



**ARMÓNICOS GENERADOS POR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO SEDE
ADMINISTRATIVA ESSA PARNASO**

Modalidad: Presencial

CARLOS MARIO MORENO RANGEL 1.098.716.403

EDUARDO PABÓN BLANCO 13.722.779

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

24 DE JULIO DE 2021



**ARMÓNICOS GENERADOS POR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO SEDE
ADMINISTRATIVA ESSA PARNASO**

Modalidad: Presencial

CARLOS MARIO MORENO RANGEL 1.098.716.403

EDUARDO PABON BLANCO 13.722.779

**Trabajo de Grado para optar al título de
TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD INDUSTRIAL**

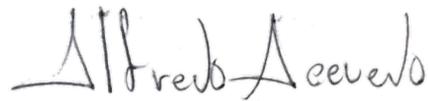
DIRECTOR

VERENA DE JESUS MERCADO

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

24 DE JULIO DE 2021

Nota de Aceptación



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

Este logro académico está dedicado a mi familia, de forma muy especial a mi madre Amarfy Rangel quien siempre ha sido el mayor apoyo y ejemplo de vida para mí. También a todas esas personas que Dios pone en el camino para que sean un apoyo incondicional, de manera que te dan el impulso que permite enfocar todo el esfuerzo en alcanzar metas que plasman conocimiento, crecimiento y enseñanzas en la vida.

Carlos Mario Moreno Rangel

La satisfacción por alcanzar los objetivos, el placer de vivir cada momento como si fuese el último, la alegría de compartir los logros con cada una de las personas que hacen parte de mi vida, es una motivación para crecer como persona, como hijo, como padre. Creer que cada oportunidad es un reto donde se puede lograr la victoria.

Este triunfo es dedicado a mi esposa, Rocío Capacho Gelvez, quien siempre ha estado a mi lado, pendiente de todos los detalles para que yo pueda avanzar profesionalmente, a mis hijos Catalina y Alejandro, ellos son la razón de mi vida. A mi madre Dominga Blanco, siempre se preocupa por su hijo, a mis hermanos y sobrinos que siempre están pendientes y me apoyan con preciados valores.

Eduardo Pabón Blanco

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, por darme sabiduría, a mi esposa y mis hijos por su apoyo incondicional, a mi familia por creer que todo es posible.

A los profesores de las UTS, por aportar su conocimiento a mi formación.

Al ingeniero Alfredo Acevedo y a la ingeniera Verena Mercado por su gran colaboración y consejos para culminar con éxito este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	11
<u>INTRODUCCIÓN</u>	12
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	17
<u>2. MARCOS REFERENCIALES</u>	20
2.1. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1.1. ARMÓNICOS.....	20
2.1.2. CALIDAD DE LA POTENCIA (PQ).....	20
2.1.3. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD).....	21
2.1.4. CARGA LINEAL.....	21
2.1.5. CARGA NO LINEAL.....	21
2.1.6. ORDEN DEL ARMÓNICO.....	22
2.1.7. CALENTAMIENTO DE CONDUCTORES.....	22
2.1.8. SALTO DE PROTECCIONES.....	23
2.1.9. VIBRACIONES Y ACOPLAMIENTOS.....	23
2.1.10. RESONANCIA.....	23
2.1.11. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE TENSIÓN, THDV.....	23
2.1.12. DESVIACIÓN ESTACIONARIA DE LA TENSIÓN EFICAZ.....	24
2.1.13. SEVERIDAD DEL PARPADEO DE CORTA DURACIÓN, PST.....	24
2.1.14. RELACIÓN DE TENSIÓN SECUENCIA NEGATIVA Y POSITIVA, V2/V1.....	24
2.1.15. HUNDIMIENTO DE TENSIÓN.....	24
2.1.16. ELEVACIÓN DE TENSIÓN.....	25
2.1.17. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE CORRIENTE, THDI.....	25
2.1.18. DISTORSIÓN TOTAL DE DEMANDA, TDD.....	25
2.2. MARCO HISTÓRICO.....	26
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION</u>	30
3.1. FASE 1: REVISIÓN GENERAL.....	30
3.2. FASE 2: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA INSTALADO.....	30
3.3. FASE 3: DEFINICIÓN DE NORMATIVA.....	31

