



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Análisis de calidad de energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos de
460 W conectados a la red en una casa tipo**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: LUIS MIGUEL ÑAUTA CHUISACA

DIRECTOR: ING. JAVIER BERNARDO CABRERA MEJÍA MSc.

MATRIZ CUENCA

2018

DECLARACIÓN

Yo, Luis Miguel Ñauta Chuisaca con cedula de identidad N° 0102212917, declaro que el trabajo “ANALISIS DE CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE 460 W CONECTADOS A LA RED EN UNA CASA TIPO” es de mi responsabilidad y autoría, eximo a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes de posibles acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca queda facultada para ejercer sus derechos correspondientes a este trabajo según lo establece la Ley de Propiedad Intelectual por su reglamento y norma institucional vigente.

Luis Miguel Ñauta Chuisaca

CI: 0102212917

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación fue desarrollado por Luis Miguel Ñauta Chuisaca bajo mi supervisión.

Ing. Javier Bernardo Cabrera Mejía MSc.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

A Dios por regalarme la vida, sabiduría y perseverancia en este duro camino universitario, a mi director de Tesis Ing. Javier Bernardo Cabrera Mejía MSc por su apoyo durante clases y sobre todo durante el desarrollo del trabajo de titulación y a la Universidad Católica de Cuenca y a todo el personal docente y administrativo de la carrera de Ingeniería Eléctrica por brindar una excelente formación académica.

Luis Miguel

DEDICATORIA

A mi esposa Jenoveva y a mis hijos Karlita, Cristian y Omar que son mi razón de vivir y porque sin su apoyo y comprensión no hubiera sido posible culminar esta investigación.

Luis Miguel.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS.....	XII
LISTA DE ANEXOS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO	2
1.1 Sistemas Fotovoltaicos y aplicaciones	2
1.1.1 Variables de sistemas fotovoltaicos.	2
1.1.1.1 Celda Solar.....	2
1.1.1.2 Efecto fotovoltaico.	2
1.1.1.3 Irradiación solar.	3
1.1.1.4 Radiación solar.....	3
1.1.1.5 Constante solar.	4
1.2 Instalaciones fotovoltaicas y aplicaciones	4
1.2.1 Sistemas fotovoltaicos aislados.....	4
1.2.1.1 Aplicación de sistemas fotovoltaicos aislados.....	5
1.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	8
1.2.3 Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red.....	8
1.2.3.1 Modulo fotovoltaico.....	8
1.2.3.2 Protecciones.....	9

1.2.3.3	Inversor de CC/CA.	9
1.3	Calidad de energía.....	9
1.3.1	Armónicos.....	10
1.3.1.1	Modelos analíticos para análisis de armónicos.....	10
1.3.2	Interrupción.....	11
1.3.3	Hendidura.	11
1.3.4	Hueco de voltaje.	12
1.3.5	Carga no lineal.....	13
1.3.6	Parpadeo (Flicker).....	13
1.3.7	Periodo de medición.	13
1.3.8	Punto de conexión.	13
1.3.9	Ángulos de fase.	13
1.3.10	Generador renovable no convencional.	13
1.4	Producción de energía.....	14
1.4.1	Causas de reducción de la producción.....	14
1.4.1.1	Tolerancia de potencia de los módulos fotovoltaicos.	14
1.4.1.2	Efectos de la temperatura de operación de las células.....	14
1.4.1.3	Perdidas por desadaptación (mismatch).....	14
1.4.1.4	Suciedad de los módulos.....	14
1.5	Normas y regulaciones de calidad de energía.....	14
1.5.1	REGULACION ARCONEL 004-01.	14
1.5.2	REGULACION ARCONEL 006/00.	15
1.5.3	REGULACION ARCONEL 004/15.	15
1.5.4	NORMA IEEE STD 519-2014.....	15
1.5.5	NORMA IEEE STD 929- 2000.....	15
1.5.6	NORMA IEC 61000-4-30.....	15
CAPITULO 2. CENTRALES FOTOVOLTAICAS EN EL ECUADOR		16
2.1	Generación y potencial solar en el Ecuador	16
2.2	Incentivos económicos y fiscales	16

2.3	Capacidad instalada.....	17
2.4	Potencial	18
2.5	Proyectos fotovoltaicos en el Ecuador.....	19
CAPITULO 3. DESARROLLO.....		21
3.1	Sistema eléctrico de la casa tipo	21
3.2	Sistema fotovoltaico conectado a la red	24
3.2.1	Elementos de conexión.....	24
3.2.1.1	Módulos fotovoltaicos.	24
3.2.1.2	Inversor SMA SUNNY BOY 240 US Microinverter.....	25
3.2.1.3	Módulo de conexión y comunicación SUNNY MULTIGATE.....	27
3.2.2	Instalación fotovoltaica.....	29
3.2.2.1	Orientación de los paneles fotovoltaicos.....	29
3.2.2.2	Inclinación de los paneles fotovoltaicos.....	29
3.2.2.3	Monitoreo en tiempo real del panel fotovoltaico.....	30
3.2.3	Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	31
3.2.4	Bitácora de eventos.	32
CAPITULO 4. ANALISIS Y RESULTADOS.....		35
4.1	Análisis sin sistema fotovoltaico	35
4.1.1	Niveles de voltaje.....	35
4.1.2	Perturbaciones.....	37
4.1.3	Desequilibrio de voltaje.....	38
4.1.4	Desequilibrio de corriente.....	39
4.1.5	Armónico de voltaje.....	40
4.1.6	Armónico de corriente.....	42
4.1.7	Frecuencia.....	44
4.1.8	Angulo de fase.....	46
4.2	Análisis con sistema fotovoltaico	47
4.2.1	Generación del sistema fotovoltaico.....	47
4.2.2	Niveles de voltaje.....	48

4.2.3	Perturbaciones.....	50
4.2.4	Armónico de voltaje.....	50
4.2.5	Armónico de corriente.....	52
4.2.6	Factor de potencia.....	55
4.2.7	Desequilibrio de voltaje.....	56
4.2.8	Desequilibrio de corriente.....	57
4.2.9	Frecuencia.....	58
4.2.10	Angulo de fase.....	60
CONCLUSIONES		61
RECOMENDACIONES		62
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		63
ANEXOS.....		68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Energía Solar Térmica.....	2
Figura 2. Efecto fotovoltaico	3
Figura 3. Transformaciones de la radiación solar	4
Figura 4. Sistema Solar Fotovoltaico Aislado	5
Figura 5. Estación espacial	5
Figura 6. Radio base funcionando con energía solar.....	6
Figura 7. Bombeo con energía solar	6
Figura 8. Vivienda con energía solar fotovoltaica	7
Figura 9. Energía limpia	7
Figura 10. Sistema solar fotovoltaico conectado a la red.....	8
Figura 11. Perturbación por armónicos en la red.....	10
Figura 12. Disminución de voltaje (Hendiduras)	12
Figura 13. Hueco de voltaje.....	12
Figura 14. Disminución de voltaje (Hendiduras)	17
Figura 15. Insolación global promedio del Ecuador	18
Figura 16. Diagrama unifilar de la casa	21
Figura 17. Panel Solar Policristalino.....	25
Figura 18. Inversor SMA SUNNY BOY 240 US.....	26
Figura 19. SUNNY MULTIGATE	28
Figura 20. Orientación e Inclinación de los paneles solar de la casa tipo	30
Figura 21. Estructura de una planta fotovoltaica con Sunny Boy 240- US y Sunny Multigate- US	30
Figura 22. Estructura de una planta fotovoltaica con Monitoreo vía Ethernet	31
Figura 23. Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica conectado a la red.....	31
Figura 24. Parámetros meteorológicos en un día	33
Figura 25. Parámetros meteorológicos en una semana	33
Figura 26. Parámetros meteorológicos en un mes	34
Figura 27. Niveles de voltajes máximos registrados	36
Figura 28. Niveles de voltajes mínimos registrados.....	36
Figura 29. Niveles de voltajes medios registrados.....	37
Figura 30. Perturbaciones	37
Figura 31. Desequilibrio de Voltaje.....	38
Figura 32. Voltaje equilibrado.....	38
Figura 33. Desequilibrio de Corriente	39

Figura 34. Armónicos de Voltaje de orden impar	40
Figura 35. Armónicos de voltaje de orden par	41
Figura 36. Distorsión armónica total de voltaje	42
Figura 37. Distorsión armónica de corriente de orden impar	43
Figura 38. Distorsión armónica de corriente de orden par	43
Figura 39. Distorsión armónica total de corriente	44
Figura 40. Frecuencia máxima registrada	45
Figura 41. Frecuencia mínima registrada	45
Figura 42. Frecuencia media registrada	46
Figura 43. Angulo de desfase entre el voltaje y la Corriente	47
Figura 44. Generación del sistema fotovoltaico	47
Figura 45. Niveles de voltaje máximos registrados.....	48
Figura 46. Niveles de voltaje mínimos registrados	49
Figura 47. Niveles de voltaje medios registrados	49
Figura 48. Perturbaciones	50
Figura 49. Armónicos de orden impar de voltaje	51
Figura 50. Armónicos de orden par de voltaje	51
Figura 51. Armónicos totales de voltaje.....	52
Figura 52. Armónicos de orden impar de corriente.....	53
Figura 53. Armónicos de orden par de corriente.....	54
Figura 54. Armónicos totales de corriente	54
Figura 55. Armónicos instantáneos de corriente.....	55
Figura 56. Factor de potencia registrado	55
Figura 57. Desequilibrio de voltaje	56
Figura 58. Voltaje equilibrado	56
Figura 59. Desequilibrio de corriente.....	57
Figura 60. Desequilibrio momentáneo de corriente	57
Figura 61. Frecuencia máxima registrada	58
Figura 62. Frecuencia mínima registrada	59
Figura 63. Frecuencia media registrada	59
Figura 64. Angulo de desfase entre el voltaje y la corriente.....	60

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Eficiencia de los módulos fotovoltaicos.....	8
Tabla II. Periodo de tiempo de interrupción de tensión.....	11
Tabla III. Potencia nominal instalada.....	17
Tabla IV. Proyectos fotovoltaicos mayores a 1 MW.....	19
Tabla V. Cálculo de consumo eléctrico de la casa tipo de una familia clase media (Autor)	22
Tabla VI. Características técnicas del panel fotovoltaico	25
Tabla VII. Características técnicas del Inversor.....	27
Tabla VIII. Características técnicas del SUNNY MULTIGATE- US.....	28
Tabla IX. Estado de la instalación	32
Tabla X. Variación de voltaje permitido con respecto al voltaje nominal	68
Tabla XI. Valores límite establecidos THD	70
Tabla XII. Categorías y características de los fenómenos que varían la calidad de la energía	71
Tabla XIII. Límites establecidos en armónicos.....	74
Tabla XIV. Límites de flicker	75
Tabla XV. Límites de distorsión de voltaje	76
Tabla XVI. Límites de distorsión armónica de corriente para sistemas de 120V a 60 KV	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. REGULACION ARCONEL 004-01.....	68
Anexo 2. REGULACION ARCONEL 006/00.....	71
Anexo 3. REGULACION ARCONEL 004/15	74
Anexo 4. NORMA IEEEESTD 519-2014.....	76

RESUMEN

Debido al alto costo de la energía y considerando que nuestro país se encuentra en una situación geográfica favorable con respecto a la trayectoria solar, se ha visto la necesidad de realizar un estudio con generación distribuida con dos paneles sumando 460 W que se encargan de generar voltaje en las horas de incidencia del sol sobre dichos paneles.

En una casa tipo de clase media baja localizada en el Cantón Cuenca en la Parroquia Ricaurte se realizó el monitoreo de calidad de energía de la generación fotovoltaica conectada a la red pública utilizando los equipos (Power Quality Analyzer FluKe 434) de propiedad de la Universidad Católica de Cuenca y (Power Quality Analyzer PQ- Box 100) de propiedad de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., para visualizar en tiempo real las variaciones durante las 24 horas del día y la incidencia que tiene el sol sobre los paneles en las horas hábiles.

Con estos datos del monitoreo de calidad de energía con y sin generación fotovoltaica de manera práctica, se realiza un análisis minucioso de todos los parámetros de calidad de energía para determinar el efecto que presenta la presencia de la generación distribuida sobre la red eléctrica y a la calidad de energía suministrada por la empresa distribuidora.

Palabras clave: PANEL SOLAR, ENERGÍA FOTOVOLTAICA, GENERACION DISTRIBUIDA, CALIDAD DE ENERGÍA

ABSTRACT

Due to the high cost of energy and considering that our country is in a beneficial geographical location regarding the trajectory of the sun, we have seen the need to carry out a study with distributed generation with two panels adding 460 W that are responsible for generating voltage during the hours of the effect of the sun over the panels.

In a middle-class house located in the city of Cuenca, in the Ricaurte Parish energy quality monitoring of photovoltaic generation connected to the public network was carried out using equipment as (Power Quality Analyzer FluKe 434) owned by the Catholic University of Cuenca and (Power Quality Analyzer PQ-Box 100) owned by Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., to display real-time variations during 24 hours a day and the effect that the sun has on the panels during business hours.

With the energy quality monitoring data with or without photovoltaic generation, a thorough analysis of all power quality parameters is carried out to determine the effect of the presence of distributed generation on the electricity grid and the energy quality supplied by the distribution company.

Keywords: SOLAR PANEL, PHOTOVOLTAIC ENERGY, DISTRIBUTED GENERATION, QUALITY OF ENERGY

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad obtener los datos de calidad de energía eléctrica de la Generación Distribuida aportado por dos paneles solares de 230 W que conectados en paralelo nos da 460W conectado a la red pública en una casa tipo en la ciudad de Cuenca.

Durante el desarrollo de esta investigación se revisarán temas y normativas relacionados con la Generación Distribuida conectada a la red pública para que esta no se vea afectada.

La Generación Distribuida mediante paneles fotovoltaicos al principio fue aislada pero ahora se la está integrando a la red pública y de acuerdo a normativas se debe tener un estudio de calidad de energía para evitar perturbaciones en la misma.

El monitoreo que realizaremos en tiempo real nos permitirá crear un histórico, el mismo que guardaremos de forma digital para crear las estadísticas de nuestra investigación.

La Generación Distribuida mediante la radiación solar es energía limpia y renovable, amigable con el medio ambiente, este tipo de tecnología enlazado a la red es nueva en el Ecuador por eso se está realizando investigaciones para garantizar que no habrá perturbaciones en la red pública de distribución.

Por el crecimiento de las tecnologías de Generación Distribuida y por la necesidad de tener una sola matriz energética es necesario conocer los datos técnicos de un estudio de calidad de energía para tomar acciones correctivas en caso de no ser cien por ciento compatibles y de esta forma no afectar a la red de distribución pública asegurando su confiabilidad.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 Sistemas Fotovoltaicos y aplicaciones

Los sistemas fotovoltaicos transforman la luz del sol en energía eléctrica la misma que puede ser utilizada de forma aislada generalmente de pocos cientos de vatios o formando un sistema centralizado y conectado a la red. (NEC, 2011)

Al principio los sistemas fotovoltaicos abastecían de energía eléctrica en lugares de difícil acceso alejados de los centros de generación, en la actualidad estos sistemas de generación se conectan a la red a través de un inversor. (C.S.ANTONIO, 2015)

1.1.1 Variables de sistemas fotovoltaicos.

Las variables de un sistema fotovoltaico son: La celda solar, efecto fotovoltaico, irradiación solar, radiación solar y constante solar.

1.1.1.1 Celda Solar.

La celda solar se encarga de realizar el efecto fotovoltaico transformando la energía lumínica del sol en energía eléctrica. La celda solar está formada por materiales con propiedades semiconductoras. (NEC, 2011)

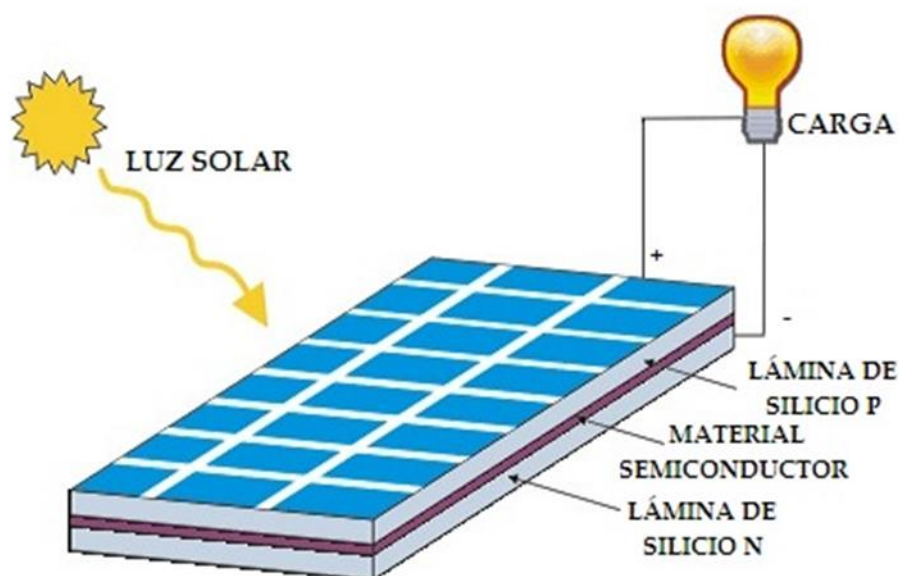


Figura 1. Energía Solar Térmica
Fuente: (ECOFENER, 2012)

1.1.1.2 Efecto fotovoltaico.

Es la conversión directa de energía electromagnética del sol en energía eléctrica en un dispositivo llamado celda solar que se encarga de realizar el efecto fotovoltaico transformando

la energía lumínica del sol que contiene fotones en energía eléctrica, al incidir los fotones sobre el material semiconductor liberando electrones. (S.SCARPELLINI, 2015), (N.Takeuchi, 2014)

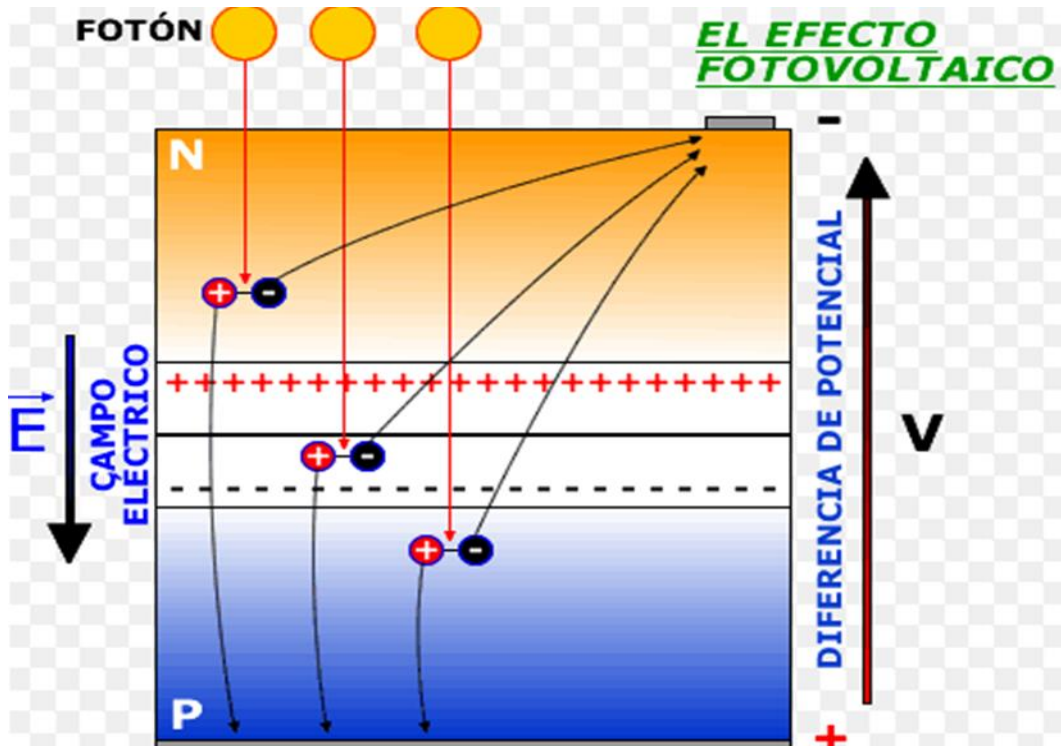


Figura 2. Efecto fotovoltaico
Fuente: (UNIVERSIDAD DE JEAN, 1997)

1.1.1.3 Irradiación solar.

Es la cantidad de flujo que incide sobre una superficie por unidad de área, su unidad de medida es (W/m^2). (HARPER, 2012)

1.1.1.4 Radiación solar.

Es el flujo de energía de las ondas electromagnéticas que proceden del sol, la radiación solar está formada por fotones. La energía varía según las frecuencias de las ondas electromagnéticas con los siguientes valores: (CASTELLS, 2012) (PROGENSA, 2011)

- Ultravioleta: va de 70 kcal/mol a 46000 kcal/mol
- Luz visible: va de 37 kcal/mol a 74 kcal/mol
- Infrarroja: 37 kcal/mol a 37 kcal/mol

Existen tres tipos de radiación, se clasifican según como reciban la radiación los objetos sobre la superficie de la tierra:

Radiación directa: es cuando un objeto recibe directamente la radiación del sol sin interferencias.

Radiación difusa: es cuando un objeto recibe la radiación del sol en forma reflejada o absorbida por los árboles, nubes, montañas, edificios, etc.

Radiación reflejada: es cuando un objeto recibe la radiación reflejada por la superficie terrestre y es llamada también como radiación de albedo. (CASTELLS, 2012)

Radiación global: resulta de la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada. (VAZQUEZ, 2012)

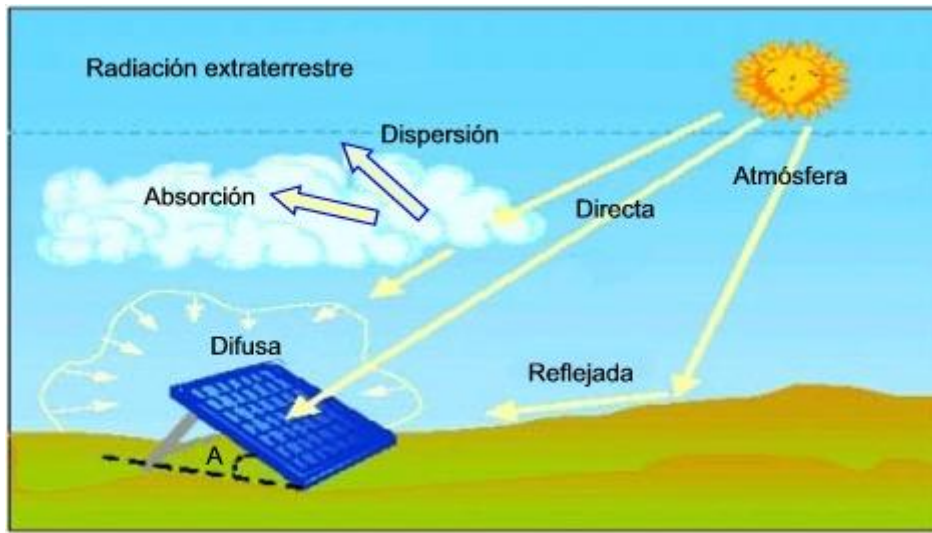


Figura 3. Transformaciones de la radiación solar
Fuente: (UNIVERSIDAD DE JEAN, 1997)

1.1.1.5 Constante solar.

Es la energía promedio anual en una hora antes de ingresar a la atmósfera de la tierra, su valor más aceptado es de 1367 W/m^2 . (VAZQUEZ M. T., 2012)

1.2 Instalaciones fotovoltaicas y aplicaciones

Los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos grupos: aislados y conectados a la red.

1.2.1 Sistemas fotovoltaicos aislados.

Las cargas en este tipo de sistema están alimentadas solo por la generación fotovoltaica y no depende de la energía eléctrica de la red pública. Los sistemas fotovoltaicos aislados están formados por: módulos fotovoltaicos, regulador, baterías e inversor. Las cargas de este sistema pueden ser de corriente continua o de corriente alterna. (NEC, 2011) (PROGENSA, 2011)

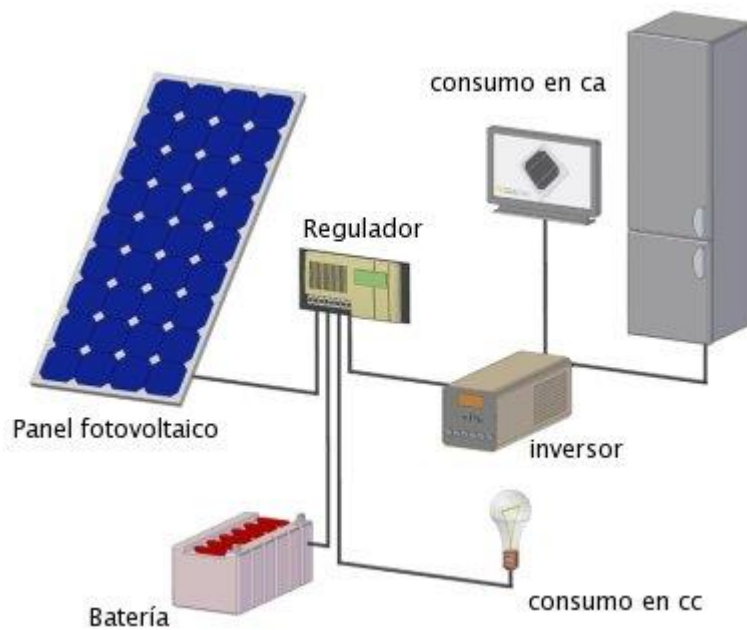


Figura 4. Sistema Solar Fotovoltaico Aislado
Fuente: (SUN FIELDS, n.d.)

1.2.1.1 Aplicación de sistemas fotovoltaicos aislados.

Las principales aplicaciones de este sistema de generación fotovoltaica son:

- Estaciones espaciales: Las estaciones espaciales utilizan paneles solares para alimentar sus equipos electrónicos. (QUIROGA, 2012)



Figura 5. Estación espacial
Fuente: (NASA, 2012)

- *Telecomunicaciones*: Los equipos de telecomunicaciones siempre están ubicados en zonas de difícil acceso y alejadas de las redes eléctricas, por lo que la

generación con paneles solares es la solución más económica y fiable. (LUIS M.GONZALES C., 2015)



Figura 6. Radio base funcionando con energía solar
Fuente: (EL DIARIO DE MEDRYN, 2017)

- Sistemas de bombeo: Un sistema de bombeo fotovoltaico debe ser fácil de instalar autónomo y confiable y se utiliza en lugares alejados de las redes de energía eléctricas. (HERREJON, 2009)



Figura 7. Bombeo con energía solar
Fuente: (EL DIARIO DE MEDRYN, 2017)

- Viviendas aisladas: Para electrificar las viviendas alejadas de centros poblados, es más económico y confiable el uso de paneles solares. (GARCIA, 2015)



Figura 8. Vivienda con energía solar fotovoltaica
Fuente: (ENERGIA SOLAR, 2014)

- Otros: existen varios usos como señalización, iluminación, calculadoras, relojes etc.



