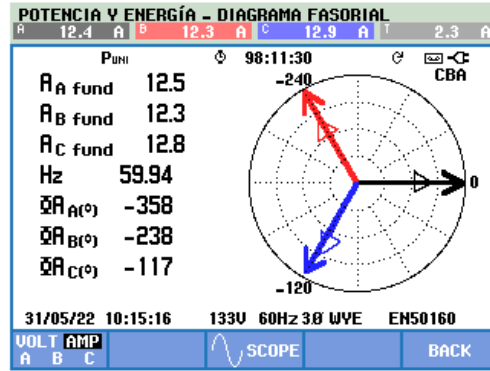


Ilustración 42 Diagrama fasorial de la corriente

4.3.1.1. POTENCIA ACTIVA

En la ilustración 44 se observa las gráficas comparativas de la potencia que se presentó en los días del 27 de mayo el día que se instaló el analizador de redes en azul y el día 3 de junio en rojo cuando se retiró, en la ilustración 44 en la línea de tendencia de color azul se observa una tendencia de crecimiento de la potencia, se presenta una depresión en la potencia sobre las 12:25 PM es pudo presentar por la aparición súbita de una nube de grandes dimensiones, el restante día se presente picos de radiación como horas donde hay gran presencia de radiación.

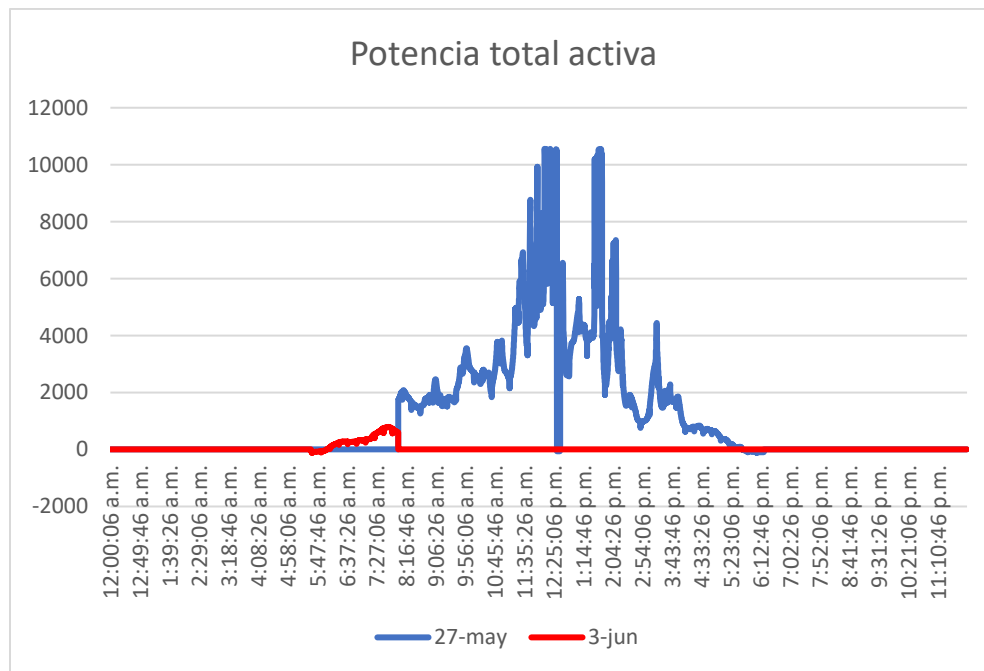


Ilustración 43 Comparativo de Potencia total activa

En la ilustración 45 se presenta el comparativo de a potencia activa de los 6 días de medición presentando que aproximadamente sobre las 5:30 am se presenta el inicio de generación del sistema fotovoltaico, de igual manera sobre las 5:15 pm se presenta la disminución de la generación del sistema y aproximadamente a las 6:20 pm el sistema no presenta generación e ingresa en la modalidad isla del día 28 de mayo hasta el día 2 de junio, presentando una tendencia los días 1 y 2 de junio donde se presentó un máximo de potencia total de aproximadamente 8.8 Kw, en los otros 4 días de medición se presentó un valor 10.5 Kw aproximadamente instantes en los que aparece disminuciones de la potencia por le presencia de nubes sobre el sistema fotovoltaico.

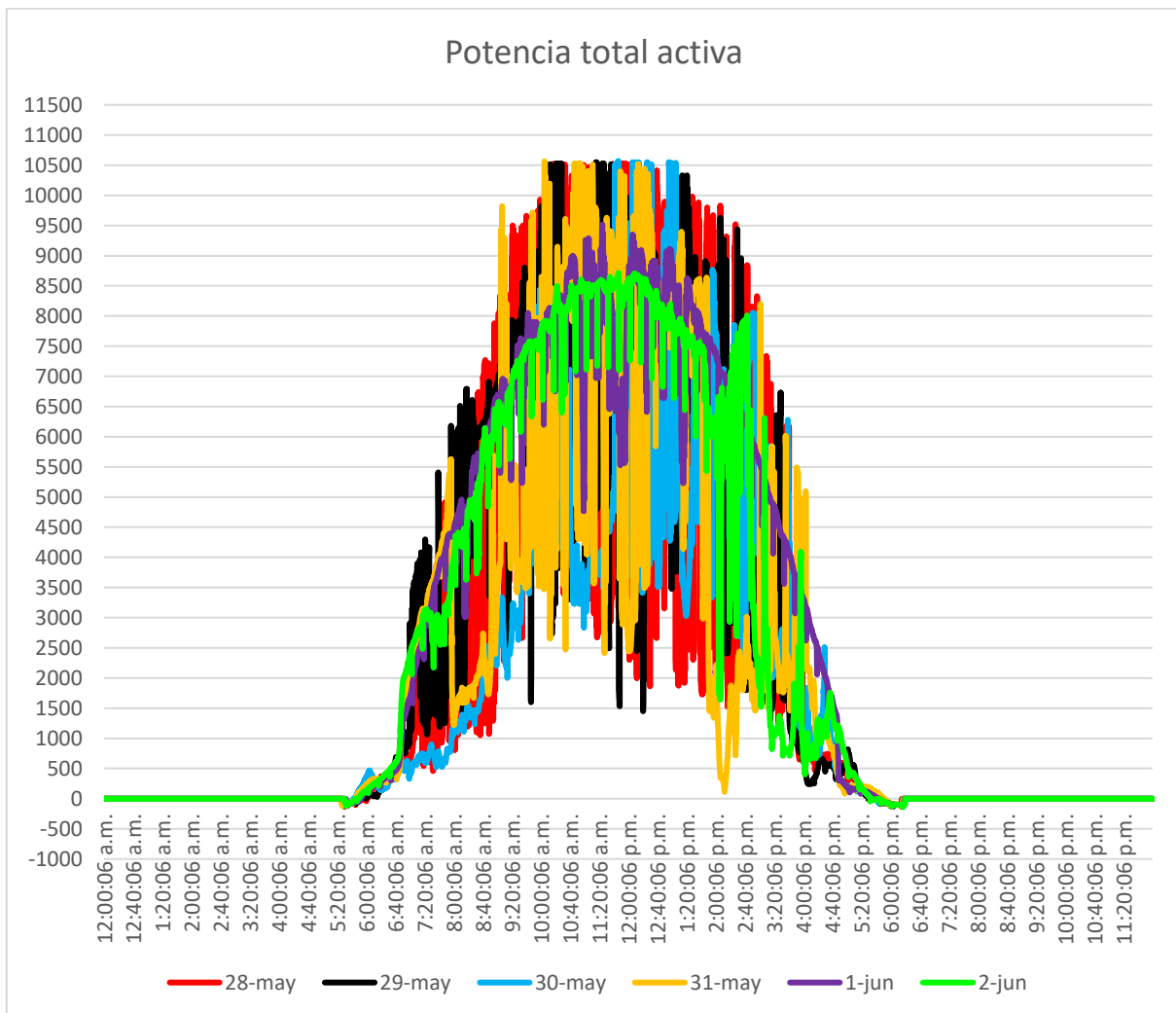


Ilustración 44 Comparativo de potencia total activa

En la ilustración 46 se presenta la pantalla de analizador de redes Fluke 434 -II en la cual se refleja la potencia activa tomada el día 02 de junio en la cual se refleja la potencia que se genera por fase y la total con todos los procesos de aparición de eventos de nubosidad sobre el sistema fotovoltaico.

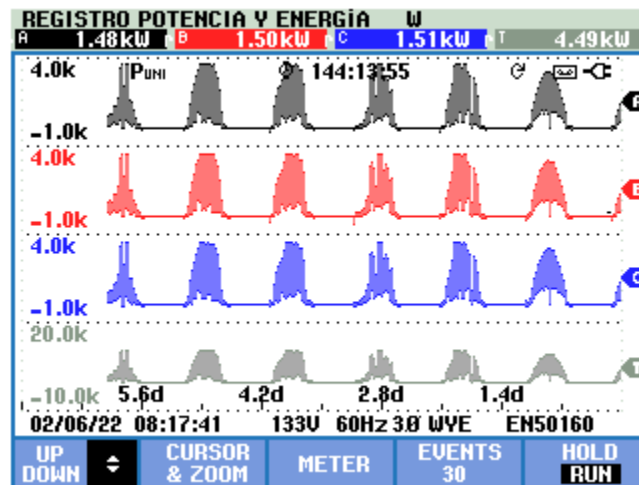


Ilustración 45 Registro de potencia activa

4.3.1.2. POTENCIA REACTIVA

En la ilustración 47 se presenta el comparativo de la potencia total reactiva entre los días 27 de mayo el día que se instaló el analizador de redes y el día 3 de junio que fue el que se desconectó el analizador, se presentaron dos eventos el día 27 de mayo que fueron captados por el analizador de redes entre las 5:20 am y 6:15 am en los cuales se presenta cambios en los cuales el sistema consume e inyecta reactivos, el día 3 de junio se presentaron 2 eventos los cuales fueron captados por el analizador en los cuales se consume e inyecta reactivos presentados entre de las 5:20 pm y las 6:20pm cuando se presenta la disminución de la irradiación hasta que el inverso ingresa en modo isla.

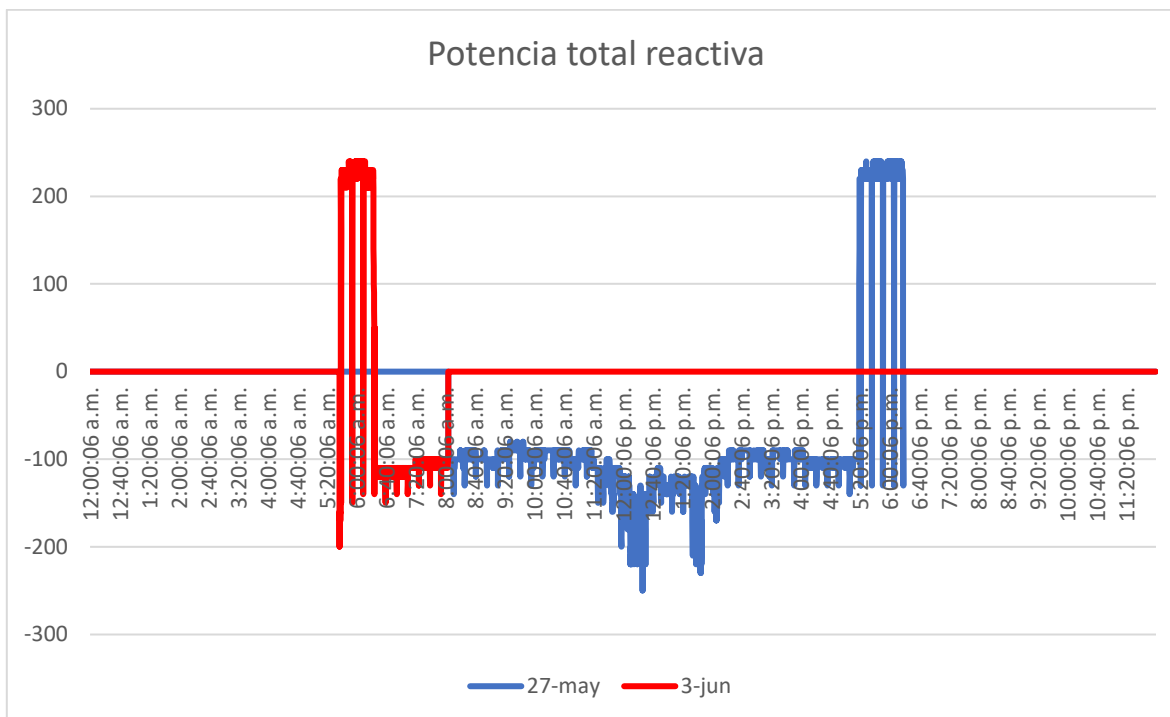


Ilustración 46 Comparación de potencial total reactiva

En la ilustración 48 se presenta el comparativo de la potencia total reactiva entre los días 28 de mayo hasta el día 2 de junio, se presentaron dos eventos repetitivos entre los 6 días de medición que fueron captados por el analizador de redes entre las 5:20 am y 6:15 am en los cuales se presenta cambios en los cuales el sistema consume e inyecta reactivos, posteriormente se presentaron 2 eventos los cuales fueron captados por el analizador en los cuales se consume e inyecta reactivos presentados entre de las 5:20 pm y las 6:20pm cuando se presenta la disminución de la irradiación hasta que el inverso ingresa en modo isla.

En la ilustración 48 se presenta dos eventos en los cuales el sistema fotovoltaicos no consume reactivos si no que los inyecta el primero el día 29 de mayo sobre las 4:00pm presentado por la aparición de nubes sobre el sistema fotovoltaico, el segundo evento se presentó el día 31 de mayo sobre las 2:10 pm presentado por la disminución de la generación del sistema fotovoltaico por la presentación de nubes, en la ilustración 49 se presenta el registro de potencia activa durante los días que encontraba el analizador de redes conectado de forma lineal.

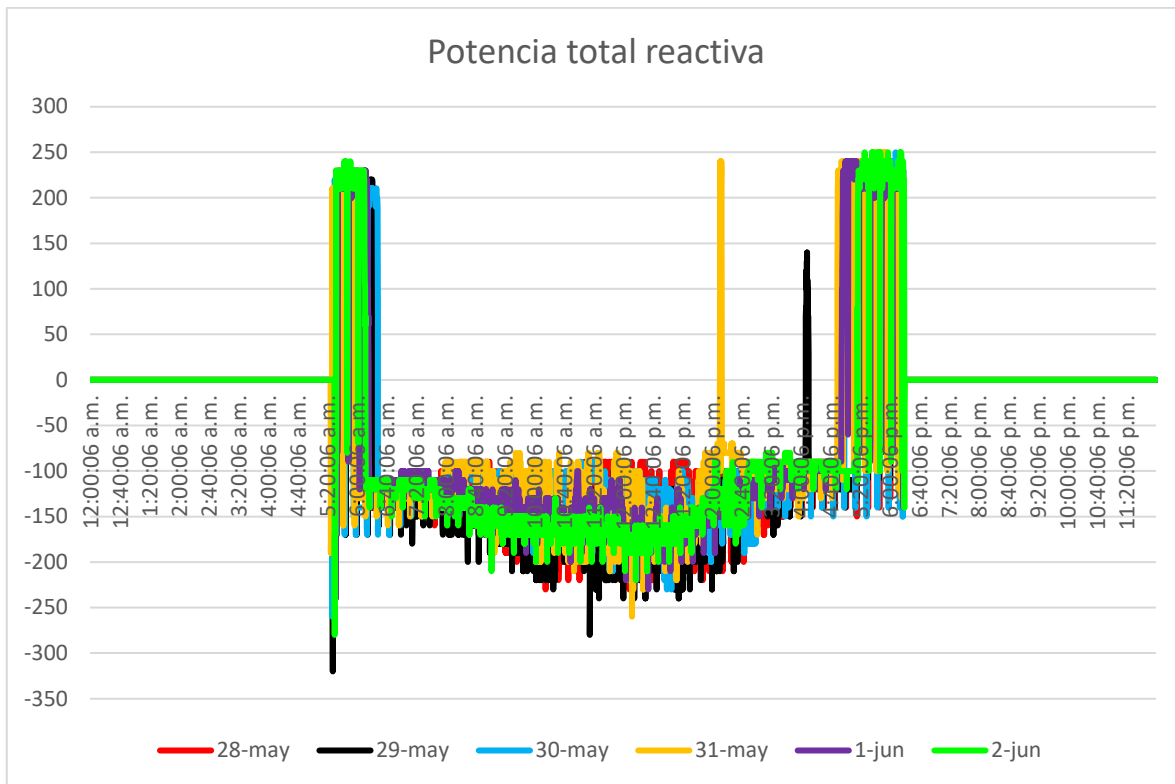


Ilustración 47 Comparación de potencia total reactiva

En la ilustración 49 se presenta el registro de potencia reactiva durante los aproximadamente 6 días de cada fase, observando los picos de consumo de potencia reactiva como la inyección de potencia reactiva durante el inicio y fin de la generación del sistema fotovoltaico

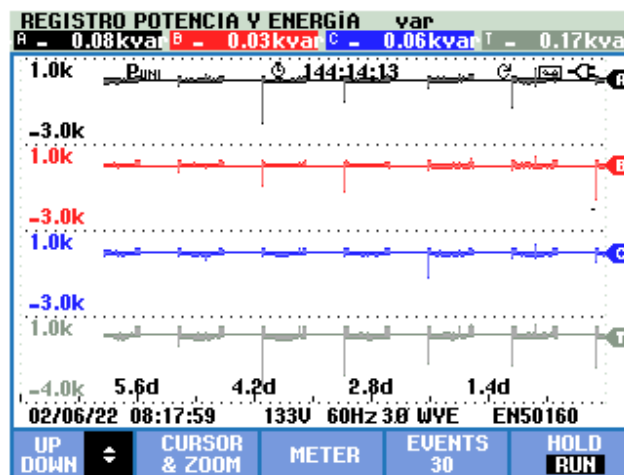


Ilustración 48 Registro de potencia reactiva

4.3.1.3. POTENCIA APARENTE

En la ilustración 50 se presenta el comportamiento de la potencia aparente en los días 27 de mayo y 3 de junio, se observa el mismo comportamiento en la potencia activa del día 27 de mayo en la cual en la hora del medio día presenta un caída de potencia presentando una interrupción en la inyección de la potencia por la aparición de eventos de nubes o si se llega a presentar un evento en el cual se supera el voltaje que tiene como limite la tecnología MPPT activa las protecciones del inversor realizando una interrupción en el sistema.

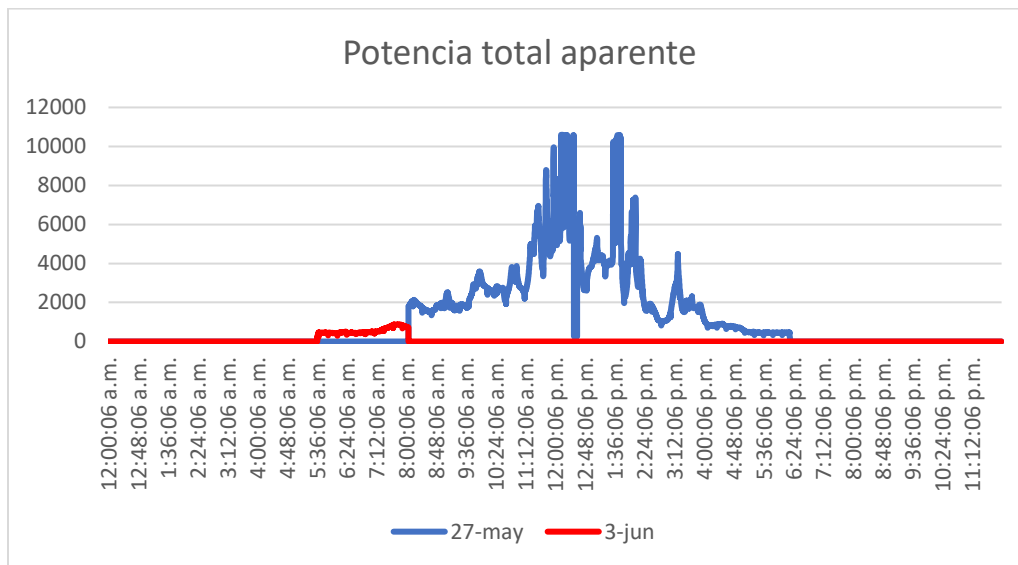


Ilustración 49 Comparación de potencia total aparente

En la ilustración 51 se presenta la gráfica de comparación entre los 6 días de medición presentado un comportamiento los días 1 y 2 de junio con una menor generación de potencia con respecto a los otros días, se observa que en los días 29 y 30 de mayo se presentan eventos de nubes sobre el sistema fotovoltaico causando disminución de la inyección de la potencia a la red, también se presenta un evento común en la hora que el sistema fotovoltaico presenta generación siendo a las 5:30 a.m., de la misma manera se presenta en la hora de disminución de la generación la cual se presenta a las 5:30 p.m. y entrando en modo isla el sistema fotovoltaico a las 6:30 p.m.