3.4.	FASE 4: ANÁLISIS DE DISTORSIÓN ARMÓNICA PRODUCIDA POR UN SISTEMA FV.	31
3.5.	FASE 5: COMPARACIÓN DE LAS MEDICIONES CON LAS NORMAS.....	32
<u>4.</u>	<u>DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....</u>	<u>33</u>
4.1.	SISTEMA FOTOVOLTAICO EXISTENTE	33
4.1.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL	33
4.1.2.	CARACTERÍSTICAS O ESPECIFICACIONES.	34
4.1.3.	COMPONENTES.....	35
4.2.	NORMAS REFERENTES A LOS ARMÓNICOS	37
4.3.	REGISTRO DE INFORMACIÓN.....	38
4.3.1.	CONEXIÓN DEL EQUIPO	39
4.3.2.	INFORMACIÓN CON EL SISTEMA SOLAR FV	39
4.3.3.	INFORMACIÓN SIN EL SISTEMA SOLAR FV	43
4.4.	COMPARACIÓN DE LOS ARMÓNICOS CON Y SIN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	45
<u>5.</u>	<u>RESULTADOS.....</u>	<u>46</u>
5.1.	ESQUEMA DE CONEXIONES.....	46
5.2.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS NORMAS	47
<u>6.</u>	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>50</u>
<u>7.</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>51</u>
<u>8.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>52</u>
<u>9.</u>	<u>ANEXOS.....</u>	<u>55</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema implementado en Parnaso ESSA Sede Administrativa.	33
Figura 2. Inclinação de Paneles Solares	35
Figura 3. Microinversor Enphase.....	37
Figura 4. Conexión del analizador.....	38
Figura 5. Diagrama unifilar	39
Figura 6. Señal de onda de tensión.....	41
Figura 7. Forma de onda de corriente	42
Figura 8. Conexión de analizador Dranetz	46
Figura 9. Conexión física del analizador.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Indicador THDV, pruebas registradas con generación FV	40
Tabla 2. Armónicos Individuales THDV con generación FV	40
Tabla 3. Límites Máximos Permitidos de THDV	41
Tabla 4. Máxima distorsión armónica de corrientes	42
Tabla 5. Distorsión Armónica de Corriente (THDI) Con FV	42
Tabla 6. Distorsión Armónica de Corriente (THDI) Con FV	43
Tabla 7. Indicador THD , pruebas registradas sin generación FV	43
Tabla 8. Armónicos Individuales THDV sin generación FV	44
Tabla 9. Distorsión Armónica de Corriente (THDI) sin FV	44
Tabla 10. Armónicos Individuales de Corriente (THDI) sin FV	44
Tabla 11. Comparación armónicos sin y con generación FV	45
Tabla 12. Comparación THD estandar IEEE 519-2014 con registros tomados.....	48
Tabla 13. Comparación THDI estándar IEEE 519-2014 con registros tomados....	49

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.Panel Solar Policristalino.....	55
Anexo 2.Panel Solar Multicristalino	56
Anexo 3.Características del microinversor Enphase.	57
Anexo 4.Ubicación del proyecto generación FV Parnaso Barrancabermeja.	58
Anexo 5.Ficha de datos Analizador DRANETZ	59
Anexo 6.Cálculo de distorsión armónica de corriente y de voltaje	60

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo tiene como finalidad el análisis del comportamiento de los armónicos en un sistema fotovoltaico (FV) conectado a la red. El propósito es analizar la calidad de energía de la red con el funcionamiento de los paneles solares y la carga del usuario, y examinar los armónicos de la red ESSA, deshabilitando la generación fotovoltaica. El muestreo se realizó en las instalaciones de la subestación Parnaso perteneciente a la Electrificadora de Santander S.A. E.S.P en el municipio de Barrancabermeja, donde existe una generación fotovoltaica con 34,125 kW instalados. Para obtener la información y sus variables se usaron equipos certificados que cumplieran con los estándares y normatividad vigente, analizador DRANETZ y el medidor de energía Schneider ION7400. Se obtuvo a través de las muestras tomadas que la distorsión armónica generada por los microinversores de cada panel fotovoltaico, no afectan los componentes de la instalación eléctrica.

PALABRAS CLAVE. Armónicos, generación, normatividad, calidad de energía, sistema fotovoltaico.

INTRODUCCIÓN

La evolución exponencial de los sistemas de generación eléctrica no convencionales ocurrida en la última década y en especial en los sistemas solares fotovoltaicos, producen energía eléctrica gracias a la radiación solar que incide en dispositivos semiconductores, los cuales producen flujo de electrones mediante el efecto fotoeléctrico. Este tipo de generación de energía eléctrica se conoce como energía solar fotovoltaica y constituye la fuente de generación no convencional más utilizada a nivel mundial, debido a su bajo costo y a la mayor facilidad de instalación en casi cualquier parte. Por lo anterior, es que en Colombia se han iniciado proyectos de generación fotovoltaica desde inicios de los años 80 en aplicaciones básicas de telecomunicaciones con paneles de 60 W, hasta hoy día en donde el país cuenta con plantas de generación de energía solar fotovoltaica. Un ejemplo de ello en nuestro departamento es el nuevo parque solar Celsia Chicamocha en el municipio de los Santos con capacidad de 80 MW.

Por su gran popularidad y mayor implementación día a día en el mundo y en la industria, se hace necesario estudiar los efectos de los armónicos que se producen en este tipo de sistemas al estar conectados a la red, como por ejemplo la inyección de corrientes armónicas que pueden traer daños a la red e incidir de forma negativa en la calidad de la energía PQ (Power Quality).

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La generación de energía eléctrica mediante sistemas solares fotovoltaicos ha despertado una preocupación en los operadores de red a nivel nacional, y es porque esta tecnología tiene elementos de electrónica de potencia, los cuales pueden llegar a afectar la calidad de las ondas de tensión y corriente presentes en el sistema eléctrico. Los armónicos ocasionan una serie de eventos que afectan el correcto funcionamiento de la red y sus componentes eléctricos, por tal motivo la deformación en la forma de onda debe ser medida y controlada con diferentes dispositivos como lo indican los órganos de control (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2005).

El crecimiento de la generación fotovoltaica a nivel nacional supone el aumento y perturbación de los armónicos, la corriente armónica inyectada por el inversor hace pensar que son una fuente significativa de distorsión, esta reflexión permite evaluar el sistema de generación FV para afirmar o descartar sus alteraciones (Asades 2016).

Un sistema on-grid genera excedentes de potencia los cuales se inyectan a la red. Un especial cuidado es la detección y control de armónicos, la distorsión armónica tiene efectos y consecuencias que afectan considerablemente los equipos, por esta razón es una preocupación directa por parte del operador de red y los entes de regulación (Solartik 2020).