Figura 9. Energía limpia
Fuente: (SOLAR LATAM, 2015)

1.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Este tipo de sistema de Generación fotovoltaica está destinado a la venta de energía a la red eléctrica pública por lo que no son necesarios las baterías. Estos sistemas están formados por: panel solar fotovoltaico, inversor y contador de energía de doble sentido. (NEC, 2011)

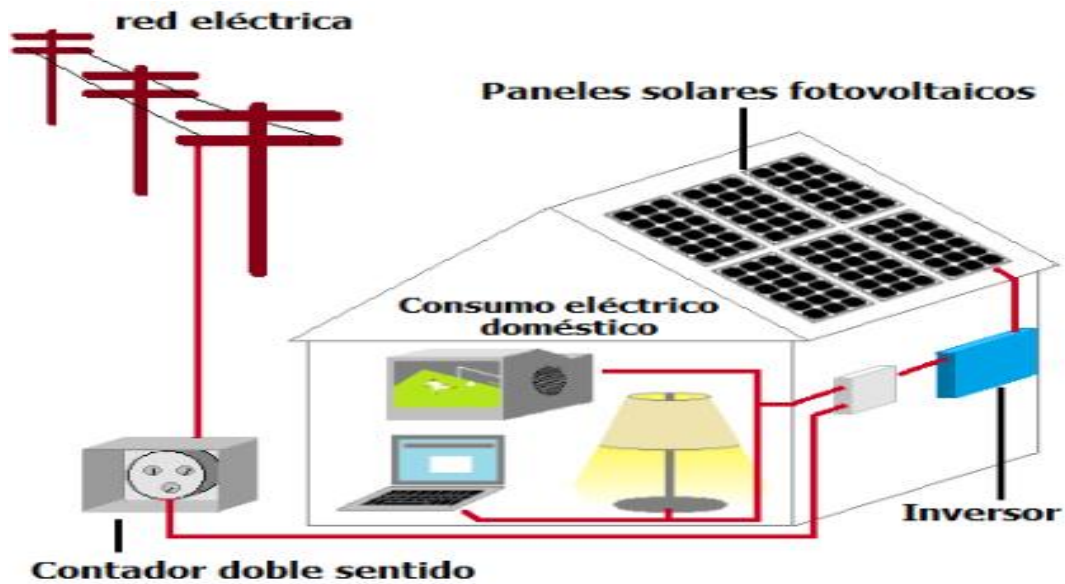


Figura 10. Sistema solar fotovoltaico conectado a la red
Fuente: (SITIO SOLAR)

1.2.3 Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

1.2.3.1 Modulo fotovoltaico.

Está formado por varias celdas fotovoltaicas que se encargan de transformar energía solar en energía eléctrica. (NEC, 2011)

La eficiencia de las celdas solares varía de acuerdo al material utilizado para su fabricación.

Tabla I. Eficiencia de los módulos fotovoltaicos

Material de la célula fotovoltaica	Eficiencia de la célula en laboratorio	Eficiencia de la célula comercial	Eficiencia de los módulos comerciales
Silicio monocristalino	24,7%	18%	14%
Silicio policristalino	19,8%	15%	13%

Silicio cristalino-film fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silicio amorfo	13%	10,5%	7,5%
Silicio micromorfo	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Teluro de cadmio	16,4%	10%	

Fuente: (GUERRA, 2013)

1.2.3.2 Protecciones.

Las instalaciones con generación fotovoltaica deben estar protegidos con fusibles, breakers, diodos de bloqueo y de paso.

- **Diodos de bloqueo:** son los encargados en caso de falla de evitar que la batería se descargue a través de los paneles solares.
- **Diodos de paso:** actúan cuando una celda de un módulo por defecto de fabricación se encuentra sombreada evitando que consuma en vez de generar.

1.2.3.3 Inversor de CC/CA.

Es el encargado de convertir la corriente continua del panel solar fotovoltaico en corriente alterna y además cumple las siguientes funciones (VAZQUEZ M. , 2012):

- Mantiene los valores de voltaje y frecuencia dentro de un rango establecido.
- Limita la corriente de salida del sistema.

1.3 Calidad de energía

El sistema eléctrico está compuesto de las siguientes etapas: generación, transmisión, distribución y consumo de energía con la mayor confiabilidad y menor costo, para lo cual el sistema debe ser balanceado con formas de onda senoidales en voltaje y corriente, con su amplitud determinada y constante, con una frecuencia única en todo el sistema, cumplida estas exigencias tendremos una calidad de energía ideal. Pero esto no se presenta en el sistema de debido a las cargas instaladas en la red que no son lineales y producen distorsión en la red eléctrica alterando las formas de ondas senoidales y produciendo alteraciones en el tiempo.

La distorsión en las redes eléctricas provienen de elementos convertidores de potencia, inversores de tensión y corriente y elementos con núcleos magnéticos entre otros, estos elementos producen distorsiones que producen pérdidas, reducción de la vida útil de los elementos, interferencias en la comunicación cuando las redes de telecomunicaciones están cerca de las redes eléctricas. (MEDINA, 2001)

1.3.1 Armónicos.

Los armónicos son la distorsión de la forma de onda de la tensión y no son producidos por las generadoras de energía eléctrica sino por las cargas no lineales instaladas por los consumidores, que pueden afectar todo el sistema de potencia e incluso a otros consumidores. (PLATA, 2006)

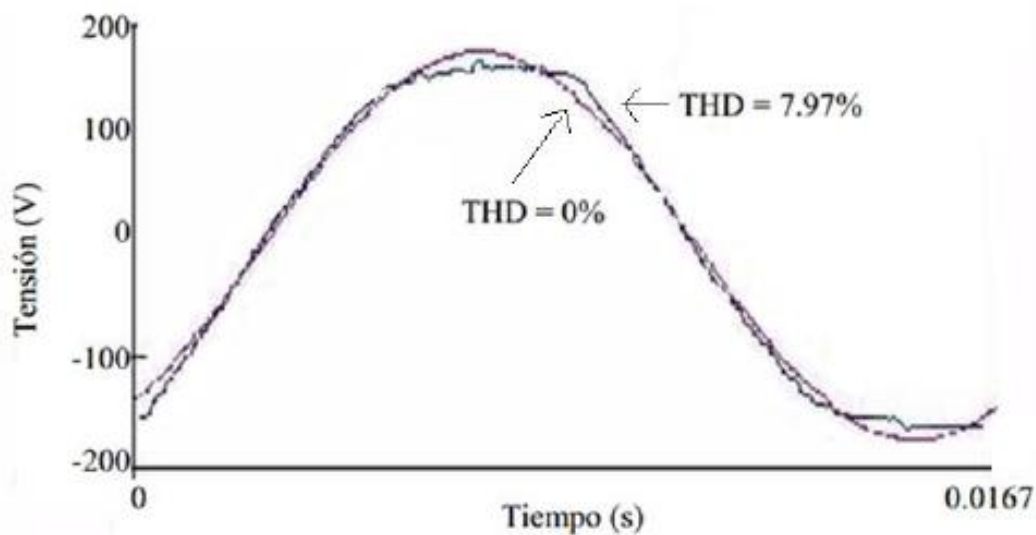


Figura 11. Perturbación por armónicos en la red
Fuente: (PLATA, 2006)

Existen dos campos para el análisis y evaluación de la calidad de energía eléctrica, mediante los cuales se puede realizar un buen diagnóstico.

- El primer campo es el monitoreo en tiempo real mediante un equipo de calidad de energía del contenido de armónicos en la red eléctrica, este es el tema de nuestra investigación.
- El segundo campo utilizando procesos matemáticos se puede predecir el contenido de armónicos.

1.3.1.1 Modelos analíticos para análisis de armónicos.

El modelo más utilizado para analizar armónicos en la red es el dominio de la frecuencia, utiliza un marco de referencia de componentes de secuencia mismo que determina las corrientes armónicas inyectadas a la red eléctrica. (MEDINA, 2001)

1.3.2 Interrupción.

Es la pérdida parcial o total del suministro de energía eléctrica en un periodo de tiempo, se presentan cuando no existe confiabilidad en el sistema de potencia (SEP), se clasifican según el tiempo de interrupción en instantánea, momentánea, temporal y sostenida. (PLATA S. Y., 2006)

Tabla II. Periodo de tiempo de interrupción de tensión

Instantánea	0.5 a 30 ciclos
Momentánea	30 ciclos a 2 s
Temporal	2 s a 5 min
Sostenida	Mayor a 2 min

Fuente: (MEDINA, 2001)

1.3.3 Hendidura.

Son disturbios causados por la operación de dispositivos de electrónica de potencia cuando se conmuta la corriente de una fase a otra, son tratados como un caso especial porque no son fácilmente detectados por los equipos de medición normalmente utilizados para la medición de armónicos.

La hendidura puede tener consecuencias y causar daños como pérdida de información y alteración de datos de memoria en los computadores y el mal funcionamiento de equipos de computación como UPS o impresoras láser. (RODRIGUEZ NORBERTO, 2003)

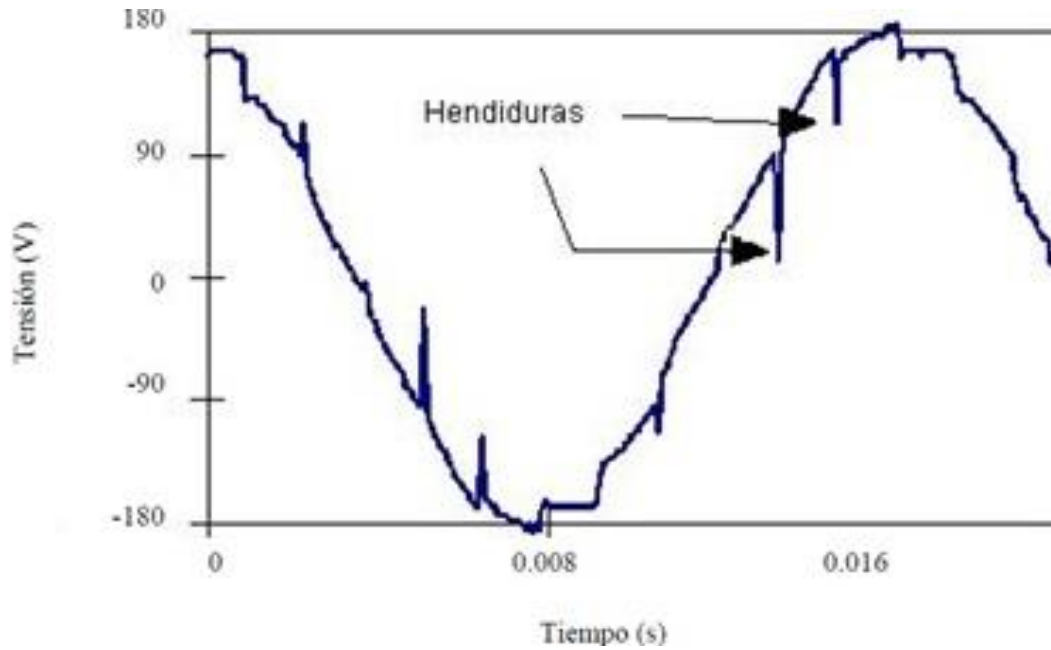


Figura 12. Disminución de voltaje (Hendiduras)
Fuente: (PLATA S. Y., 2006)

1.3.4 Hueco de voltaje.

Es una disminución del valor eficaz de la tensión de alimentación con un valor que oscila entre el 0.9 y el 0.1 p.u. de la tensión nominal con una duración desde (8 a 10 ms) hasta algunos segundos. (JOSE, 2003)

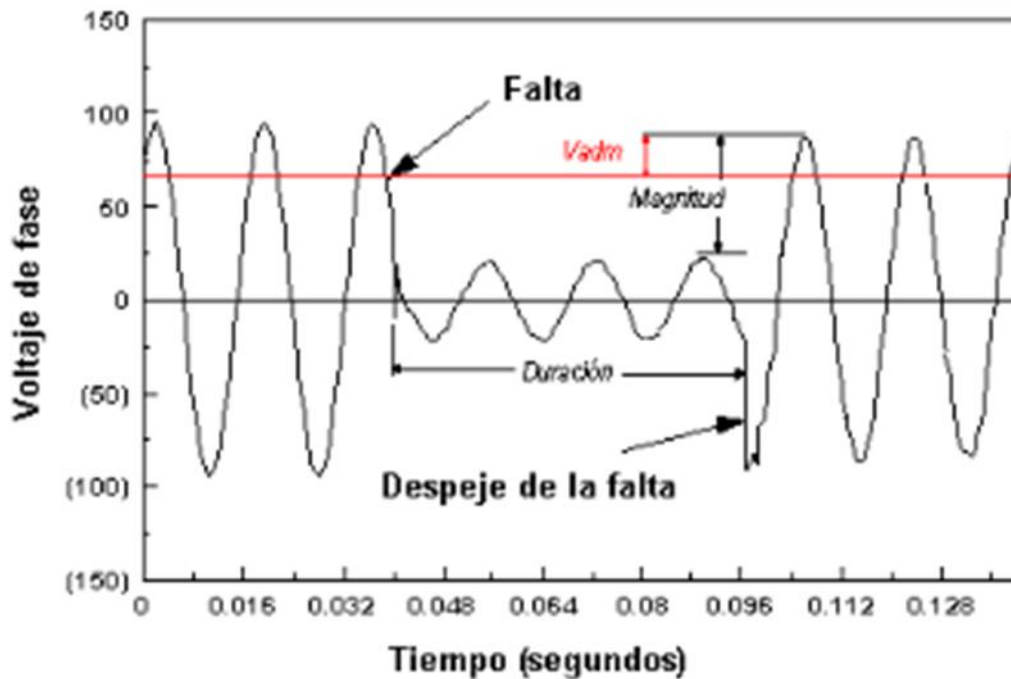


Figura 13. Hueco de voltaje
Fuente: (TURMERO)

1.3.5 Carga no lineal.

Se considera carga no lineal cuando entre la tensión de alimentación y la corriente no tienen una relación lineal. (ARCONEL, 2015).

1.3.6 Parpadeo (Flicker).

Reconocido por el parpadeo de las fuentes de iluminación produce molestias a la vista tiene origen en las fluctuaciones bruscas de tensión y van de 0.05 hasta 35 Hz para una frecuencia de 50 Hz y 230 V de tensión nominal y de 0.05 Hz hasta 42 Hz para frecuencias de 60 Hz y 120 V de tensión nominal. (HUGO PILA, 2010)

1.3.7 Periodo de medición.

Según la norma de regulación ecuatoriana No. CONELEC 004-01 de calidad de energía establece un periodo de 7 días de monitoreo continuo de control de calidad, registrando los siguientes parámetros: nivel de tensión, armónicos, factor de potencia, etc. (CONELEC, 2001)

1.3.8 Punto de conexión.

Es el punto común donde se conectan uno o más generadores a la red de transmisión o distribución de energía eléctrica, siendo este el punto óptimo para medición de la calidad de energía. (ARCONEL, 2015)

1.3.9 Ángulos de fase.

Es uno de los elementos más importantes dentro del SEP en una estación de transformación para evitar reducir su vida útil y su rendimiento de operación, el análisis del ángulo de fase entre la tensión de alimentación y la corriente en diferentes puntos de la red eléctrica son importantes para determinar el estado del sistema eléctrico. (C. YAO)

Existen diferentes métodos para el análisis del efecto como son: la transformada discreta de Fourier, la técnica de cruce por cero y la técnica del paso a nivel. (T. XIA, 2010)

Para determinar el ángulo de fase entre la tensión de alimentación y la corriente existe otra técnica que es la visualización dinámica a través de las figuras de Lissajous, que grafica en los ejes cartesianos dos variables que varían en el tiempo para sistemas de la misma frecuencia. (C. YAO)

1.3.10 Generador renovable no convencional.

Es la generación que utiliza las siguientes tecnologías: (ARCONEL, 2015)

- Solar fotovoltaica y solar termoeléctrica.
- Eólica.
- Pequeñas centrales hidroeléctricas ($P_n \leq 10\text{MW}$).
- Geotérmica.

- Biogás
- Mareomotriz.

1.4 Producción de energía

La generación que entrega un sistema fotovoltaico no se puede cuantificar ya que depende de varios factores como son: insolación, temperatura, suciedad y otros de ubicación, pero en grandes plantas de generación es óptima porque son colocados en lugares estratégicos evitando pérdidas por ubicación.

La producción de una instalación de generación fotovoltaica se calcula por su energía producida en un año (KWh/año) y por su inversión económica esta determina la potencia pico de la planta. (NAP, 2010)

1.4.1 Causas de reducción de la producción.

Los sistemas de generación fotovoltaica conectados a la red eléctrica no siempre entregan toda su potencia debido a que están expuestos a factores que influyen en su proceso de generación. (NAP, 2010)

1.4.1.1 Tolerancia de potencia de los módulos fotovoltaicos.

Todos los módulos no son idénticos porque en su fabricación tienen un margen de error que varía desde (+0% a -0.5%) en su potencia máxima. (NAP, 2010)

1.4.1.2 Efectos de la temperatura de operación de las células.

La temperatura influye en la potencia porque por cada grado que sube en temperatura las células pierden 0.5% de su potencia. (NEC, 2011)

1.4.1.3 Pérdidas por desadaptación (mismatch).

Estas pérdidas se producen cuando en un sistema fotovoltaico se conectan paneles solares de diferentes características o sea de diferente potencia, todo módulo tiene un diodo bypass que protege a los módulos que den menos corriente por suciedad o sombras. (NAP, 2010)

1.4.1.4 Suciedad de los módulos.

La suciedad en los módulos fotovoltaicos disminuye la irradiación del sol sobre los paneles provocando una pérdida de potencia, en épocas de lluvia constante se alcanza hasta un 3% de pérdidas. (NAP, 2010)

1.5 Normas y regulaciones de calidad de energía

1.5.1 REGULACION ARCONEL 004-01.

Esta regulación esta detallada en el anexo 1.

1.5.2 REGULACION ARCONEL 006/00.

Esta regulación esta detallada en el anexo 2.

1.5.3 REGULACION ARCONEL 004/15.

Esta regulación esta detallada en el anexo 3.

1.5.4 NORMA IEEE STD 519-2014.

La norma se detalla en el anexo 4.

1.5.5 NORMA IEEE STD 929- 2000.

Esta norma define la frecuencia para la interconexión de sistemas fotovoltaicos con la red eléctrica teniendo un rango de operación comprendido entre 59.3 a 60.5 Hz para sistemas pequeños, de no cumplir los inversores tendrán que salir de operación.

1.5.6 NORMA IEC 61000-4-30.

En esta norma se describe las técnicas, métodos de evaluación y medición de los parámetros de calidad de energía, teniendo como tiempo mínimo de evaluación una semana, a continuación, enumeramos algunas técnicas.

- Número o porcentaje de valores que excedieron los límites establecidos en las normas vigentes.
- El número de valores consecutivos que excede los límites establecidos en las normas vigentes.
- El caso en el que se obtuvo los valores más bajos en comparación con los más altos, en ese caso el periodo de medición puede ser diferente de una semana.

CAPITULO 2. CENTRALES FOTOVOLTAICAS EN EL ECUADOR

2.1 Generación y potencial solar en el Ecuador

El Ecuador tiene una ubicación privilegiada en cuanto a recurso de energía solar se refiere, la radiación que recibe es casi perpendicular e invariable durante todo el año y el ángulo de incidencia es constante, características que hacen que Ecuador tenga un enorme potencial de aprovechamiento de energía fotovoltaica. (SOPELIA, 2016)

En el Ecuador se ha desarrollado proyectos de energía solar fotovoltaica para electrificación rural aislados de la red.

La primera planta de energía solar fotovoltaica en conectarse a la red es Paragachi y se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura y tiene una potencia instalada de 998 kW.

En el Ecuador para impulsar la generación de energía fotovoltaica el ARCONEL, antes CONELEC reformo la regulación 04/11 en el 2012 con una tarifa preferencial de \$ 0,40 por kW/h de generación y firmo en el 2013 permiso para construir 355 MW de potencia fotovoltaica en 91 proyectos para empresas nacionales y extranjeras.

En la regulación 001/13 se excluye a la energía solar fotovoltaica de los incentivos gubernamentales para impulsar el resto de energías renovables como son la energía eólica y la biomasa. (SOPELIA, 2016)

2.2 Incentivos económicos y fiscales

En la actualidad la energía solar fotovoltaica no cuenta con incentivos económicos porque fueron excluidos en la reforma de la nueva regulación 001/13 para apoyar los proyectos eólicos y de biomasa, debido a la gran cantidad de proyectos fotovoltaicos inscritos bajo el régimen de la regulación 004/11. En esta regulación se definieron incentivos muy altos de 44,03 centavos de USD, estas tarifas estuvieron vigentes para proyectos con contratos hasta el 2012 y con un periodo de duración de 15 años.

En lo referente a incentivos fiscales en el Código Orgánico de la Producción Comercio e inversiones del año 2010 se exonera del pago de impuesto a la renta por un periodo de 5 años, además un incentivo al crecimiento de tecnologías de energía renovable porque el servicio de rentas internas (SRI) del Ecuador deduce el 100 % de la amortización y depreciación correspondiente a la adquisición de equipos para la implementación de este tipo de tecnología. (NACIONAL, A., 2010) (SRI, 2016)

2.3 Capacidad instalada

La capacidad instalada en el país hasta septiembre del 2017 era de 8,162.52 MW, los 26.48 MW corresponde a centrales fotovoltaicas que representa el 0.32 %, de estos 25.59 MW corresponden a proyectos de gran escala y el resto a zonas aisladas y proyectos de menor escala. (ARCONEL, 2017)

La distribución de la capacidad instalada muestra que la generación hidráulica y las termoeléctricas son las que más aportan y fuentes como la eólica y solar son las que menos aportan como se puede observar en el siguiente gráfico.

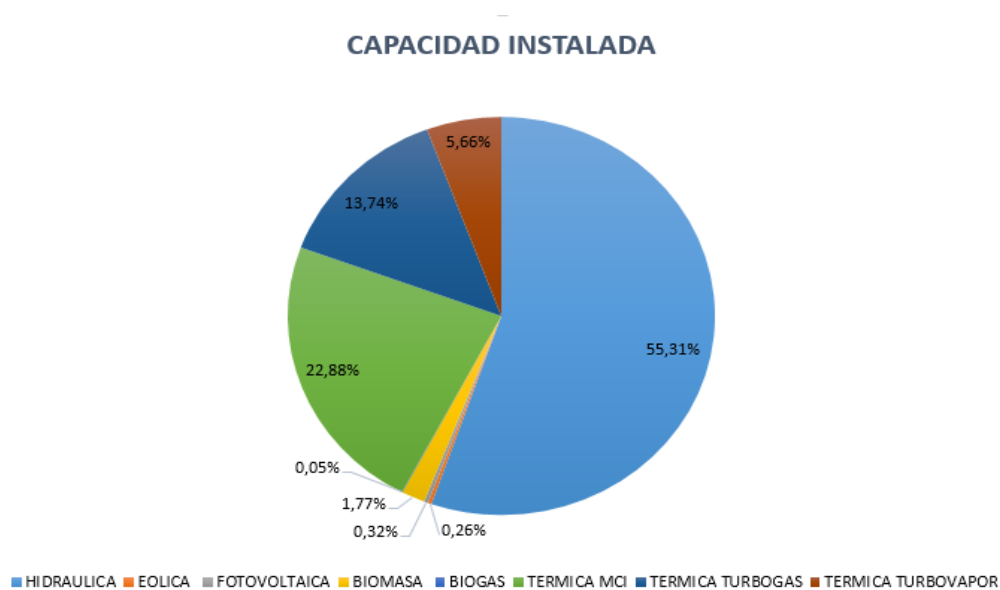


Figura 14. Disminución de voltaje (Hendiduras)
Fuente: (ARCONEL, 2017)

En la siguiente tabla podemos observar la potencia nominal instalada en generación de energía eléctrica en el Ecuador.