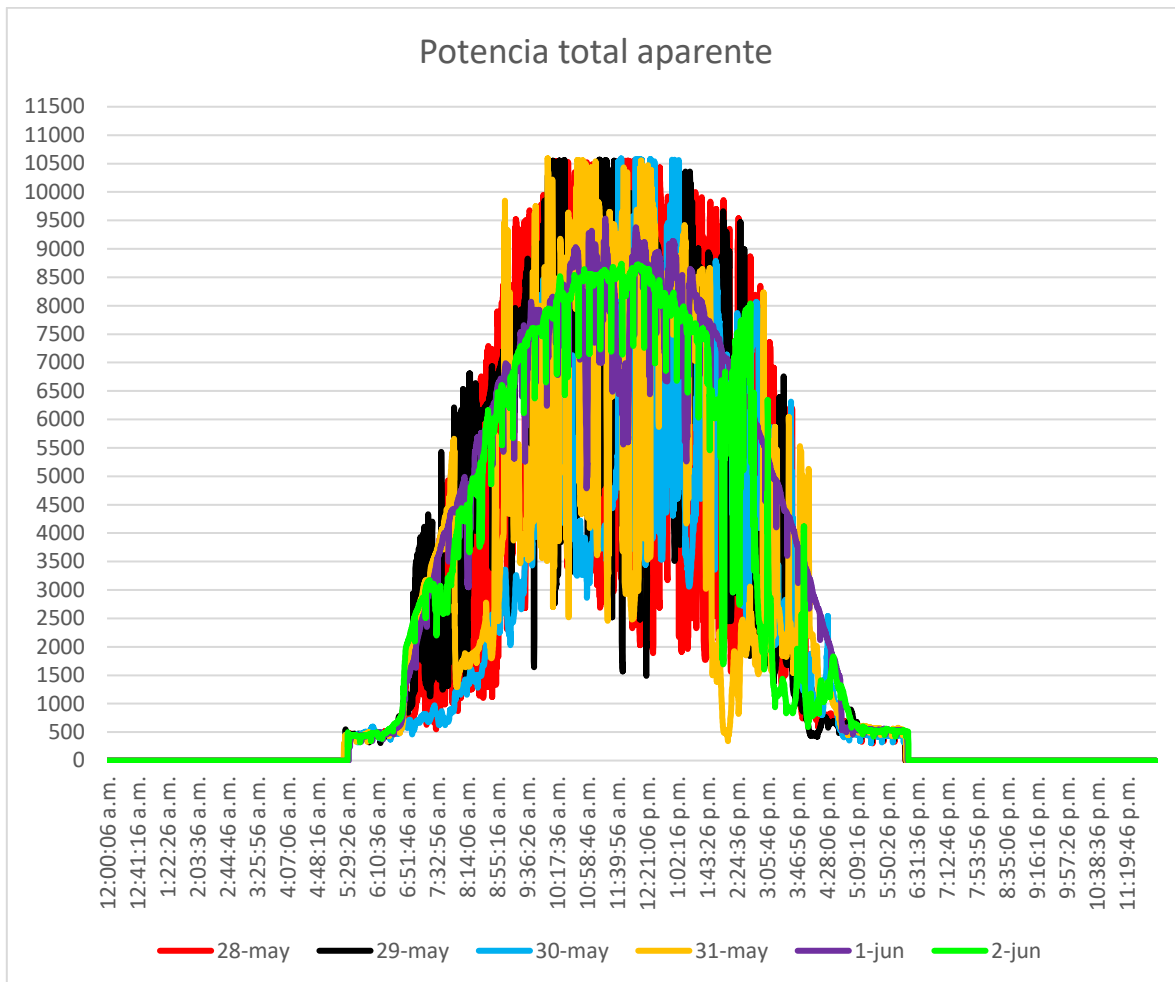


Ilustración 50 Comparación de potencia total aparente

En la ilustración 52 se presenta el registro de potencia aparente por fase y el total de la potencia aparente como se observa en la pantalla del analizador de redes Fluke 434-II, en la ilustración 66 se observa que en el tercer día de medición de presente eventos en donde no se disminuyó la potencia aparente.

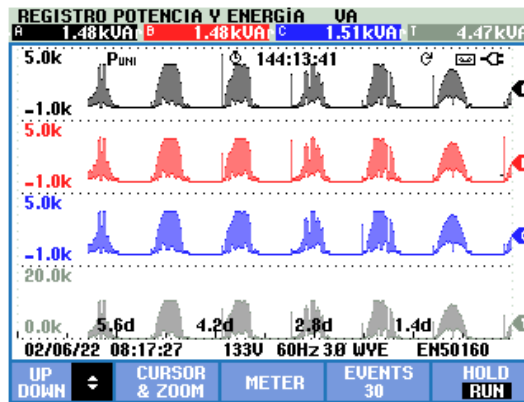


Ilustración 51 Registro de potencia aparente

4.3.1.4. FACTOR DE POTENCIA

En la ilustración 53 se presenta el factor de potencia de los días 27 de mayo y el 3 de junio, presentado evento entre las 5:20 y las 6:00 am donde el factor de potencia presenta valor negativos, es entendido como si el sistema se encuentra funcionando en modo capacitivo, de la misma manera se presenta al finalizar el día donde se presenta entre las 5:30 pm y las 6:30 pm con un valor máximo de factor de potencia de 0.4 en modo capacitivo antes de que el sistema entrar en modo isla, durante el día el sistema fotovoltaico se encuentra funcionando aproximadamente en factor de potencia 1 exceptuando el evento que se presentó debido a la aparición de nubes sobre el sistema fotovoltaico.

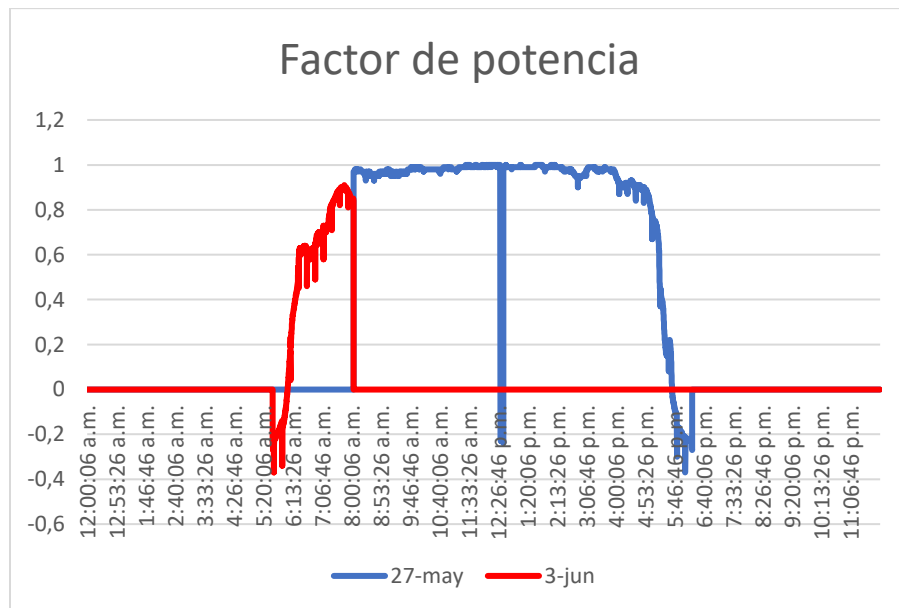


Ilustración 52 Comparación del factor de potencia

En la ilustración 54 se presenta el factor de potencia de los 6 días de medición el cual comprende entre el 28 de mayo y el 2 de junio, presentado un evento repetitivo entre las 5:20 y las 6:00 am donde el factor de potencia presenta valor negativos, es entendido para este tipo de sistema se encuentre funcionando en modo capacitivo, de la misma manera se presenta al finalizar el día donde se presenta un evento repetitivo entre las 5:30 pm y las 6:30 pm con un valor máximo de factor de potencia de 0.4 en modo capacitivo antes de que el sistema fotovoltaico ente en modo isla.

Durante el día el sistema fotovoltaico se encuentra funcionando aproximadamente en factor de potencia 1, presentando eventos en los cuales se observó eventos de disminución de la potencia activa que se está generando en el sistema fotovoltaico debido a la aparición de nubes sobre el sistema fotovoltaico interrumpiendo la irradiación.

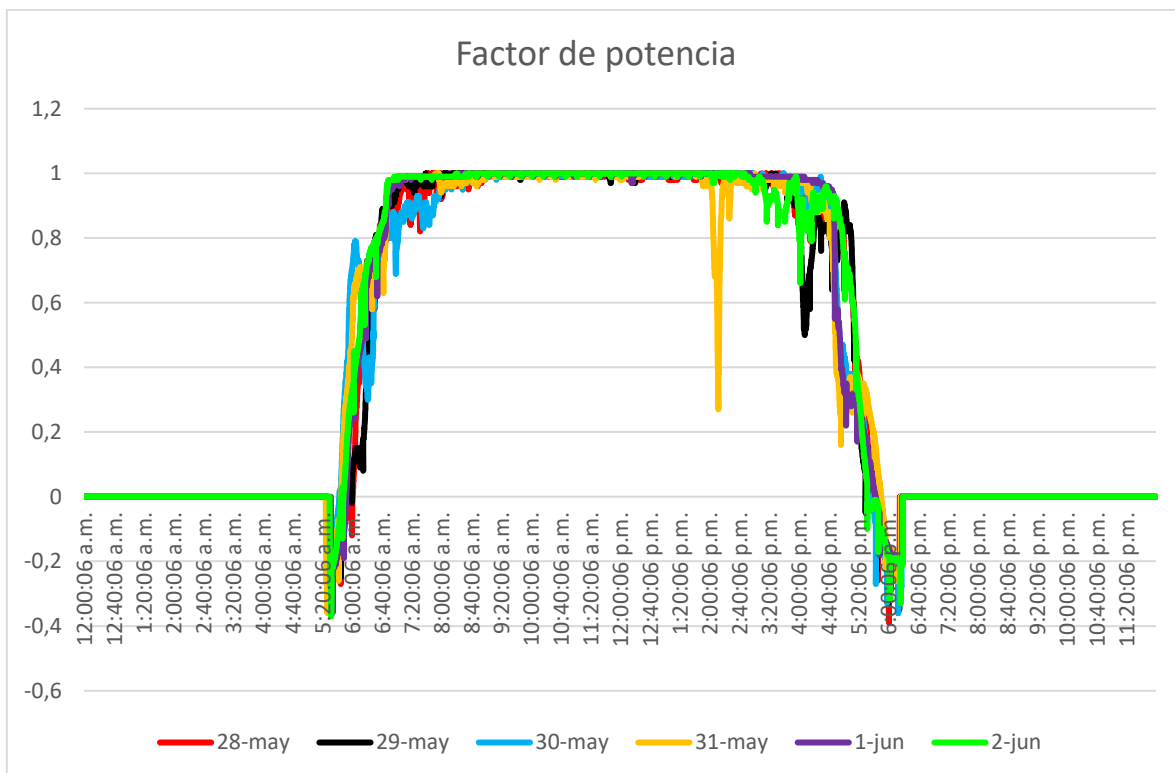


Ilustración 53 Comparación del Factor de potencia

4.3.1.5. FACTOR DE POTENCIA DE DESPLAZAMIENTO

En la ilustración 55 se presenta el factor de potencia de desplazamiento de los días 27 de mayo y el 3 de junio, presentado evento entre las 5:20 y las 6:00 am donde el factor de potencia presenta valor negativos, es entendido como si el sistema se encuentra

funcionando en modo capacitivo, de la misma manera se presenta al finalizar el día donde se presenta entre las 5:30 pm y las 6:30 pm con un valor máximo de factor de potencia de 0.4 en modo capacitivo antes de que el sistema entrara en modo isla, durante el día el sistema fotovoltaico se encuentra funcionando aproximadamente en factor de potencia 1 exceptuando el evento que se presentó debido a la aparición de nubes sobre el sistema fotovoltaico.

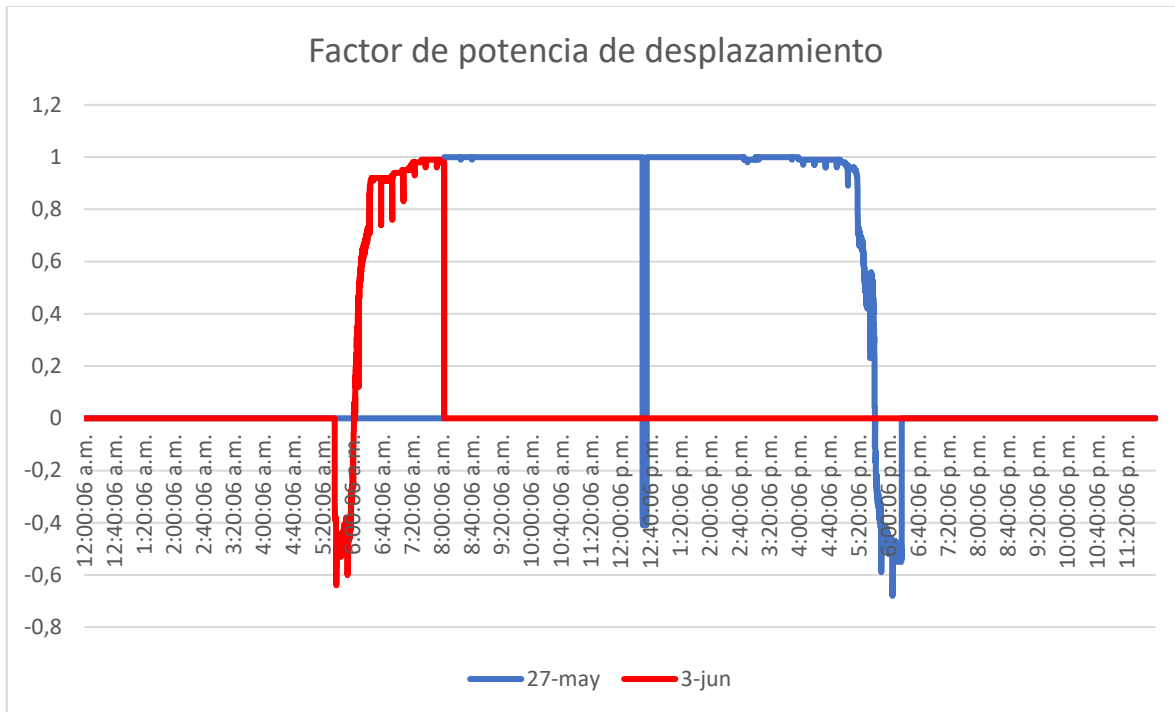


Ilustración 54 Comparativo del factor de potencia de desplazamiento

En la ilustración 56 se presenta el factor de potencia de los 6 días de medición el cual comprende entre el 28 de mayo y el 2 de junio, presentado un evento repetitivo entre las 5:20 y las 6:20 am donde el factor de potencia de desplazamiento presenta valores negativos, es entendido para este tipo de sistema se encuentra funcionando en modo capacitivo, de la misma manera se presenta al finalizar el día donde se presenta un evento repetitivo en los 6 días de medición entre las 5:30 pm y las 6:30 pm con un valor máximo de factor de potencia de 0.5 en modo capacitivo antes de que el sistema fotovoltaico entre en modo isla.

Durante el día el sistema fotovoltaico se encuentra funcionando aproximadamente en factor de potencia 1, se presentaron dos eventos significativos en los cuales se observó eventos de disminución de la potencia activa que se está generando en el sistema

fotovoltaico debido a la aparición de nubes sobre el sistema fotovoltaico interrumpiendo la generación.

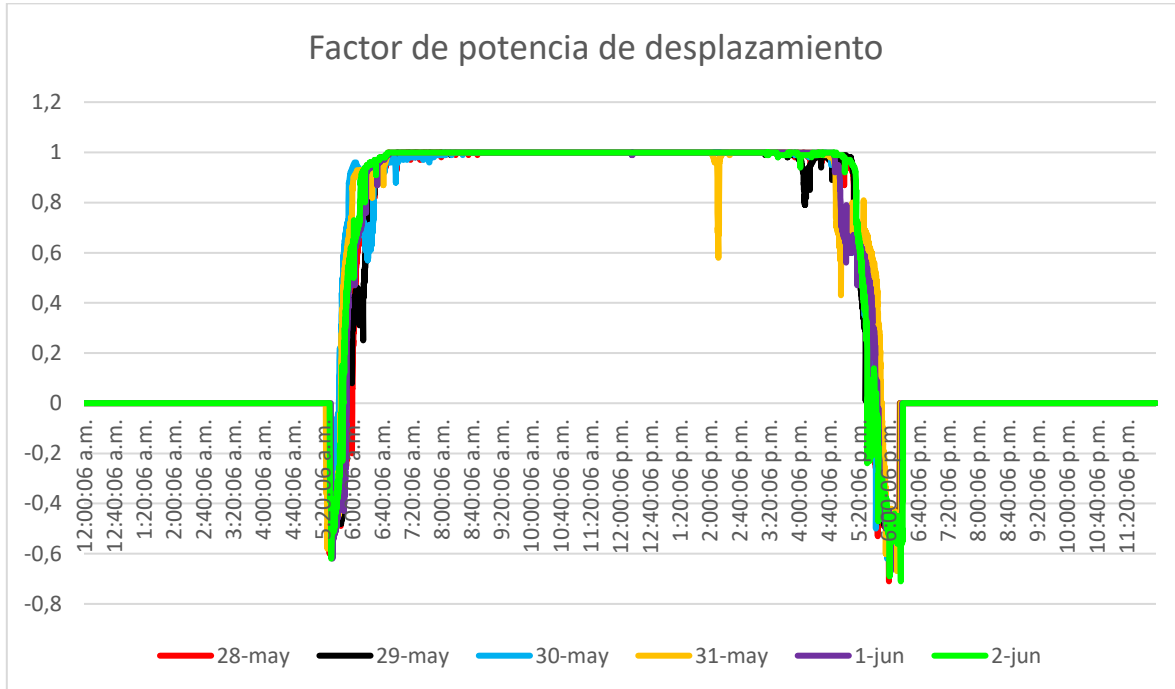


Ilustración 55 Comparativo del factor de potencia de desplazamiento

4.3.1.6. POTENCIA DE ARMÓNICOS

En la ilustración 57 se presenta la comparación de la potencia total de los armónicos presentes en la generación realizada por el sistema fotovoltaico, en la ilustración 57 se presenta el comparativos del día que se instaló y el día que se desconectó el analizador, en el día 27 de mayo se presenta variaciones de la potencia entre las 8:00 am y 10:40 am donde desciende a casi cero por que se presenta generación constante, posteriormente presenta un evento sobre las 12:40 del día por aparición de nube de gran densidad, ya en las horas de la tarde a partir de las 4:00pm se incrementa de manera sustancial hasta las 6:20 pm cuando se presentó el funcionamiento de la protección del inversor.