Son varias las preguntas sobre el origen o causa de los armónicos, a la fecha también son múltiples las respuestas y soluciones planteadas, el problema está en la omisión de los protocolos y seguimiento de los estándares que indican los límites de distorsión armónica, el desconocimiento de la norma y el no saber hacer las mediciones de la calidad de la potencia generan un vacío en la detección de fallas del sistema eléctrico (Resolución CREG 070, 1998)

En este caso particular se analiza de forma práctica el efecto causado por la planta de generación eléctrica solar fotovoltaica de 34,125 kW propiedad de la Electrificadora de Santander, ESSA Grupo EPM, haciendo mediciones del comportamiento de la red cuando este sistema se encuentra apagado y cuando se está inyectando la potencia producida mediante paneles solares ubicados en la subestación Parnaso, en la ciudad de Barrancabermeja (Santander), la cual alimenta el edificio administrativo de la compañía e inyecta el excedente de la generación a la red (Generación Solar el Parnaso, 2018).

1.2. JUSTIFICACIÓN

En el desarrollo del presente documento se desea observar y monitorear los efectos que puede causar en la red eléctrica la inyección de corriente armónica producida por el sistema instalado en la ciudad de Barrancabermeja (Subestación Parnaso) por la electrificadora de Santander ESP, la cual será objeto de análisis para evidenciar su comportamiento monitoreando la red con el sistema de generación fotovoltaica desconectado y posteriormente con este en funcionamiento, con el fin de evidenciar la diferencia si es que la hay del comportamiento de la red bajo estas dos condiciones (Generación Solar el Parnaso, 2018).

Para desarrollar el correcto análisis de los efectos causados por este sistema en la red se hace necesario abordar la normativa nacional y los estándares internacionales que hacen referencia a los parámetros correspondientes a calidad de energía y valores permisibles de inyección de armónicos (IEEE Std 519, 2014).

Para observar el comportamiento de los armónicos, la obtención de pruebas, recolección de muestras, se utiliza el analizador de la calidad de la energía marca DRANETZ HDPQ clase A, el cual cumple con los estándares IEC 61000-4-7, IEEE1159, IEEE 1459, IEC 61000-4-30 (Xplorer Dranetz).

En el análisis de armónicos las medidas se tomaron de acuerdo con el procedimiento establecido por el estándar IEC6000-4-30, en la fuente de alimentación de la generación fotovoltaica, aguas arriba de la protección principal, en la fuente de tensión y corriente del distribuidor de energía local u operador de red, aguas arriba de la protección general, con este argumento se garantiza que los valores tomados corresponden al círculo total de la carga (Schneider Electric. Armónicos).

Abordar la evaluación de los armónicos permite determinar su porcentaje, teniendo estos valores, y si exceden los límites establecidos por la norma, se puede determinar las correcciones, mejorar el factor de potencia garantizando la eficiencia del sistema eléctrico. (Apolo CREG, Resolución 016 2007).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de los armónicos producidos por un sistema solar fotovoltaico de 34,125 kW conectado a la red de la ESSA con el ánimo de resaltar los aspectos más importantes que tiene el sistema desde la perspectiva de los armónicos.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las características y especificaciones del sistema fotovoltaico conectado a la red de la ESSA para determinar si la tensión entregada por los micro inversores introduce distorsión armónica.
- Definir la normativa referente a la distorsión de los armónicos en instalaciones con sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red, para poder argumentar si la distorsión armónica proviene de la carga o se genera por la planta fotovoltaica.
- Analizar los armónicos generados en el sistema eléctrico teniendo en cuenta un esquema de conexión referido en las normas y obtenido a través del registro de información con un analizador de red para identificar la presencia de armónicos en la instalación eléctrica.
- Realizar una comparación entre los armónicos encontrados en ausencia y presencia del sistema de generación fotovoltaico para determinar los efectos de los sistemas fotovoltaicos en la calidad de energía.

1.4. ESTADO DEL ARTE.

Se expone la importancia de identificar el origen principal de las perturbaciones a causa de armónicos producidos por sistemas de generación eléctrica convencional y no convencional, así como por cargas, lo anterior con el fin de poder tomar acciones eficientes atacando el foco principal de este problema. Lograr esta identificación de la problemática permitirá la toma de mediciones que cuantifican la deformación de la onda sufrida a causa de la distorsión armónica total (THD). También se podrá verificar de acuerdo con la normativa nacional y los estándares internacionales, el cumplimiento de los niveles de distorsión armónica total permitidos donde se requiera el estudio. Consecuencia de ello se presentan diferentes metodologías para estudio e identificación de fuentes de armónicos en sistemas eléctricos (Ruiz & Ortiz, 2007).

Se presenta de forma experimental, bajo diferentes parámetros climáticos y de irradiancia, la comparativa de la distorsión armónica producida por dos tipos de inversores de diferente fabricante, usados en sistemas de generación fotovoltaica conectados a la red. También expone la importancia de estudios de calidad de energía en todo tipo de redes debido al auge tecnológico que experimenta el mundo, por lo cual se ha tenido en la última década un uso elevado de componentes electrónicas en la cotidianidad humana e industrial. Sumado a eso el incremento en el uso de fuentes alternativas de energía como la generación solar fotovoltaica hacen un aporte significativo en componentes armónicas a las redes, se realiza un análisis meticuloso de los armónicos presentes en los sistemas eléctricos industriales de la ciudad de Monterrey (México), haciendo un recorrido por la variedad de complicaciones que puede producir la distorsión armónica en las redes eléctricas (Horikoshi, 2009).

Se deja en evidencia el limitado conocimiento de las metodologías para el estudio y detección de armónicos existentes desde hace décadas. Por otra parte, se presentan algunas soluciones prácticas basadas en las experiencias de los autores a partir de investigaciones doctorales con aplicación de filtros que permiten mantener las redes industriales bajo el cumplimiento de los parámetros ya establecidos por las leyes y normativa internacional (Llamas et al., 2014).