Tabla III. Potencia nominal instalada

Potencia Nominal en Generación de Energía Eléctrica		MW	%
Energía Renovable	Hidráulica	4,515.04	55.31 %
	Eólica	21.15	0.26 %
	Fotovoltaica	26.48	0.32 %
	Biomasa	144.30	1.77 %

	Biogas	4.46	0.05 %
Total Energía Renovable		4,711.43	57.72 %
No Renovable	Térmica MCI	1,867.38	22.88 %
	Térmica Turbogas	1,121.85	13.74 %
	Térmica Turbovapor	461.87	5.66 %
Total Energía no Renovable		3,451.09	42.28 %
Total Potencia Nominal		8,162.51	100 %

Fuente: (ARCONEL, 2017)

2.4 Potencial

Según datos obtenidos en el Atlas Solar del Ecuador la radiación promedio es de 4.57 kW/m²/día, dentro de una banda con una mínima de 3.63 y una máxima de 5.74 kW/m²/día como podemos observar en el mapa. (CONELEC, 2008)

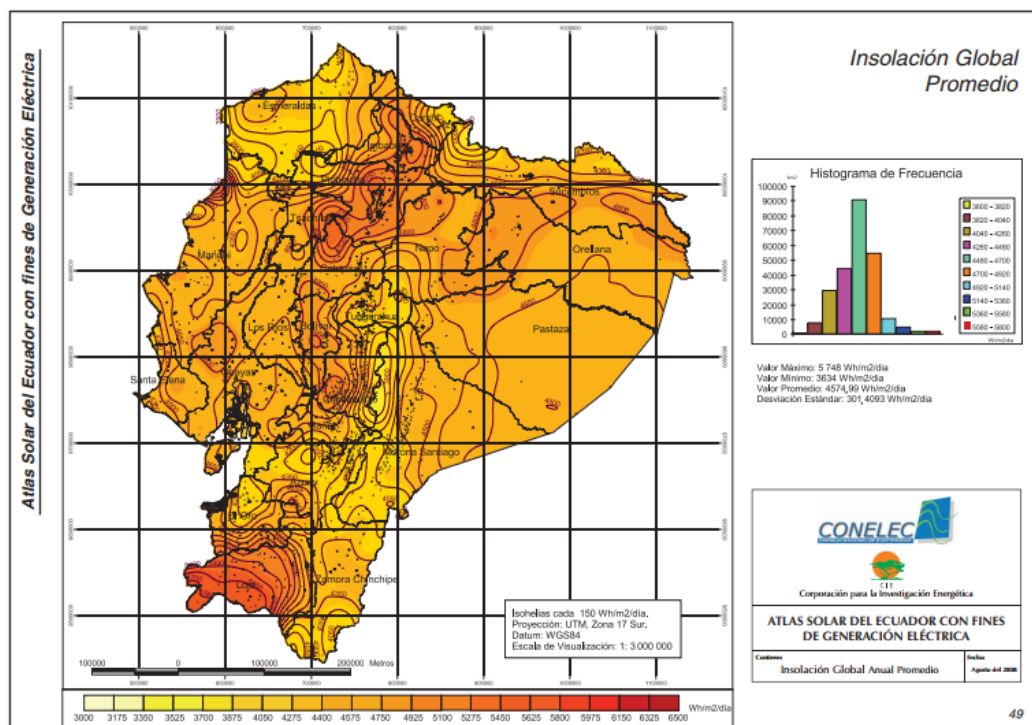


Figura 15. Insolación global promedio del Ecuador

Fuente: (CONELEC, 2008)

El potencial solar con fines de generación eléctrica sobre el Ecuador es aproximadamente 312 GW que equivale a 476 TW/h/año, equivalente a la energía producida por 283 millones

de barriles de petróleo por año. Tomando en cuenta estos datos decimos que el potencial solar sobre el país es aproximadamente 15 veces el potencial hidroeléctrico técnico y económicamente aprovechable del país. (VIZHÑAY, 2014)

2.5 Proyectos fotovoltaicos en el Ecuador

En Ecuador existen zonas alejadas y sin servicio eléctrico por lo difícil y costoso que resulta extender las redes de energía eléctrica, en estos casos la solución más viable técnica y económica es la generación con energía renovable, es por eso que se suscribió en diciembre del 2006 con la Unión Europea un convenio para dotar de energía eléctrica a 91 comunidades para mejorar su calidad de vida mediante el programa Eurosolar. (MEER, 2016)

Los habitantes que se beneficiaron con este proyecto son aproximadamente 39,629 de las provincias: Guayas, Esmeraldas, Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza y Morona Santiago.

En el censo de población y vivienda realizado por el INEC en el año 2010 se tiene los valores de abastecimiento de energía eléctrica a la población Ecuatoriana: (INEC, 2010)

- *Área Rural:* 89.03 %
- *Área Urbana:* 94.77 %

Los proyectos de energía fotovoltaica mayores a 1 MW suscritos actualmente en el Ecuador.

Tabla IV. Proyectos fotovoltaicos mayores a 1 MW

TITULOS HABILITANTES SUSCRITOS				
PROYECTOS FOTOVOLTAICOS				
No.	COMPañIA	PROYECTO	UBICACION	CAPACIDAD (MW)
1	DESARROLLOS FOTOVOLTAICOS DEL ECUADOR S.A.	SHIRI I	DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	50
2	CONDORSOLAR S.A.	CONDORSOLAR	CAYAMBE Y TABACUNDO, PICHINCHA	30
3	SOLARCONNECTION S.A.	SOLARCONNECTION	CAYAMBE Y TABACUNDO, PICHINCHA	20
4	ECUADOR ENERGETICO S.A.	IMBABURA- PIMAN	IBARRA, IMBABURA	25
5	GUITARSA S.A.	VAIANA	GUAYAS, GUAYAS	30
6	ENERGIA SOLAR S.A.	MANABI	MONTECRISTI, MANABI	20
7	ECUADOR ENERGETICO S.A.	SANTA ELENA I	SANTA ELENA, SANTA ELENA	25

8	ENERCAY S.A.	CENTRO DEL MUNDO	CAYAMBE, PICHINCHA	10
9	RACALSER S.A.	CHOTA-PIMAN	IBARRA, IMBABURA	8
10	SUPERGALEON S.A.	SAN ALFONSO	IBARRA, IMBABURA	6
11	GRANSOLAR S.A.	SALINAS	URCUQUI, IMBABURA	2
12	ENERGIAS MANABITAS S.A.	MONTE CRISTI	MONTECRISTI, MANABI	12
13	AENERDOR S.A.	LAGARTO	RIO VERDE, ESMERALDAS	20
14	SUN ENERGY ECUADOR S.A.	RANCHO CAYAMBE	CAYAMBE, PICHINCHA	8
15	GALAPAGOS POWER S.A.	ZAPOTILLO	ZAPOTILLO, LOJA	16
TOTAL				282

Fuente: (CONELEC, 2013)

CAPITULO 3. DESARROLLO

3.1 Sistema eléctrico de la casa tipo

La casa tipo ubicada en la parroquia Ricaurte del cantón Cuenca está alimentada por la red de energía pública desde el transformador trifásico # 15578 de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. (EERCS, 2017)

El diagrama eléctrico unifilar de la casa se muestra en la siguiente figura.

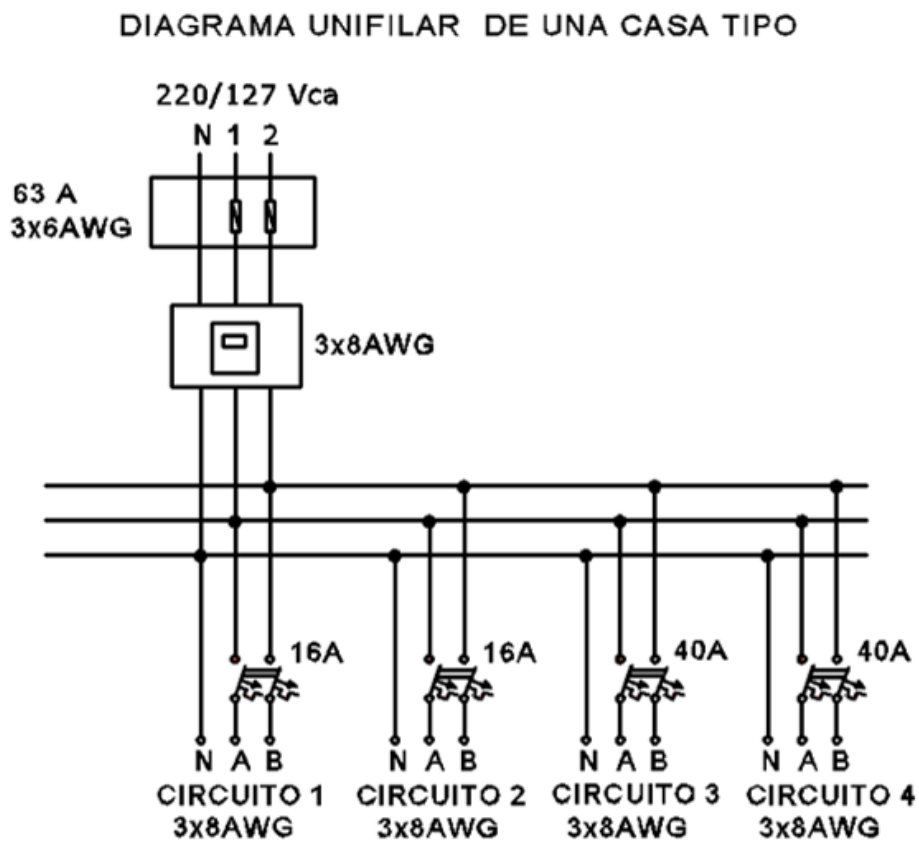


Figura 16. Diagrama unifilar de la casa
Fuente: Autor

La carga instalada en la casa tipo residencial se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Tabla V. Cálculo de consumo eléctrico de la casa tipo de una familia clase media (Autor)

CONSUMO ELECTRICO						
Artefactos Eléctricos	Potencia Eléctrica		Cantidad de artefactos	Horas consumo día	Días consumo mes	Consumo mensual KWh
	Watts	KW				
Aire acondicionado	1200	1,2	0	0,15	15	0,00
Aspiradora	1000	1	1	0,5	4	2,00
Batidora	200	0,2	1	0,25	8	0,40
Bomba de agua	746	0,746	0	0,75	30	0,00
Cafetera	600	0,6	1	0,25	15	2,25
Calefactor	1000	1	0	1	20	0,00
Calentador de agua	3000	3	0	0,25	30	0,00
Cargador de celular	4,5	0,0045	4	6	30	3,24
Cocina de inducción	4000	4	0	0,85	30	0,00
Computadora	80	0,08	4	8	30	76,80
Ducha eléctrica	1000	1	0	0,25	8	0,00
DVD	25	0,025	1	4	8	0,80
Equipo de sonido	120	0,12	1	2	8	1,92
Focos ahorradores	20	0,02	18	5	30	54

Focos led	8	0,008	8	5	30	9,6
Foco incandescente	60	0,06	1	4	30	7,2
Horno	800	0.8	1	0,25	10	2,00
Impresora	17	0,17	1	0,25	15	0,06
Jacuzzi	550	0,55	0	1	4	0,00
Lámpara fluorescente 20 W	20	0,2	0	4	30	0,00
Lámpara fluorescente 40 W	40	0,4	0	4	15	0,00
Lavadora	1000	1	1	1	10	10,00
Licuadaora	350	0,35	1	0,2	20	1,40
Microondas	1500	1,5	1	0,25	12	4,50
Olla arrocera	800	0,8	0	0,25	12	0,00
Plancha eléctrica	1000	1	1	1	5	5,00
Radio grabadora	30	0,03	1	4	30	3,60
Refrigeradora 1 puerta	220	0,22	1	6	30	39,60
Refrigeradora 2 puertas	400	0,4	0	6	30	0,00
Router ADSL/Wifi	10	0,01	1	24	30	7,20

Secadora de cabello	900	0,9	1	0,25	20	4,50
Secadora de ropa	2000	2	0	0,5	5	0,00
Teléfono inalámbrico (base)	25	0,25	1	24	30	18,00
TV de 14"	80	0,08	1	4	30	9,6
TV de 32" o mas	150	0,15	1	4	30	18,00
Ventilador	130	0,13	0	1	15	0,00
Waflera	700	0,7	1	0,1	15	1,05
TOTAL, CONSUMO AL MES EN (KWh)						282,72
SUBSIDIO GOBIERNO (KW h)						0
TOTAL A FACTURAR (KWh)						282,72
COSTO DEL KWh (REFERENCIAL)						\$ 0,0933
PAGO DE ENERGIA						26,37

Fuente: (ARIZAGA, 2015)

3.2 Sistema fotovoltaico conectado a la red

Para implementar el sistema de Generación Distribuida conectado a la red pública se utilizaron 2 Paneles Solares Policristalinos de 230 Wp, 1 Microinverter SMA SUNNY BOY 240 US y un módulo de conexión y comunicación SUNNY MULTIGATE, detallados a continuación.

3.2.1 Elementos de conexión.

3.2.1.1 Módulos fotovoltaicos.

Panel Solar Policristalino de silicio (Si-p) que se obtiene de bloques de silicio por fusión de bocados de silicio puro en moldes especiales. (D.P.LORA ENCALADA, 2012)



Figura 17. Panel Solar Policristalino
Fuente: (PROVIENTO S.A., 2017)

En la siguiente tabla se muestra las características técnicas de los equipos de generación fotovoltaica utilizados en nuestro proyecto.

Tabla VI. Características técnicas del panel fotovoltaico

PANEL SOLAR POLICRISTALINO 230 wP	
Panel Policristalino	230 Wp /30 V
Potencia	230 W
Tolerancia	3 %
Voltaje a circuito abierto	36.6 V
Voltaje optimo	29.5 V
Corriente de corto circuito	8.42 A
Corriente optimo	7.80 A
Configuración	156 X 156 mm Módulos 6 X 10
Max. Voltaje String	1000 VDC
Dimensiones	1650 X 992 X 45 mm
Certificación	IEC, CE, TUV
Origen	China

Fuente: (PROVIENTO S.A., 2017)

3.2.1.2 Inversor SMA SUNNY BOY 240 US Microinverter.

El inversor es el encargado de convertir la corriente continua generada por los paneles solares instalados en corriente alterna con todas las características para que pueda ser

instalada y se adapte a la red de distribución pública sin problemas. Estos inversores tienen las siguientes funciones (SMA SOLAR TECHNOLOGY, 2017) :

- Transformar la corriente continua generada en corriente alterna.
- Garantizar el máximo rendimiento del campo fotovoltaico.
- Acoplar la corriente alterna del sistema a la red sin modificar sus características.



Figura 18. Inversor SMA SUNNY BOY 240 US
Fuente: (COSMOPLAS, 2017)

En la siguiente tabla se muestra las características técnicas del inversor utilizado en esta investigación.

Tabla VII. Características técnicas del Inversor

SMA SUNNY BOY 240US Microinverter	
Entrada de C.C. de los paneles solares con los siguientes datos:	
Potencia máxima:	300 W
Tensión máxima:	45 VDC
Rango de tensión máxima para MPPT:	23 – 29 VDC
Corriente máxima:	8.5 A
Número máximo de strings:	1
Salida de C.A. para conexión a la red con los siguientes datos:	
Potencia máxima:	240 W
Tensión nominal:	211 – 265 VAC
Frecuencia:	60 Hz
Factor de potencia (cos phi)	1

Fuente: (PROVIENTO S.A., 2017)

3.2.1.3 Módulo de conexión y comunicación SUNNY MULTIGATE.

Es el equipo de comunicación que sirve para conectar eléctricamente los micro inversores que pueden ser mínimo 1 y máximo 12 con la red eléctrica para alimentar la corriente alterna generada por los paneles solares a la red pública de distribución.

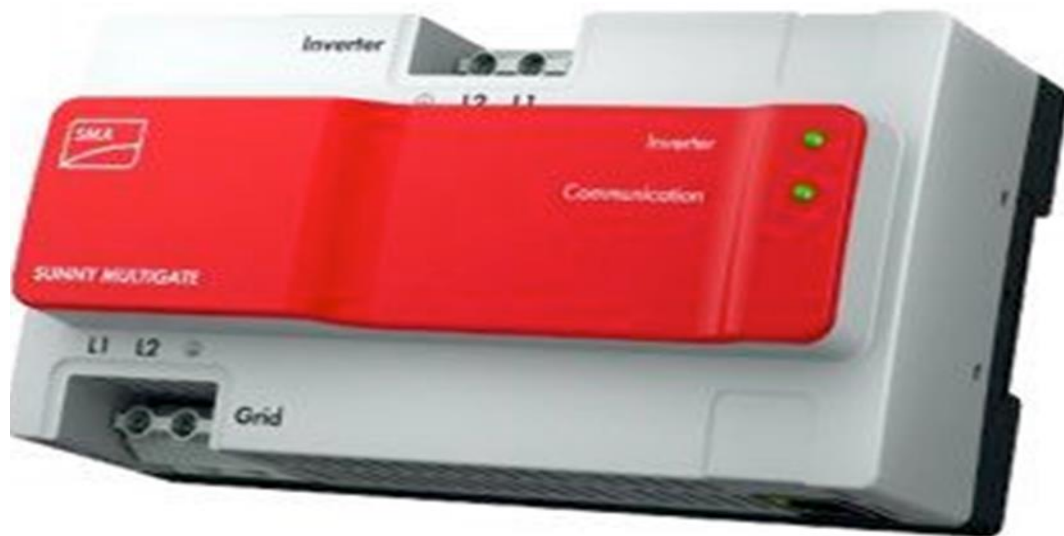


Figura 19. SUNNY MULTIGATE

Fuente: (WHOLESALE SOLAR, 2017)

En la siguiente tabla se detalla las características técnicas del SUNNY MULTIGATE.

Tabla VIII. Características técnicas del SUNNY MULTIGATE- US

SUNNY MULTIGATE – US	
AC INPUT	
Maximum number of connected micro inverters	12
Minimum number of connected micro inverters	1
Máximum input current	12 A
AC OUTPUT	
Rated power at 240 V, 60 Hz	2880 W
Rated grid voltaje	240 W
Nominal AC voltaje	2 x 120 V
AC voltage range	211 V at 264 V
Nominal AC current at 240 V	12 A

Total harmonic distortion of the output current with total harmonic distortion of the AC voltage	≤ 3 %
AC power frequency	60 Hz
Operating range at AC power frequency 60 Hz	59.3 Hz to 60.5 Hz
Máximo permisible fuse protection	15 A
Connection phases	2

Fuente: (SMA, 2017)

3.2.2 Instalación fotovoltaica.

Se utiliza dos paneles solares policristalinos de 230 W conectados en paralelo sumando 460 W.

3.2.2.1 Orientación de los paneles fotovoltaicos.

Los paneles solares para la generación fotovoltaica dependen de la posición angular con respecto al sol sin importar su tecnología de fabricación deben estar orientados hacia el sur geográfico si están instalados en el hemisferio norte y hacia el norte geográfico si esta instalados en el hemisferio sur. (VERGARA, 2014)

3.2.2.2 Inclinación de los paneles fotovoltaicos.

La inclinación de los paneles solares es muy importante en la generación fotovoltaica y se define conociendo en que época del año va haber mayor consumo por ejemplo en verano van a funcionar más tiempo los frigoríficos, ventilación, aire acondicionado, etc. Por lo que se deberán colocar los paneles solares con un ángulo de inclinación que optimice el rendimiento el rendimiento en los meses de verano, el grado de inclinación para invierno corresponderá a la latitud del lugar más 18 grados. (DAMIA SOLAR, 2015)

En nuestro caso en particular está colocado sobre el techo de la casa tipo con una inclinación que evita la acumulación excesiva de polvo y permite una auto limpieza en épocas de lluvia no consideramos la construcción de estructuras adicionales porque la generación no es aislada sino conectada a la red eléctrica pública.



Figura 20. Orientación e Inclinación de los paneles solar de la casa tipo
Fuente: Autor

3.2.2.3 Monitoreo en tiempo real del panel fotovoltaico.

El equipo que nos permite realizar el monitoreo en tiempo real es el SUNNY MULTIGATE, si se desea monitorear utilizando la función Webconnect a través del Sunny Portal se deberá registrar el Sunny Multigate en el Sunny Portal, se puede crear una plataforma virtual para monitorear los siguientes parámetros: Potencia, Energía, Emisiones de CO2, Bitácora de eventos suscitados en la planta, entre otros.

En la siguiente figura tenemos la arquitectura del sistema fotovoltaico utilizado en la investigación realizada.

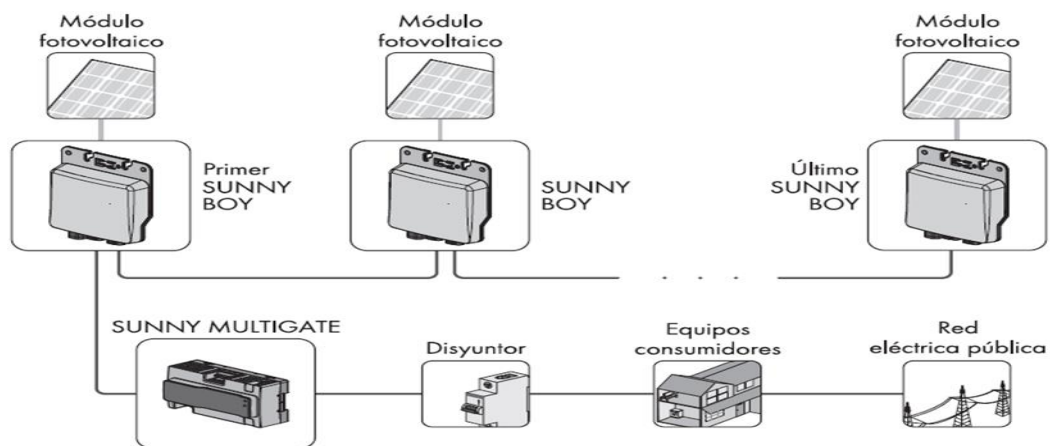


Figura 21. Estructura de una planta fotovoltaica con Sunny Boy 240- US y Sunny Multigate- US
Fuente: (SMA, 2017)

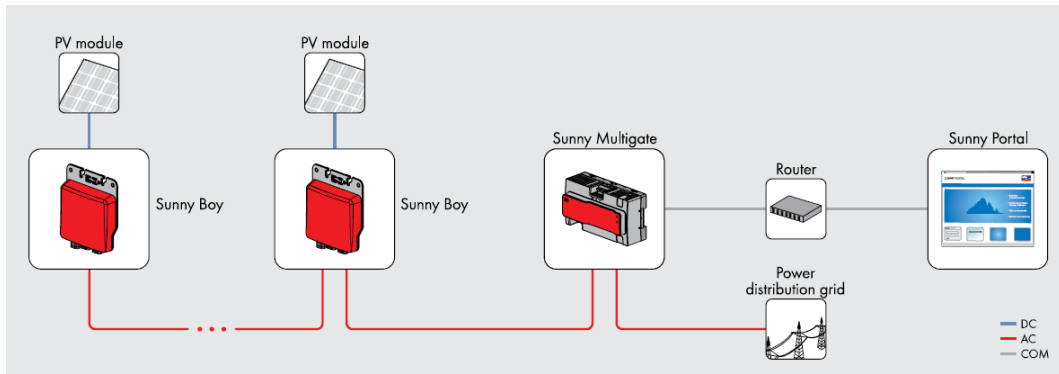


Figura 22. Estructura de una planta fotovoltaica con Monitoreo vía Ethernet
Fuente: (SMA, 2017)

3.2.3 Sistema fotovoltaico conectado a la red.

El sistema fotovoltaico está conectado a la red eléctrica en la casa tipo que a su vez está alimentada desde el transformador trifásico # 15578 de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

El sistema fotovoltaico de 460 W está conformado por dos paneles solares policristalinos de 230 W cada uno con su respectivo inversor para la conversión de C.C. a C.A. y enlazado a la red eléctrica a través de un equipo de comunicación que además nos permite monitorear en tiempo real mediante una conexión de Ethernet como podemos apreciar en la figura 23.

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED PÚBLICA

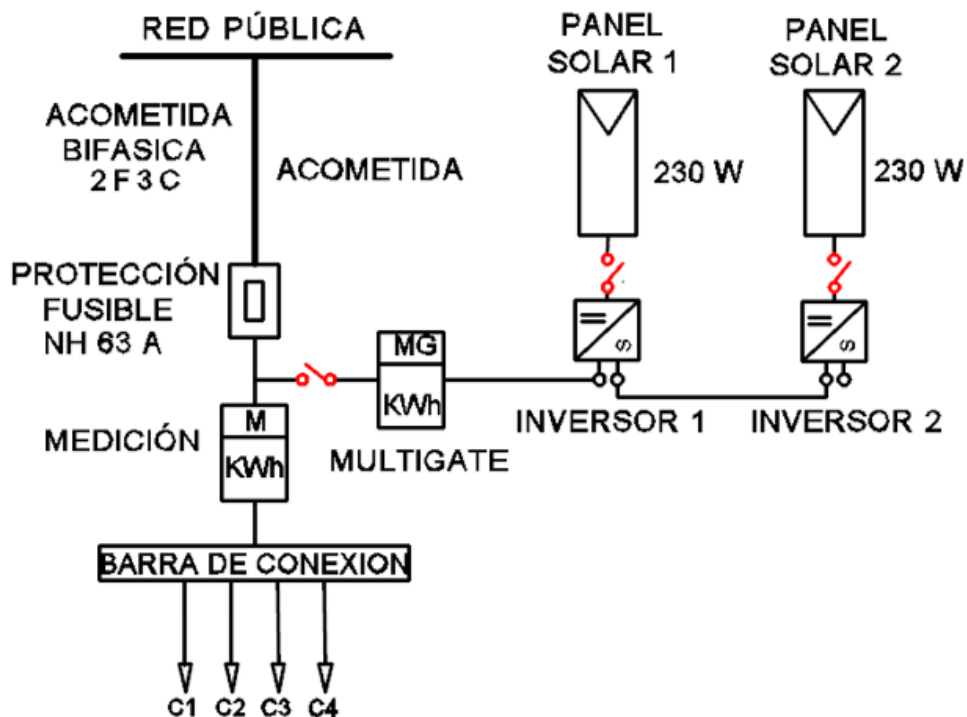







Figura 23. Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica conectada a la red
Fuente: Autor

3.2.4 Bitácora de eventos.

Los eventos que se registran durante el periodo de medición del sistema fotovoltaico se identifican mediante tres tipos de mensajes en la tabla siguiente se puede ver el símbolo y el tipo de mensaje.

Tabla IX. Estado de la instalación

Símbolo	Texto debajo del símbolo	Explicación
	Bitácora de la instalación	Toda la información de estado disponible de los equipos es correcta
	n equipos(s) no accesibles(s)	Toda la información de estado disponible de los equipos es correcta, pero no se dispone de información de estado de todos los equipos. Debajo del símbolo se indica el número de equipos que no están accesibles, por lo que no ha podido registrarse el estado de estos.
	n equipos(s) con advertencias	Hay una advertencia. Debajo del símbolo se indica el número de equipos afectados por la advertencia.
	n equipo(s) con errores	Se ha producido un error. Debajo del símbolo se indica el número de equipos afectados por el error.
	Bitácora de la instalación	Se desconoce el estado de todos los equipos. Puede obtener más información a través del enlace Bitácora de la instalación que aparece debajo del símbolo.

Fuente: (SMA, 2017)

Una vez instalado el sistema fotovoltaico es decir colocados los paneles solares en el techo, los inversores correctamente acoplados a cada panel y estos a su vez conectados al multigate que es el encargado de la comunicación primero con la red eléctrica, luego a través de la conexión de Ethernet nos registra todo lo que ocurre con el sistema fotovoltaico en tiempo real.