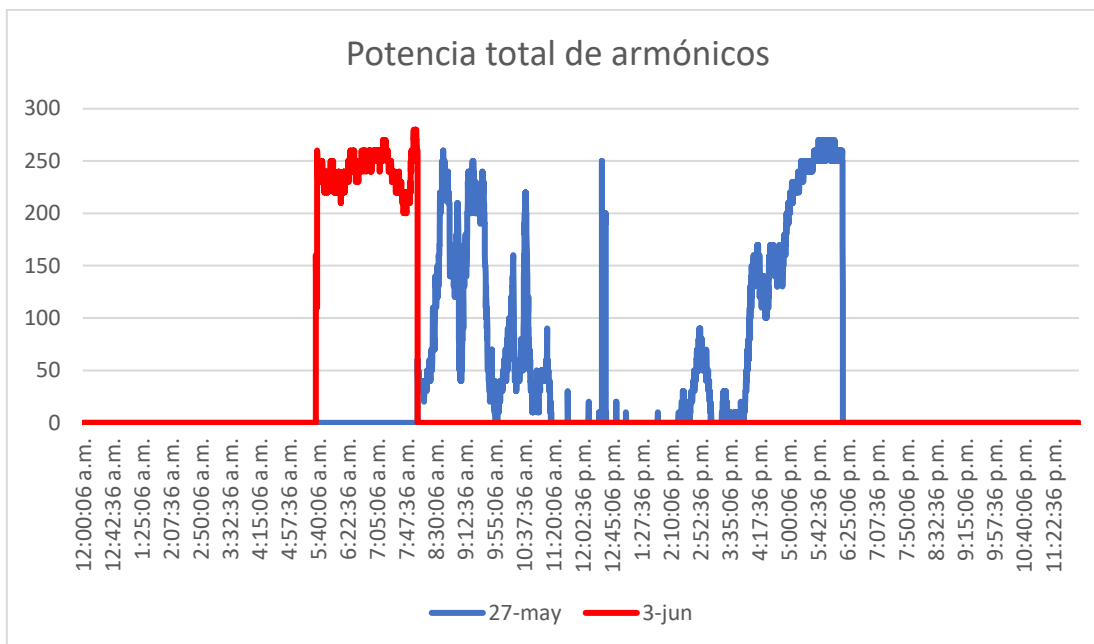


Ilustración 56 Comparativo de la potencia de los armónicos

En la ilustración 58 se presenta el comparativo de la potencia total de armónicos en los 6 días de medición teniendo eventos repetitivo entre las 5:20am y las 6:30 am en el cual el sistema fotovoltaico está iniciando su generación y no se encuentra en condiciones óptimas de generación, de la misma manera de presenta en las horas de la tarde iniciando a la 4:30pm y culminando a las 6:20 pm cuando las protecciones del inversor entran en funcionamiento.

En la ilustración 58 se presenta el día 31 mayo en color amarillo al ser comparado con los demás días se presentan eventos significativos, los cuales se presentan por la por la disminución en la generación de la potencia activa presentado por la aparición de nubes, de la misma forma se presenta el día 2 de junio en color verde en el cual en las horas de la mañana se presta un comportamiento muy similar a la de los demás días, en los cuales entre las 5:20am y las 6:20 am se presentan armónicos de tensión luego se estabiliza aproximadamente a cero, posteriormente pasadas las 2:06 pm se presenta una elevación en la potencia de los armónicos, presentado por la disminución de la generación fotovoltaica.

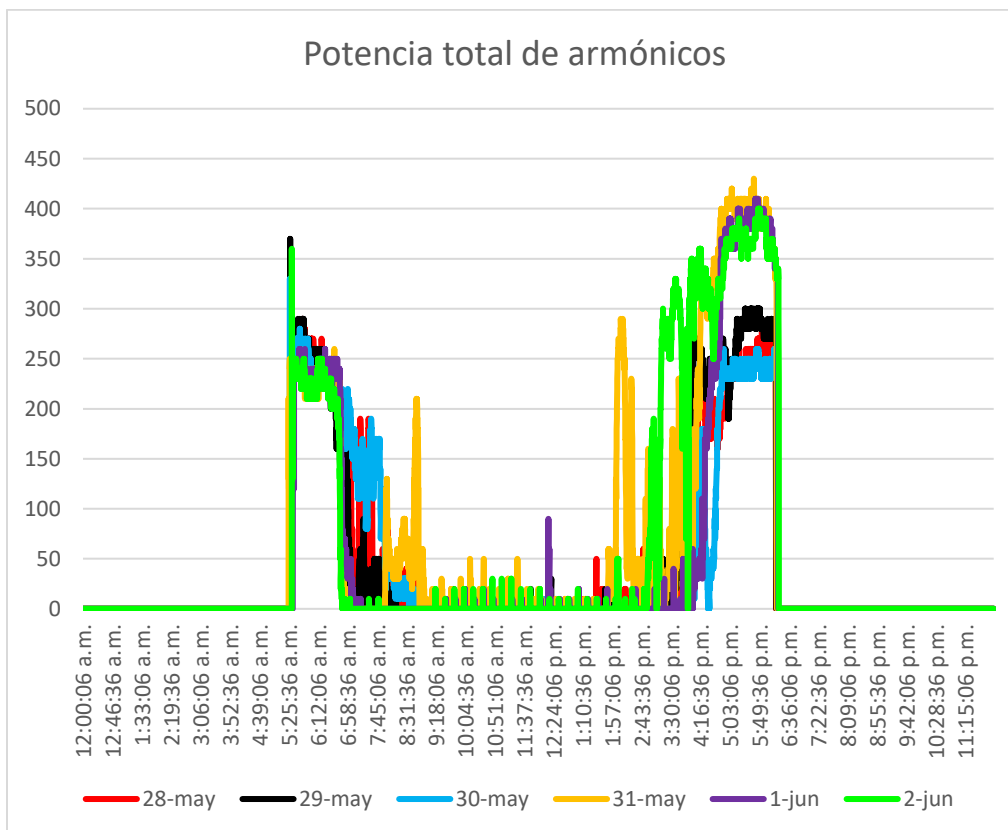


Ilustración 57 Comparativo de la potencia de los armónicos

4.3.1.7. ENERGÍA ACTIVA

En la ilustración 60 se presenta el comparativo de la energía total activa entre el día 27 de mayo cuando se realizó la instalación del del analizador de redes y el día 3 de junio día cuando se cumplió los 7 días de mediciones, Se observa el día 27 de mayo en color azul inicia a realizar el control de la energía aproximadamente a las 8:55 am llegando hasta su máxima generación siendo las 3:46 pm, el día 3 de junio en color rojo se observa que no presentó cambios esto es posible debido a que ese día el sistema fotovoltaico inicio la generación de energía ya sobre las 8:14 am a este momento ya se había cumplido los 7 días de medición por lo tanto se observa que sobre las 8:07 am se presentó una interrupción tendiendo a cero.

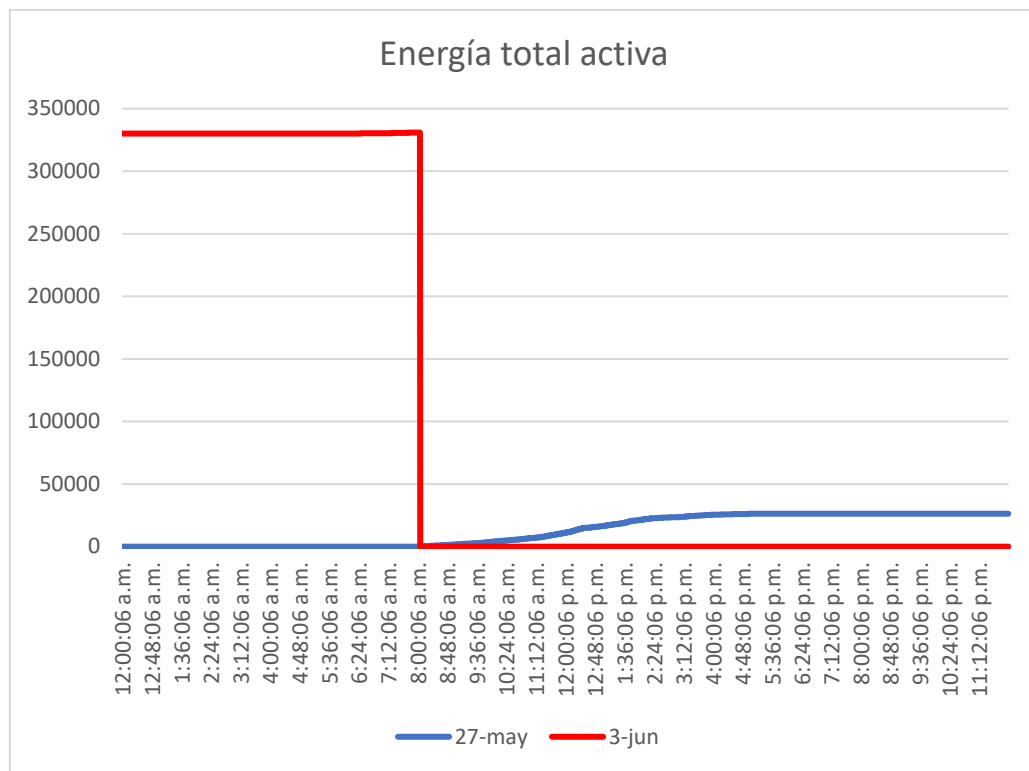


Ilustración 58 Comparativo de energía activa

En la ilustración 59 se realiza la comparación de la energía activa durante los 6 días de medición que comprende entre el 28 de mayo y el 2 de junio en la ilustración se observa un cambio en la energía el cual inicia entre las 6:50 am y las 8:40 am momento en el cual el sistema fotovoltaico se encuentra en condiciones óptimas de generación e inicia la inyección a la red, este proceso termina aproximadamente a las 5:09 pm cuando el sistema fotovoltaico inicia disminuir su capacidad de generación estableciéndose ese valor como el valor inicial del siguiente día, en la ilustración 59 se observa al realizar la comparación entre el 29 de mayo hasta el 31 de mayo se presenta un aumento menor al promedio el día 30 de mayo esto siendo posible por la aparición de no eso del sistema fotovoltaico.

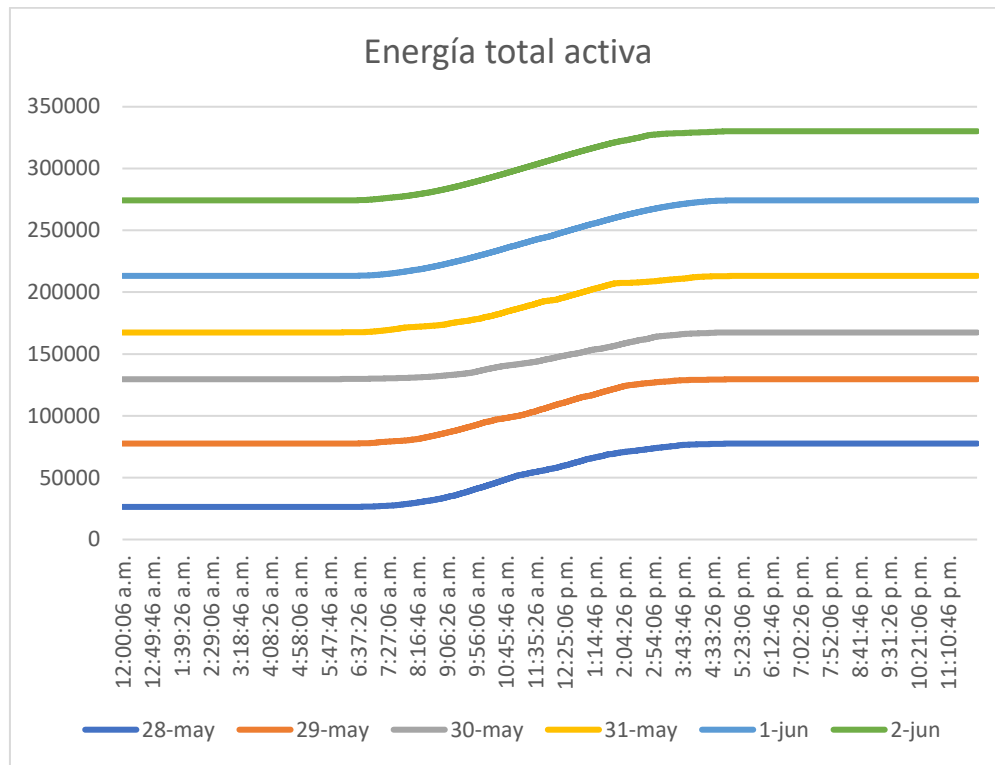


Ilustración 59 Comparativo de energía activa

4.3.1.8. ENERGÍA REACTIVA

La ilustración 61 se presenta el comparativo la energía reactiva total entre el día 27 de mayo cuándo se instaló el analizador y el día 3 de junio día que se retiró el analizador de redes, como se observa el día 27 de mayo una vez se realizó la instalación del analizador de redes se inició la captación de datos de energía reactiva llegando a un pico siendo las 5:17pm posteriormente desciende levemente y se estabiliza en ese valor, el día 3 de junio se presenta una leve reducción en el valor posterior vuelve al valor inicial y se realiza la desconexión del analizador de redes por tal motivo se observa una interrupción con tendencia a cero.

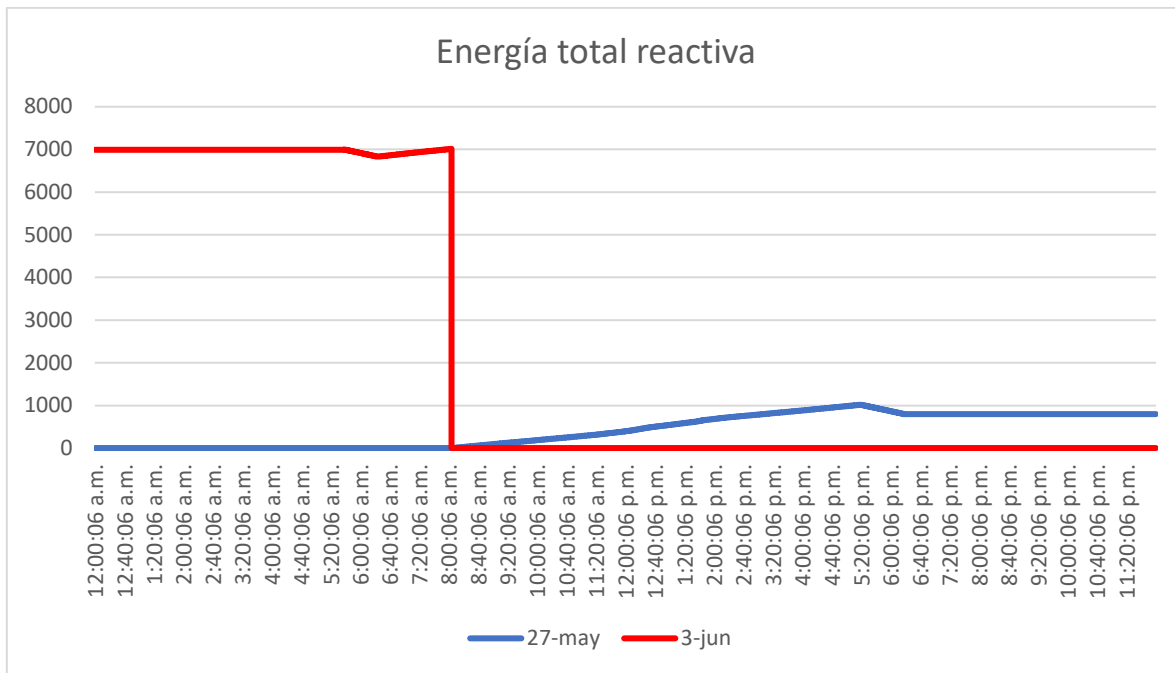


Ilustración 60 Comparativo de energía reactiva

La ilustración 62 se presenta el comparativo la energía reactiva total entre 6 días de medición el cual inicia el día 28 de mayo y culmina el día 2 de junio, en los 6 días de medición presenta dos eventos repetitivos los cuales pueden variar en duración y magnitud, estos eventos cuando el sistema fotovoltaico presenta los primeros picos de generación y cuándo el sistema fotovoltaico se encuentra terminando su ciclo de generación diario aproximadamente a las 6:20 pm, en los 6 días de medición se presentó un pico antes de presentar una estabilización en los valores de la energía total reactiva el cual se puede observar qué sucede entre las 4:40 pm y las 5:00 pm.

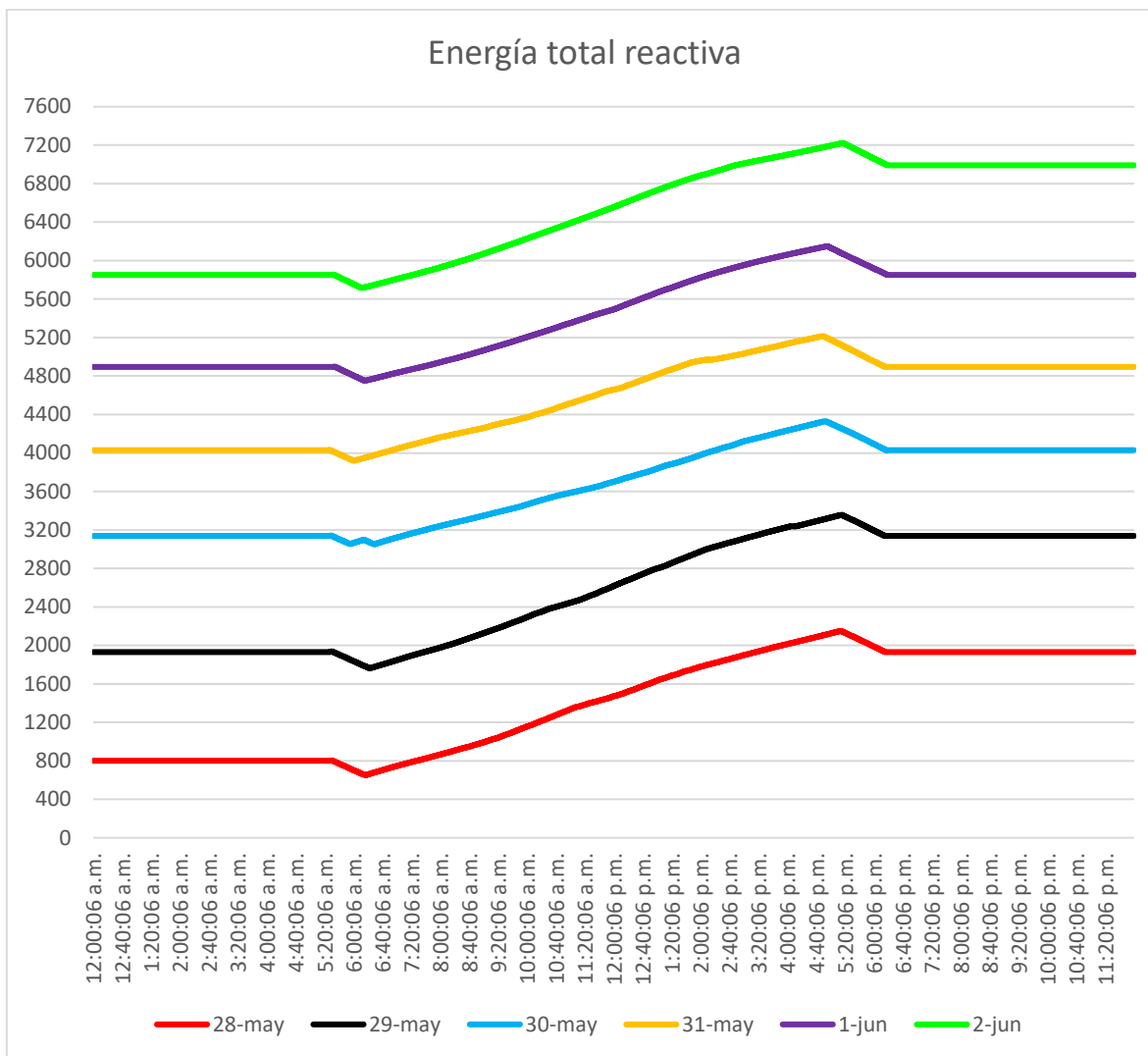


Ilustración 61 Comparativo de energía reactiva

4.3.1.9. ENERGÍA APARENTE

La ilustración 63 se presenta la comparación de la energía total aparente entre el día 27 de mayo cuando se inició el proceso de medición de la energía total aparente se presenta similar al comportamiento de la energía total activa llegando hasta un valor y estableciéndose en él y siendo la referencia para el siguiente día, si se observa la comparación con el día 3 de junio se presenta con un valor casi a aproximadamente de 340000 VA/h el cual sobre las 6:10 am presentó una leve elevación, posteriormente sobre las 8:07 am se realiza la culminación de la medición de 7 días de potencia y energía causando así una interrupción con tendencia a cero como se observa en la ilustración.