El estudio sobre la calidad de la energía realizado a un sistema de generación fotovoltaica de 40 kW encargado de alimentar un laboratorio y algunas residencias deja como conclusión que la distorsión armónica producida por un sistema fotovoltaico no presenta valores significativos que incumplan con las normas, siempre y cuando se realicen los estudios correctos para la selección del sistema a instalar. Además, se evidencio el aporte armónico producido por una vivienda unifamiliar la cual es significativamente mayor respecto a la fuente de generación, lo que muestra que una de las posibles fuentes de inyección de componentes armónicas poco supervisadas y reguladas podría ser las redes residenciales (Durán et al., 2016).

Se plantea un estudio para la validación del cambio sufrido por los indicadores correspondientes a la calidad de la energía cuando se conecta una central de generación solar fotovoltaica ya existente como sistema aislado a una red eléctrica residencial. Para cumplir el objetivo de análisis fue necesario monitorear el comportamiento de la red antes de conectar el sistema fotovoltaico mediante un analizador de energía FLUKE 435. Después de obtenidos estos datos se realizó la conexión a la red de la generación eléctrica mediante un inversor on-grid SMA modelo SUNNY BOY 24^o que permitió control remoto en tiempo real mientras que un segundo analizador de energía FLUKE 1735 realizo mediciones en la salida del inversor con el fin de identificar la posible distorsión armónica que podría suministrar el sistema a la red. Como parte final se tiene la comparación y análisis de los datos

conseguidos en la investigación experimental acorde a las leyes nacionales y estándares internacionales. (Domínguez, & Salvatierra, 2016).

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Armónicos.

Los armónicos son producidos por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante. Estas cargas no lineales a pesar de estar alimentadas con una tensión senoidal absorben una intensidad no senoidal, haciendo que la corriente quede desfasada un ángulo φ respecto a la tensión. Las cargas no lineales son la principal fuente de generación de armónicos, entre ellos están, equipos informáticos, variadores de velocidad, balasto electrónico y en general componentes activos como diodos, transistores (Rojas, Rivas & Jaramillo, 2014).

2.1.2. Calidad de la potencia (PQ).

Se define como el conjunto de análisis y mediciones de los fenómenos electromagnéticos que inciden en la forma de onda de las señales de tensión y corriente suministradas por el operador de red. Estos fenómenos se ven reflejados por la compañía de energía en pésimos factores de potencia y distorsión en la forma de onda.

Por otra parte, los usuarios interpretan el concepto como los parámetros contractuales que se establecen para que sus instalaciones eléctricas y equipos no se vean afectados, y además la garantía de calidad en el servicio recibido (Rojas et al., 2014).

2.1.3. Distorsión Armónica Total (THD).

Se conoce como distorsión armónica a la deformación que sufre la onda senoidal de la corriente o el voltaje al alimentar una carga no lineal ya que por parte del operador de red se debe garantizar una onda senoidal pura.

Equipos tales como variadores de frecuencia, equipos de frío, rectificadores, luminarias tipo led, cargadores de baterías y demás equipos cuyo uso de la electrónica de potencia modifican las señales perfectas de alimentación de voltaje y corriente, generando una alteración del flujo eléctrico que pueda derivarse a cualquier parte del circuito (Horikoshi, 2009).

2.1.4. Carga lineal.

Cuando la impedancia de un elemento alimentado por una fuente de tensión se comporta de manera constante a través del tiempo sin sufrir ningún cambio se le conoce como carga lineal y tiene como característica el cambio proporcional de la onda de corriente respecto al voltaje senoidal aplicado como se observa en la figura 1. De tal manera que, al cumplirse el comportamiento constante de estas impedancias, si se les aplica una onda senoidal de voltaje se tendrá como resultado una corriente con forma de onda senoidal. Este tipo de cargas están comprendidas principalmente por resistencias de calentamiento e iluminación incandescente (Horikoshi, 2009).

2.1.5. Carga no Lineal.

Si la impedancia de un elemento alimentado por una fuente de tensión no se comporta de manera constante a través del tiempo y sufre cualquier tipo de cambio se le conoce como carga no lineal y trae como consecuencia que la respectiva onda de corriente para ese circuito no sea senoidal pura, haciendo que esta señal no se ajuste a la forma de onda del voltaje aplicado como se observa en la figura 2.

Este tipo de cargas generan pulsos cortos de alta corriente debido a que su impedancia se activa y desactiva cerca del pico de la forma de onda de voltaje (Horikoshi, 2009).

2.1.6. Orden del armónico.

Las componentes armónicas de todo sistema son ondas múltiplos enteros de la onda fundamental, por lo cual se pueden tener armónicos de orden par y de orden impar (figura 3), siendo objeto de estudio para las instalaciones eléctricas únicamente los armónicos de orden impar. Por tanto, se tiene que el orden del armónico determina el N número de veces que será superior la frecuencia respecto a la frecuencia fundamental del sistema la cual puede ser de 50Hz o 60Hz (Horikoshi, 2009).

2.1.7. Calentamiento de conductores.

El principal y más importante efecto producido por los armónicos es el calentamiento, el cual afecta todo tipo de conductores en general, pero trayendo mayores consecuencias en los devanados de motores, transformadores y el neutro. Debido al aumento en la frecuencia de la corriente y el voltaje que se tiene como consecuencia de los armónicos, el flujo de electrones a través de la sección transversal no será uniforme, sino que se concentrará en la superficie exterior de esta, lo que se traduce en mayor resistencia del conductor y como resultado de ello un aumento en la temperatura que puede acarrear un deterioro acelerado del aislamiento (Horikoshi, 2009).