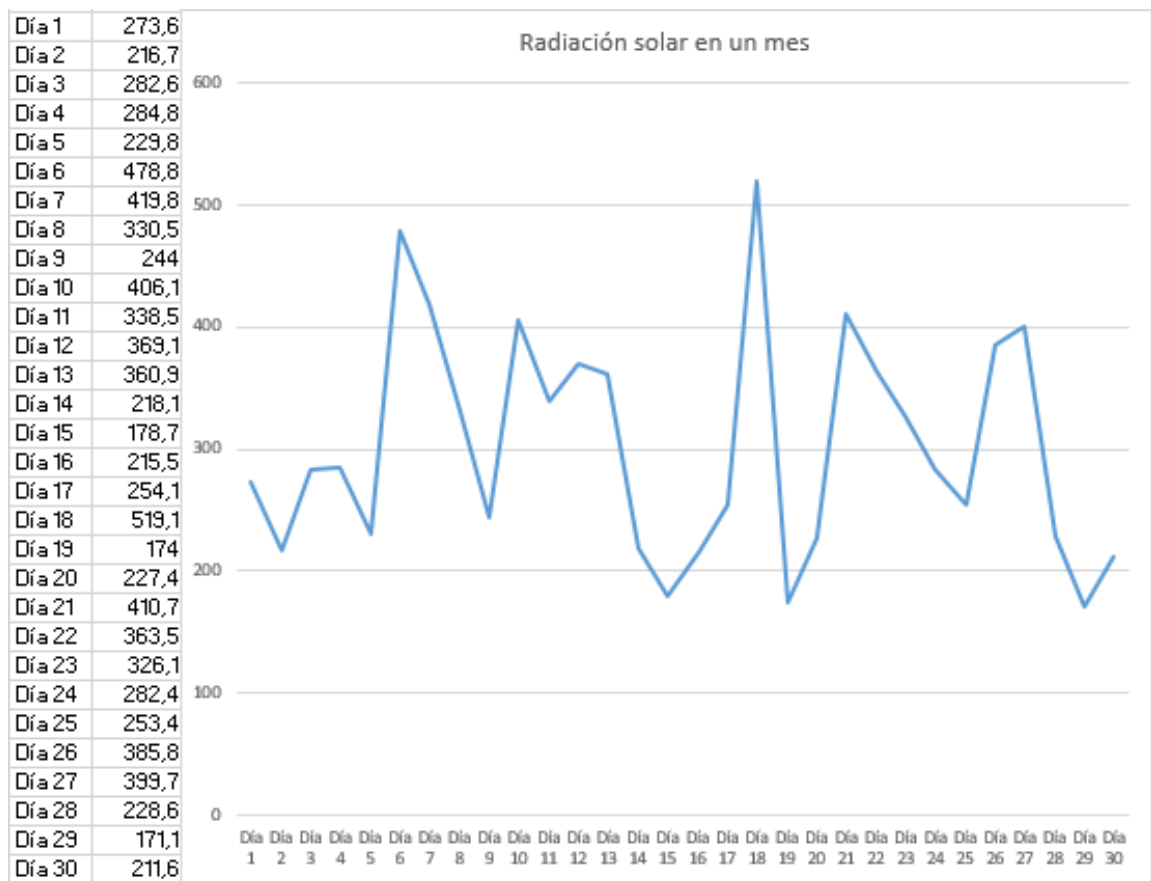


Figura 26. Parámetros meteorológicos en un mes
Fuente: Autor

CAPITULO 4. ANALISIS Y RESULTADOS

Para analizar los resultados de la investigación practica se monitoreo con el equipo analizador de calidad de energía (Power Quality Analyzer Fluke 434) de propiedad de la UCACUE durante siete días continuos sin generación fotovoltaica y siete días continuos con generación fotovoltaica como nos indica la regulación 004/01, se utilizó la norma IEEE Std. 1159.

Luego del monitoreo con el equipo de calidad de energía no se pudo descargar la base de datos de los parámetros medidos, en vista de que la Universidad no cuenta con la licencia para realizar este proceso, sino solo se puede obtener los promedios, y de esos, se extraen las gráficas; por lo que se utiliza el equipo para medición de calidad de energía de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. (Power Quality Analyzer PQ-Box 100) por el periodo de siete días.

Se analiza por tres días la calidad de energía sin sistema fotovoltaico y cuatro días con sistema fotovoltaico conectado a la red con el equipo (PQ-Box 100) y se apoya con el equipo (Fluke 434) para impresión de pantallas en eventos instantáneos.

4.1 Análisis sin sistema fotovoltaico

En el análisis sin sistema fotovoltaico estamos analizando únicamente la energía eléctrica suministrada por la distribuidora en nuestro caso la Empresa Eléctrica Centro Sur C.A.

4.1.1 Niveles de voltaje.

Como se puede apreciar en las gráficas existen variaciones de voltaje del sistema eléctrico suministrado por el transformador trifásico # 15578 de la EERCS que están dentro del rango permitido excepto en la figura 28 del nivel mínimo de voltaje, los días martes y miércoles hay picos que están por debajo del valor que indica la regulación, pero la calidad de energía se valora con los voltajes medios de la figura 29 y está dentro de los límites permitidos que es el $\pm 10\%$ en el área rural y el $\pm 8\%$ en el área urbana como indica la regulación 004/01.

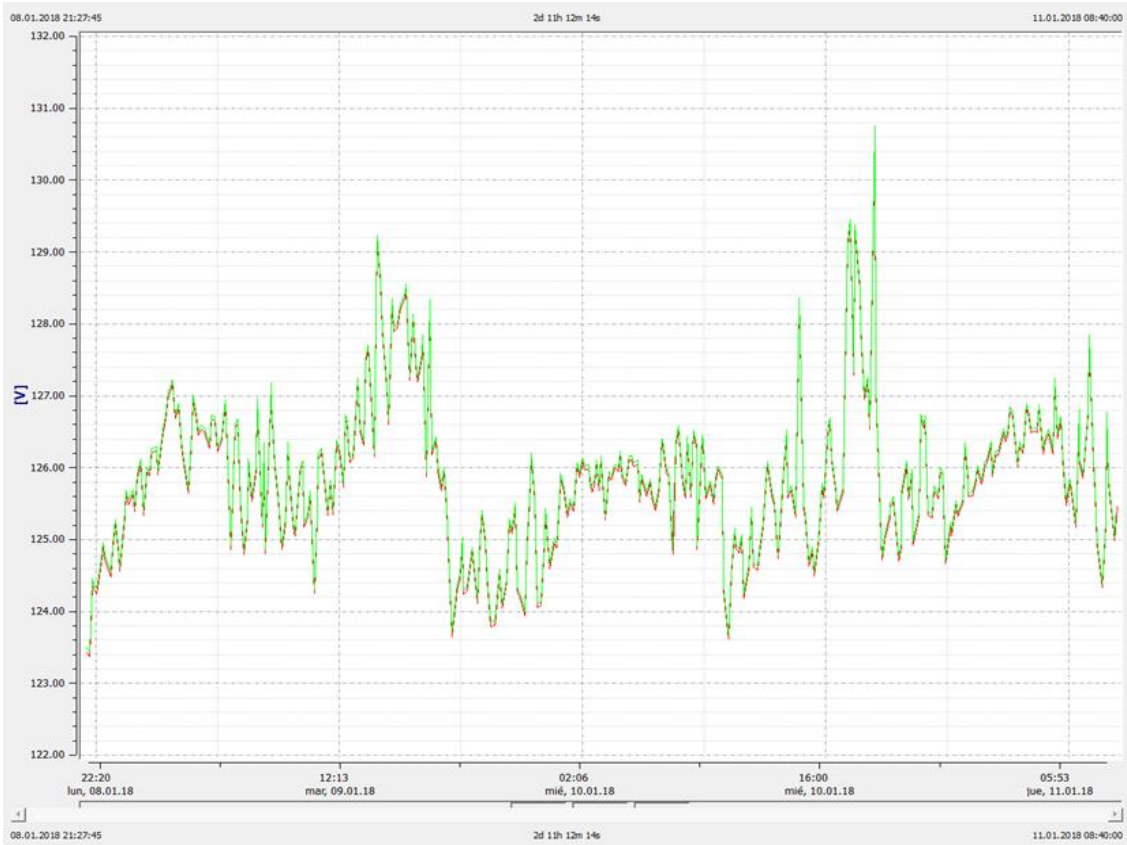


Figura 27. Niveles de voltajes máximos registrados
Fuente: Autor

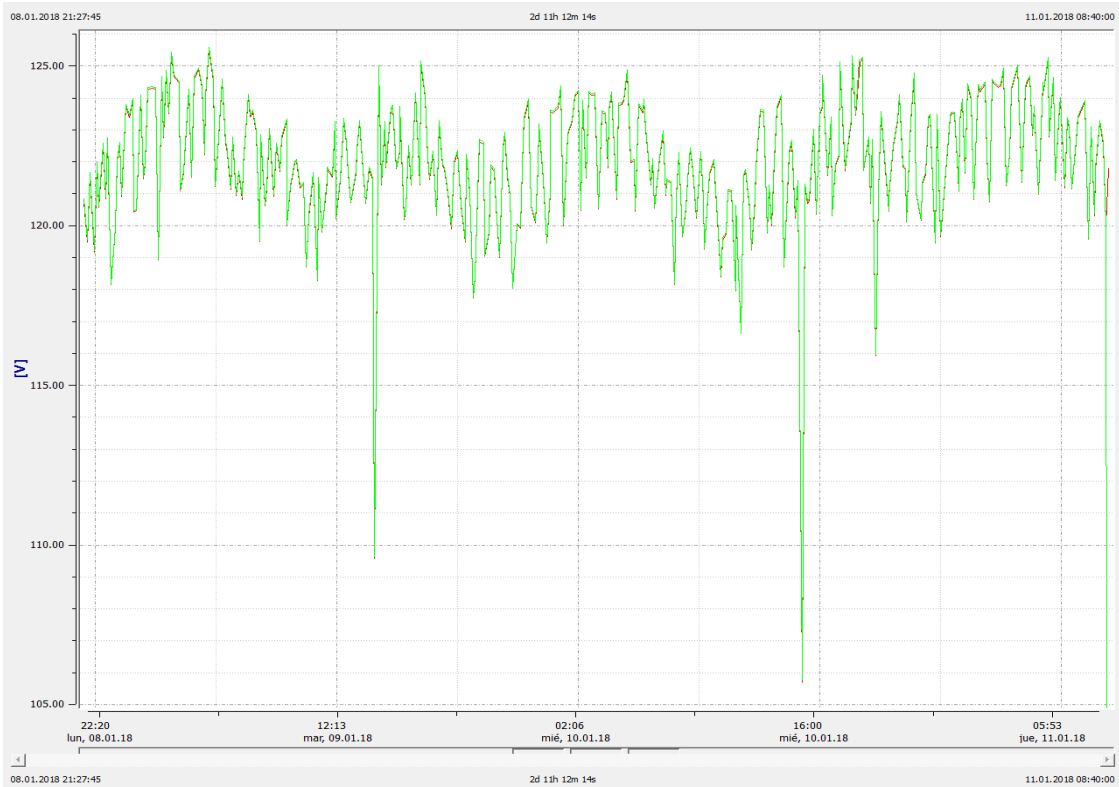


Figura 28. Niveles de voltajes mínimos registrados
Fuente: Autor

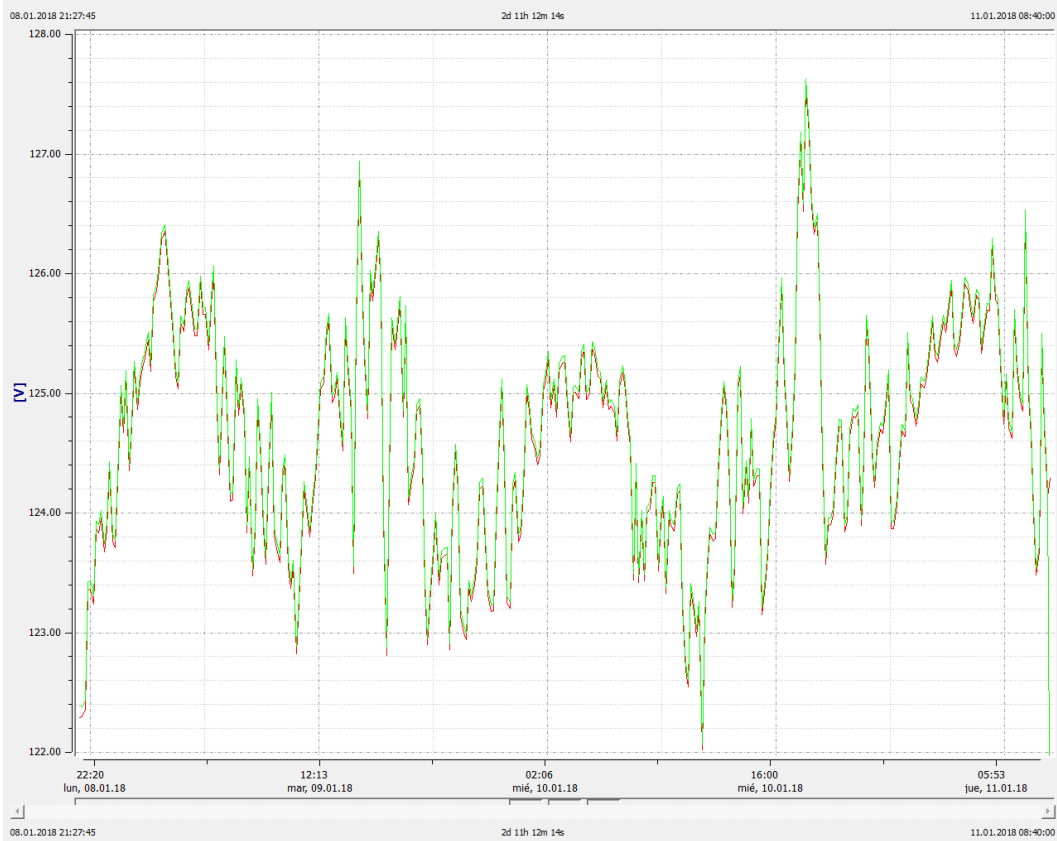


Figura 29. Niveles de voltajes medios registrados
Fuente: Autor

4.1.2 Perturbaciones.

Existen perturbaciones como se puede observar en la gráfica, pero estas están dentro de los límites de la curva ITIC que es una curva de porcentaje de perturbación versus el tiempo de duración y no son peligrosas por lo tanto no pueden causar daño a los elementos instalados en la casa.

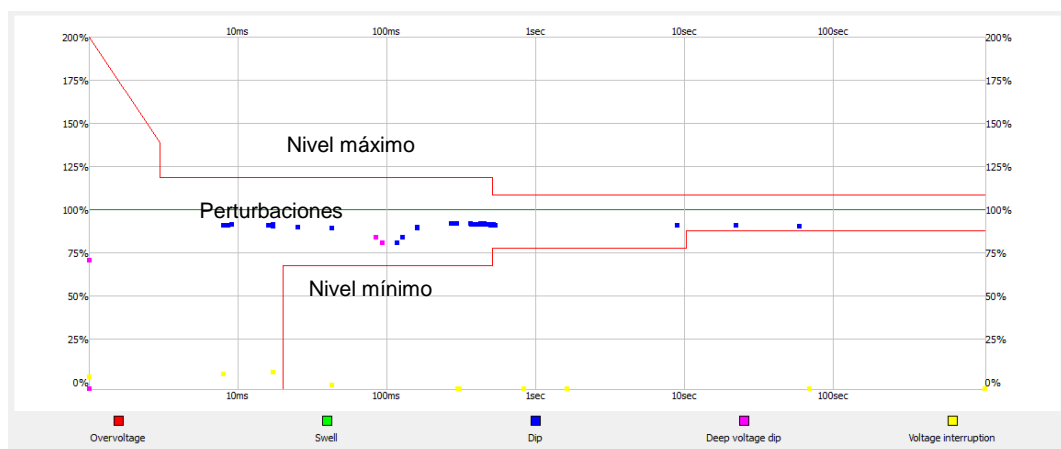


Figura 30. Perturbaciones
Fuente: Autor

4.1.3 Desequilibrio de voltaje.

El desequilibrio de voltaje permitido por la regulación es el 2 %, durante el tiempo de monitoreo podemos observar que no se ha incumplido en la gráfica 31, en la gráfica 32 el equipo nos grafica un 100% de desequilibrio, pero es porque la tercera fase está en cero y el equipo nos calcula el desequilibrio a nivel trifásico.

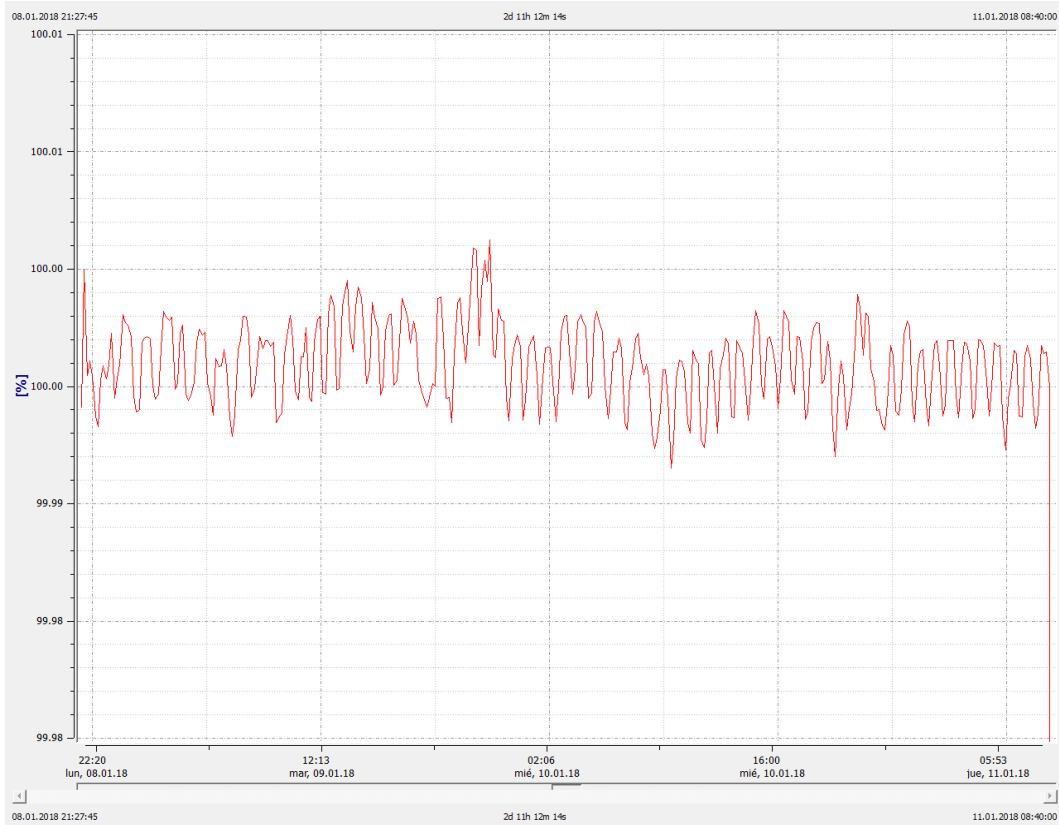


Figura 31. Desequilibrio de Voltaje
Fuente: Autor

Desequilibrio				
	Uneg.	Uzero	Aneg.	Azero
Unbal.(%)	100	0.0	77.5	30.5
	A	B	C	N
Vfund	125.7	125.8	0.1	0.0
Hz	59.96			
	A	B	C	N
$\phi V(^{\circ})$	0.0	-180.0	-28.6	-294.6
$\phi A(^{\circ})$	-168.7	-322.7	-356.5	-272.5
Rfund	2	2	0	0.1
12/01/18 21:02:29 120V 60Hz 2.5-ELMT DEFAULT				
PREV	BACK	NEXT	PRINT	USE

Figura 32. Voltaje equilibrado
Fuente: Autor

4.1.4 Desequilibrio de corriente.

La figura 33 nos muestra valores altos por encima de los permitidos. La regulación nos permite máximo el 10 %. En la figura 33 se grafica los valores medios, porque la mayor carga se encuentra instalada en una fase.



Figura 33. Desequilibrio de Corriente
Fuente: Autor

4.1.5 Armónico de voltaje.

Para el análisis de armónicos de voltaje es permitido hasta el 2% y se lo analiza en la gráfica de la figura 36 donde se puede apreciar que en horas de la madrugada existen armónicos que sobrepasan el valor permitido por la norma y podrían tener su origen en el sistema de alumbrado.

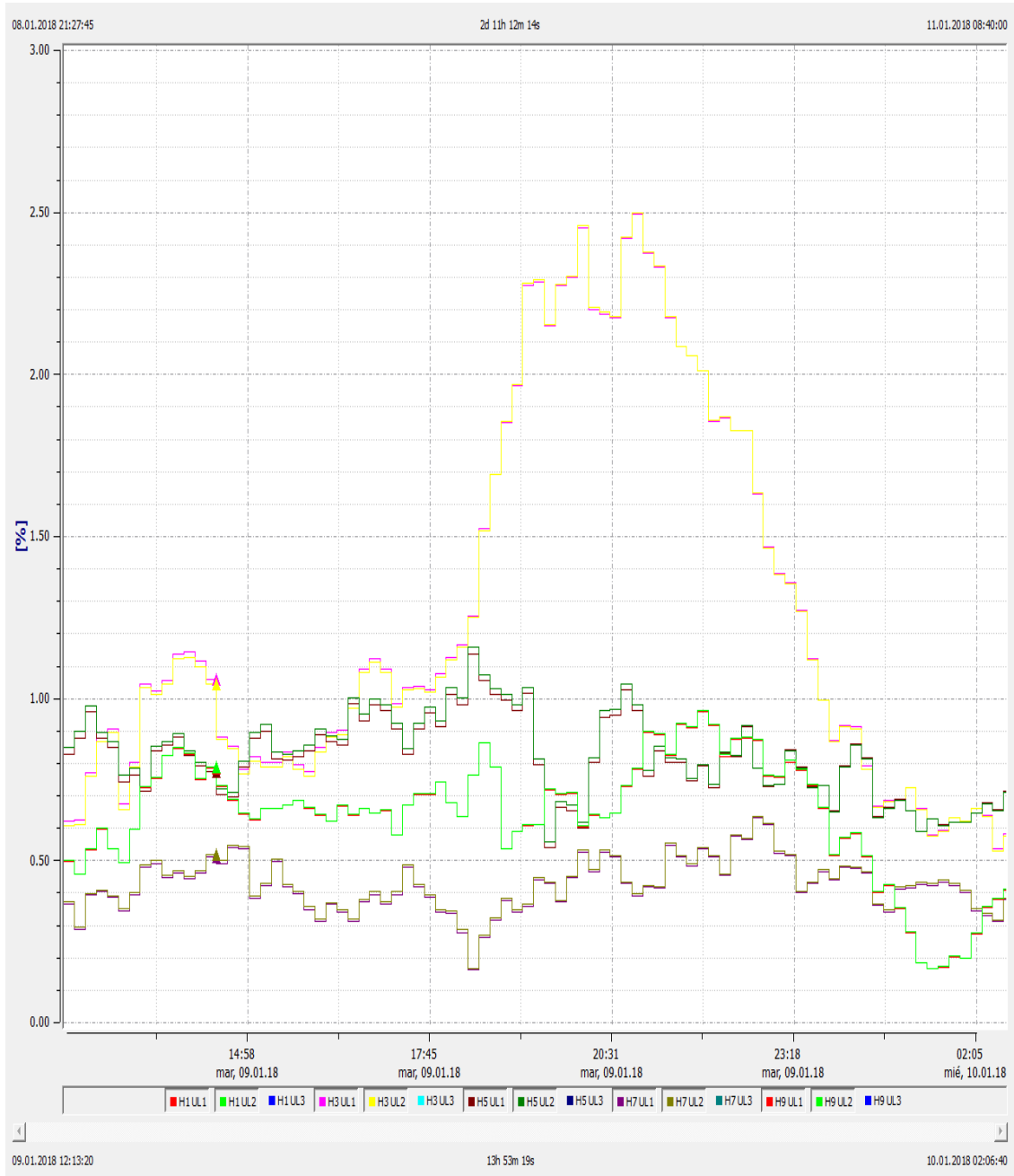


Figura 34. Armónicos de Voltaje de orden impar
Fuente: Autor

En la siguiente grafica podemos observar los armónicos de orden par que también se encuentra dentro de los valores aceptados por la norma.

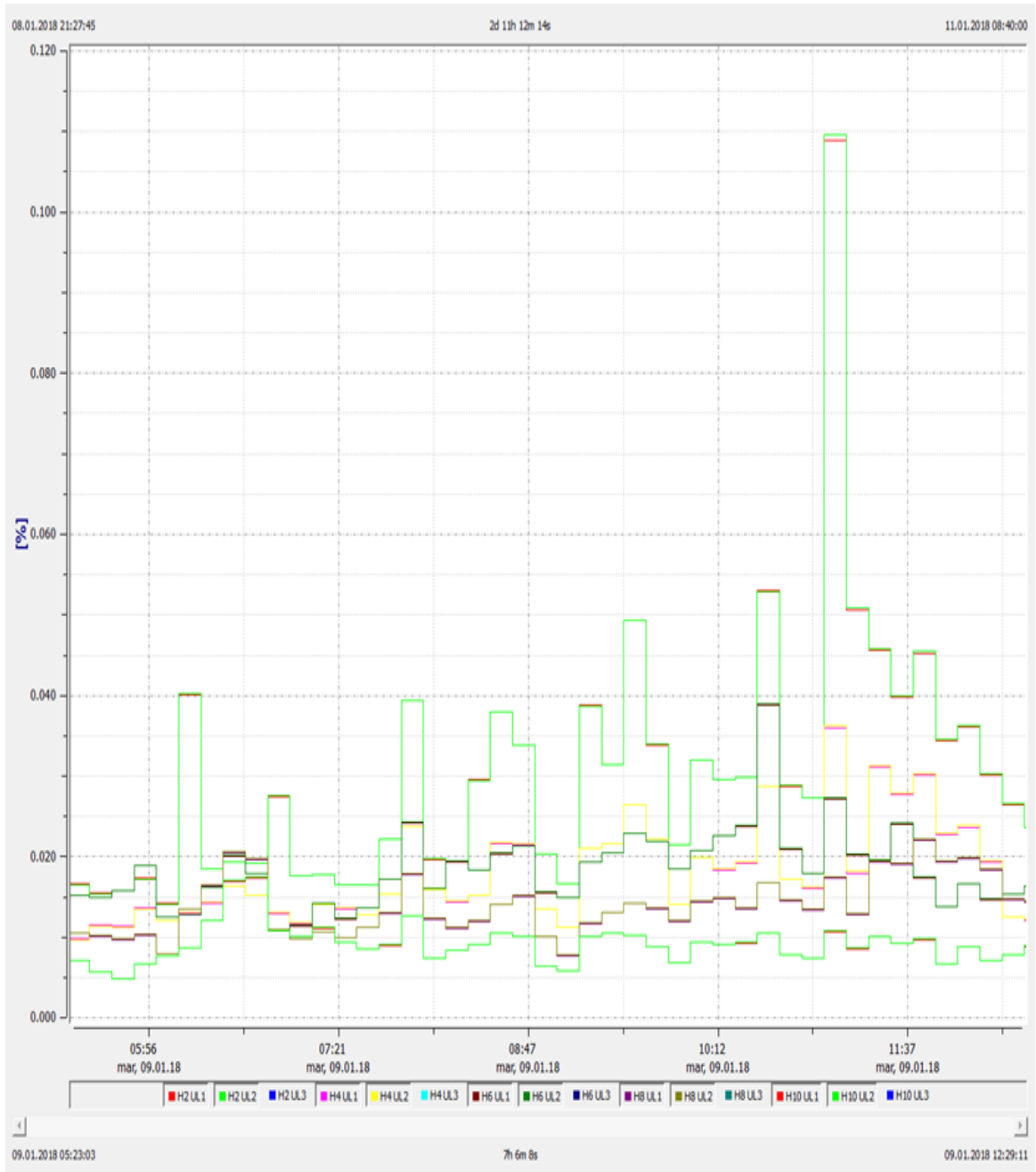


Figura 35. Armónicos de voltaje de orden par
Fuente: Autor

La siguiente grafica corresponde a la distorsión total del voltaje.