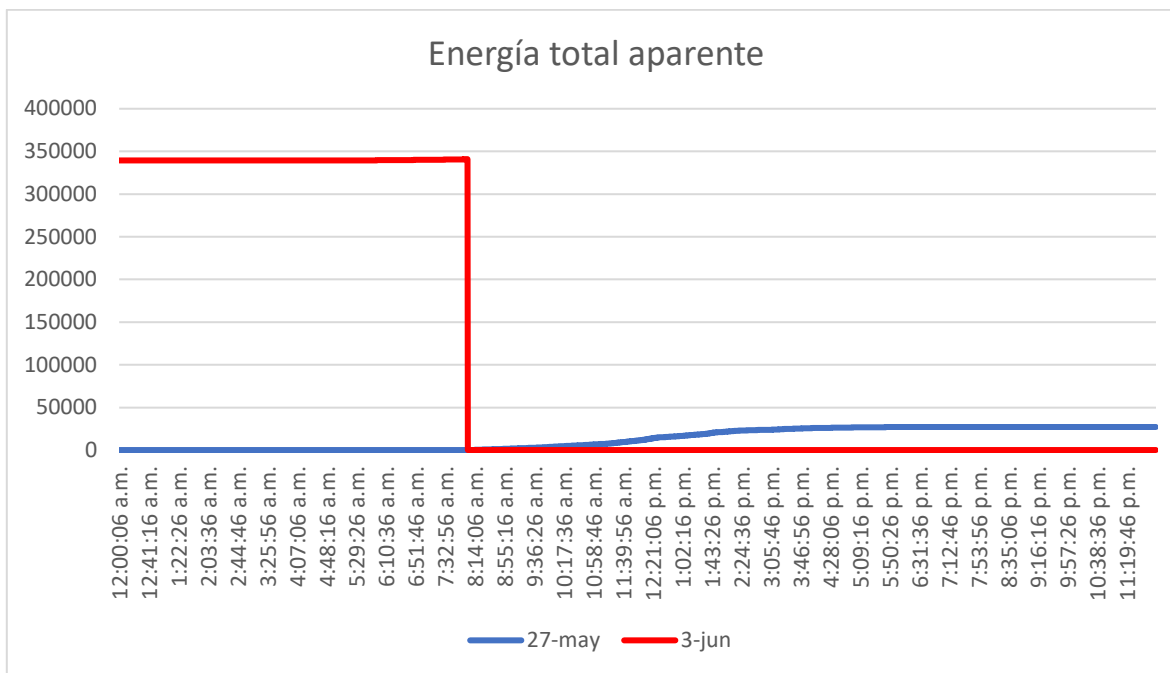


Ilustración 62 Comparativo de energía aparente

En la ilustración 64 se presenta la comparación de la energía total aparente entre los 6 días de medición que comprende entre el 28 de mayo y el día 2 de junio, el día 28 de junio toma como referencia el valor que se tuvo el día 27 de mayo e inicia en ese valor iba sumando la energía total aparente que se va generando en ese día, de la misma manera se presenta para los demás días hasta el día 2 de junio en el cual se presenta un valor de 330000 VA/h.

En la ilustración 64 se presentó Entre los días 29 de mayo, 30 de mayo y 31 de mayo la menor generación de energía total aparente esto se debe aquí en estos días hubo una variación constante en el clima de la ciudad de Pamplona, causando así la aparición súbita de nubes sobre el sistema fotovoltaico lo que realiza la disminución de la energía activa y también de la generación de energía reactiva, como resultado se observa en la ilustración la diferencia entre los 3 días es menor a la comparación de otros 3 días consecutivos.

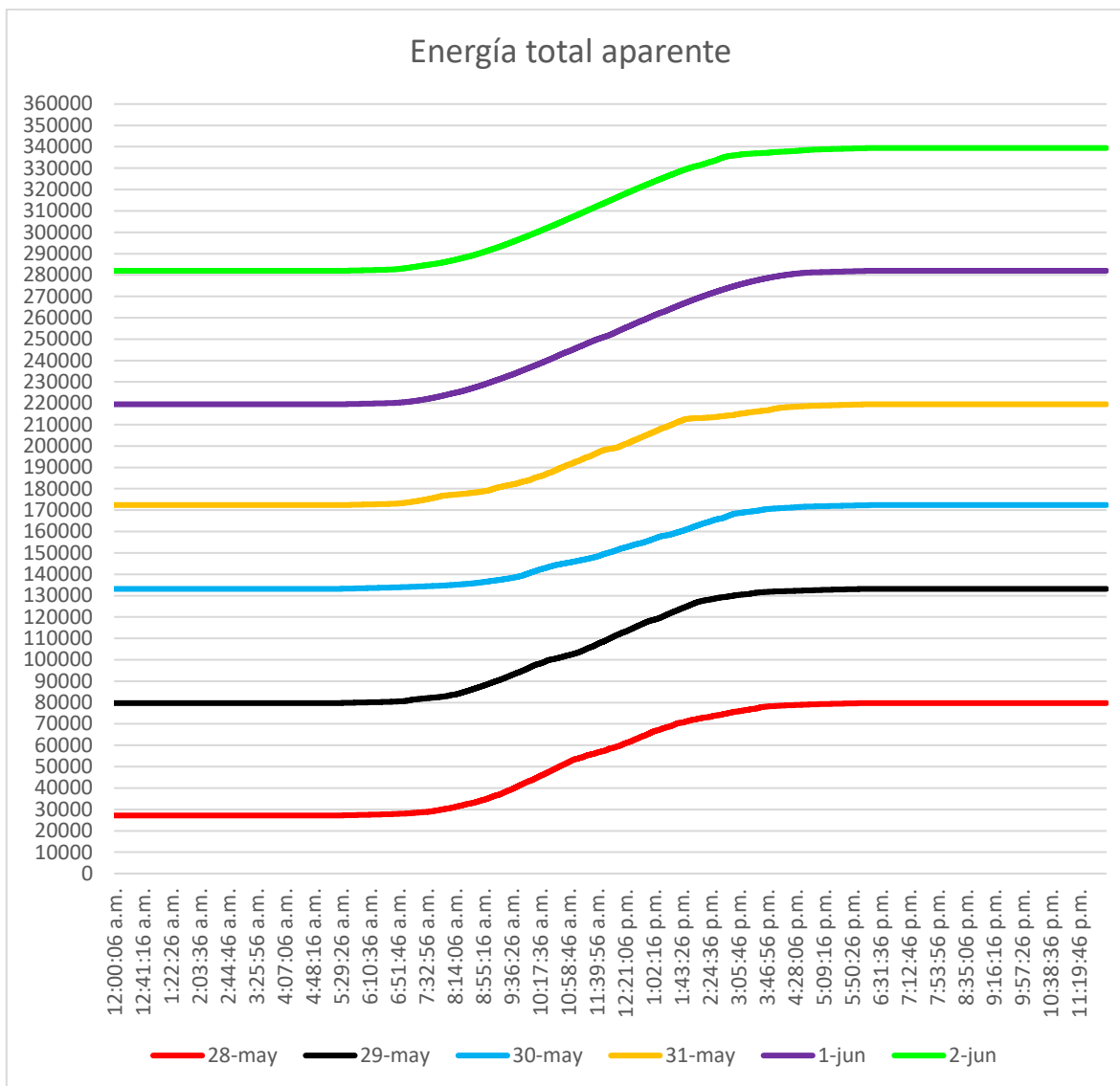


Ilustración 63 Comparativo de energía aparente

4.3.1.10. WH ADELANTE

En la ilustración 65 se presenta el comparativo entre el día 27 de mayo y el día 3 de junio en esta gráfica se puede observar cómo fue el proceso qué sucedió durante el primer día de medición, en el cual se realizó la primera inyección de energía con un valor aproximado de 30000 Wh desde el inicio de la medición de la inyección de energía hasta su estabilización a las 4:28 pm, en color rojo se presenta la energía máxima que se llegó a suministrar durante estos 7 días de medición el cual inició el día 27 de mayo y culminó el día 3 de junio llegando a tener un valor aproximado de 340000 Wh hasta las 8:07 am momento en el cual se realizó la desconexión del analizador de redes.

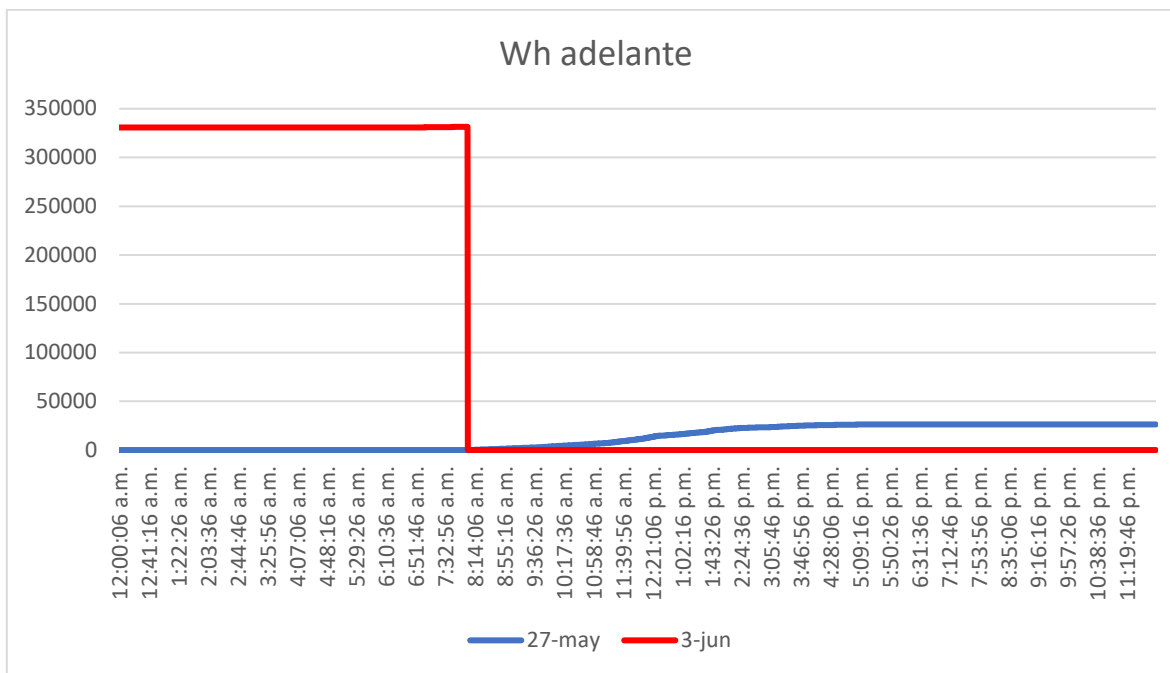


Ilustración 64 Comparativo de energía suministrada

En la ilustración 66 se presenta el comparativo de la energía suministrada por el sistema fotovoltaico durante 6 días de medición los cuales comprenden entre el 28 de mayo y el 2 de junio, como se puede observar en la ilustración el valor que llegó máximo el día 27 de mayo va a ser el inicio para el día 28 de mayo, la energía que se suministra o se inyecta a la red en este día se sumará a la del día 27 de mayo, la suma estas dos será la base para el tercer día de esta manera va a suceder hasta el séptimo día es decir el día 3 de junio de esta manera se va a repetir hasta el último día de medición el cual comprende el día 3 de junio.

En la ilustración 66 se puede observar que la inyección de energía que se realizó durante el día 30 de mayo es relativamente menor en comparación a los otros 5 días de mediciones, esto se debe a cambios de manera drástica o bruscos en el clima de la ciudad de Pamplona lo que provocó la aparición de nubes sobre el sistema fotovoltaico disminuyendo su generación y posterior inyección de energía.

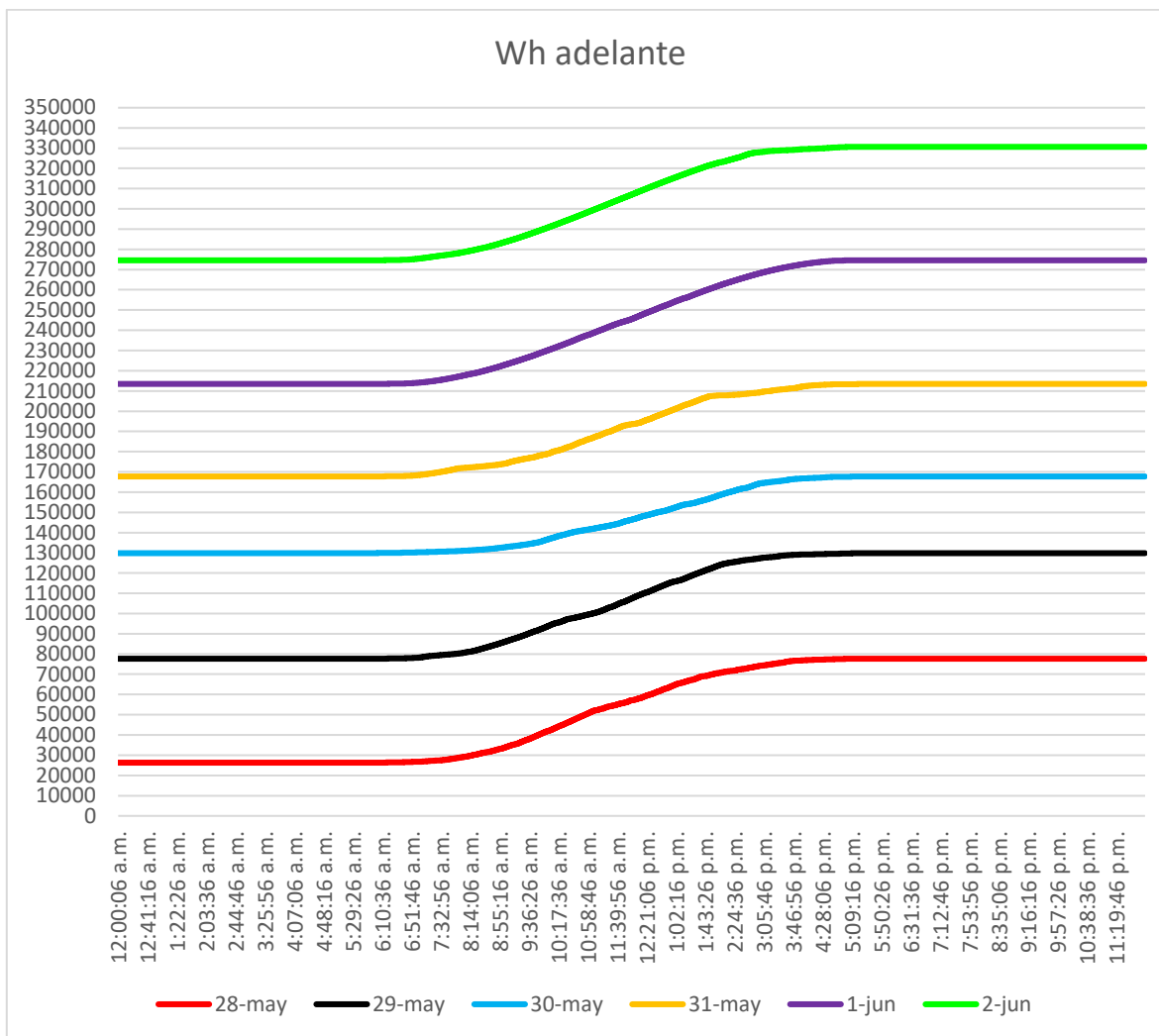


Ilustración 65 Comparativo de energía suministrada

4.3.1.11. WH ATRÁS

En la ilustración 67 se ilustra cómo es el consumo de energía que presenta el sistema fotovoltaico durante sus 13 horas de funcionamiento las cuales comprenden desde las 5:20 am hasta las 6:30 pm, hora en la cual el sistema fotovoltaico ingresan en modo isla aislando la salida del transformador y el barraje del tablero de distribución del edificio Virgilio Barco Vargas.

En la ilustración 67 se presenta un fenómeno el día 27 de mayo el cual se encuentra en color azul registrado sobre las 5:50 pm el cual termina sobre las 6:20 pm hora en la cual el sistema fotovoltaico entra en modo isla, este fenómeno se presenta cuando el sistema fotovoltaico no se encuentra en condiciones óptimas de generación lo cual

genera variaciones en su factor de potencia y consumo de energía, de igual manera sucede en las horas de la mañana entre las horas de las 5:20 am hasta las 6:20 am momento en el cual el sistema fotovoltaico se encuentra en condiciones óptimas de generación.

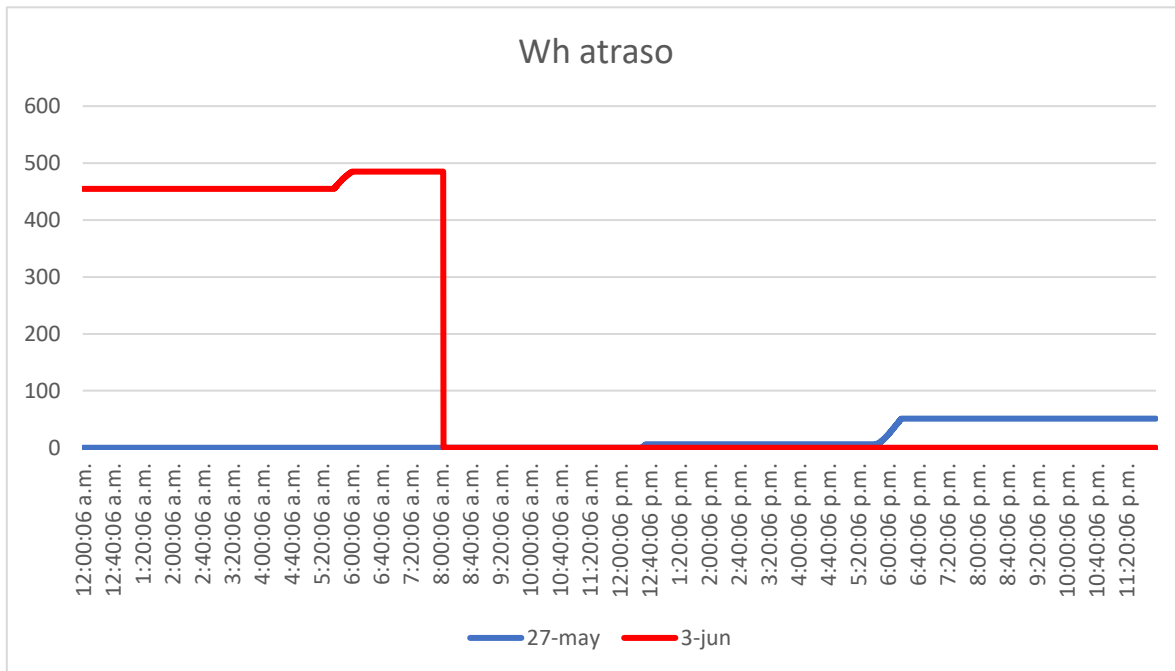


Ilustración 66 Comparativo de energía consumida

En la ilustración 68 se presenta el comparativo de la energía consumida durante 6 días de medición los cuales se encuentran comprendidos del día 28 de mayo hasta el día 2 de junio, el analizador de redes toma como base la energía total consumida el día 27 de mayo como se observa en la ilustración 68 y a esta le va a sumar la energía que va a consumir en los dos eventos el primero sucede entre las 5:20 am y las 6:20 am el segundo evento se va a producir entre las 5:50 pm y las 6:20 pm, estos eventos se van a repetir de manera consecutiva durante los otros 5 días de medición teniendo como base la medición de la energía consumida del día anterior a la cual le sumarán el consumo de energía del día correspondiente y este se volverá a la base del siguiente día.