2.1.8. Salto de protecciones.

El hecho de que las señales de corriente con armónicos puedan alcanzar picos muy elevados, opuesto a los valores rms de estas, trae como consecuencia el salto de equipos de protección magnetotérmicos y diferenciales (Horikoshi, 2009).

2.1.9. Vibraciones y acoplamientos.

Las interferencias electromagnéticas producidas por las súbitas bajadas y subidas de las señales deformadas, y las altas frecuencias de los armónicos pueden ser conducidas por la red, provocando vibraciones en transformadores, tableros de distribución y acoplamientos en redes de comunicación (Horikoshi, 2009).

2.1.10. Resonancia.

La amplificación de señales de determinadas frecuencias generadas por circuitos resonantes comprendidos generalmente por capacitor en paralelo e inductor en serie, pueden aumentar los efectos perjudiciales producto de los armónicos (Horikoshi, 2009).

2.1.11. Distorsión armónica total de tensión, THDV.

Este es el indicador más importante de acuerdo con la temática presentada en este trabajo, en él se miran los componentes armónicos de la onda de tensión respecto a la onda portadora o estándar, sus valores se representan en porcentaje y lo establece el estándar IEC 61000-4-30 del año 2008 (Voltech, 2003).

2.1.12. Desviación estacionaria de la tensión eficaz.

Esta desviación corresponde a voltajes en niveles de tensión 1, 2, 3 y 4, la iniciativa es dada cuando la tensión eficaz se encuentra por encima del 110 % o 90% por debajo de la tensión nominal durante un tiempo igual o superior a un minuto.

Los sistemas de voltaje mayores a 500 KV su desviación está aplicada a los siguientes valores. Por encima del 105% o por debajo del 90% de la tensión nominal en un tiempo igual o superior a un minuto. Los anteriores valores fueron establecidos en el estándar IEC 61000-4-30 del año 2008 (Voltech, 2003).

2.1.13. Severidad del parpadeo de corta duración, PST.

La evaluación se hace en un periodo de 10 minutos y consiste en determinar la intensidad con la que es interferida o molestada la señal en cada una de las fases del sistema eléctrico. Los valores de referencia están fijados en el estándar IEC 61000-3-30 del año 2008 (Voltech, 2003).

2.1.14. Relación de Tensión Secuencia Negativa y Positiva, V2/V1

Este indicador esta dado entre la señal de tensión de secuencia negativa y señal de tensión de secuencia positiva, el muestreo se hace con un intervalo de adición de 10 minutos, también se basa en la regulación fijada en el estándar IEC 61000-4-30 del año 2008 (Voltech, 2003).

2.1.15. Hundimiento de Tensión.

Este fenómeno es considerado cuando la tensión cae a un porcentaje menor del 90% de la tensión nominal <en nivel de tensión 1> y su retorno a un valor más alto que el 90% de la tensión nominal en un tiempo que va desde medio ciclo a un

minuto, los valores y consideraciones están referenciados de acuerdo al estándar IEC 61000-4-30 del año 2008 (Voltech, 2003).

2.1.16. Elevación de tensión.

Una elevación de tensión es considerada cuando supera el 110% de la tensión portadora suministrada por la red, y retorna con un valor más bajo del 110% en un tiempo de registro de medio ciclo a un minuto, todos los fenómenos mencionados en este documento son perjudiciales, pero este en especial, si no se tiene protecciones puede afectar los diferentes equipos y dispositivos, ya que la electrónica no soporta tensiones superiores a las de diseño del elemento (Voltech, 2003).

2.1.17. Distorsión armónica total de corriente, THDI.

Es el indicador de los componentes armónicos de la señal de onda de corriente respecto a la onda portadora, sus variables también se expresan en porcentaje, de acuerdo con el estándar, la toma del muestreo se hace con intervalos de 10 minutos (Voltech, 2003).

2.1.18. Distorsión total de demanda, TDD.

Esta degradación de la señal hace referencia a la distorsión de la onda de corriente respecto a la carga máxima existente, para obtener la medición y su análisis se debe tener el resultado o muestreo de la distorsión armónica total de corriente THDI y multiplicar por la corriente fundamental sobre la corriente de carga de demanda máxima (Voltech, 2003).

2.2. MARCO HISTÓRICO

La primera central eléctrica comercial de la historia entro en funcionamiento en la ciudad de New York (Estados Unidos) el 4 de septiembre de 1881 obra de la Edison Illuminating Company, propiedad de Thomas Alva Edison y constaba de un generador térmico de corriente continua a base de carbón, el cual tenía que cubrir la demanda de 400 lámparas incandescentes de 82 clientes de la Pearl Street al sur de Manhattan. El sistema de distribución constaba de 3 conductores con una tensión de 220/110 Vdc para la carga total de 30 kW de iluminación.

Tan solo 4 años después, hacia el año de 1885 fue creado el primer transformador laminado de corriente alterna AC por William Stanley, lo que trajo como consecuencia los primeros experimentos con corriente alterna en el año de 1890 a cargo de la compañía Westhinhouse dejando al descubierto mayores ventajas con respecto a la corriente directa.

- Mayor economía en la construcción de motores AC.
- Menor complejidad en la construcción de generadores AC.
- Los transformadores de AC permiten cambios en los niveles de voltaje y corrientes.

En el año de 1900 tras establecerse firmemente los sistemas de corriente alterna se adopta estandarizar la frecuencia fundamental de los sistemas de generación con valores de 50 Hz para toda la zona de Europa y 60 Hz para todo el continente de América.