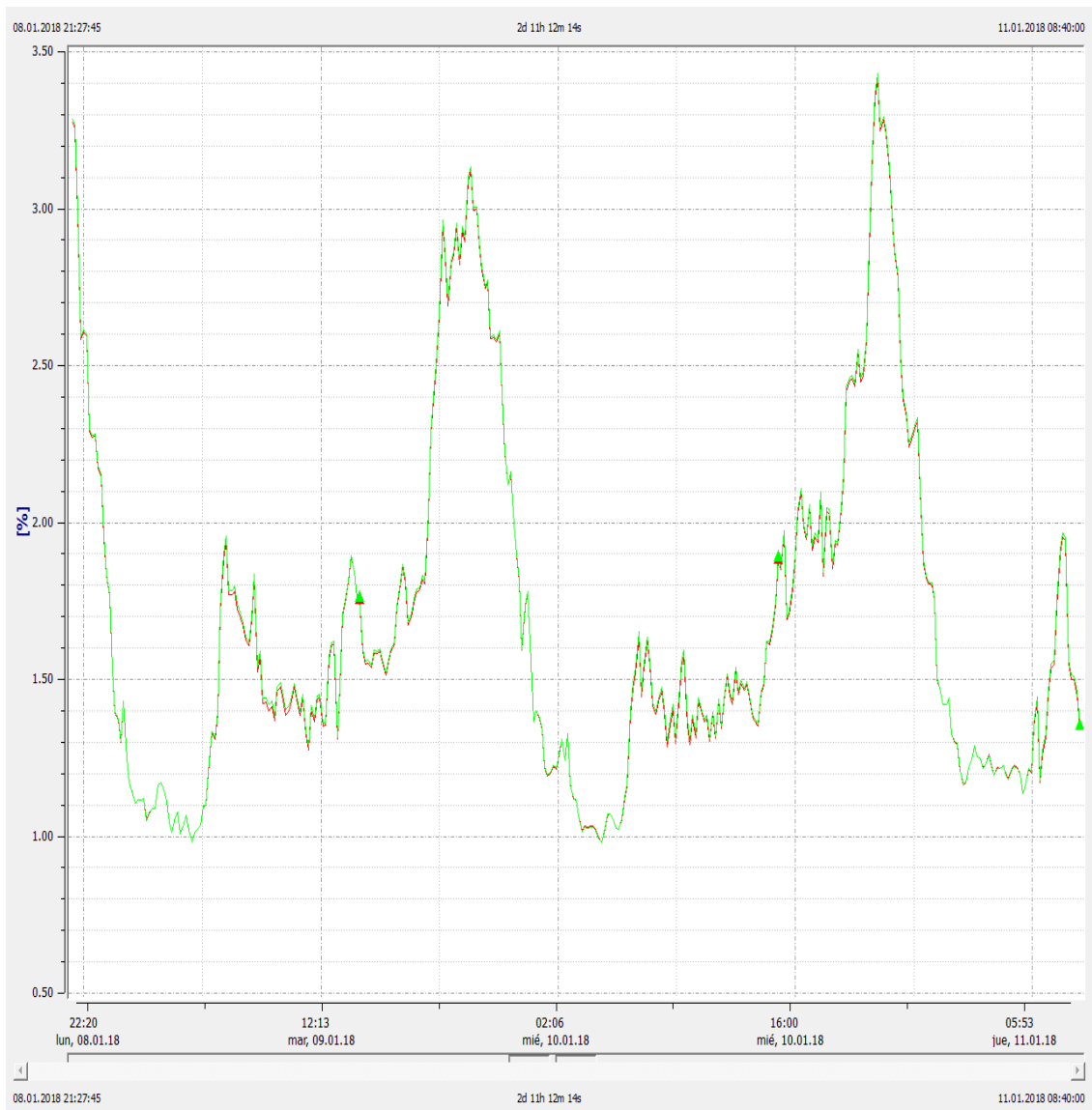


Figura 36. Distorsión armónica total de voltaje
Fuente: Autor

4.1.6 Armónico de corriente.

Los armónicos pares e impares de corriente presentan valores que están fuera de los permitidos y esto tiene que ver con las cargas no lineales instaladas al transformador de distribución de la empresa distribuidora.

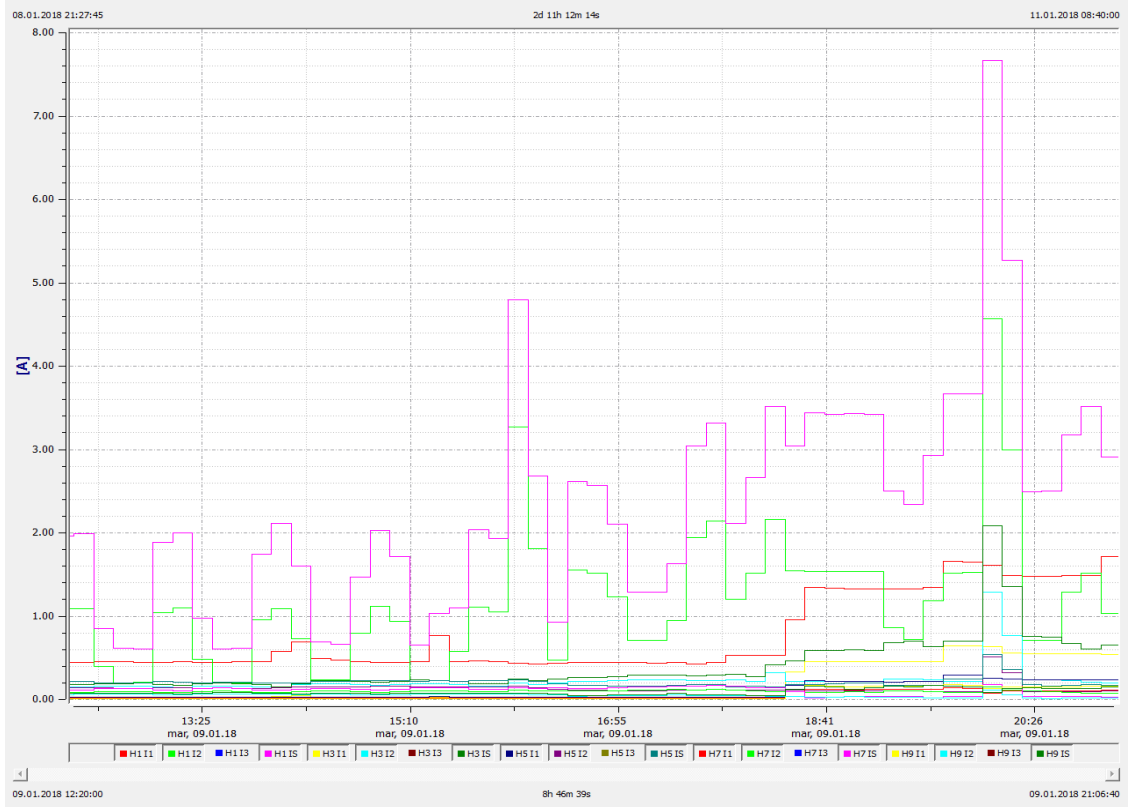


Figura 37. Distorsión armónica de corriente de orden impar
Fuente: Autor

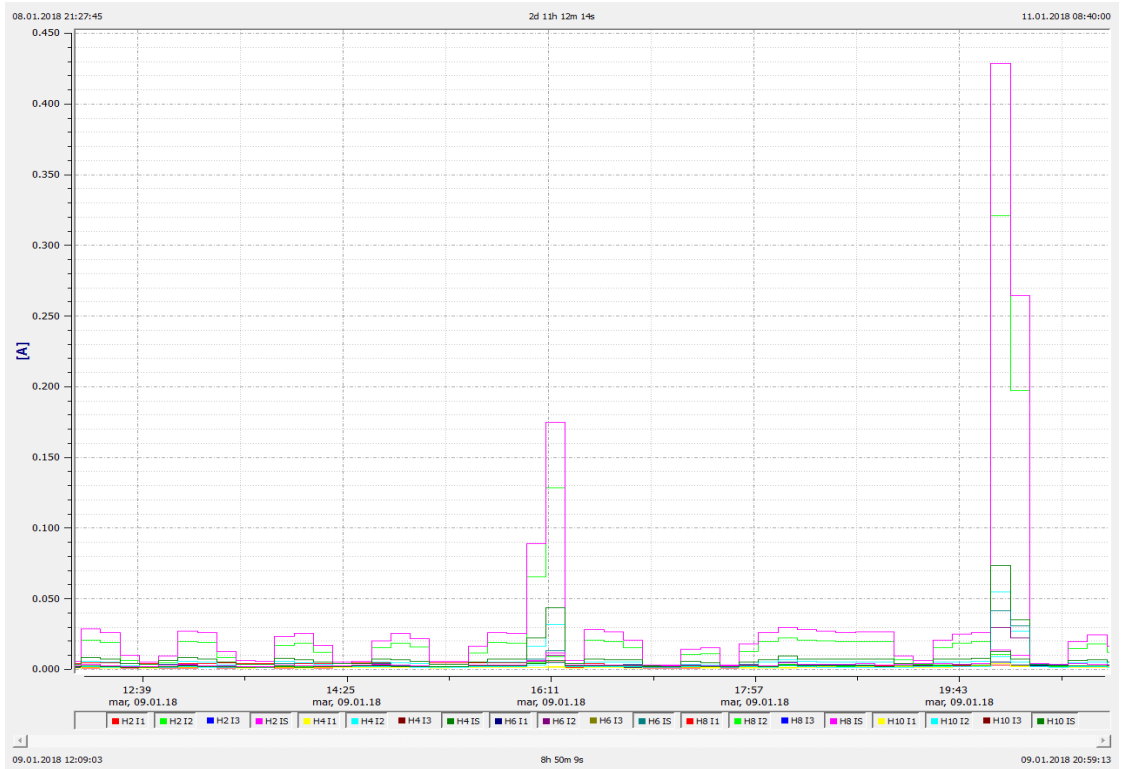


Figura 38. Distorsión armónica de corriente de orden par
Fuente: Autor

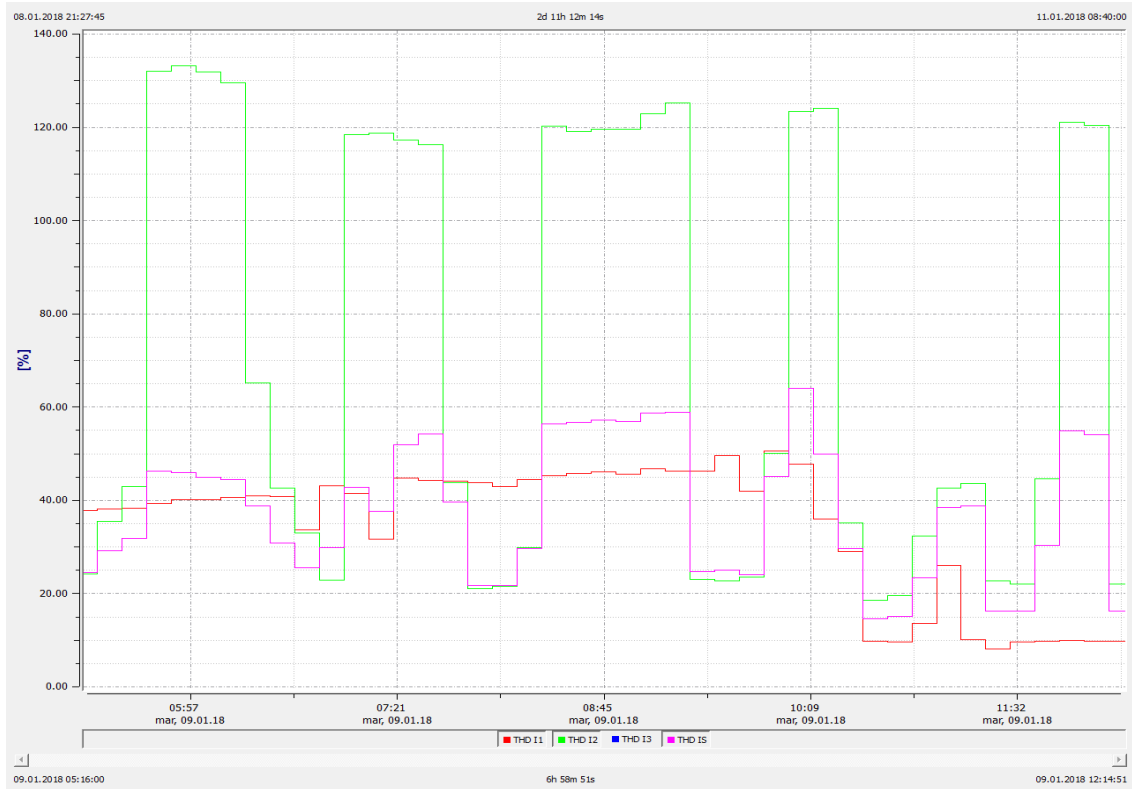


Figura 39. Distorsión armónica total de corriente
Fuente: Autor

4.1.7 Frecuencia.

Para el análisis de frecuencia se toma en cuenta los valores medios de la figura 42 en la que podemos observar que la curva está dentro de los valores permitidos por la norma.

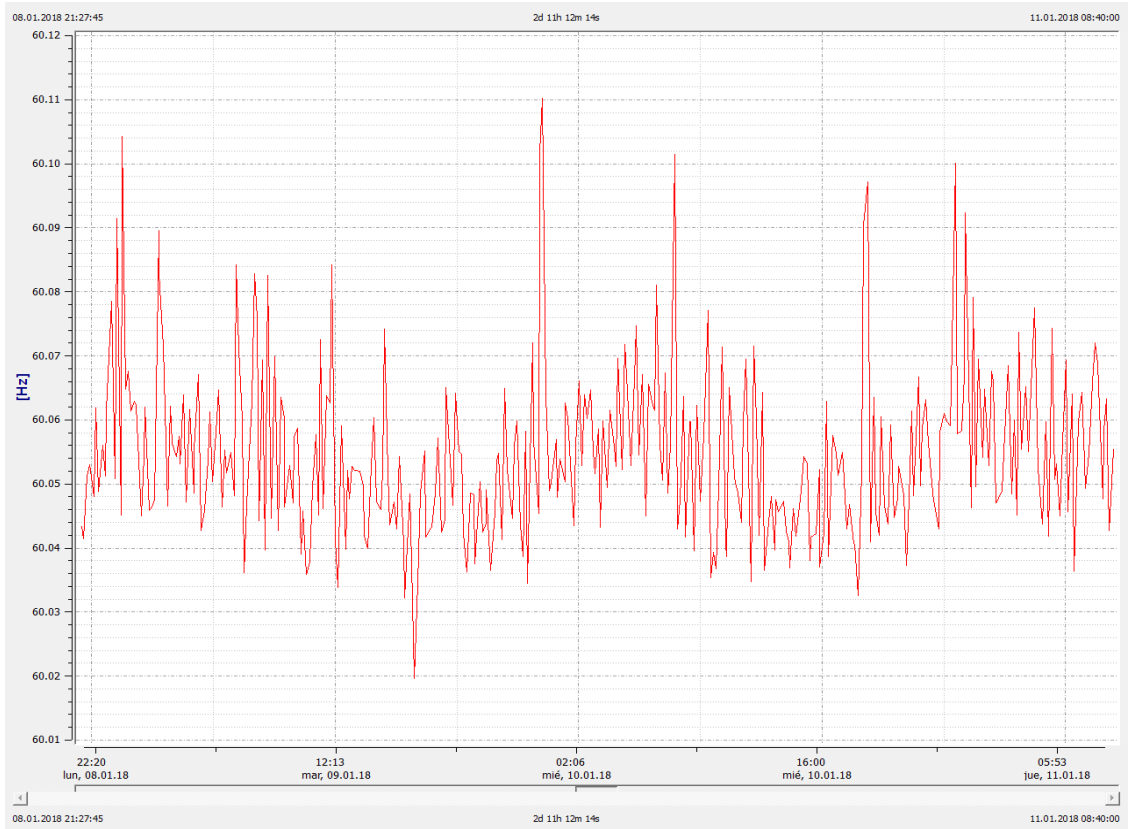


Figura 40. Frecuencia máxima registrada
Fuente: Autor

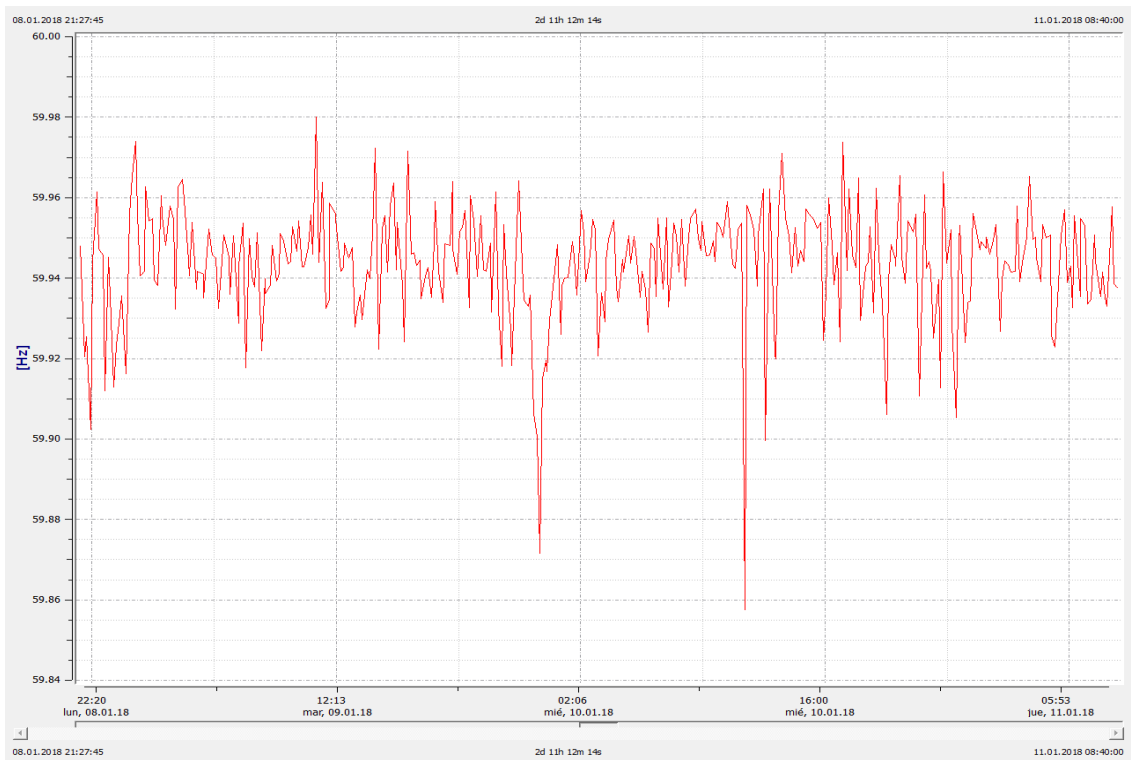


Figura 41. Frecuencia mínima registrada
Fuente: Autor

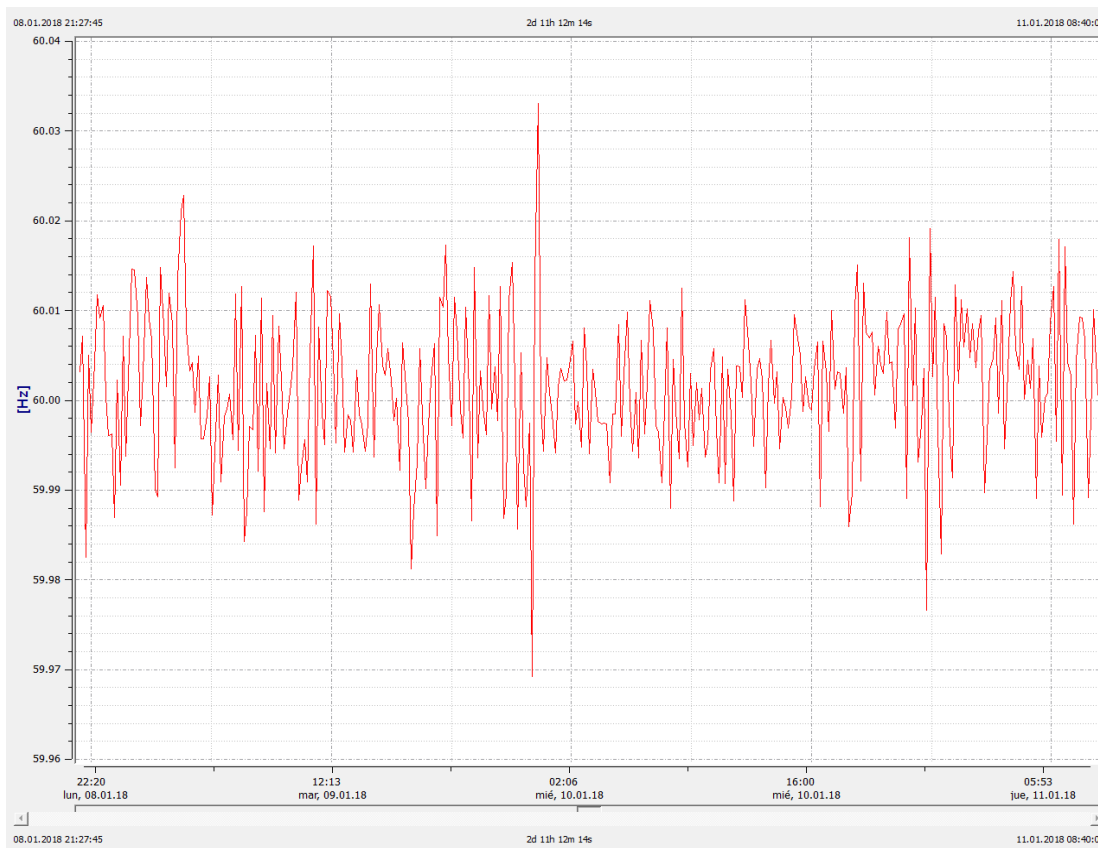


Figura 42. Frecuencia media registrada
Fuente: Autor

4.1.8 Angulo de fase.

El ángulo que existe de desfase entre el voltaje y la corriente lo podemos observar en la gráfica y como es lógico el voltaje se encuentra adelantado por no existir cargas capacitivas instaladas.



Figura 43. Ángulo de desfase entre el voltaje y la Corriente
Fuente: Autor

4.2 Análisis con sistema fotovoltaico

4.2.1 Generación del sistema fotovoltaico.

La potencia generada por los paneles solares se puede observar en la gráfica y tenemos su máxima generación durante las horas de mayor incidencia del sol sobre los paneles.

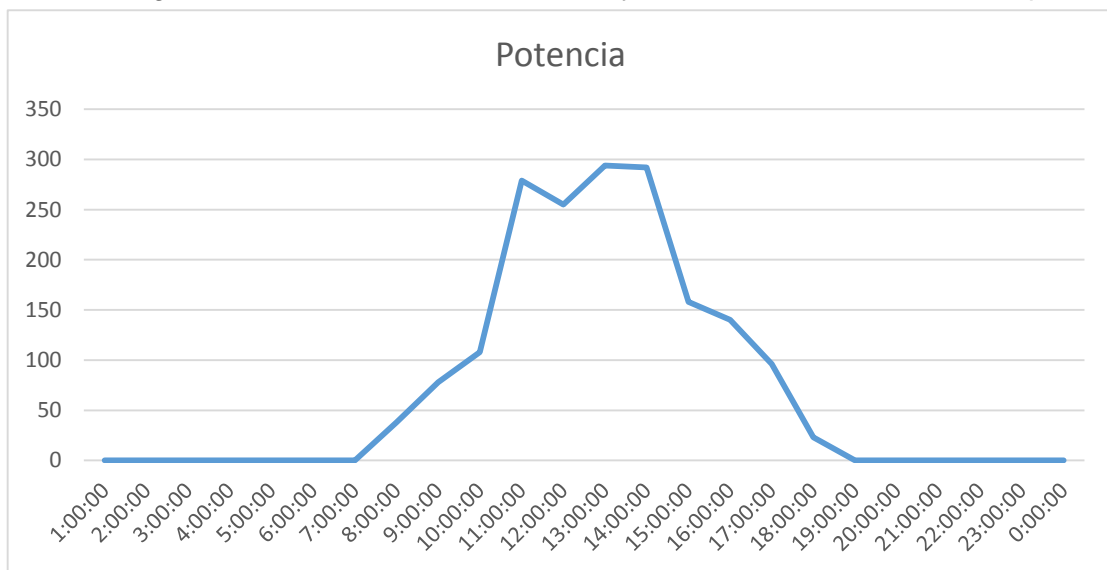


Figura 44. Generación del sistema fotovoltaico
Fuente: Autor

4.2.2 Niveles de voltaje.

El nivel de voltaje según la regulación 004/01 establece que en la sub etapa 1 en el área rural es el $\pm 13\%$ y en la sub etapa 2 es del $\pm 10\%$, valores que no han sido excedidos como podemos apreciar en la figura 47 que es de valores medios dando estándares de calidad en esta magnitud.