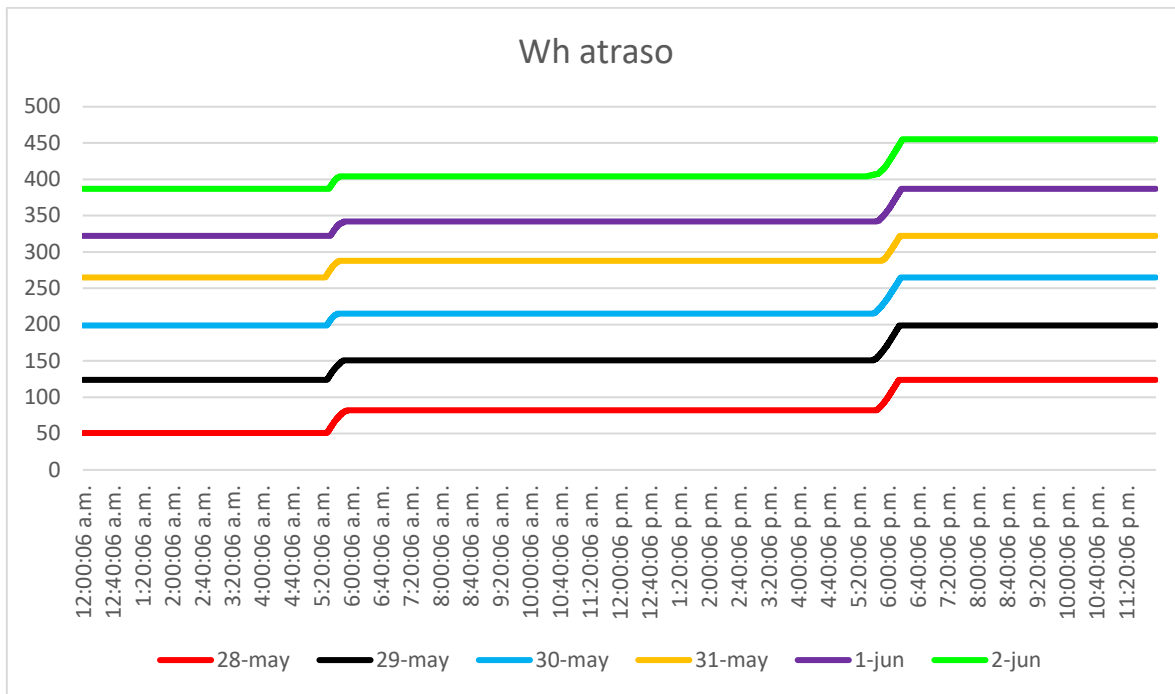


Ilustración 67 Comparativo de energía consumida

5. CAPITULO 5 CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA

5.1. CONFIGURACIÓN DEL ANALIZADOR DE REDES

El analizador de redes Fluke 434-II se configuro teniendo en cuenta las características en las que se encuentra funcionando la red en el PCC a continuación, se describe las características con las cuales se realiza la configuración del analizador de redes, las cuales se pueden comprobar en la ilustración 69 entre las que encontramos:

- Frecuencia 60HZ
- Voltaje nominal 133 V
- Configuración sistema 3Φ conecta en estrella con neutro
- Configuración de sonda de corriente i430flex corriente máxima 300 A

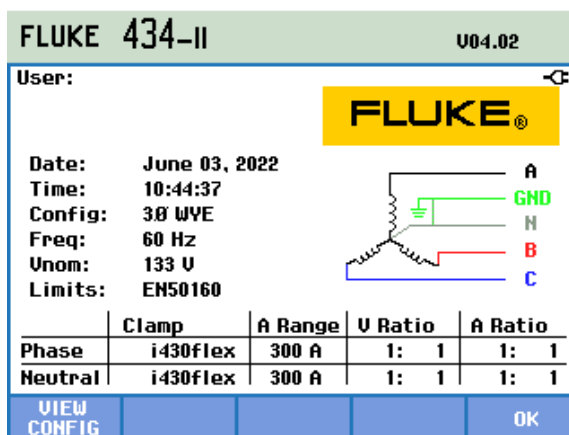


Ilustración 68 configuración del analizador de redes

5.2. PRIMERA SEMANA DE MEDICIONES

En esta medición que se realizó se tomó los datos de fenómenos de calidad de la energía durante la semana comprendida entre el 12 de mayo de 2022 y el 19 de mayo de 2022 con una duración de 6d 22h 36m 22s de captación de datos presentado un total de 39 eventos de forma de onda clasificados en la tabla 9

Tabla 11 Clasificación de eventos de forma de onda

Evento	Cantidad
Caída de tensión SAG	20
Swell	2
Transitorios	8
Interrupciones	9
TOTAL	39

5.2.1. FRECUENCIA Y DESEQUILIBRIO

Revisando y analizando la data extraída del analizador Fluke 434-II con nombre meas 58 no se observó desviación de la frecuencia como se puede observar en la ilustración 36 en la cual se observa la comparación de los valores mínimos, medios y máximos. En la ilustración 70 se presentó la frecuencia que se encuentra funcionando el software de sincronización del inversor el cual se mantiene aproximadamente 60 HZ

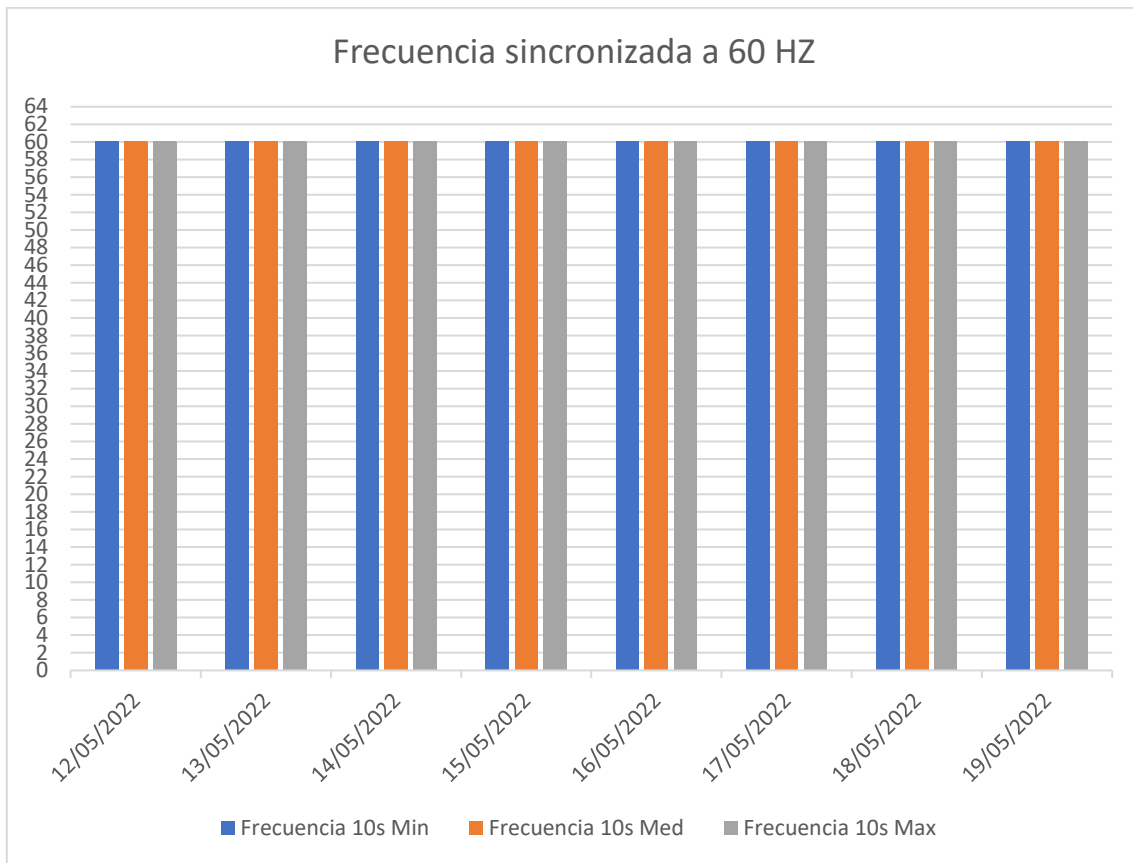


Ilustración 69 Frecuencia del autogenerador sincronizada a 60 Hz

En la ilustración 71 el desbalance de tensión en % el cual se encuentra en 0% durante los 6 días de medición cumpliendo los requisitos según los estándares de calidad de la energía.

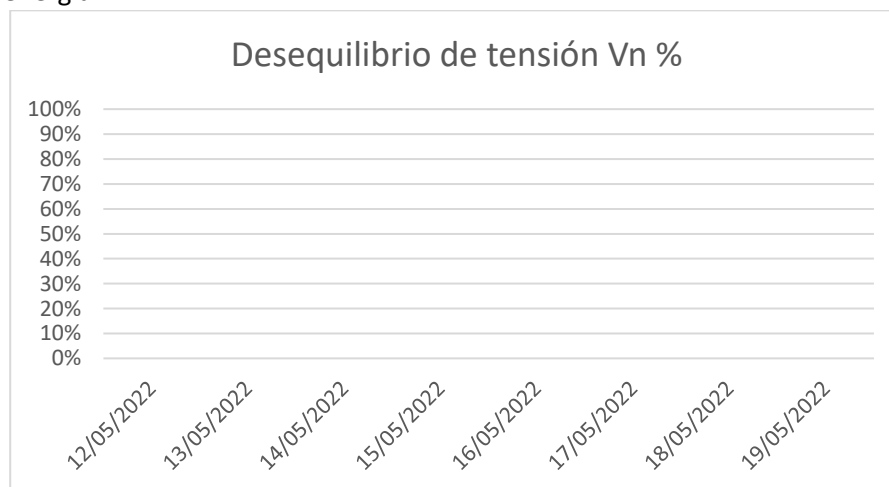


Ilustración 70 Desequilibrio de tensión en Vn%

5.2.2. ARMÓNICO DE Tensión

En la ilustración 72, ilustración 73 y la ilustración 74 se presenta los armónicos de tensión, en la ilustración 72 permite identificar que el con mayor percepción es el armónico 5 donde se presenta con un porcentaje de 2.054 % de la fundamental, el día 15 de mayo de 2022 se presenta un evento con un máximo de 7.87% de la fundamental, al ser evaluado con el estándar IEEE 519 en el cual establece que el porcentaje de armónico individual para voltajes menores a 1 Kv que puede tener es de 5 %, se puede concluir que en ese día el quinto armónico se presenta fuera de los límites establecido y por tal motivo incumple el estándar de calidad de la energía, de la misma manera se presenta para las ilustración 73 y la ilustración 74.

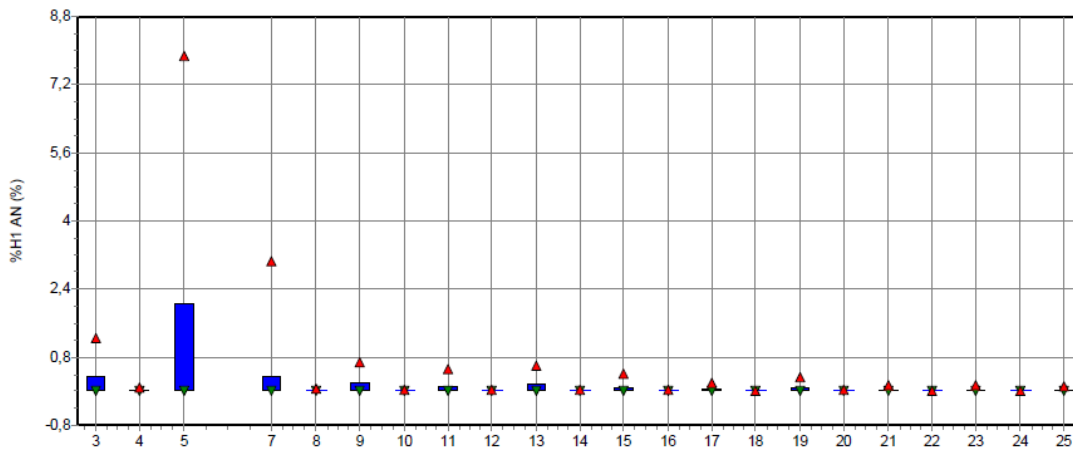


Ilustración 71 Armónicos de tensión fase A

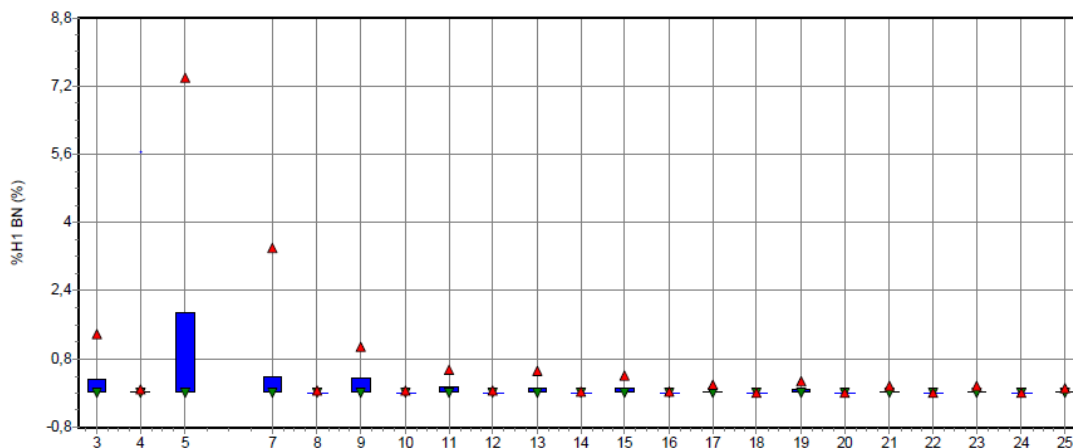


Ilustración 72 Armónicos de tensión fase B

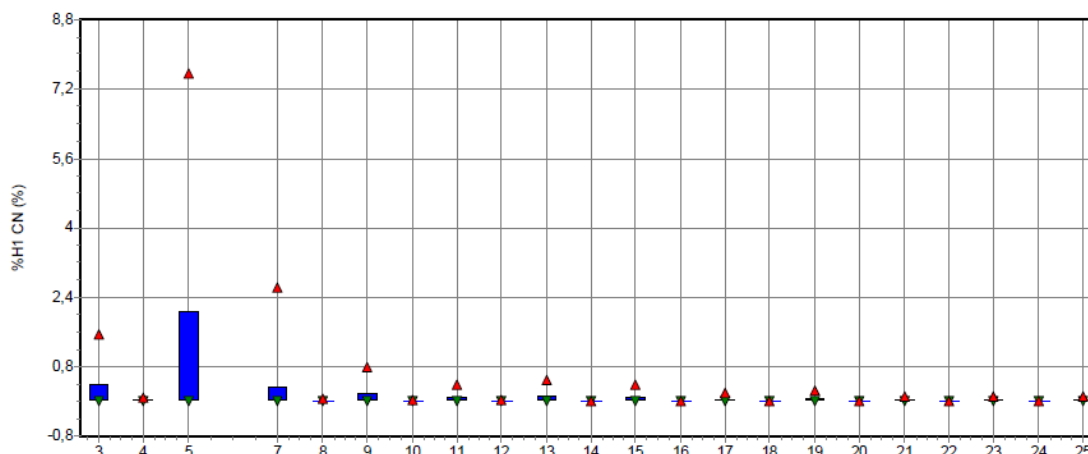


Ilustración 73 Armónicos de tensión fase C

5.2.3. SWELL

En el tiempo de realización de la presente medición se presentaron dos eventos de elevación de tensión catalogados por el estándar IEEE 1159 como swell de tensión, los swell son aquellos eventos superaron el límite establecido por el estándar IEEE 1159 el cual es del 10 % del voltaje, en la Tabla 10. Eventos de swell de tensión presentados se observa la fecha, hora, duración y en qué fase se produjo este evento.

según la hora de presentación el evento del día 15 de mayo fue debido a un cambio de clima el cual presentaba nublado y al realizar el descenso del sol se presentó un pico de radiación presentando este evento, con respecto al evento presentado el día 17 de mayo este se originó en las primeras horas de día dejando clara que en este día las primeras horas se presentó varios eventos de nubosidad lo que puede generar eventos de swell en el sistema fotovoltaico.

Tabla 12 Eventos de swell de tensión presentados

Fecha	Hora	Duración	Fase A	Fase B	Fase C
15/05/2022	5:46:19 pm	17 ms			177.651 V
17/05/2022	6:17:51 am	16 ms	152.709		

5.2.4. TRANSITORIOS

En el tiempo de realización de la presente medición se presentó un total de 8 transitorios durante este periodo de tiempo los cuales se registran en la Tabla 11. Eventos de transitorios presentados se observa la fecha, hora y la hora este evento. Estos eventos se han presentado en la gran mayoría en las horas de la mañana en el momento que los paneles empiezan a recibir los primeros rayos de sol.

Tabla 13 Eventos de Transitorios presentados

Fecha	Hora	Duración
13/05/2022	5:31:11 AM	-
14/05/2022	5:37:54 AM	-
15/05/2022	5:31:40 AM	-
15/05/2022	5:47:02 AM	-
16/05/2022	5:35:29 AM	-
17/05/2022	5:34:23 AM	-
18/05/2022	5:33:18 AM	-
19/05/2022	5:30:01 AM	-

5.2.5. INTERRUPCIONES

En el tiempo de realización de la presente medición se presentó un total de nueve eventos de interrupción de tensión se clasifica en el límite establecido por el estándar IEEE 1159, el cual está establecido cuando es menor al 0.1 PU, en la Tabla 12. Eventos de interrupciones presentados se observa la fecha, hora, duración y en qué fase se produjo este evento, siendo normalmente presentado en las horas de la tarde en la cuales la radiación solar se encuentra disminuyendo y el cual es equivalente a la puesta del sol.