Para poder llegar a estos valores estándar se experimentó con diferentes niveles de frecuencias desde los 25 Hz hasta los 133 Hz, lo que dejó en evidencia ventajas económicas en construcción e infraestructura para los niveles de frecuencia de 50 Hz y 60 Hz ya que las turbinas de generación se fabricaban a 3600 rpm y 1800 rpm. Fue por esto que el sistema de corriente alterna lograron imponerse sobre los sistemas de corriente directa, los cuales fueron desapareciendo a través del tiempo.

Para encontrar las primeras referencias a estudios de los componentes armónicos en sistemas de potencia se remontan a 1890 cuando gracias a la creación y fabricación de los primeros motores de corriente alterna y transformadores se logra identificar un efecto en las señales de corriente y voltaje que hasta el momento se desconocían y el cual se denominó armónicos y era el causante de la distorsión en las formas de onda de las señales entregadas por la red eléctrica.

Gracias a la aparición de este fenómeno fue que en el año de 1893 se realizaron los primeros estudios con el fin de solucionar los problemas de sobrecalentamiento de ciertos motores y transformadores, utilizando el primer tipo de análisis armónico el cual requería de un instrumento que para su época se llamó “medidor de ondas” y su función principal era la de reproducir la forma de onda que se generaba en diferentes puntos de la red eléctrica. Con esta información obtenida gracias al instrumento, Steimetz y Hartford pioneros en el tema realizaban diversos estudios de análisis de estas señales mediante el modelo matemático de la transformada de Fourier y gracias a la cual se logró dar soluciones que mitigaban el gran impacto en la red que producían los armónicos, creando nuevos diseños en generadores y transformadores.

Tendría que transcurrir más de medio siglo para que se buscaran otras soluciones a la problemática de los armónicos, y no fue sino hasta la década de los 60's que se implementó el uso de bancos de condensadores en derivación en el sector industrial con el fin de corregir el factor de potencia.

A la par de ello se introdujo la electrónica mediante la cual se inició la creación de filtros como una solución y trayendo como consecuencia la creación de los primeros rectificadores e inversores de señal gracias al uso de elementos como los diodos y los transistores, los cuales no tardan en convertirse en un nuevo foco en la problemática de los armónicos en las redes eléctricas.

En la actualidad el crecimiento exponencial en el uso de dispositivos electrónicos tanto en la industria como en la vida cotidiana de la humanidad, además del auge en la implementación de generación de energía eléctrica No convencional renovable y amigable con el medio ambiente han introducido mayor importante número de variadores y rectificadores que afectan a las redes eléctricas.

Es por eso que crea la necesidad de insertar el concepto de calidad de la energía a nivel mundial o PQ por sus siglas en inglés (Power Quality) en el sector eléctrico ya que de esta depende la mayor parte de la economía mundial.

Este desarrollo económico ha llevado a que día a día se construyan más redes eléctricas de mayor potencia, así como también más granjas de generación no convencional.

Razón por la cual se logra un mayor desarrollo en el campo de la electrónica de potencia con el fin de crear mayor variedad de filtros pasivos, activos e híbridos los cuales mediante el uso de elementos pasivos, activos y una combinación de ellos son la mejor solución para poder garantizar el cumplimiento de los estándares nacionales e internacionales en cuanto a la calidad de la energía eléctrica la cual es responsabilidad tanto de los operadores de red como del cliente final residencial e industrial (Ruiz & Ortiz, 2007).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta es una investigación descriptiva y exploratoria, ya que reseña las características enfocadas en las normas regulatorias de los sistemas fotovoltaicos, calidad de la energía y porque a través de las mediciones y toma de datos se busca mostrar los resultados referentes a la distorsión armónica generada por un sistema fotovoltaico.

3.1. Fase 1: Revisión general.

En primera instancia se realiza la definición y alcance de los objetivos tanto general como específicos, de manera que estén enfocados en la solución de la problemática descrita en el planteamiento del problema. Siguiendo el orden cronológico y para el correcto desarrollo del documento se debe realizar la introducción al contexto particular, haciendo la investigación correspondiente al conocimiento técnico, legal, histórico y el reconocimiento del sistema ya instalado, con el fin de afrontar el desarrollo del trabajo con las bases académicas correctas para obtener como resultado un documento de calidad con el análisis de la problemática de manera exploratoria.

3.2. Fase 2: Descripción del sistema instalado.

Para el desarrollo de la descripción del sistema de generación fotovoltaica se tiene acceso a la ingeniería del proyecto y se obtienen las características y especificaciones técnicas, las cuales se mencionan a continuación.

El sistema se compone de:

- 105 paneles de 72 celdas policristalinos de 325 W, 45.9 Voc, 9.25 Asc,
- 105 micro inversores con una tensión y corriente de entrada máximas de 62V y 15 A respectivamente, dando origen unas señales de salida de tensión y corriente de 240 V y 1.75 A.

- La distribución de los paneles se hizo con 15 strings de 7 unidades cada uno protegidos por un breaker STECK SDZD62C20, conectados en paralelo, los cuales alimentan la barra de baja tensión de la instalación.

3.3. Fase 3: Definición de normativa.

En el marco legal del presente documento se encuentra consignada la normativa nacional e internacional bajo la cual se rige la calidad de la potencia, mostrando parámetros y características permisibles para el análisis del efecto de los armónicos presentes en una red eléctrica. De acuerdo con esto se tiene que el estándar IEEE 519 es la base regulatoria para diseños eléctricos que incluyan cargas no lineales, ya que define los límites de distorsión permisibles y las formas de onda aptas que se pueden presentar a lo largo de una red eléctrica desde la generación convencional o alternativa, hasta las cargas. Por otra parte, y no menos importante se tiene la norma IEC 61000-4-30 de 2008 encargada de regular los parámetros y características que se deben tener en cuenta para la realización de medidas en estudios de calidad de la potencia de un sistema eléctrico.