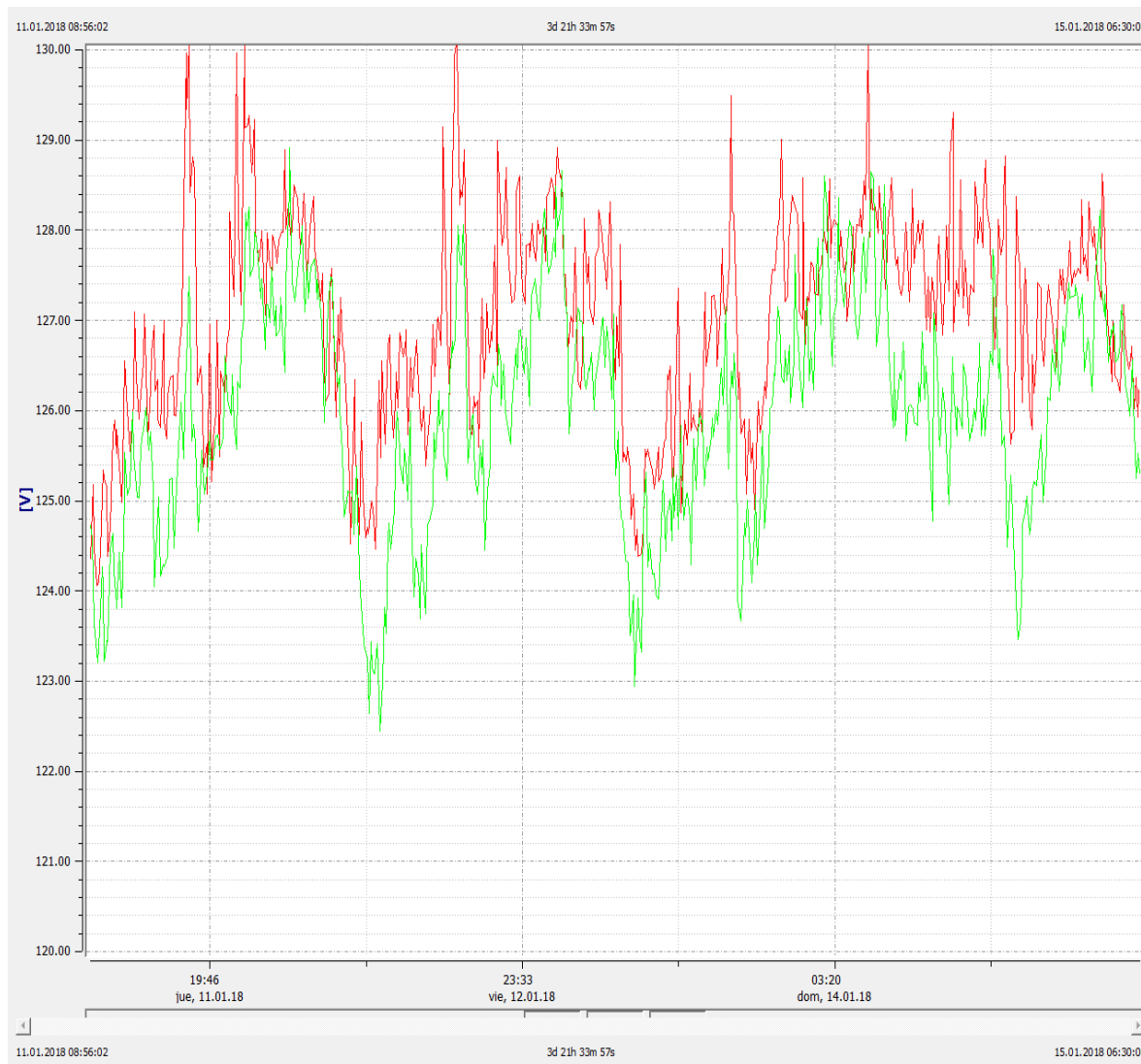


Figura 45. Niveles de voltaje máximos registrados
Fuente: Autor

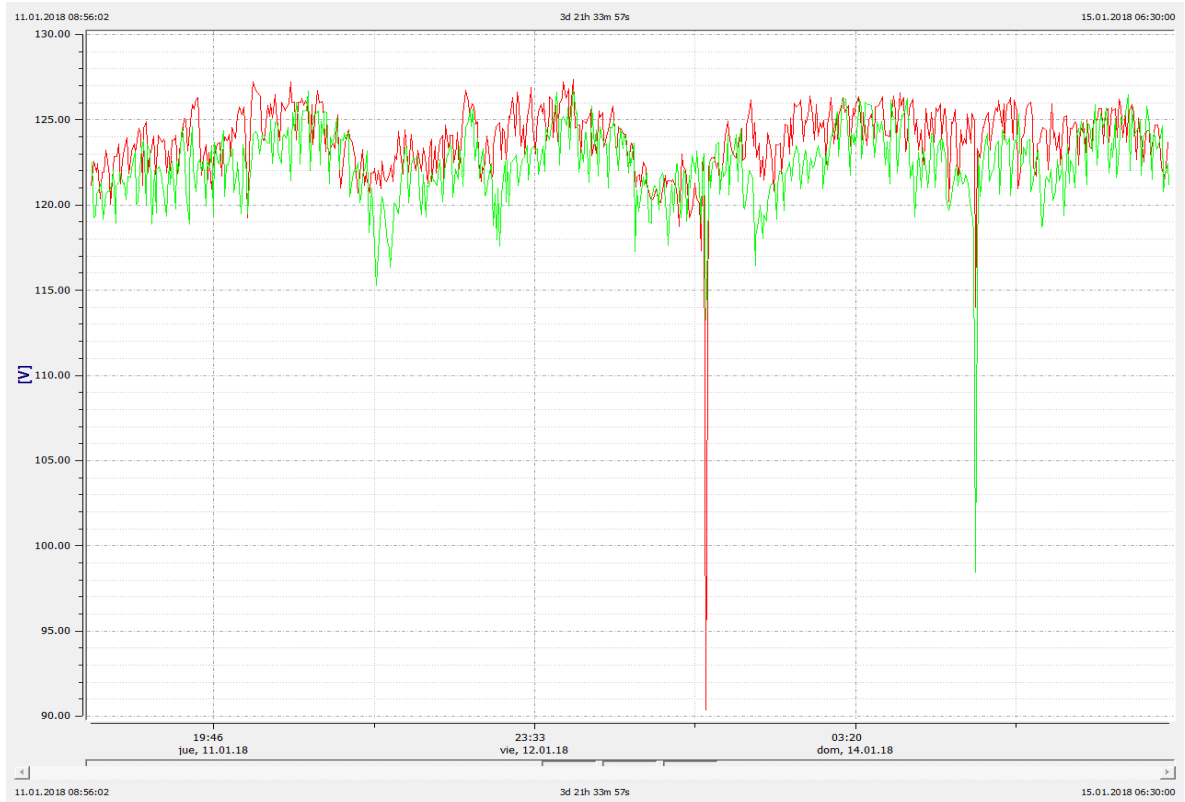


Figura 46. Niveles de voltaje mínimos registrados
Fuente: Autor

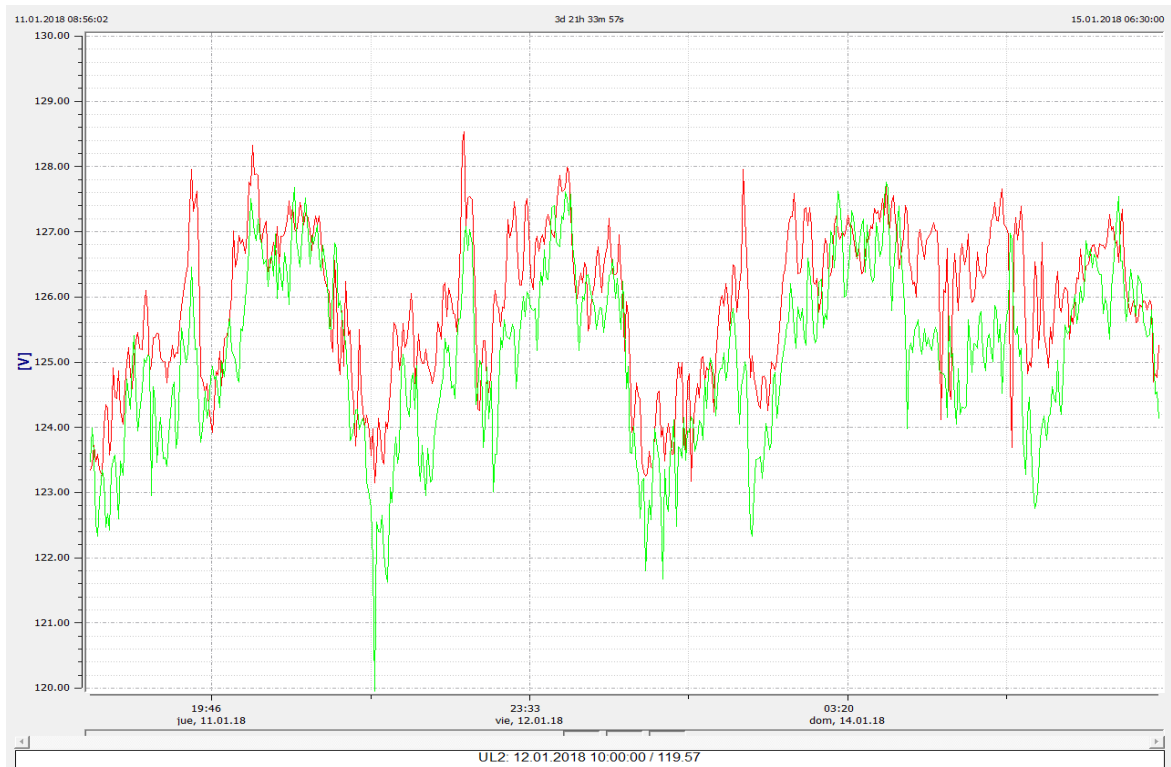


Figura 47. Niveles de voltaje medios registrados
Fuente: Autor

4.2.3 Perturbaciones.

La regulación 004/01 solo establece control sobre las perturbaciones de corta duración por eso para las perturbaciones de larga duración se utilizará la norma IEEE std. 1453 que nos pone como límites 1 y 0.8 para las perturbaciones llamadas también flickers y como observamos están dentro de los límites permitidos y no causan daño a los artefactos de la casa.

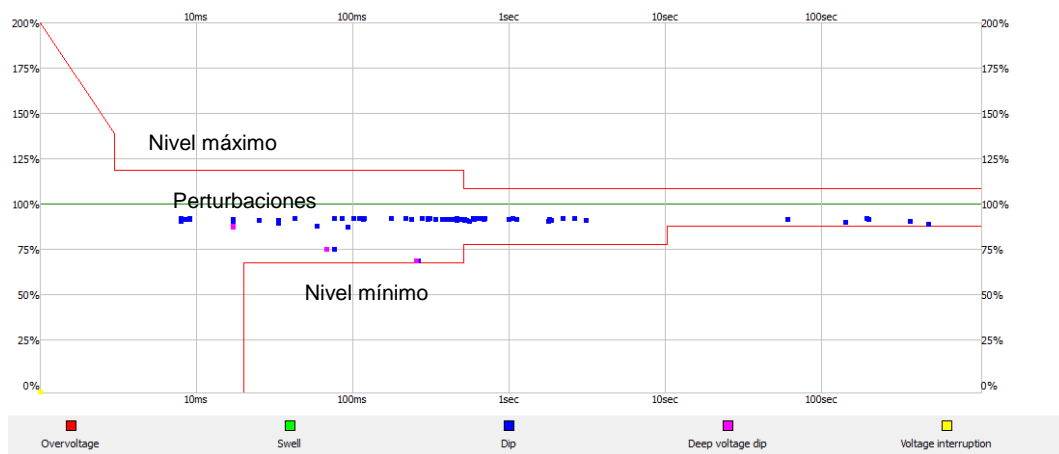


Figura 48. Perturbaciones
Fuente: Autor

4.2.4 Armónico de voltaje.

Los armónicos se analizan en la figura 51 y cómo podemos apreciar esta sobre los límites permitidos por la norma, hay picos que exceden en un 1% y también son en horas de la noche y de la madrugada que podrían ser causados por el alumbrado público.

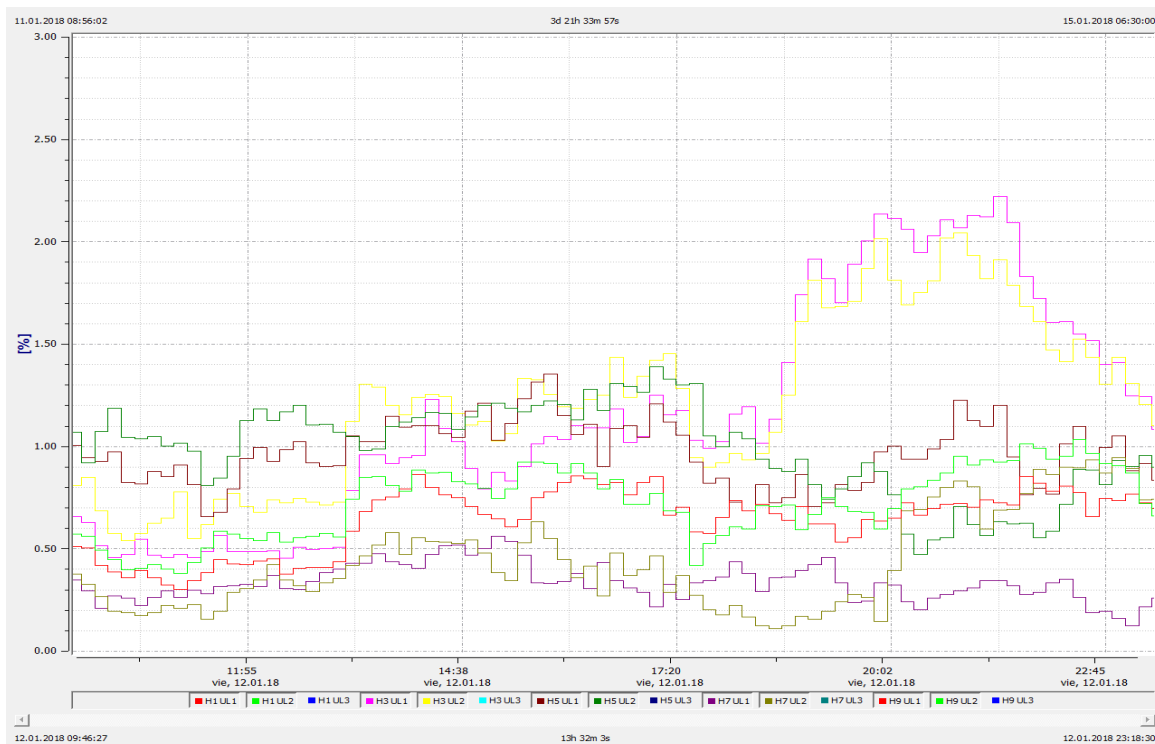


Figura 49. Armónicos de orden impar de voltaje
Fuente: Autor

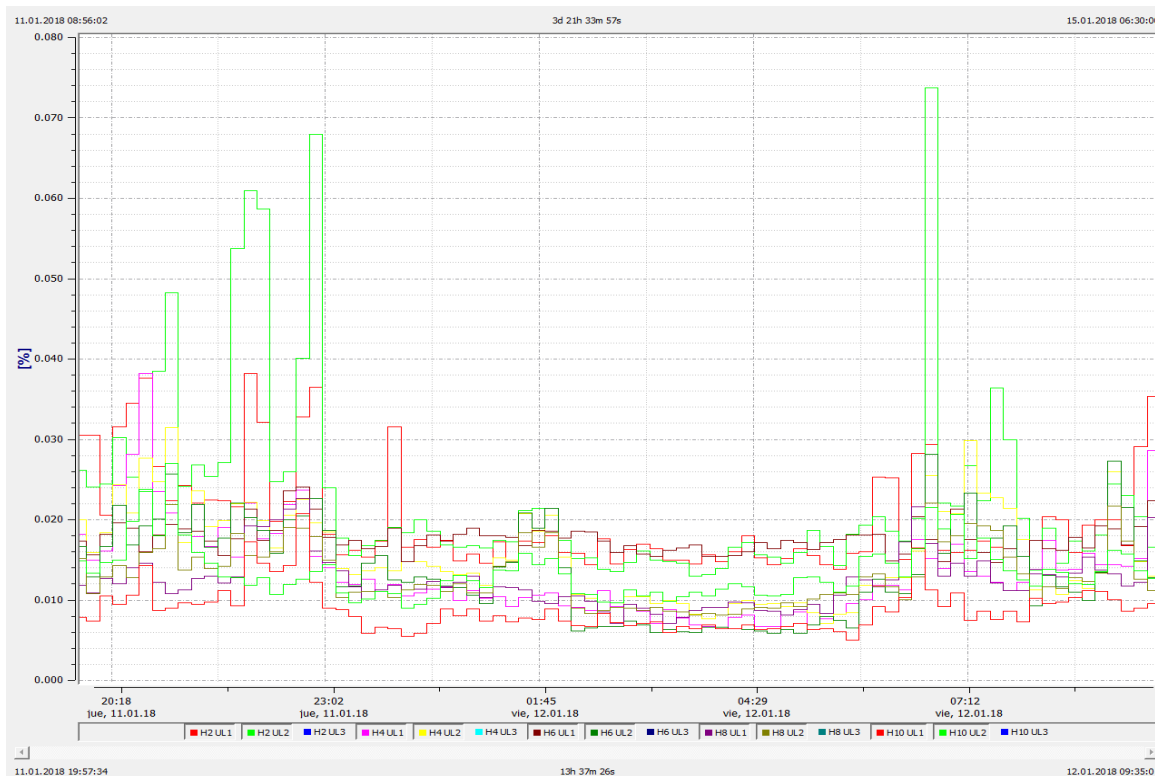


Figura 50. Armónicos de orden par de voltaje
Fuente: Autor



Figura 51. Armónicos totales de voltaje
Fuente: Autor

4.2.5 Armónico de corriente.

Las distorsiones armónicas de corriente tanto de orden par como de orden impar se pueden apreciar en las figuras y se las analiza según las normas ecuatorianas de control de calidad de energía.

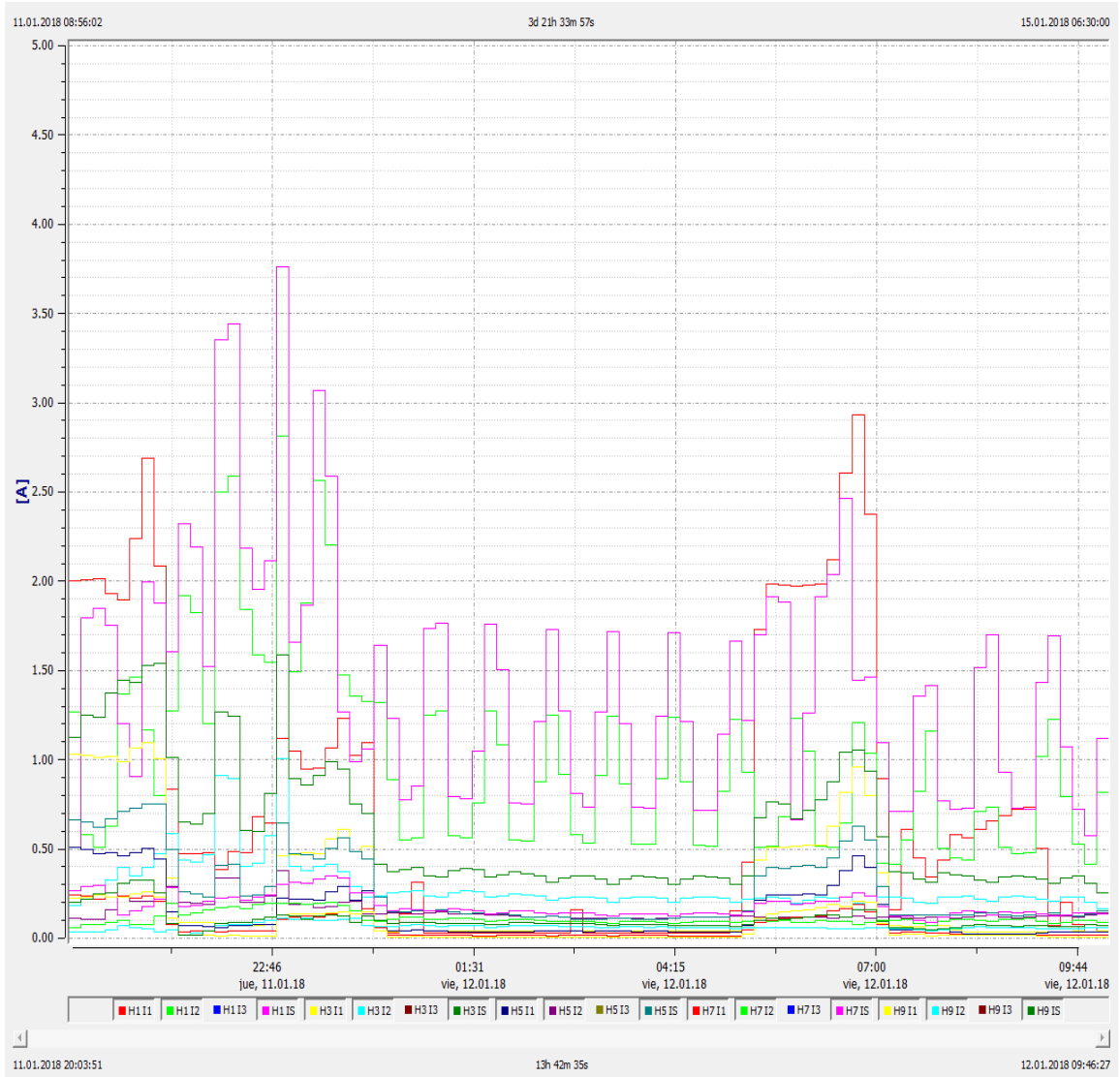


Figura 52. Armónicos de orden impar de corriente
Fuente: Autor

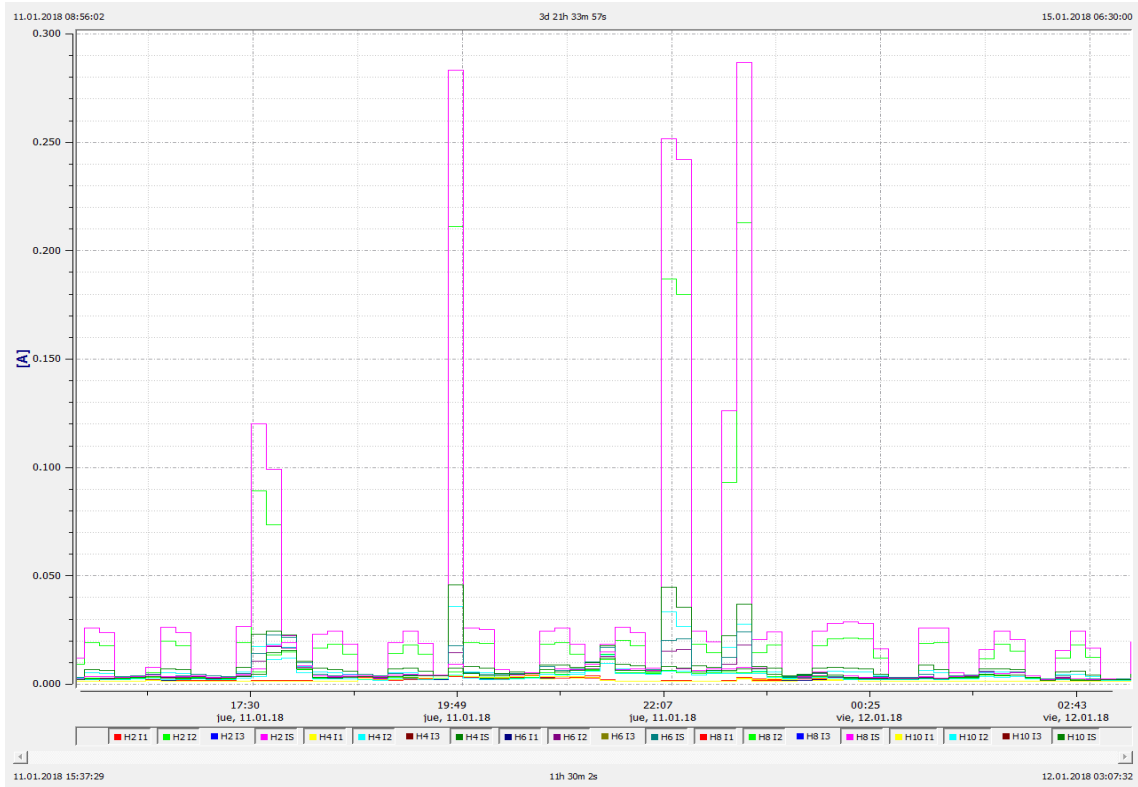


Figura 53. Armónicos de orden par de corriente
Fuente: Autor

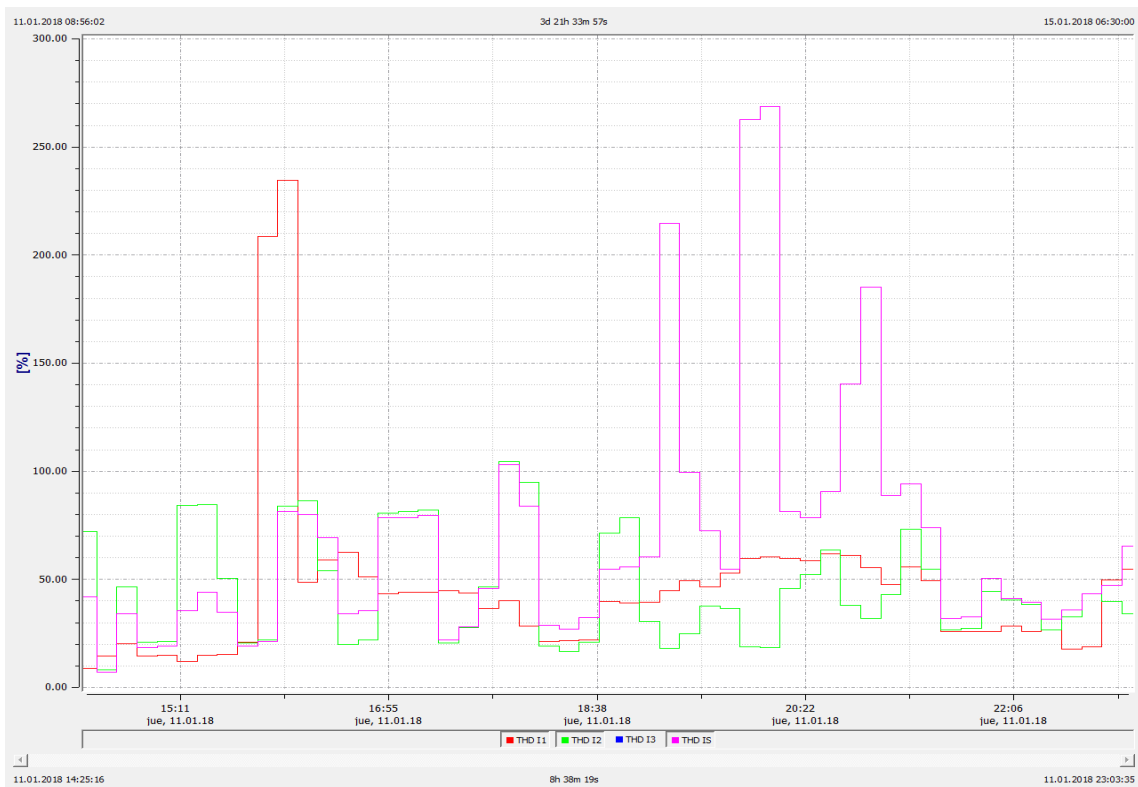


Figura 54. Armónicos totales de corriente
Fuente: Autor

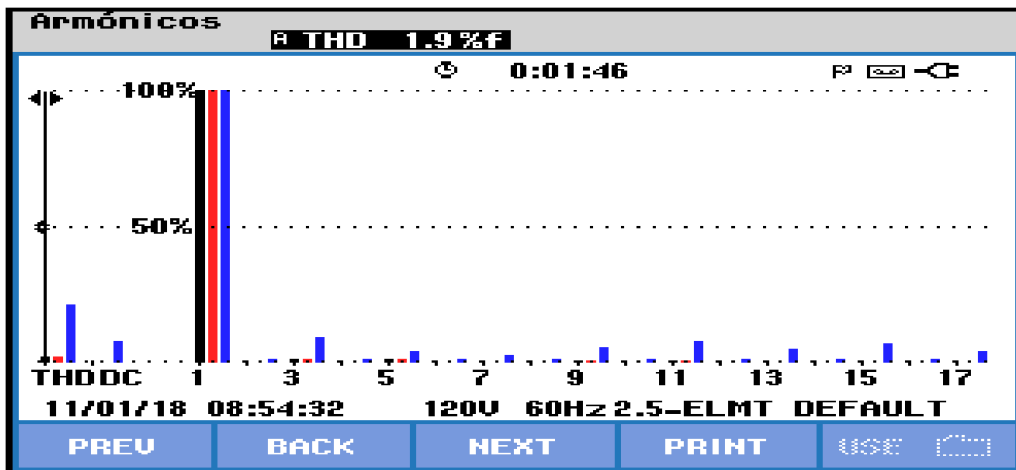


Figura 55. Armónicos instantáneos de corriente
Fuente: Autor

4.2.6 Factor de potencia.

Según la regulación 004/01 el factor de potencia mínimo aceptado por la regulación ecuatoriana es de 0.92 en las gráficas podemos observar el factor registrado y está por debajo del mínimo permitido.