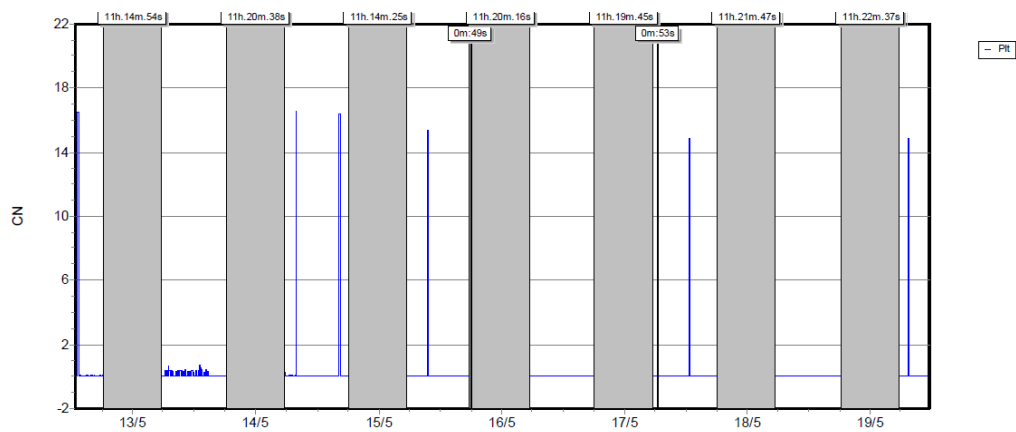
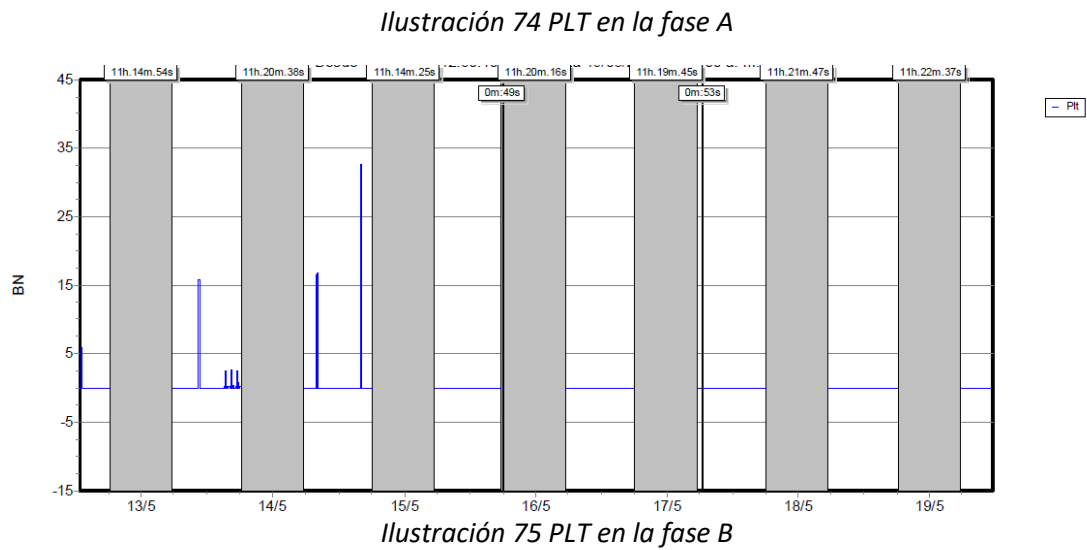
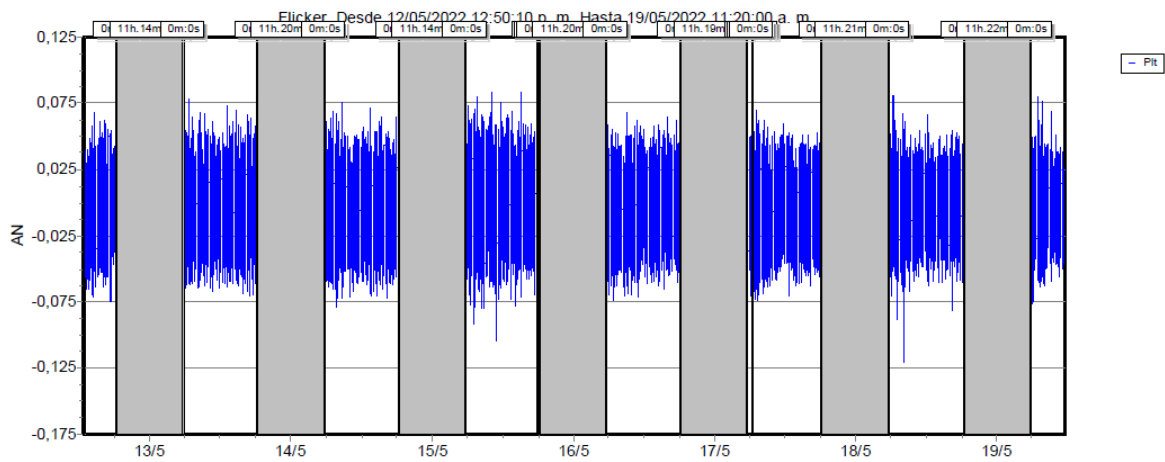
Tabla 14 Eventos de interrupciones presentados

Fecha	Hora	Duración	Fase A V	Fase B V	Fase C V
12/05/2022	6:16:16 PM	11 h 14m 54 s		X	
13/05/2022	6:17:16 PM	11 h 20 m 38 s		X	
14/05/2022	6:17:14 PM	11 h 14 m 25 s	X		
15/05/2022	5:46:12 PM	49s 903 ms	X		
15/05/2022	6:15:13 PM	11 h 20 m 16 s		X	
16/05/2022	6:14:38 PM	11 h 19 m 45 s		X	
17/05/2022	6:17:51 AM	53 s 662 ms	X		
17/05/2022	6:11:30 PM	11 h 21 m 47 s		X	
18/09/2022	6:15:24 PM	11 h 22 m 37 s		X	

5.2.6. FLICKER

En la ilustración 75 se presenta el valor de Plt presente en cada una de la fase de nuestro sistema el cual según el estándar IEEE 519 establece los límites para el Plt en un máximo de la unidad, observando que en la fase A se presenta cumpliendo el estándar con un valor de 0.075 como máximo presentado, en comparación con la ilustración 76 en la cual se presenta la fase B y la ilustración 77 en la cual se presenta la fase C , se encuentra

excediendo los limites establecido por el estándar el cual deben entrar en consideración.



5.2.7. CAÍDAS DE TENSION SAG

En el tiempo de realización de la presente medición se presentó trece eventos de caída de tensión sag que superaran el límite establecido por el estándar IEEE 1159 del 10 % del voltaje nominal, en la Tabla 13. Eventos de sag de tensión presentados se observa la fecha, hora, duración y en qué fase se produjo este evento, en la ilustración 44 observamos la curva cebema e ITIC donde se presenta los eventos en que porcentaje de la tensión nominal se presentó y cuáles son los más significativos y los que se deben tener en cuenta según los estándar y para realizar los cálculos de protección de los sistemas.

Tabla 15 Eventos de SAG de tensión presentados

Fecha	Hora	Duración	Fase A V	Fase B V	Fase C V
15/05/2022	5:46:11 PM	51s 64 ms			0.012
15/05/2022	5:47:07 PM	275 ms			101.698
17/05/2022	6:17:51 AM	1 m 5 s 869 ms			0.013
17/05/2022	7:18:12 AM	23m 27s			116.21
17/05/2022	8:13:24 AM	43m 40s			118.415
17/05/2022	8:57:23 AM	1m 11s			118.371
17/05/2022	9:14:33 AM	2h 40s			103.994
17/05/2022	12:44:51 PM	349ms			117.889
17/05/2022	12:52:03 PM	125ms			116.043
17/05/2022	12:58:01 PM	7s 753ms			113.452
17/05/2022	1:14:31 PM	35m 36s			117.389
17/05/2022	02:08:47 PM	1h 36m			117.298
17/05/2022	4:56:40 PM	2m 26s			118.333

En la ilustración 78 se presenta los eventos de sag, swell, la curva cebema y la curva ITIC presentado en evento de swell el cual se encuentra en la región prohibida en la cual se debe tener especial cuidado para los equipos que se encuentran conectados a la red pudiendo a los equipos más sensibles a cambios de tensión.

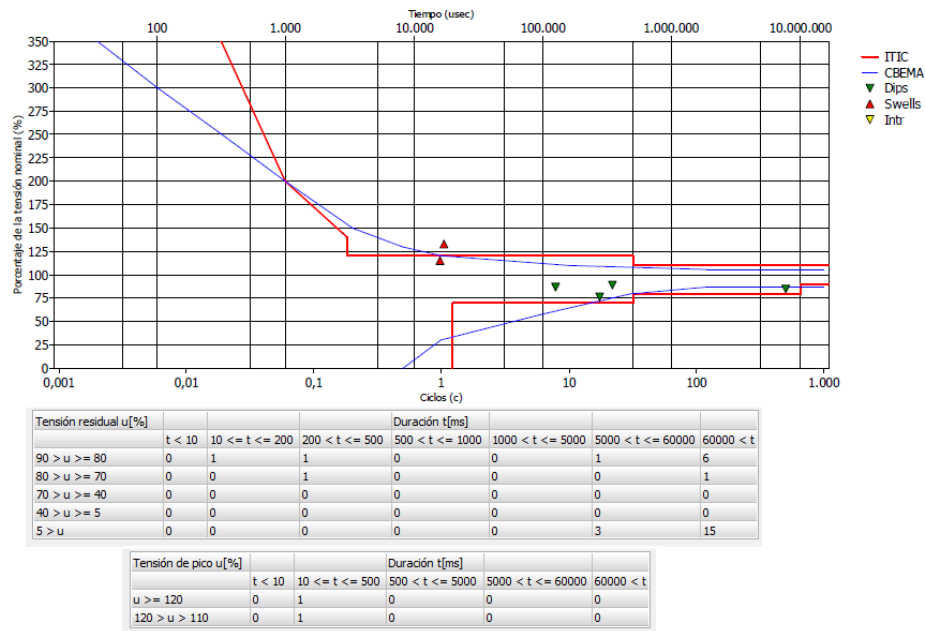


Ilustración 77 Curva cebema

5.3. SEGUNDA SEMANA DE MEDICIONES

En esta medición que se realizó se tomó los datos de fenómenos de calidad de la energía durante la semana comprendida entre el 21 de mayo de 2022 y el 27 de mayo de 2022 con una duración de 5d 19h 54m 43s de captación de datos presentado un total de 39 eventos de forma de onda clasificados en la Tabla 14. Clasificación de eventos de forma de onda.

Tabla 16 Clasificación de eventos de forma de onda

Evento	Cantidad
Caída de tensión	13
Swell	1
Transitorios	8
interrupciones	8
TOTAL	30

5.3.1. FRECUENCIA Y DESEQUILIBRIO

Revisando y analizando la data extraída del analizador Fluke 434-II con nombre meas 68, en los aproximadamente 6 días de medición no se presentó algún evento de variación de la frecuencia como se puede observar en la ilustración 79 en la cual se observa la

comparación de los valores mínimos, medios y máximos de la frecuencia presentados en estos días de medición.

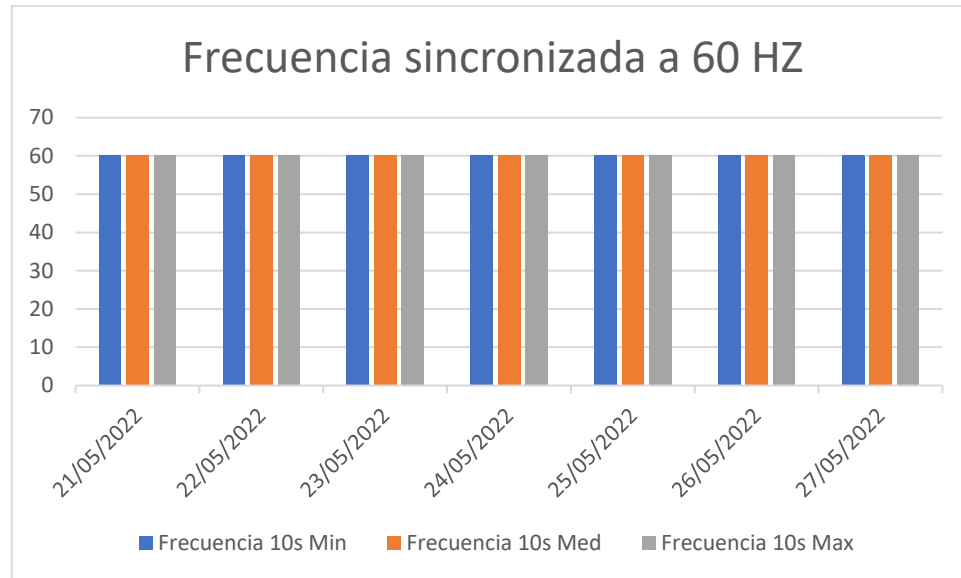


Ilustración 78 Frecuencia del autogenerador sincronizada a 60Hz

En la ilustración 80 se presenta el desbalance de tensión en % el cual durante los aproximadamente 7 días de medición no se presentó eventos de desequilibrio de tensión obteniendo un valor de 0%, durante los días de realización de la medición se logró cumplir los estándares de calidad de la energía.

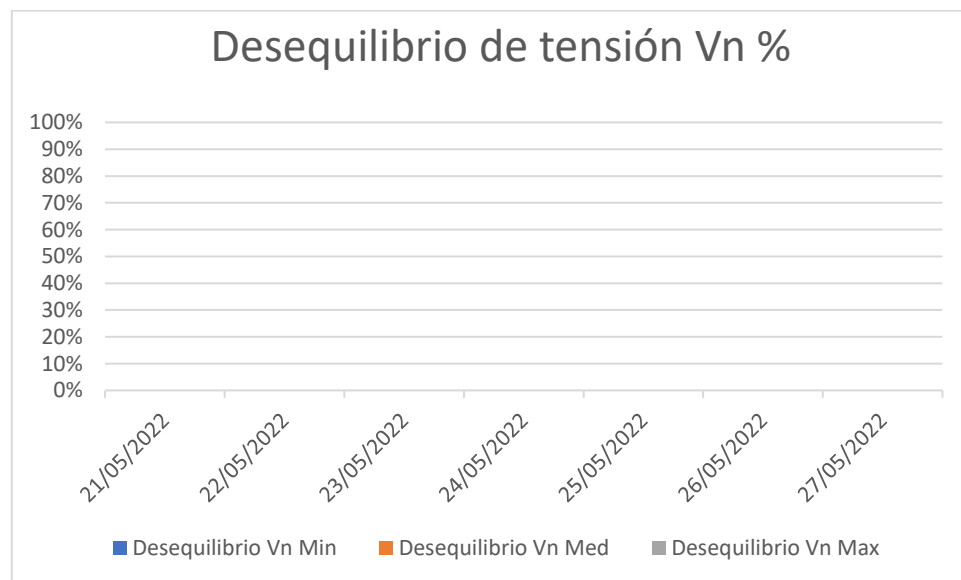


Ilustración 79 Desequilibrio de tensión Vn%

5.3.2. ARMÓNICO DE TENSIÓN

En la ilustración 81, ilustración 82 y la ilustración 83 se presenta los armónicos de tensión, se logra identificar en las ilustraciones el armónico 5 con un porcentaje de 1.928 % de la fundamental, sobresaliendo entre los de más presentando un evento el día 22 de mayo de 2022 donde se presenta con un máximo de 6.44% , cumpliendo el estándar IEEE 519 en el cual establece que el porcentaje de armónico individual que puede tener es de 5 % para tensiones inferiores a 1 Kv, de la misma manera se presentó el armónico 5 en las dos restantes ilustraciones se presenta el mismo evento incumpliendo los estándares de calidad de la energía el día 22 de mayo.

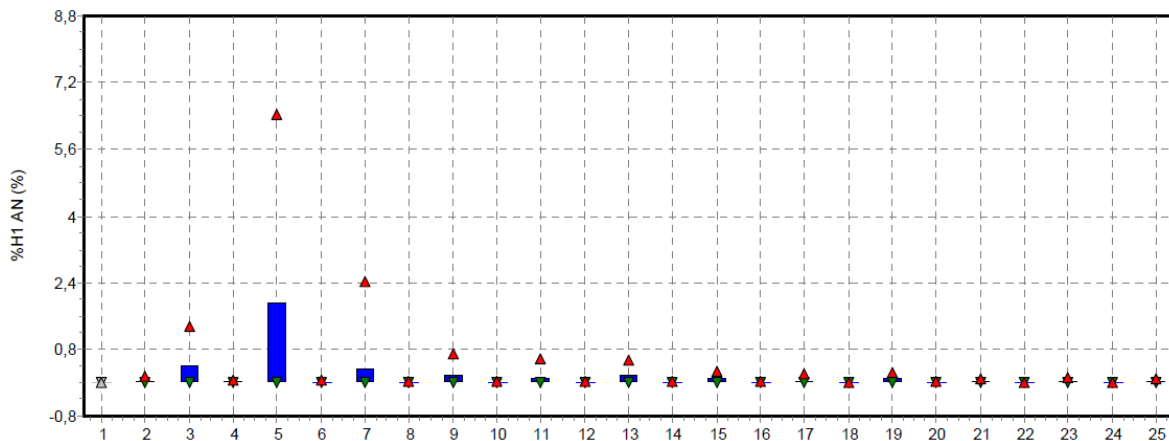


Ilustración 80 Armónicos de la fase A

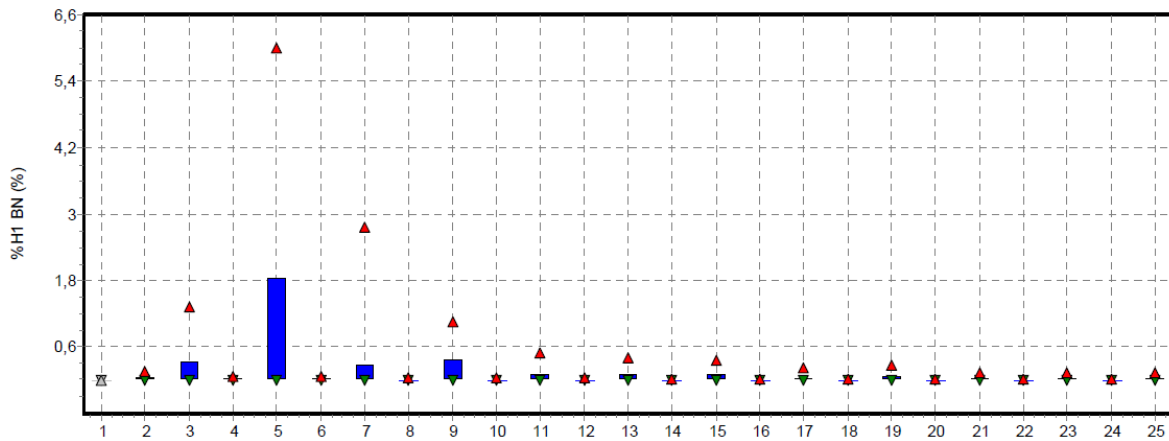


Ilustración 81 Armónicos de la fase B

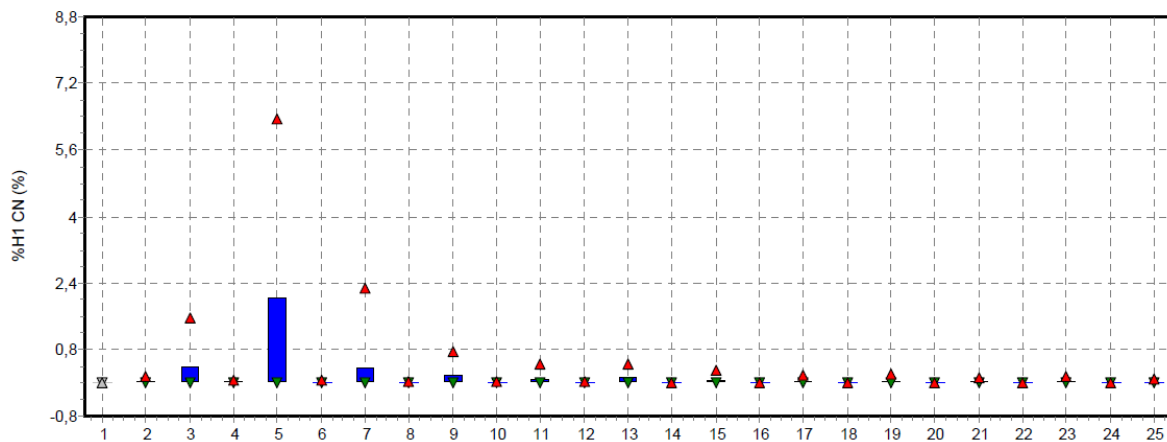


Ilustración 82 Armónicos de la fase C

5.3.3. SWELL

En el tiempo de realización de la presente medición se presentó un evento de elevación de tensión conocido como swell de tensión el cual superaran el límite establecido por el estándar IEEE 1159 del 10 % del voltaje, en la Tabla 15. Eventos de swell de tensión presentados se observa la fecha, hora, duración y en qué fase se produjo este evento, el evento que se presentó el día 23 de mayo a las doce del día se presentó posterior al momento de un evento de nubosidad en el lugar donde se encuentra el sistema fotovoltaico.