3.4. Fase 4: Análisis de distorsión armónica producida por un sistema FV.

Para la realización de la toma de datos que lleven a un posterior análisis de los armónicos en la red por causa de la generación fotovoltaica, se hacen mediciones con el sistema fotovoltaico en marcha y posteriormente con este apagado. Para esto se instala el analizador de calidad de la potencia DRANETZ HDPQ-XAFLEX3KPKG clase A, capaz de monitorear parámetros de la demanda y la energía haciendo estudios estadísticos, el equipo propiedad del operador de red, se parametriza para toma de datos cada 10 minutos durante 24 horas para cada uno de los casos

mencionados esta información queda registrada en la data generada por el equipo y guardada en la red de datos de la compañía, analizada en el software DranView.

3.5. Fase 5: Comparación de las mediciones con las normas.

Se planteó la toma de mediciones teniendo el sistema apagado durante un día y posterior la toma de datos con el sistema encendido durante el mismo lapso.

La comparación de la distorsión armónica total de tensión observada en estas dos situaciones debe reflejar de forma clara y concisa si el FV distorsiona la forma de onda de las señales de voltaje por encima de los parámetros establecidos por los estándares internacionales.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. Sistema Fotovoltaico existente

Se encuentran instalados un total de 105 paneles fotovoltaicos policristalinos marca Trina Solar TSM- 325-PD14, cada panel tiene una capacidad en potencia de 325W con tensión de 48VDC. En la figura 1, se muestra el sistema fotovoltaico instalado en la sede administrativa de la ESSA en el barrio Parnaso Barrancabermeja (Santander).

Figura 1. Sistema implementado en Parnaso ESSA Sede Administrativa.



Fuente: (ESSA EPM)

4.1.1. Descripción General

En el mes de febrero de 2018 fue inaugurado el proyecto de autogeneración solar, en la sede administrativa de la Electrificadora de Santander ESSA ubicado en la Calle 67 # 20 261 en el barrio Parnaso del municipio de Barrancabermeja Santander con Coordenadas 7.072785, -73.854522.

Este proyecto tiene una capacidad instalada de 34125 W y una generación de energía promedio de 150 kW/h día, suministra en parte la demanda del edificio administrativo de ESSA y exporta excedentes los fines de semana y días festivos evitando así, que esta energía sea generada a través de medios convencionales que impactan el medioambiente. Esta planta solar fue una de las primeras en la región, ha servido para realizar investigaciones y profundizar en la tecnología de la generación fotovoltaica.

4.1.2. Características o Especificaciones.

Este sistema FV cuenta con paneles solares policristalinos marca Trina Solar TSM-325-PD14 con una capacidad de generación de 325 W en su máxima potencia a una tensión de 48 VDC y se encuentran instalados sobre una estructura para dar inclinación de 10° hacia el sur como se observa en la figura 5, cada panel de 72 (6x12) celdas y eficiencia de 16,8% cuenta con un un micro inversor Enphase IQ6PLUS-72-2US instalado en la parte posterior de ellos, teniendo como resultado 105 microinversores encargados de suministrar la potencia producida por cada panel Trina Solar TSM- 325-PD14 (Enphase, 2008).

Este sistema presenta varias acometidas que se encargan de llevar la corriente eléctrica producida por los paneles FV a diferentes elementos de la instalación, la acometida está conectada desde el tablero de protecciones hasta el tablero de medida en cable de cobre # 2 THHN/THWN-2 a 600V. El conexionado está conformado por cable de referencia Q modelo Q-12-20-200 y resiste tensiones hasta 250 V.

Las cajas de unión instaladas permiten realizar el empalme y agrupar los micro inversores reduciendo los circuitos, de modo que se puedan llevar en menos cantidad de cables hasta el tablero de protecciones. Los paneles FV están puestos

sobre una estructura metálica en acero anticorrosivo, sujetas a las vigas del edificio administrativo con inclinación de 10° hacia el sur como se observa en la figura 2.

Figura 2. Inclinación de Paneles Solares



Fuente: (Autores)

4.1.3. Componentes

4.1.3.1 Paneles Fotovoltaicos

Los paneles FV marca Trina Solar TSM- 325-PD14 utilizados en este proyecto presentan los certificados de calidad IEC 61215, ISO 9001 (sistema de control de calidad), ISO 14001 (sistema de gestión ambiental), OHSAS 18001 (manejo de seguridad y salud), garantizando así fiabilidad y garantía, los datos eléctricos permiten calcular las protecciones y cantidad de paneles requeridos para abastecer la demanda el proyecto, a continuación, se indican las características de los paneles solares.

- Marca Trina Solar TSM- 325-PD14
- Maxima potencia 325 W
- Tensión en el punto maximo VMP 37.2 V
- Corriente en el punto maximo IMP 8.76 A

- Voltaje de circuito abierto V_{oc} 45.9 V
- Corriente de cortocircuito I_{sc} 9.25 A
- (Trinasolar)
- Celdas multicristalinas de 156x156 mm
- Peso, 22.5 Kg
- Distribución del módulo, 1956x992x40 mm
- Vidrio solar de alta transparencia, capa antirreflejante, templado de 3.2 mm
- Cable de tecnología fotovoltaica de 4 mm^2

4.1.3.2 Microinversores

Los microinversores son dispositivos encargados de convertir la corriente continua a corriente alterna, vienen instalados debajo del panel FV, este sistema ofrece tecnología avanzada y confiable, el microinversor Enphase IQ6 mostrado en la figura 3, presentando las siguientes características.