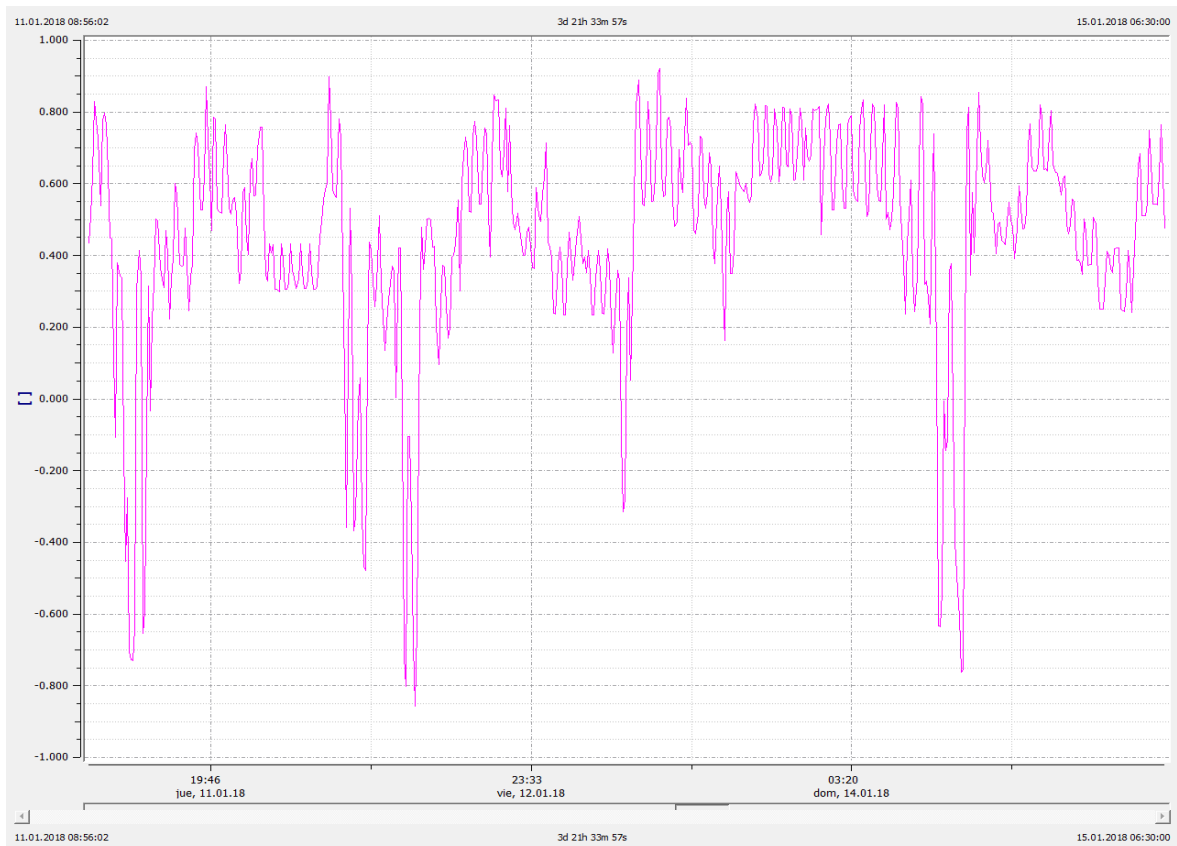


Figura 56. Factor de potencia registrado
Fuente: Autor

4.2.7 Desequilibrio de voltaje.

El desequilibrio de voltaje se presente porque el sistema es trifásico, siendo el secundario del transformador en estrella con neutro aterrizado pero las cargas son monofásicas.

El desequilibrio según la regulación no debe exceder el 2%, en la gráfica podemos observar que el desequilibrio sobrepasa los valores permitidos, pero es porque el equipo calcula en sistema trifásico, en la siguiente grafica se observa que si está equilibrado.



Figura 57. Desequilibrio de voltaje
Fuente: Autor

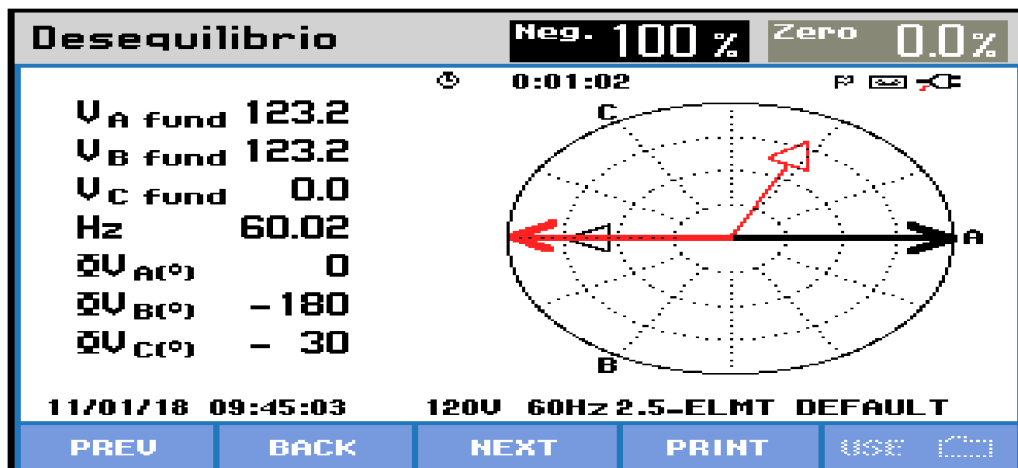


Figura 58. Voltaje equilibrado
Fuente: Autor

4.2.8 Desequilibrio de corriente.

El desequilibrio de corriente si excede el 10% permitido por la norma debido a que las cargas son monofásicas y no se dispone de cargas bifásicas por encontrarnos en el inicio del periodo de cambio de monofásica de 127 V a 220 V.

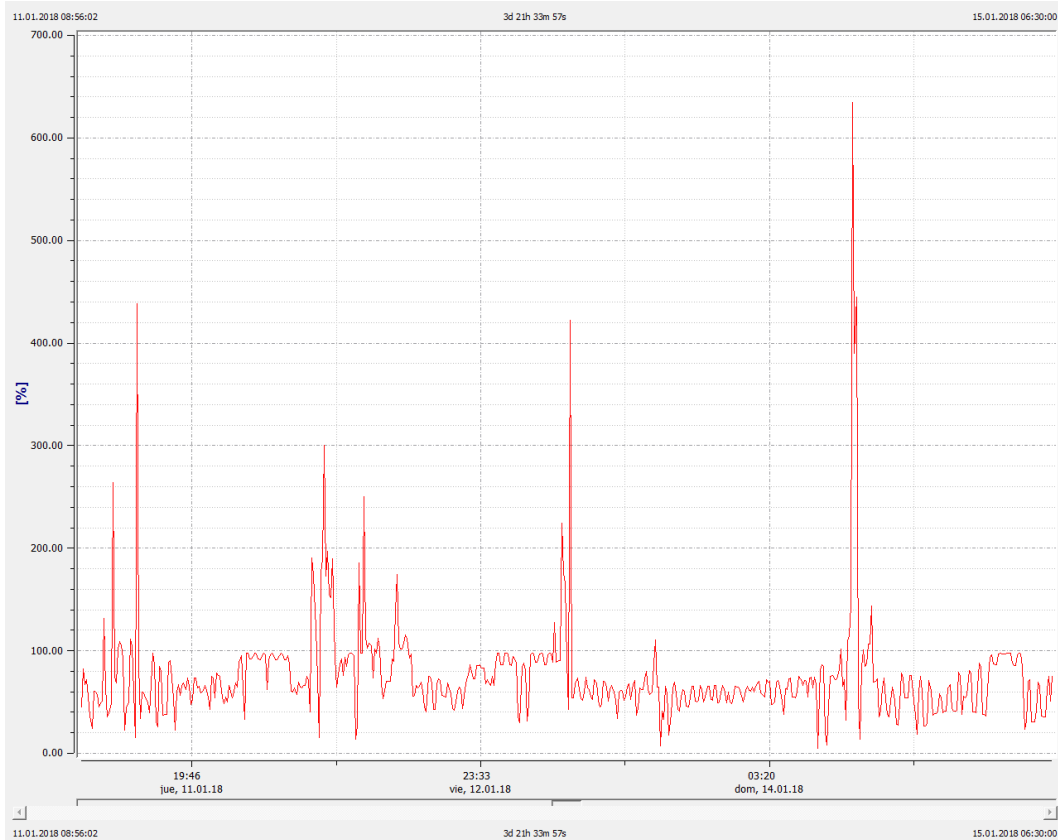


Figura 59. Desequilibrio de corriente
Fuente: Autor

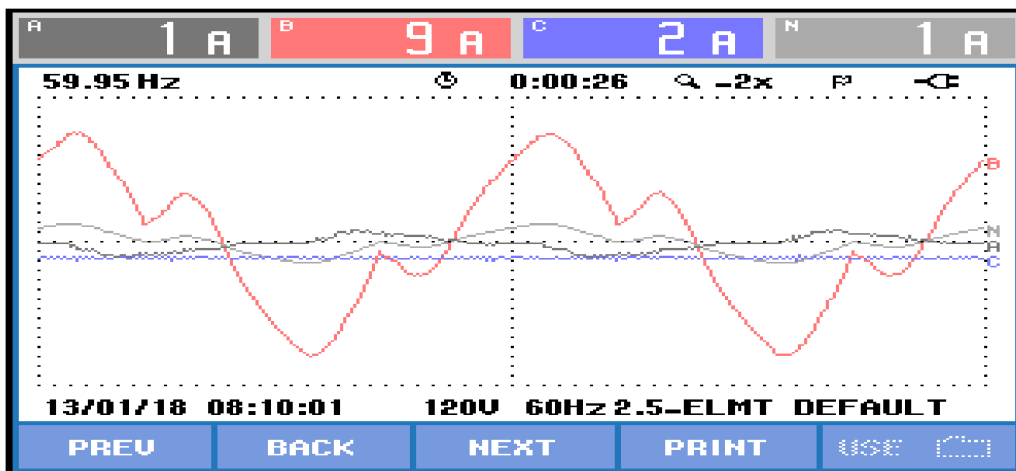


Figura 60. Desequilibrio momentáneo de corriente
Fuente: Autor

4.2.9 Frecuencia.

El comportamiento de la frecuencia se analiza en la figura 63 de los valores medios y cómo podemos observar está dentro de los valores permitidos por la norma dándonos un sistema estable y confiable.

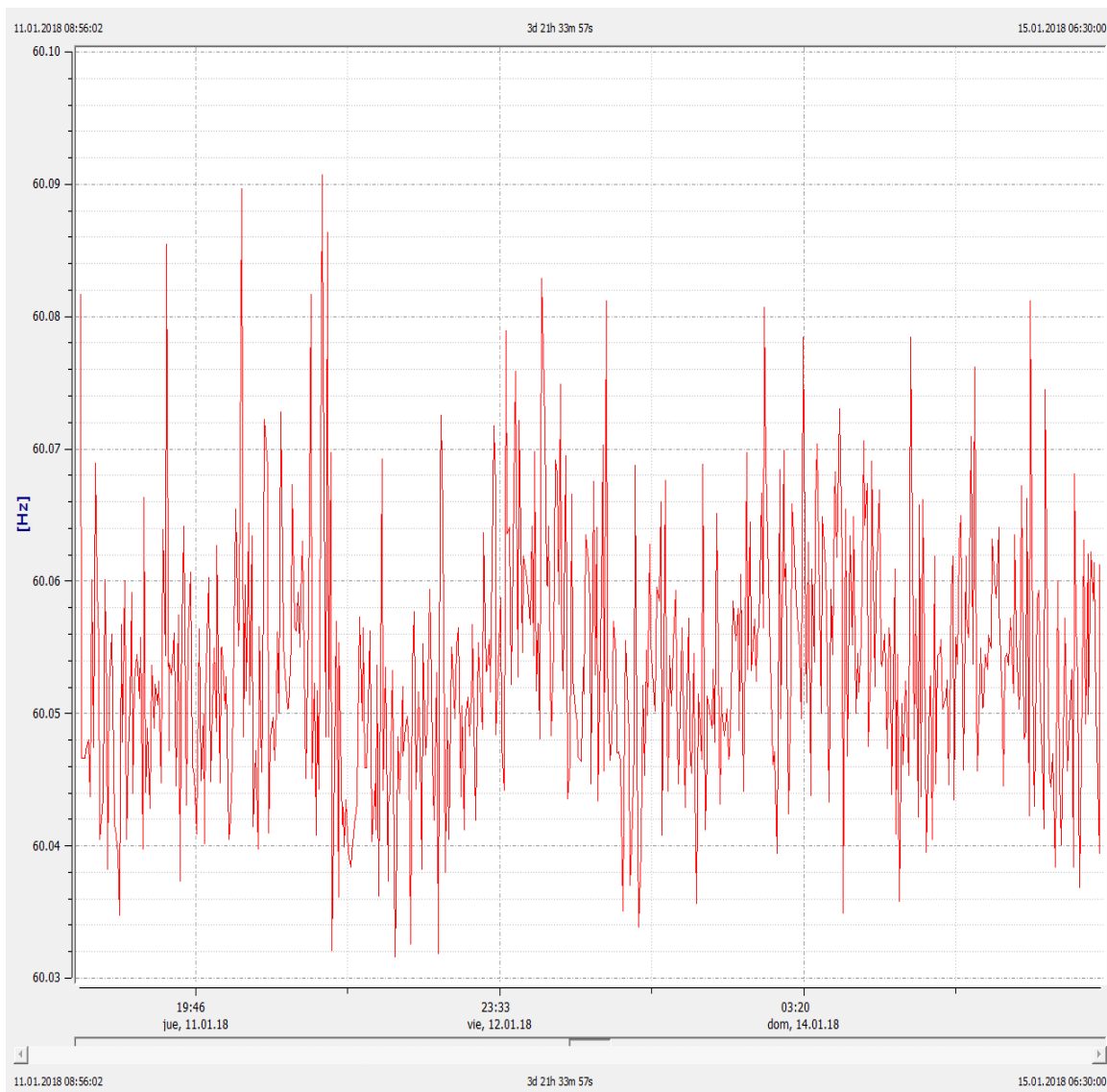


Figura 61. Frecuencia máxima registrada
Fuente: Autor

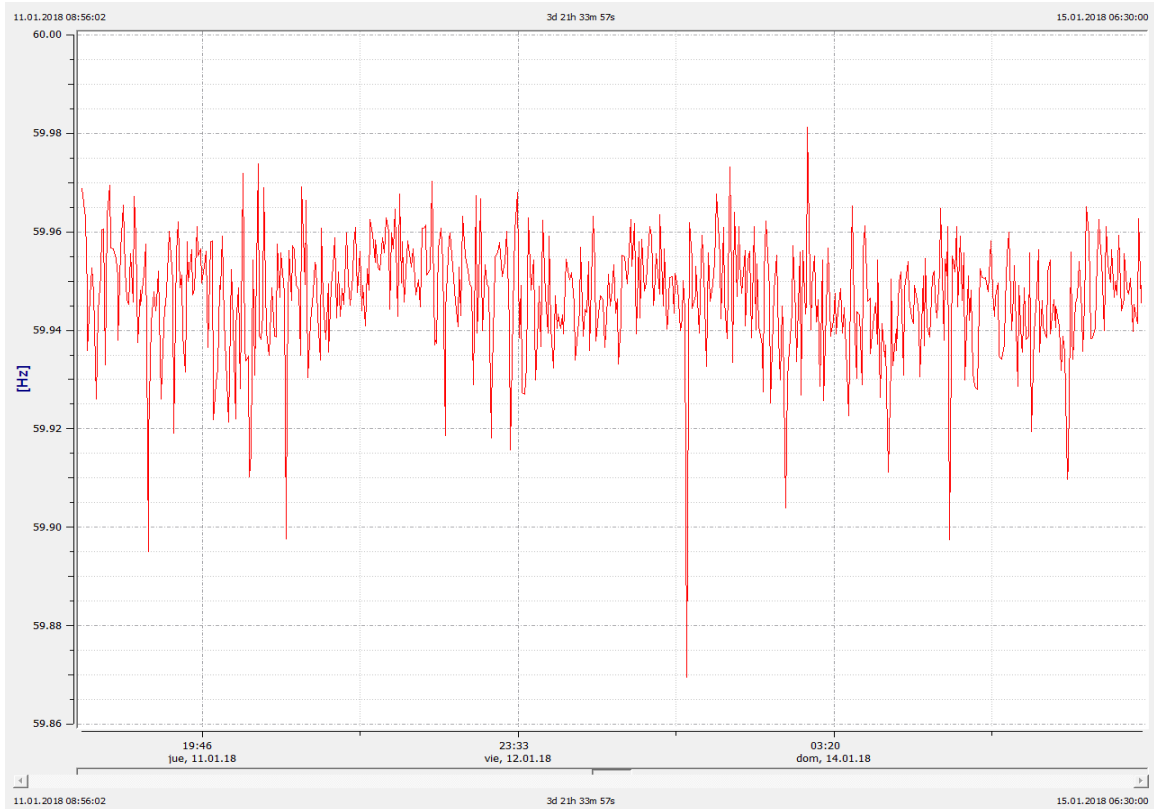


Figura 62. Frecuencia mínima registrada
Fuente: Autor

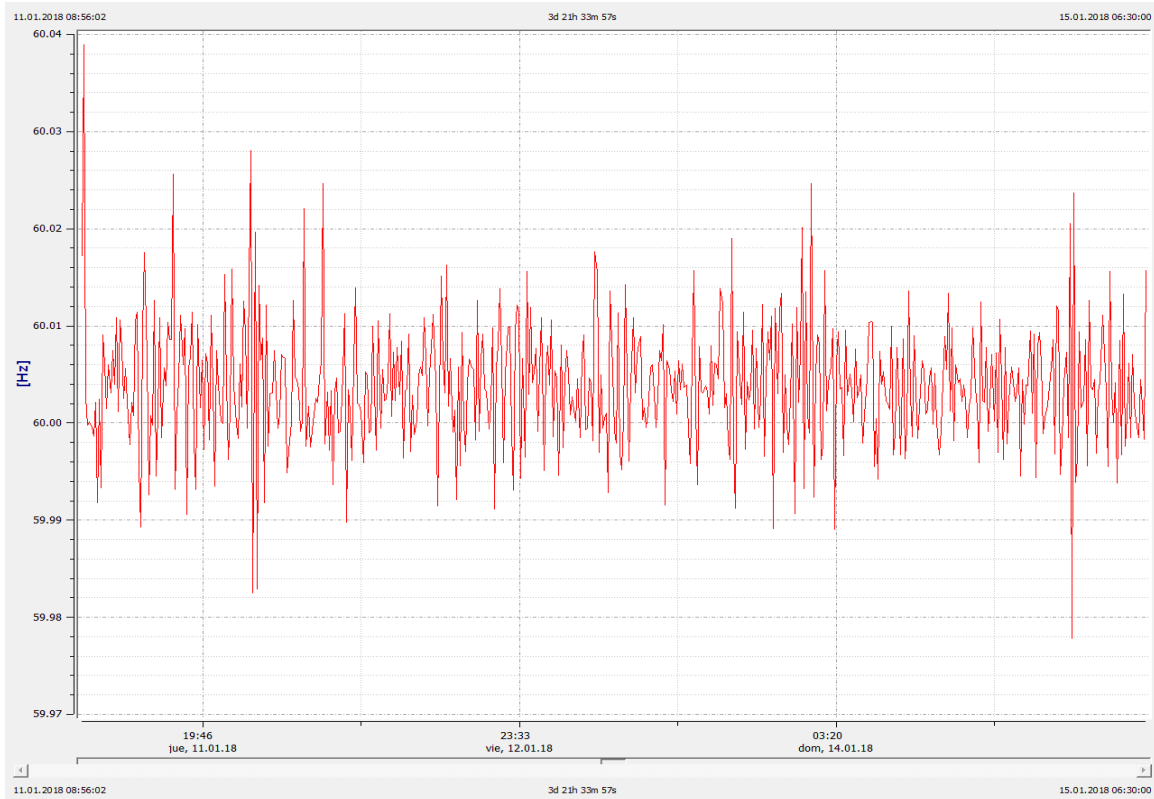


Figura 63. Frecuencia media registrada
Fuente: Autor

4.2.10 Angulo de fase.

En la gráfica podemos observar que al conectar en paralelo el voltaje de una generación fotovoltaica de 460 W se produce un desfase entre el voltaje y la corriente.

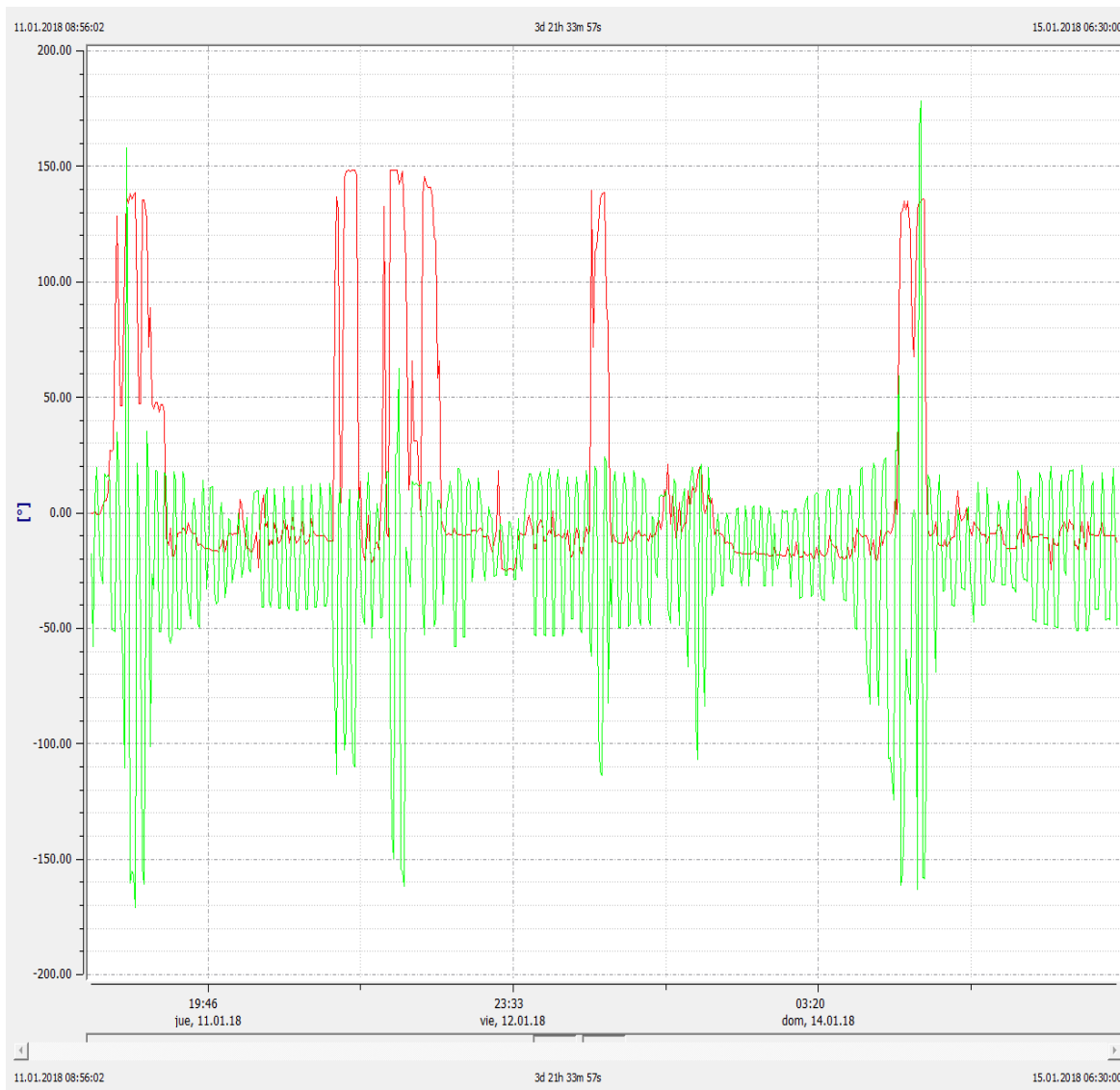


Figura 64. Angulo de desfase entre el voltaje y la corriente
Fuente: Autor

CONCLUSIONES

Al terminar este trabajo de titulación me pude dar cuenta que se utilizó mucho de lo aprendido en clases de las materias de Energías Renovables, Distribución, Calidad de Energía y muchas materias más, la teoría se llevó a la práctica y luego de cometer muchos errores y superarlos se aprendió más cada día.