Tabla 17 Eventos de SWELL de tensión presentados

Fecha	Hora	Duración	Fase A	Fase B	Fase C
23/05/2022	12:12:28 pm	13ms	178.858		

5.3.4. TRANSITORIOS

En el tiempo de realización de la presente medición se presentó un total de 8 eventos de transitorios, en este periodo de tiempo los cuales se registran en la Tabla 16. Eventos de transitorios presentados se observa la fecha y la hora este evento siendo presentado estos eventos al momento que los paneles solares reciben los primeros rayos de sol o la primera irradiación solar.

Tabla 18 Eventos de transitorios presentados

Fecha	Hora	Duración
22/05/2022	5:27:00 AM	-
23/05/2022	5:25:17 AM	-
23/05/2022	12:10:27 PM	-
23/05/2022	12:12:44 PM	-
24/05/2022	5:31:12 AM	-
25/05/2022	5:40:24 AM	-
26/05/2022	5:35:31 AM	-
27/05/2022	5:38:58 AM	-

5.3.5. INTERRUPCIONES

En el tiempo de realización de la presente medición se presentó ocho eventos de elevación de tensión que superaran el límite establecido por el estándar IEEE 1159 del 10 % del voltaje, en la tabla 17. Eventos de interrupciones presentados se observa la fecha, hora, duración y en qué fase se produjo este evento, se presentaron 6 eventos en los cuales están producidos en las horas que se pierde la irradiación solar en el sistema fotovoltaico, en los otros dos eventos presentados se desarrollaron el día 23 de mayo siendo de una duración máxima de 526 ms presentado por eventos de nubosidad sobre el sistema.

Tabla 19 Eventos de interrupciones presentados

Fecha	Hora	Duración	Fase A V	Fase B V	Fase C V
21/05/2022	6:23:07 PM	11h 3m 52 s		X	
22/05/2022	6:19:38 PM	11h 5 m 38 ms		X	
23/05/2022	12:10:28 PM	526ms		X	
23/05/2022	12:10:43 PM	492 ms			X
23/05/2022	6:15:12 PM	11 h 15 m 59s	X		
24/05/2022	6:14:08 PM	11 h 26m 16 s		X	
25/05/2022	6:17:13 PM	11 h 18m 18 s		X	
26/05/2022	6:16:41 PM	11 h 22 m 16s	X		

5.3.6. FLICKER

En la ilustración 84 , ilustración 85 y la ilustración 86 se presenta el valor de Plt presente en cada una de la fase del sistema fotovoltaico, al evaluarlos según el estándar IEEE 519 el cual establece los límites para el Plt en la unidad como valor máximo, presentado en la ilustración 84 que el Plt se encuentra entre los límites de calidad de la energía, la

ilustración 85 y la ilustración 86 presentan eventos de flicker que exceden los límites establecidos por los parámetros del estándar, en los cuales se debe realizar un análisis evaluando los eventos de nubosidad presentes en esos días.

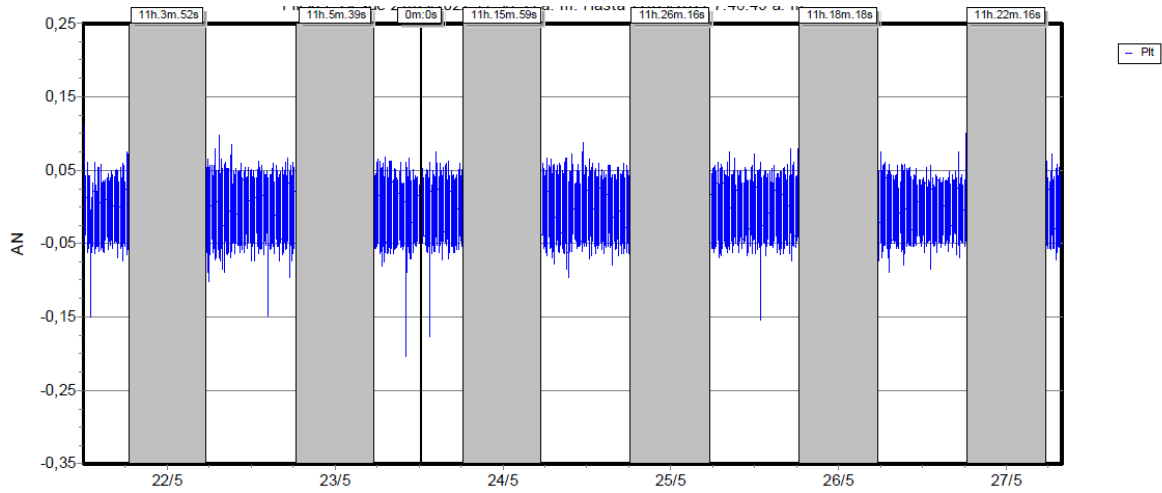


Ilustración 83 Flicker en la fase A

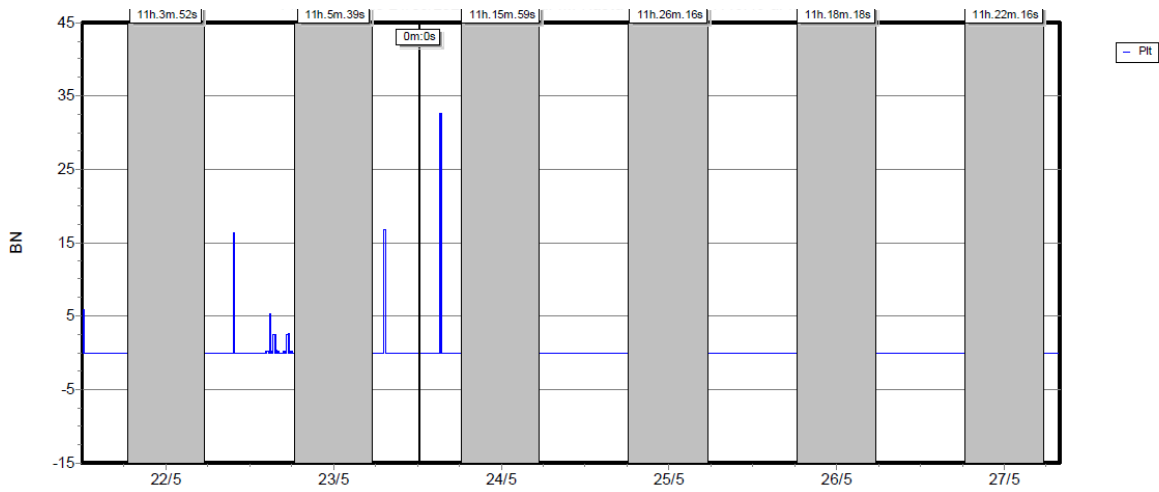


Ilustración 84 Flicker en la fase B

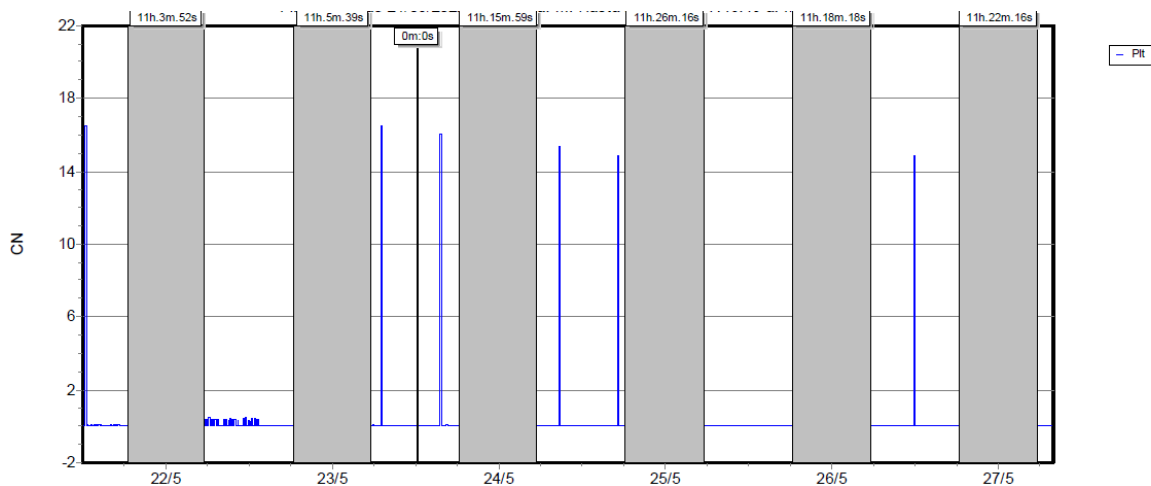


Ilustración 85 Fliker en la fase C

5.3.7. CAÍDAS DE TENSIÓN SAG

En el tiempo de realización de la presente medición se presentó cinco evento de caída de tensión según la clasificación del estándar como sag es aquel que superaran el límite establecido por el estándar IEEE 1159 el cual es de menor de del 10 % del voltaje nominal, en la Tabla 18. Eventos de caídas de tensión sag presentados se observa la fecha, hora, duración y en qué fase se produjo este evento, los cuales se presenta en el momento de una nubosidad sobre el sistema fotovoltaico, en la ilustración 53 observamos la curva cebema e ITIC sonde se presenta los eventos en que porcentaje de la tensión nominal se presentó y cuáles son los más significativos y que se veden tener mayor observación.

Tabla 20 Eventos de caídas de tensión SAG presentados

Fecha	Hora	Duración	Fase A V	Fase B V	Fase C V
23/05/2022	12:10:27 PM	466ms			95.176 V
23/05/2022	12:12:28 PM	47 ms			65.061 V
23/05/2022	12:10:37 PM	434ms			91.337 V
23/05/2022	12:12:43 PM	387 ms	94.08 V		
25/05/2022	6:16:34 PM	25ms			119.617 V

En la ilustración 87 se presenta 10 evento que se registraron en la curva de estos eventos se clasificación según la región donde se encuentra ubicados es de especial cuidado con el evento de swell que se encuentra en la región prohibida en la cual se afectaran a equipos con una sensibilidad en él sus equipos electrónicos.

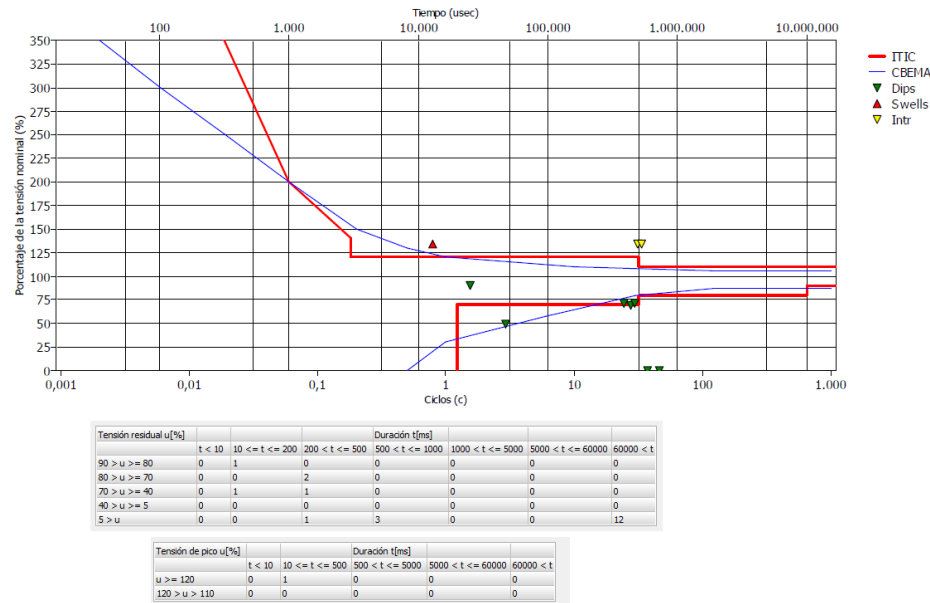


Ilustración 86 Curva cebema

6. CAPITULO 6 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

Para dar solución a los evento de calidad de la energía presentados durante la realización del presente proyecto se plantean las siguientes soluciones.

- Control inteligente de inyección de reactivos

Se plantea realizar un trabajo de grado con énfasis en el control inteligente de inyección de reactivos para los sistemas fotovoltaicos, presentado la solución a los eventos de calidad de la energía presentados en el sistema fotovoltaico, en la inyección de reactivos capacitivos o inductivos según la necesidad, planeando la posibilidad de poderse expandir a futuros proyectos de sistemas fotovoltaicos en la región.

- Creación de banco de baterías

Realizar el diseño de un sistema alternativo con rectificador y banco de batería de apoyo al sistema fotovoltaico conectado a la red, que se puede activar en el momento que presente un corte de la energía por mantenimiento, fallas en el sistema de distribución local SDL entre otros problemas.

- Diseño de D-statcom

Se plantea realizar mediante un trabajo de grado o proyecto de investigación el diseño de un D-statcom, presentado la solución a los eventos de calidad de la energía presentados en el sistema fotovoltaico, en la inyección de reactivos capacitivos o inductivos según la necesidad, planeando la posibilidad de poderse expandir a futuros proyectos de sistemas fotovoltaicos en la región.

7. CONCLUSIONES

- Se presentaron eventos de interrupciones de tensión durante un aproximadamente de 11 h 18 m en los cuales el inversor del sistema fotovoltaico ingresa en modo isla aislando el sistema fotovoltaico de la red.
- Tras el análisis, puede deducir que en el momento que ingresa y sincroniza el sistema fotovoltaico con la red, el cual comprende entre las 5:20 am y las 6:20 se presenta variaciones en factor de potencia causando la inyección de reactivos, el cambio del factor de potencia a modo capacitivo.
- En base lo expuesto anteriormente, observo que el sistema fotovoltaico presenta dos eventos repetitivos de consumo de potencia reactiva y de energía, presentado en los siguientes horarios en la mañana de 5:20 am a 6:20 am y en la tarde de 5:30 pm a 6:30 pm, momento en el que el factor de potencia se presenta de forma capacitiva.
- Con base en la mediciones de calidad de la energía se han presentado los siguientes eventos de la calidad de la energía entre los que encontramos en mayor cantidad sag, interrupciones, transitorios, flicker y en menor cantidad swell, estos fenómenos son generados por la aparición de nubes sobre el sistema fotovoltaico.
- Con base a la normatividad establecida en la en la jurisprudencia Colombiana y las resoluciones emitidas por los organismos competentes, al realizar la verificación del estado legal ante los organismos competentes, llegando a la conclusión que el sistema fotovoltaico se encuentra funcionando sin haber cumplido los parámetros establecidos en las resoluciones ni sus actualizaciones.
- Dentro del análisis expuesto, se puede clasificar los distintos eventos de calidad que no se presenta o no son significativos en el sistema fotovoltaico como son la variación de frecuencia, desequilibrio de tensión y en otros casos el analizador de redes Fluke 434-II no los registra como son los transitorios, muesca y ruido.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar la verificación del funcionamiento del sistema fotovoltaico ubicado en el edificio Virgilio Barco de manera periódica con el fin de verificar su óptimo funcionamiento.
- Realizar mantenimientos preventivos o correctivos según corresponda en los equipos que se encuentran disponibles en el cuarto de control del sistema fotovoltaico.
- Realizar limpieza según manual de fabricante de los paneles fotovoltaicos que se encuentran instalados en el sistema fotovoltaico.
- Verificar el estado del sistema fotovoltaico ante la empresa de energía encargada, de no encontrarse el proceso de legalización realizar el planteamiento y posterior legalización del sistema fotovoltaico.

9. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. B. Holm-nielsen, *Power Quality in Modern Power Systems*. 2021. doi: 10.1016/c2019-0-05409-x.
- [2] C. L. Góngora Alexander, “Análisis de la calidad de la potencia y suministro eléctrico en el sistema fotovoltaico de 150 kWp de la Universidad Autónoma de Occidente,” *Univ. Autónoma Occidente*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2018.
- [3] Á. Marroquín, J. Olivares, E. Ortiz, D. Martínez, and B. Ugalde, “Análisis armónico de un sistema fotovoltaico operando bajo la modalidad tipo isla,” no. 125, pp. 102–114, 2014.
- [4] D. H. Domínguez Guamán and B. G. Salvatierra Cáneppa, “Análisis de calidad de energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos conectados a la red,” p. 93, 2016, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12710>
- [5] G. Gordillo, A. Aristizabal, and J. Hernandez, “Analisis De Calidad De Potencia Para Un Sistema Fovoltaiico Interconectado,” no. July 2016, pp. 1–5, 2017, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/275024403>
- [6] D. A. Andrade Rosero, “Análisis de calidad de la potencia en la integración de sistemas fotovoltaicos en la Microrred de la Universidad de Nariño,” *Univ. Nac. Colomb.*, 2018.
- [7] “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems,” *IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992)*. pp. 1–29, 2014. doi: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.
- [8] “Energía solar fotovoltaica y su contribución | ACCIONA | Business as unusual.” https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894 (accessed May 01, 2022).
- [9] “(PDF) Technical Impacts of Grid-Connected Photovoltaic Systems on Electrical Networks—A Review.” https://www.researchgate.net/publication/258071725_Technical_Impacts_of_Grid-Connected_Photovoltaic_Systems_on_Electrical_Networks-A_Review (accessed May 01, 2022).
- [10] Suárez Velázquez Pamela, “Impacto de la Generación Eólica y Solar en el Sistema Eléctrico de Baja California Norte,” *Inst. Politécnico Nac.*, p. 213, 2010.
- [11] T. Días and G. Carmona, “Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1,” p. 22, 2020, [Online]. Available: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- [12] “Atlas Interactivo - Radiación IDEAM.” <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html> (accessed May 01, 2022).
- [13] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), “Guia práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014,” *Minist. Minas y Energ.*, p. 28, 2014, [Online].

Available:

https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf

- [14] H. Yarit and U. Guevara, "Especificaciones técnicas y normativas para instalaciones fotovoltaicas a pequeña escala en colombia," 2019.
- [15] "Tipos de paneles solares: eficiencia y rentabilidad." <https://grupoturelectric.com/tipos-de-paneles-solares-eficiencia-y-rentabilidad/> (accessed May 01, 2022).
- [16] J. Cepeda and A. Sierra, "Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones," *NAFA SCR Doc.*, vol. 07/80, p. 17, 2007.
- [17] H. Cornejo, "Sistema solar fotovoltaico de conexion a red en el centro materno Infantil de la universidad de piura," p. 114, 2013.
- [18] CENTELSA, "Diseño de sistemas fotovoltaicos - Sistema conectado a red En".
- [19] J. L. Afonso, J. Batista, M. J. Sepúlveda, and J. S. Martins, "Sistema Digital de Bajo Coste para la Monitorización de la Calidad de Energía Eléctrica," *Inf. tecnológica*, vol. 18, no. 4, pp. 15–23, 2007, doi: 10.4067/S0718-07642007000400004.
- [20] M. A. Sánchez, "Calidad de la Energía Eléctrica," 2009.
- [21] "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," *IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009)*. pp. 1–98, 2019. doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486.
- [22] "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," *IEEE Std 1159-1995*. pp. 1–80, 1995. doi: 10.1109/IEEESTD.1995.79050.
- [23] "Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución UNE-EN 50160," 2001.
- [24] A. E. de N. y Certificación, "Compatibilidad electromagnética (CEM) UNE EN 61000-3-2," p. 42, 2006.
- [25] Asociación Española de Normalización y Certificación, "Compatibilidad electromagnética (CEM) UNE-EN 61000-2-4," 2004.
- [26] Asociación Española de Normalización y Certificación, "Compatibilidad electromagnética (CEM) UNE - EN 61000-4-30," 2004.
- [27] "IEEE Application Guide for IEEE Std 1547(TM), IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems," *IEEE Std 1547.2-2008*. pp. 1–217, 2009. doi: 10.1109/IEEESTD.2008.4816078.
- [28] "UL 1741." https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=UL1741&item_s_key=00315178 (accessed Jun. 02, 2022).
- [29] "Ley 697 de 2001 - Gestor Normativo - Función Pública." <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4449> (accessed May 26, 2022).
- [30] "Ley 1715 de 2014 - Gestor Normativo - Función Pública."

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353> (accessed May 26, 2022).

- [31] “REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)”.
- [32] “NTC 2050 Norma Técnica Colombiana 2050.”
https://www.armada.mil.co/sites/default/files/normograma_arc/mantenimiento1/NTC_2050.pdf (accessed May 26, 2022).
- [33] CENTELSA, “SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS FV.” <https://www.centelsa.com/charlas-masivas-virtuales/sistemas-FV-NTC-2050-segunda-actualizacion.pdf> (accessed May 26, 2022).
- [34] Ministerio de Minas y Energía, “Decreto 2469 de 2014,” *Colombia*, p. 3, 2014, [Online]. Available: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180//23517//36864-Decreto-2469-02Dic2014.pdf>
- [35] “Decreto 2492 de 2014 - Gestor Normativo - Función Pública.”
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=60174> (accessed May 26, 2022).
- [36] R. 097 de 2014; D. 23 2014 Comision de regulación de Energia y Gas, “CREG 097-14 REGULACIÓN ACTIVIDAD DE AUTOGENERACIÓN.pdf.”
- [37] Unidad de Planeación Minero Energetica (UPME), “Resolución N°045 de 2016.” p. 7, 2016.
- [38] CREG, “CREG Resolución 030.” 2018.
- [39] Comision de regulación de Energia y Gas, “RESOLUCION 174 DE 2021,” 2021.
- [40] Comision de regulación de Energía y Gas, “RESOLUCIÓN 135 DE 2021,” 2021.
- [41] “Usuarios Autogeneradores y Generadores Distribuidos - Resolución CREG 174 de 2021.”
<https://www.cens.com.co/servicios-en-linea/pedidos-de-energia/usuarios-autogeneradores-y-generadores-distribuidos-resolucion-creg-174-de-2021#Solicitud-de-Conexi-n-AGPE-AGGE-GD-737> (accessed Jun. 01, 2022).
- [42] M. Holguin and D. Gomezcoello, “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ‘NUEVO CAMPUS’ DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA,” pp. 1–234, 2010, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2110/13/UPS-GT000145.pdf>
- [43] “Analizadores de calidad eléctrica y energía 434 / 435 de Fluke | Fluke.”
<https://www.fluke.com/es-co/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435> (accessed May 12, 2022).

10. ANEXOS

10.1. ANEXO 1 CONTRATO AGPE MENOR A 10 KW

CONTRATO DE CONEXIÓN CT-20##-####

AGPE. XXXX

NIT. ###-###-###-#

CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P.
NIT. 890.500.514-9

CONEXIÓN DE LA PLANTA DE AUTOGENERACIÓN A PEQUEÑA ESCALA
TIPO TECNOLOGÍA NOMBRE PROYECTO EN EL MUNICIPIO DE MPIO PRY -
NORTE DE SANTANDER, AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL -SDL- DE
CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A E.S.P.

Entre los suscritos a saber: RPTE_LEGAL_AG, mayor de edad, identificado con la cédula de ciudadanía #####, quien obra en nombre y representación de AG, que en el presente documento se denominará EL AUTOGENERADOR de una parte, y de la otra, RPTE_LEGAL_CENS, mayor de edad, identificado con cédula de ciudadanía #####, quien obra en su condición de CARGO_RPTE_LEGAL_CENS de CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P., lo cual se acredita con el certificado de existencia y representación legal expedido por la Cámara de Comercio de Cúcuta, y por tanto, quien obra en nombre y representación legal de CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P., que para efectos del presente documento se denominará EL OR, y quienes en conjunto en el presente escrito se llamarán LAS PARTES, hemos convenido celebrar el presente contrato de conexión, previas las siguientes.

CONSIDERACIONES:

- A) Que el Artículo 30 de la Ley 143 de 1994, y las Resoluciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG - 003 de 1994, 025 de 1995, 070 de 1998, 080 de 1999, 156 de 2011, 038 de 2014, 005 de 2010, 015 de 2018, 075 de 2021, 174 de 2021 y demás normas concordantes que rigen la materia, han reglamentado la prestación del servicio de energía eléctrica y específicamente las condiciones de conexión al Sistema Interconectado Nacional - SIN -.
- B) Que la Resolución UPME 281 del 5 de junio de 2015 señaló que el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala será de un (1) MW, y corresponderá a la capacidad instalada del sistema de generación del autogenerador.

Ilustración 87 Anexo 1

10.2. ANEXO 2 CONTRATO AGPE MAYOR IGUAL 10 KW - MENOR A 100 KW

CONTRATO DE CONEXIÓN CT-20##-####

AGPE.XXXX

NIT. ###-###-###-#

CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P.
NIT. 890.500.514-9

CONEXIÓN DE LA PLANTA DE AUTOGENERACIÓN A PEQUEÑA ESCALA
TIPO_TECNOLOGÍA NOMBRE_PROYECTO EN EL MUNICIPIO DE MPIO_PRY –
NORTE DE SANTANDER, AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL -SDL- DE
CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A E.S.P.

Entre los suscritos a saber: RPTE_LEGAL_AG, mayor de edad, identificado con la cédula de ciudadanía #####, quien obra en nombre y representación de AG, que en el presente documento se denominará EL AUTOGENERADOR de una parte, y de la otra, RPTE_LEGAL_CENS, mayor de edad, identificado con cédula de ciudadanía #####, quien obra en su condición de CARGO_RPTE_LEGAL_CENS de CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P., lo cual se acredita con el certificado de existencia y representación legal expedido por la Cámara de Comercio de Cúcuta, y por tanto, quien obra en nombre y representación legal de CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P., que para efectos del presente documento se denominará EL OR, y quienes en conjunto en el presente escrito se llamarán LAS PARTES, hemos convenido celebrar el presente contrato de conexión, previas las siguientes.

CONSIDERACIONES:

- A) Que el Artículo 30 de la Ley 143 de 1994, y las Resoluciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG - 003 de 1994, 025 de 1995, 070 de 1998, 080 de 1999, 156 de 2011, 038 de 2014, 005 de 2010, 015 de 2018, 075 de 2021, 174 de 2021 y demás normas concordantes que rigen la materia, han reglamentado la prestación del servicio de energía eléctrica y específicamente las condiciones de conexión al Sistema Interconectado Nacional - SIN -.
- B) Que la Resolución UPME 281 del 5 de junio de 2015 señaló que el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala será de un (1) MW, y corresponderá a la capacidad instalada del sistema de generación del autogenerador.

Ilustración 88 Anexo 2

10.3. ANEXO 3 CONTRATO AGPE MAYOR O IGUAL A 100 KW - MENOR A 1 MW

CONTRATO DE CONEXIÓN CT-20##

AGPE. XXXX

NIT. ###.###.###-#

CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P.
NIT. 890.500.514-9

CONEXIÓN DE LA PLANTA DE AUTOGENERACIÓN A PEQUEÑA ESCALA
TIPO_TECNOLOGÍA NOMBRE_PROYECTO EN EL MUNICIPIO DE MPIO_PRY –
NORTE DE SANTANDER, AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL -SDL- DE
CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A E.S.P.

Entre los suscritos a saber: RPTE_LEGAL_AG, mayor de edad, identificado con la cédula de ciudadanía #####, quien obra en nombre y representación de AG, que en el presente documento se denominará EL AUTOGENERADOR de una parte, y de la otra, RPTE_LEGAL_CENS, mayor de edad, identificado con cédula de ciudadanía #####, quien obra en su condición de CARGO_RPTE_LEGAL_CENS de CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P., lo cual se acredita con el certificado de existencia y representación legal expedido por la Cámara de Comercio de Cúcuta, y por tanto, quien obra en nombre y representación legal de CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P., que para efectos del presente documento se denominará EL OR, y quienes en conjunto en el presente escrito se llamarán LAS PARTES, hemos convenido celebrar el presente contrato de conexión, previas las siguientes.

CONSIDERACIONES:

- A) Que el Artículo 30 de la Ley 143 de 1994, y las Resoluciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG - 003 de 1994, 025 de 1995, 070 de 1998, 080 de 1999, 156 de 2011, 038 de 2014, 005 de 2010, 015 de 2018, 075 de 2021, 174 de 2021 y demás normas concordantes que rigen la materia, han reglamentado la prestación del servicio de energía eléctrica y específicamente las condiciones de conexión al Sistema Interconectado Nacional - SIN -.
- B) Que la Resolución UPME 281 del 5 de junio de 2015 señaló que el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala será de un (1) MW, y corresponderá a la capacidad instalada del sistema de generación del autogenerador.

Ilustración 89 Anexo 3

10.4. ANEXO 4 CONTRATO AGGE MAYOR O IGUAL A 1 MW - MENOR A 5 MW

CONTRATO DE CONEXIÓN CT-XXXXXX

AGGE.

NIT. ###.###.###-#

CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P.

NIT. 890.500.514-9

CONEXIÓN DE LA PLANTA DE AUTOGENERACIÓN A GRAN ESCALA
TIPO TECNOLOGÍA NOMBRE PROYECTO EN EL MUNICIPIO DE MPIO_PRY –
NORTE DE SANTANDER, AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL/TRANSMISIÓN
REGIONAL –SDL/STR– DE CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER
S.A. E.S.P.

Entre los suscritos a saber: RPTE_LEGAL_AG, mayor de edad, identificado con la cédula de ciudadanía #####, quien obra en nombre y representación de AG, que en el presente documento se denominará EL AUTOGENERADOR de una parte, y de la otra, RPTE_LEGAL_CENS, mayor de edad, identificado con cédula de ciudadanía #####, quien obra en su condición de CARGO_RPTE_LEGAL_CENS de CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P., lo cual se acredita con el certificado de existencia y representación legal expedido por la Cámara de Comercio de Cúcuta, y por tanto, quien obra en nombre y representación legal de CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P., que para efectos del presente documento se denominará EL OR, y quienes en conjunto en el presente escrito se llamarán LAS PARTES, hemos convenido celebrar el presente contrato de conexión, previas las siguientes

CONSIDERACIONES:

- A) Que el Artículo 30 de la Ley 143 de 1994, y las Resoluciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG - 003 de 1994, 025 de 1995, 070 de 1998, 080 de 1999, 156 de 2011, 038 de 2014, 005 de 2010, 015 de 2018, 135 de 2021, 174 de 2021 y demás normas concordantes que rigen la materia, han reglamentado la prestación del servicio de energía eléctrica y específicamente las condiciones de conexión al Sistema Interconectado Nacional - SIN -.
- B) Que la Resolución CREG 174 de 2021 señaló que el Autogenerador a Gran Escala es el Autogenerador con capacidad instalada o nominal superior al límite definido en el artículo primero de la Resolución UPME 281 de 2015, o aquella que la modifique o sustituya.

Ilustración 90 Anexo 4

10.5. ANEXO 5 ESTUDIO DE CONEXIÓN SIMPLIFICADO MENORES 0.1 MW Y GD CENS



Vigilado Superintendencia

Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P.

Contenido Estudio de Conexión Simplificado AGPE menores a 0,1 MW y GD

1. Resumen Ejecutivo
 - 1.1. Descripción General del proyecto
 - 1.2. Fecha de entrada del proyecto
 - 1.3. Potencia máxima de generación
 - 1.4. Número de unidades
 - 1.5. Parámetros eléctricos del generador
 - 1.6. Ubicación geográfica del proyecto y de la instalación
 - 1.7. Parámetros técnicos de los paneles y de los inversores para tecnología solar fotovoltaica
 - 1.8. Información adicional que sea necesaria para el análisis de la conexión
2. Objeto y Alcance
3. Metodología
 - 3.1. Criterios técnicos de calidad, seguridad y confiabilidad
 - 3.2. Límites a validar de acuerdo con los criterios del numeral 3.1.
 - 3.3. Descripción de los análisis a realizar
 - 3.4. Cálculo teórico de la energía anual producida por el proyecto y comparación con la curva de carga del cliente y el transformador
4. Resultados de los análisis eléctricos
 - 4.1. Flujo de carga AC en estado estable para condiciones normales de operación (sistema desbalanceado) o análisis desbalanceado de corrientes, en el que se evidencie el impacto de la conexión y las corrientes circulantes por el neutro
 - 4.2. Cálculo de pérdidas en NT1
 - 4.3. Verificación del nivel de cortocircuito en NT1 (norma IEC60909)
 - 4.4. Análisis de calidad de la potencia
 - 4.4.1. Verificación de cumplimiento de los parámetros establecidos en la IEEE 1547 en cuanto a Calidad de la Potencia.
 - 4.4.2. Declaración del cumplimiento de estándares en cuanto a la calidad de la potencia (inyección de armónicos a la red y fluctuaciones de tensión, etc.) y la manifestación del compromiso para realizar medidas en campo antes y después de la instalación del proyecto con el fin de validar el cumplimiento de los estándares anteriormente mencionados.

Para los estudios se debe realizar la modelación en la fecha indicada por el promotor tanto para el caso sin proyecto, como para el caso con proyecto.

Dependiendo del proyecto se deben analizar los siguientes escenarios:

Ilustración 91 Anexo 5

10.6. ANEXO 6 ESTUDIO DE CONEXIÓN SIMPLIFICADO ENTRE 01-MW Y 1 MW CENS



Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A E.S.P.

Contenido Estudio de Conexión Simplificado AGPE entre 0,1 MW y 1 MW

- 1. Resumen Ejecutivo**
 - 1.1. Descripción General del proyecto
 - 1.2. Fecha de entrada del proyecto
 - 1.3. Potencia máxima de generación
 - 1.4. Número de unidades
 - 1.5. Parámetros eléctricos del generador y el transformador
 - 1.6. Ubicación geográfica del proyecto y de la instalación
 - 1.7. Parámetros técnicos de los paneles y de los inversores para tecnología solar fotovoltaica
 - 1.8. Información adicional que sea necesaria para el análisis de la conexión (elemento de interrupción a utilizar).
- 2. Objeto y Alcance**
- 3. Metodología**
 - 3.1. Criterios técnicos de calidad, seguridad y confiabilidad
 - 3.2. Límites a validar de acuerdo con los criterios del numeral 3.1.
 - 3.3. Descripción de los análisis a realizar
 - 3.4. Cálculo teórico de la energía anual producida por el proyecto
- 4. Resultados de los análisis eléctricos**
 - 4.1. Flujo de carga AC en estado estable para condiciones normales de operación (sistema desbalanceado).
 - 4.2. Flujo de carga AC en estado estable ante contingencia (sistema desbalanceado), en caso de aplicar.
 - 4.3. Análisis de pérdidas
 - 4.4. Análisis de cortocircuito (monofásico y trifásico con la norma IEC60909)
 - 4.5. Análisis de calidad de la potencia
 - 4.5.1. Verificación de cumplimiento de los parámetros establecidos en la IEEE 1547 en cuanto a Calidad de la Potencia
 - 4.5.2. Declaración del cumplimiento de estándares en cuanto a la calidad de la potencia (inyección de armónicos a la red y fluctuaciones de tensión, etc.) y la manifestación del compromiso para realizar medidas en campo antes y después de la instalación del proyecto con el fin de validar el cumplimiento de los estándares anteriormente mencionados.

Para los estudios se debe realizar la modelación en la fecha indicada por el promotor tanto para el caso sin proyecto, como para el caso con proyecto.

Dependiendo del proyecto se deben analizar los siguientes escenarios:

Ilustración 92 Anexo 6

10.7. ANEXO 7 ESTUDIO DE CONEXIÓN SIMPLIFICADO ENTRE 1 MW Y 5MW CENS



Vigilado Superintendencias

Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A E.S.P.

Contenido Estudio de Conexión Simplificado AGPE entre 1 MW y 5 MW

- 1. Resumen Ejecutivo**
 - 1.1. Descripción General del proyecto
 - 1.2. Fecha de entrada del proyecto
 - 1.3. Potencia máxima de generación
 - 1.4. Número de unidades
 - 1.5. Parámetros eléctricos del generador y el transformador
 - 1.6. Ubicación geográfica del proyecto y de la instalación
 - 1.7. Parámetros técnicos de los paneles y de los inversores para tecnología solar fotovoltaica
 - 1.8. Información adicional que sea necesaria para el análisis de la conexión (elemento de interrupción a utilizar).
- 2. Objeto y Alcance**
- 3. Metodología**
 - 3.1. Criterios técnicos de calidad, seguridad y confiabilidad
 - 3.2. Límites a validar de acuerdo con los criterios del numeral 3.1.
 - 3.3. Descripción de los análisis a realizar
 - 3.4. Cálculo teórico de la energía anual producida por el proyecto
 - 3.5. Información a utilizar para el estudio (suministrada por EPM)
- 4. Resultados de los análisis eléctricos**
 - 4.1. Flujo de carga AC en estado estable para condiciones normales de operación
 - 4.2. Flujo de carga AC en estado estable ante contingencia
 - 4.3. Análisis de pérdidas
 - 4.4. Análisis de cortocircuito (monofásico y trifásico con la norma IEC60909)
 - 4.5. Análisis de calidad de la potencia
 - 4.5.1. Verificación de cumplimiento de los parámetros establecidos en la IEEE 1547 en cuanto a Calidad de la Potencia
 - 4.5.2. Declaración del cumplimiento de estándares en cuanto a la calidad de la potencia (inyección de armónicos a la red y fluctuaciones de tensión, etc.) y la manifestación del compromiso para realizar medidas en campo antes y después de la instalación del proyecto con el fin de validar el cumplimiento de los estándares anteriormente mencionados.

Para los estudios se debe realizar la modelación en la fecha indicada por el promotor tanto para el caso sin proyecto, como para el caso con proyecto.

Dependiendo del proyecto se deben analizar los siguientes escenarios:

Ilustración 93 Anexo 7

10.8. ANEXO 8 TABLA RESUMEN ESTUDIOS DE CONEXIÓN SIMPLIFICADOS Y CAUSALES DE RECHAZO

Requerimientos Estudios de Conexión Simplificados (ECS)								
	Nivel Tensión 1		Nivel Tensión 2			Nivel Tensión 3 y 4		
Rango de Potencia	< 0.1 MW	0.1 - 1 MW	< 0.1 MW	0.1 - 1 MW	1 - 5 MW	< 0.1 MW	0.1 - 1 MW	1 - 5 MW
Resumén ejecutivo	X	X	X	X	X	X	X	X
Objetivo y Alcance	X	X	X	X	X	X	X	X
Metodología	X	X	X	X	X	X	X	X
Resultados								
Flujo de carga con y sin Proyecto - Operación Normal	X	X	X	X	X	X	X	X
Flujo de carga con y sin Proyecto - Contingencia					X	X	X	X
Análisis pérdidas con y sin proyecto				X	X	X	X	X
Análisis de Cortocircuito	X	X	X	X	X	X	X	X
Análisis de Calidad de la Potencia								
Declaración de cumplimiento IEEE1547	X	X	X	X	X	X	X	X
Compromiso realizar mediciones	X ⁽¹⁾	X	X ⁽¹⁾	X	X	X	X	X
Evaluación económica (requiere obras en el Uso)		X		X	X		X	X
Análisis Coordinación de Protecciones	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾	X	X	X	X	X	X
Conclusiones y Recomendaciones	X	X	X	X	X	X	X	X
Notas: 1. Si CENS lo requiere durante pruebas 2. Validación ajustes protección transformador de distribución Otras notas: Para los estudios se debe realizar la modelación en la fecha indicada por el promotor tanto para el caso sin proyecto, como para el caso con proyecto El análisis de flujo de carga puede ser balanceado o desbalanceado, se deberá realizar de acuerdo con la información que CENS suministre								
Resumen - Requisitos ECS Causales de Rechazo +								

Ilustración 94 Anexo 8