Con los equipos de calidad de energía FLUKE 434 de la UCACUE y PQ-Box 100 de la CENTROSUR se monitoreo todos los parámetros de calidad con y sin la generación fotovoltaica, llegando a la conclusión que no existe perturbaciones que afecten a la calidad de energía suministrada por la empresa distribuidora y que el voltaje generado y entregado por los paneles solares es compatible con el voltaje de la red.

Se pudo apreciar que el incorporar sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica de la casa de estudio, se puede tener una disminución en el costo de facturación eléctrica, en vista de que sería como tener un generador en paralelo.

En relación a la variabilidad de la irradiación solar, misma que provoca que los valores de generación estén variando continuamente, se debe considerar acoplar un sistema estable.

Además a pesar de estar protegido por el módulo de comunicación MULTIGATE se debe proteger con un sistema inteligente que desconecte la central fotovoltaica de la red cuando esta se encuentre bajo un nivel de mínimo de generación evitando daños de los paneles o que estos pasen de ser generadores a ser carga para el sistema.

RECOMENDACIONES

Se recomienda escoger el lado del techo de la casa tipo más idóneo y con mayor incidencia del sol en horas hábiles y realizar bien las conexiones de los sócalos de los equipos de generación fotovoltaica porque en caso de no conectarlos bien el sistema de monitoreo nos da error y no se puede proceder, asegurarse que los equipos para analizar la calidad de energía a ser utilizados tengan los permisos y las licencias respectivas.

Los datos obtenidos no se los puede generalizar, en función de que en el mercado comercial existen varios tipos de paneles solares, inversores y controladores, que varían su rendimiento y, por ende, los sistemas de distribución de energía se pueden ver afectados; haciendo falta que se realice regulaciones para el uso y posible masificación de la generación distribuida.

Se recomienda para futuros estudios complementarios adquirir un medidor bidireccional para realizar análisis de costo beneficio en cuanto a energía utilizada y la entregada a la red.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARCONEC. (2015). *REGULACION 004/15: REQUERIMIENTOS TECNICOS PARA LA CONEXION Y OPERACION DE GENERADORES RENOVABLES NO CONVENCIONALES A LAS REDES DE DISTRIBUCION Y TRANSMISION*. QUITO.
- ARCONEC. (SEPTIEMBRE de 2017). *BALANCE NACIONAL DE ENERGIA ELECTRICA*. Obtenido de BALANCE NACIONAL DE ENERGIA ELECTRICA: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/balance-nacional/>
- ARIZAGA, E. S. (2015). *EFICIENCIA DEL CONSUMO ELECTRICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL URBANO DE CUENCA*. CUENCA: UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- C. YAO, Z. Z. (s.f.). *IMPROVED MONITORING METHOD FOR TRANSFORMER WINDING TRANSFORMATIONS BASED ON THE LISSAJOUS GRAPHICAL ANALYSIS OF VOLTAGE AND CURRENT*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY.
- C.S.ANTONIO, B. y. (2015). *GENERACION DISTRIBUIDA, AUTOCONSUMO Y REDES INTELIGENTES*. MADRID: UNED-UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACION A DISTANCIA.
- CASTELLS, X. E. (2012). *ENERGIAS RENOVABLES*. MADRID: DIAZ DE SANTOS.
- CONELEC. (2001). *REGULACION 004/01: CALIDAD DE SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION*. QUITO.
- CONELEC. (26 de FEBRERO de 2008). *ATLAS SOLAR DEL ECUADOR*. Obtenido de ATLAS SOLAR DEL ECUADOR: <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- CONELEC. (5 de JULIO de 2013). *PROYECTOS FOTOVOLTAICOS- INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA*. Obtenido de PROYECTOS FOTOVOLTAICOS- INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/03_Las-energ%C3%ADas-renovables-an%C3%A1lisis-regulador_RC.pdf
- COSMOPLAS. (20 de DICIEMBRE de 2017). *MICRO INVERSOR SB-240*. Obtenido de MICRO INVERSOR SB-240: <http://www.cosmoplas.cl/product/microinversor-sb240-240w/>

- D.P.LORA ENCALADA, L. O. (2012). *ESTUDIO DE UN SISTEMA INTEGRAL DE GENERACION ELECTRICA FOTOVOLTAICA CONECTADO A LA RED*. IBARRA: UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE IBARRA.
- DAMIA SOLAR. (17 de ABRIL de 2015). *CUAL DEBE SER LA ORIENTACION Y LA INCLINACION DE LAS PLACAS SOLARES ?* Obtenido de CUAL DEBE SER LA ORIENTACION Y LA INCLINACION DE LAS PLACAS SOLARES ? : https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/orientacion-e-inclinacion-de-las-placas-solares_1
- ECOFENER. (12 de DICIEMBRE de 2012). *ENERGIAS RENOVABLES Y LIMPIAS*. Obtenido de ENERGIAS RENOVABLES Y LIMPIAS: <http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2012/12/como-funciona-un-panel-solar-fotovoltaico.html>
- EERCS. (14 de DICIEMBRE de 2017). *ARCGIS*. Obtenido de ARCGIS: www.centrosur.com.ec
- EL DIARIO DE MEDRYN. (17 de FEBRERO de 2017). *ASEGURAN QUE EL BOMBEO SOLAR DE AGUA SERIA MAS EFECTIVO QUE EL ACTUAL*. Obtenido de ASEGURAN QUE EL BOMBEO SOLAR DE AGUA SERIA MAS EFECTIVO QUE EL ACTUAL: <http://www.eldiariodemadryn.com/2017/02/aseguran-que-el-bombeo-solar-de-agua-seria-mas-eficiente-que-el-sistema-actual/>
- ENERGIA SOLAR. (23 de DICIEMBRE de 2014). *POR QUE DEBERIA USAR INSTALAR UN PANEL SOLAR EN CASA*. Obtenido de POR QUE DEBERIA USAR INSTALAR UN PANEL SOLAR EN CASA: <http://www.biodisol.com/energia-solar/por-que-deberia-usar-instalar-un-panel-solar-en-casa/>
- GARCIA, J. L. (28 de FEBRERO de 2015). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. Obtenido de ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: <http://www.seccion.es/renovables/energia-solar-fotovoltaica-en-viviendas-para-autoconsumo-mito-o-realidad/>
- GUERRA, J. (2013). FINDER. *INTRODUCCION A LA ENERGIA FOTOVOLTAICA*.
- HARPER, G. E. (2012). *EL ABC DE LAS ENERGIAS RENOVABLES EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS*. MEXICO: LIMUSA.
- HERREJON, J. C. (12 de 2009). *ESTUDIO DE SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICOS*. CUERNAVACA.
- HUGO PILA, M. Z. (2010). *ESTUDIO DE FLICKER EN UNA INSTALACION ELECTRICA*. GUAYAQUIL.

- INEC. (2010). *CENSO DE POBLACION Y VIVIENDA*. Obtenido de CENSO DE POBLACION Y VIVIENDA: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/poblacion-y-demografia-2/>
- JOSE, M. F. (2003). *CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO*. GIRONA.
- MEDINA, A. (2001). *METODOLOGIAS AVANZADAS PARA EL MODELAMIENTO Y ANALISIS DE ARMONIICOS Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DE ENERGIA*. MEXICO.
- MEER. (2016). *ELECTRIFICACION RURAL CON ENERGIAS RENOVABLES*. Obtenido de ELECTRIFICACION RURAL CON ENERGIAS RENOVABLES: <http://www.energia.gob.ec/>
- N.Takeuchi. (2014). *Manual basico de innovaciones tecnologicas para su mejor aprovechamiento*. mexico: Miguel Angel Porrua.
- NACIONAL, A. (2010). *CODIGO ORGANICO DE LA PRODUCCION, COMERCIO E INVERSIONES*. QUITO.
- NAP. (2010). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. MADRID: COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIONES.
- NASA. (14 de DICIEMBRE de 2012). *ESTACION ESPACIAL DE LA NASA*. Obtenido de ESTACION ESPACIAL DE LA NASA: <http://www.abc.es/20121112/ciencia/abci-quieres-como-estacion-espacial-201211121357.html>
- NEC. (2011). *NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCION-ENERGIAS RENOVABLES*. QUITO.
- NEC. (2011). *NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCION-ENERGIAS RENOVABLES*. QUITO.
- NEC. (2011). *NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN-ENERGIAS RENOVABLES*. QUITO.
- PLATA, S. C. (2006). *CALIDAD DE SERVICIO DE ENERGIA ELECTRICA*. MANIZALES: CENTRO DE PUBLICACIONES UNIVERSIDA NACIONAL DE COLOMBIA.
- PLATA, S. Y. (2006). *CALIDAD DE SERVICIO DE ENERGIA ELECTRICA*. MANIZALES: CENTRO DE PUBLICACIONES UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- PROGENSA . (2011). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: PLIEGO DE INSTALACIONES TECNICAS CONECTADAS A LA RED*. MADRID.

- PROGENSA. (2011). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: TECNICAS DE INSTALACIONES, TECNICAS CONECTADAS A LA RED*. MADRID.
- PROVIENTO S.A. (2017). *ENERGIAS RENOVABLES ECUADOR*. QUITO.
- QUIROGA, D. S. (2012). *SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADO*. MADRID: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- RODRIGUEZ NORBERTO, V. M. (2003). *VARIACIONES DE VOLTAJE: MALA CALIDAD DE ENERGIA*.
- S.SCARPELLINI, M. y. (2015). *GUIA DE MERCADOS ENERGETICOS, ZARAGOSA*. ZARAGOSA: PRENSAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOSA.
- SITIO SOLAR. (s.f.). AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO INYECTADO A LA RED. *Sitio solar*.
- SMA. (28 de DICIEMBRE de 2017). *SMA AMERICA, LLC*. Obtenido de SMA AMERICA, LLC: www.SMA-America.com
- SMA. (27 de Diciembre de 2017). *SMA Solar Technology*. Obtenido de SMA Solar Technology: www.SMA-Solar.com
- SMA. (28 de DICIEMBRE de 2017). *SMA SOLAR TECHNOLOGY*. Obtenido de SMA SOLAR TECHNOLOGY: www.SMA'Solar.com
- SMA. (2017). *SMA SOLAR TECNOLOGY*. Obtenido de SMA SOLAR TECNOLOGY: <http://www.south-america.com/>.
- SMA SOLAR TECNOLOGY. (2017). *ENERGIA FOTOVOLTAICA GENERADA*. Obtenido de ENERGIA FOTOVOLTAICA GENERADA: <http://www.sma-south-america.com/>
- SOLAR LATAM. (18 de SEPTIEMBRE de 2015). *COSTA RICA EL 50% DE LOS SEMAFOROS FUNCIONAN CON ENERGIA SOLAR*. Obtenido de COSTA RICA EL 50% DE LOS SEMAFOROS FUNCIONAN CON ENERGIA SOLAR: <https://solarlatam.com/blog/2017/06/26/costa-rica-el-50-por-ciento-de-los-semaforos-funcionara-con-energia-solar/>
- SOPELIA. (26 de OCTUBRE de 2016). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. Obtenido de ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: www.energiasolar.lat/solar-fotovoltaica-ecuador/
- SRI. (2016). *SERVICIO DE RENTAS INTERNAS "DEDUCCIONES"*. QUITO.
- T. XIA, Y. L. (2010). *SINGLE- PHASE PHASE ANGLE MEASUREMENTS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS.

- TURMERO, P. (s.f.). *CALIDAD DE ENERGIA*. Obtenido de CALIDAD DE ENERGIA:
www.monografias.com
- UNIVERSIDAD DE JEAN. (1997). *CURSO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. Obtenido de CURSO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA:
www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_03.htm
- VAZQUEZ, M. (2012). *INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS*. OCTAEDRO.
- VAZQUEZ, M. T. (2012). *ENERGIA SOLAR TERMICA PARA INSTALADORES* (4 ed. ed.). CANO PINA.
- VAZQUEZ, M. T. (2012). *ENERGIA SOLAR TERMICA PARA INSTALADORES* (4 ed. ed.). CANO PINA.
- VERGARA, P. O. (2014). *PARAMETRIZACION DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS BASADAS EN LAS CONDICIONES CLIMATICAS DE LA CIUDAD DE CUENCA*. CUENCA: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.
- VIZHÑAY, J. (2014). *MICROGENERACION DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA*. Obtenido de MICROGENERACION DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA:
<https://es.slideshare.net/jorgemunozv/articulo-energia-fotovoltaica-crieelm>
- WHOLESALE SOLAR. (2017). *SMA SUNNY MULTIGATE - US*. Obtenido de SMA SUNNY MULTIGATE - US: <https://www.wholesalesolar.com/2960061/sma/inverter-accessories/sma-sunny-boy-micro-multigate-us-xt-monitoring-unit>

ANEXOS

Anexo 1. REGULACION ARCONEL 004-01.

La presente regulación establece niveles de calidad para la prestación de servicio eléctrico y procedimientos de evaluación por parte de las empresas distribuidoras de energía eléctrica, enfocada al análisis a cuatro variables fundamentales dentro del control de calidad de energía: Niveles de voltaje, parpadeos (flicker), Armónicos y Factor de Potencia. Las empresas distribuidoras tienen el compromiso de prestar el servicio eléctrico a los consumidores de acuerdo al nivel de calidad que estipula la Ley de Régimen del Sector Eléctrico Ecuatoriano, el contrato de concesión y las regulaciones correspondientes, este control estaba bajo supervisión del Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, que a partir del 2015 paso a ser la Agencia de Regulación y Control de Electricidad ARCONEL.

Nivel de voltaje: variaciones de los valores eficaces de tensión de tensión (rms) medidas durante un periodo no menor a siete días continuos, cada 10 minutos.

Ecuación 1 Índice de calidad

$$\Delta V_K(\%) = \frac{V_K - V_n}{V_n} * 100$$

Donde:

- ΔV_K : variación de voltaje
- V_K : voltaje eficaz (rms)
- V_n : voltaje nominal en el punto de medición

Las empresas distribuidoras para adecuarse a las exigencias de calidad establecen sub etapas de cumplimiento, de acuerdo al reglamento de suministro de servicio eléctrico.

Sub etapa 1: Duración de 24 meses sin penalización

Sub etapa 2: A partir de la finalización de la sub etapa 1, con tiempo indefinido.

Tabla X. Variación de voltaje permitido con respecto al voltaje nominal

	Sub etapa 1	Sub etapa 2
Alto voltaje	± 7%	± 5%
Medio voltaje	± 10%	± 8%
Bajo voltaje. Urbanas	± 10%	± 8%

Bajo voltaje. Rurales	$\pm 13\%$	$\pm 10\%$
----------------------------------	------------	------------

Perturbaciones (Flicker): El índice de severidad del flicker no podrá superar la unidad.

Ecuación 2 Índice de severidad del flicker

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0.1} + 0,0525P_1 + 0,625P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}}$$

Donde:

- P_{st} : Índice de severidad del flicker de corta duración.
- $P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$: Niveles de efecto flicker que sobrepasan el 0.1%, 1%, 3%, 10% y 50% del tiempo total del periodo de observación.

Armónicos: La norma IEC 6100-4-7 establece los procedimientos para la toma de datos serán realizadas con un medidor de distorsiones de voltaje, con el fin de ubicar de manera más eficiente las distorsiones armónicas. Los valores establecidos como limites (V_i' y THD') se muestran en la tabla 4.

Ecuación 3 Índice de calidad Armónicos

$$V_i' = \left(\frac{V_i}{V_n} \right) * 100$$

Ecuación 4 Factor de distorsión armónica

$$THD = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right) * 100$$

Donde:

- V_i' : Factor de distorsión armónica individual de voltaje.
- THD : Factor de distorsión total por armónicos.
- V_i : Valor eficaz (rms) del voltaje armónico "i" (para $i=2.....40$).
- V_n : Voltaje nominal del punto de medición.

Tabla XI. Valores límite establecidos THD

ORDE N(n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA [Vi'] o [THD'%] (En el punto de medición)	
	V>4 0KV (otros puntos)	V≤40KV(tr afos de distribución)
Impar es no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
>25	0.1 + 0.6 * 25 / n	0.2 + 1.3 * 25 / n
Impar es múltiplos de 3		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
>21	0.2	0.2
Pares.		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
>12	0.2	0.5
THD	3	8

Factor de Potencia: El valor límite del factor de potencia para considerar una adecuada calidad de energía será como mínima 0.92, la toma de datos estará establecida por cada empresa distribuidora, en el 2% del número de consumidores, y serán tomadas cada 10 minutos al menos 7 días continuos, cada diez minutos. Si en el 5 % o más del tiempo evaluado es inferior a los límites, el consumidor esta violado el índice de calidad.

Anexo 2. REGULACION ARCONEL 006/00.

La regulación establece el procedimiento de despacho y operación del Sistema Nacional Interconectado, con el fin de dictar un marco normativo que permita la correcta conexión de los sistemas de generación. De acuerdo a los parámetros de calidad y seguridad, la presente regulación establece las condiciones de operación.

Armónicos: Las formas de onda del voltaje y corriente deberán cumplir los requisitos establecidos en la norma ANSI/IEEE STD. 519, mientras no exista una normativa nacional.

Frecuencia: El objetivo del Sistema Nacional interconectado establece en condiciones normales que la frecuencia será de 60 Hz y su rango de variación estará entre 59,85 y 60,15 Hz ($\pm 0,15$), excepto en estados de fallas, emergencias y restablecimientos de servicio.

Índices de calidad: La norma IEEE STD. 1159-2009 establece 7 categorías de fenómenos que varían la calidad de energía, definiendo cada uno de ellos.

Tabla XII. Categorías y características de los fenómenos que varían la calidad de la energía

CATEGORIA	Contenido espectral típico	Duración típica	Magnitud de voltaje típico
1. Transitorio 1.1. Impulso 1.1.2. Nanosegundo 1.1.3. Milisegundo 1.2. Oscilatorio 1.2.1. Baja Frecuencia 1.2.2. Media frecuencia 1.2.3. Alta frecuencia	5 ns de subida 1 us de subida 0.1 ms de subida <5 KHz 5 – 500 KHz 0.5 – 5 MHz	<50 ns 50 ns – 1 ms >1 ms 0.3 – 50 ms 20 us 5 us	0 – 4 p. u. 0 – 8 p. u. 0 – 4 p.u.
2. Variaciones de corta duración (rms) 2.1. Instantanea 2.1.1. Sag 2.1.2. Swell 2.2. Momentanea 2.2.1. Interrupcion 2.2.2. Sag 2.2.3. Swell 2.3. Temporal		0.5 – 30 ciclos 0.5 – 30 ciclos 0.5 ciclos – 3 s 30 ciclos – 3s 30 ciclos – 3s	0.1 – 0.9 p. u. 1.1 – 1.8 p. u. <0.1 p. u. 0.1 - 0.9 p. u. 1.1 - 1.4 p. u.

2.3.1.Interrupcion 2.3.2.Sag 2.3.3.Swell		>3 s – 1 min >3 s – 1 min >3 s – 1 min	,0.1 p. u. 0.1 – 0.9 p.u. 1.1 – 1.2 p.u.
3. Variaciones de larga duración (rms) 3.1.Interrupcion sostenida 3.2.Sub voltajes 3.3.Sobrevoltajes 3.4.Sobrecarga de corriente		>1 min >1 min >1 min >1 min	0.0 p. u. 0.8 – 0.9 p. u. 1.1 – 1.2 p. u.
4. Desbalance 4.1.Voltaje 4.2. Corriente	EE(Estado estacionario) EE		0.5 – 2% 1 – 30%
5. Distorsión de onda 5.1.DC offset 5.2.Armonicos 5.3.Inter-armonicos 5.4.Escalonamiento 5.5.Ruido	0 – 9 KHz 0 – 9 KHz Ancho de banda	EE EE EE EE EE	0 – 0.1% 0 – 20% 0 – 2% 0 – 1%
6. Fluctuaciones de voltaje	<25 Hz	Intermitente	0.1 – 7% 0.2 – 2 Pst
7. Variaciones de la frecuencia industrial		<10 s	± 0.1 Hz

Para ampliar lo expuesto en la tabla anterior a continuación se presenta algunas definiciones contenidas en la norma.

- Un transitorio impulsivo se presenta generalmente por la caída de relámpagos.
- Un transitorio oscilatorio se presenta por la conmutación y circuitos RLC snubber.
- Las interrupciones pueden ser resultado de fallas de equipos, falla del Sistema de Potencia.
- Cuando se presenta interrupciones la magnitud el voltaje es siempre menor al 10% del voltaje nominal.
- Los sags son disminución del voltaje y se debe a la conmutación de cargas grandes.

- Los swells son un incremento del voltaje, estos aparecen en condiciones de falla del sistema y son mucho menos comunes que los sags.
- Los sobrevoltajes aparecen generalmente por la conmutación en el apagado o salida de operación de cargas grandes.
- Las subtensiones aparecen por la conmutación en la entrada a operación de cargas grandes.
- El desbalance puede ser aplicado para el voltaje o la corriente y se calcula haciendo uso de la magnitud obtenida de la secuencia negativa y la secuencia positiva.
- El escalonamiento no puede ser registrado con un equipo que sea normalmente usado para el análisis de armónicos, debido a que componentes de la frecuencia son bastante altos.
- Las variaciones rápidas de la corriente de carga generalmente producen fluctuaciones de voltaje.
- Los cambios en la frecuencia están relacionados a la capacidad de la generación para adaptarse a los cambios producidos en la carga.

Anexo 3. REGULACION ARCONEL 004/15

Regulación enfocada a los Requerimientos Técnicos para la Conexión y Operación de Generadores Renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución con el objetivo de establecer criterios y requerimientos técnicos para la conexión de generadores renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución, con el fin de mantener calidad y confiabilidad del servicio de energía. La calidad del productor referente a los niveles de tensión y corriente entregados al sistema se ajuste a lo requerido para la adecuada operación de los equipos conectados a la red.

Para los sistemas fotovoltaicos conectados a la red la regulación establece que los inversores fotovoltaicos a ser utilizados cumplan:

- Certificación en base a la norma IEC 62116
- Calidad de energía: las ondas de voltaje seguirán los métodos de medición establecidos en la norma IEC 61004

Dentro de los parámetros de calidad la regulación establece para generadores renovables no convencionales:

- El factor de potencia no será menor de 0.95.
- Armónicos: las ondas de voltaje no deberán superar a los límites establecidos en la tabla 6.

Tabla XIII. Límites establecidos en armónicos

Orden de la Armónica	Medio voltaje(0,6Kv≤Vn<40Kv)	Alto voltaje (40Kv≤Vn)
Armónicas impares no múltiplo de 3		
5	5	2
7	4	2
11	3	.5
13	2.5	1.5
$17 \leq h \leq 49$	$1.9 \times \left(\frac{17}{h}\right) - 0.2$	$1.2 \times \left(\frac{17}{h}\right)$
Armónicas impares múltiplos de 3		
3	4	2
9	1.2	1

15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
21 < h ≤ 45	0.2	0.2
		Armónicas pares
2	1.8	1.4
4	1	0.8
6	0.5	0.4
8	0.5	0.4
10 ≤ h ≤ 50	$0.25 \times \left(\frac{10}{h}\right) + 0.22$	$0.19 \times \left(\frac{10}{h}\right) + 0.16$
THD (%)	6.5	3

Flicker: la severidad de las variaciones periódicas serán evaluadas de acuerdo a:

- Indicadores de voltaje a corto plazo (Pst): Severidad medida en intervalos de observación de 10 minutos, indicador medido en por unidad (p.u.)
- Indicadores de voltaje a largo plazo (Plt): Severidad medida en intervalos de observación a 2 horas.

Los niveles máximos de flickers se establecen en la siguiente tabla.

Tabla XIV. Límites de flicker

Indicador	Limite
Pst máximo	0,35
Plt máximo	0,25

Desbalance de voltaje: el desbalance máximo en estado estable no deberá ser superior a 5 % en cada fase.

Anexo 4. NORMA IEEEESTD 519-2014

La norma IEEE internacional enfocada a la calidad de energía que va a ser proporcionada en un punto de acoplamiento común (PCC), direccionada a establecer requisitos para el control de armónicos en sistemas eléctricos. El uso de cargas no lineales conectados a sistemas eléctricos tales como: convertidores estáticos de potencia, dispositivos magnéticos, maquinas rotativas, dispositivos de descarga, convertidores de energía que son mayores cargas no lineales que pueden convertir AC a DC, DC a DC, DC a AC y AC a AC, estas cargas cambian la naturaleza sinusoidal de la corriente de alimentación a CA produciendo un flujo de corriente armónico por la red causando interferencias en circuitos de comunicación y demás equipos.

Las fuentes comunes de donde nacen estas corrientes armónicas se dan con mayor severidad en los convertidores electrónicos de potencia, hornos de arco, inversores de generación distribuida, VAR, control de fase y rectificadores entre otros.

Los límites establecidos en la norma STD 519 son para estado estacionario, recomendado para condiciones del peor caso en la tabla siguiente.

Tabla XV. Límites de distorsión de voltaje

Bus voltaje at PCC	Individual harmonic (%)	Total Harmonic distortionTHD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

Los límites de distorsión armónica de corriente recomendados para sistemas de 120 V hasta 60 KV en el PCC se establecen en la siguiente tabla.

Tabla XVI. Límites de distorsión armónica de corriente para sistemas de 120V a 60 KV

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (<i>odd harmonics</i>) ^{a,b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 23$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 70$	TDD
< 20°	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 10000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>10000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0