- Tensión máxima de cortocircuito de entrada 62 V
- Tensión máxima de registro de corriente 27 V -48 V
- Corriente de cortocircuito máxima 15 A
- Tensión de arranque mínima/máxima 22 V / 62V
- Compatibilidad del módulo, módulos fotovoltaicos de 60 y 72celdas
- Combinación de módulos recomendada 235 W – 400 W
- Potencia máxima de salida 290 VA
- Potencia de salida (continua) nominal 280 VA
- Corriente de salida nominal 1.17 A
- Tensión nominal/*intervalo*² 240 V/211-264 V
- Frecuencia 60 HZ
- Factor de potencia 1
- Factor de potencia ajustable, 0.7 adelanto

- (Enphase)

Figura 3. Microinversor Enphase



Fuente: (Autores)

4.2. Normas referentes a los armónicos

En este trabajo se hace referencia a las resoluciones de orden nacional, CREG 024 DE 2005, resolución CREG 016 DE 2007, resolución CREG 065 de 2012 y los estándares internacionales, IEEE 519 de 2014, estándar 1159 de 2009, estándar IEEE 1453 de 2015, estándar IEC 61000-4-7 de 2002, estándar IEC 61000-4-15 de 2010 y el estándar IEC 61000-4-30 de 2015. Estas resoluciones y estándares son las reglas establecidas que tratan la calidad de la potencia y en general los armónicos en los sistemas eléctricos, en la siguiente tabla, se muestran los valores límites de distorsión armónica (ver tabla 1).

Tabla 1. Límites de distorsión armónica

ESTANDAR IEEE Std 519-2014									
LIMITE DE DISTORSIÓN ARMÓNICA DE VOLTAJE			LIMITE DE DISTORSION ARMÓNICA DE CORRIENTE						
Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)	Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
			Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}						
			I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0	< 20 ^c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
1 kV < $V \leq 69$ kV	3.0	5.0	20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
69 kV < $V \leq 161$ kV	1.5	2.5	50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
161 kV < V	1.0	1.5 ^a	100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
			> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente. (IEEE Std 519-2014)

4.3. Registro de Información.

Para el análisis y recolección de datos de la calidad de la potencia, se utilizó un analizador de redes marca DRANETZ, sus conexiones se realizaron de acuerdo al manual del fabricante, ver figura 4. El analizador recopila la información del sistema trifásico con generación FV y sin generación FV, permitiendo observar el comportamiento de los armónicos.

Figura 4. Conexión del analizador

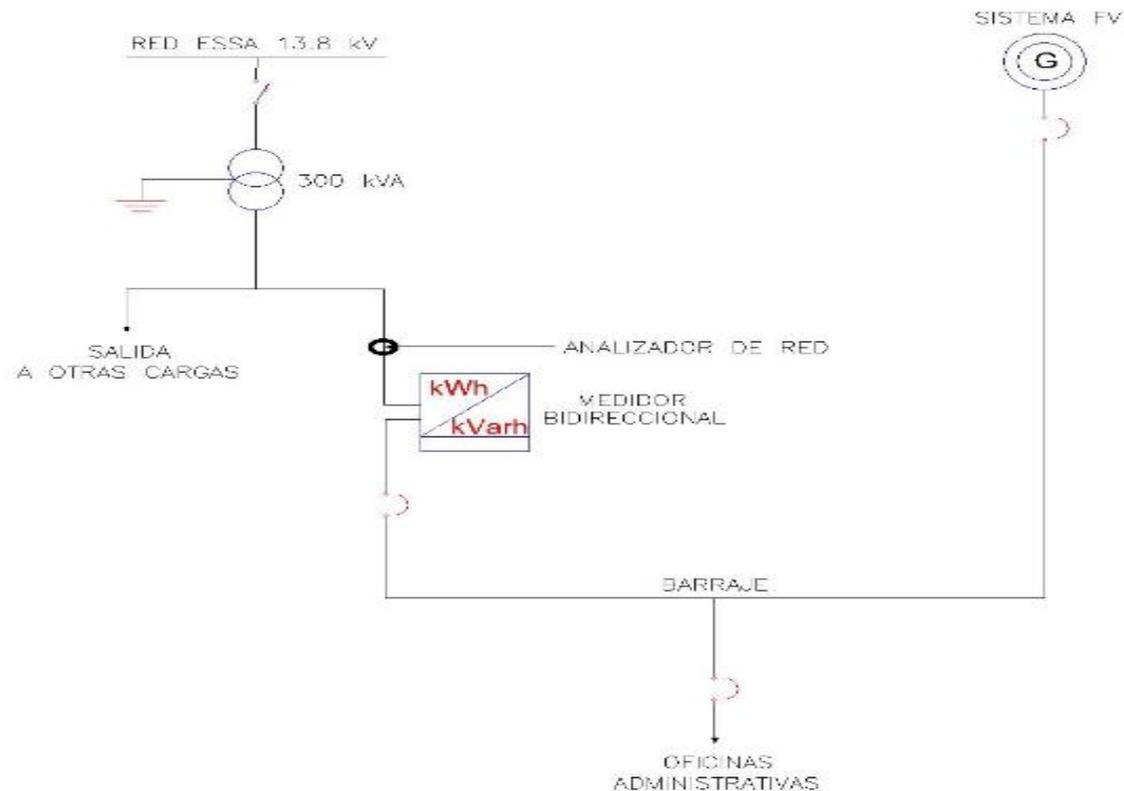


Fuente: (Autores)

4.3.1. Conexión del equipo

El analizador de red de la calidad de la potencia se instaló en dos fases, la primera fase correspondió a realizar las mediciones aguas arriba en la protección principal de la red que suministra el fluido eléctrico en la sede administrativa, sobre la regleta de la medida de conexión semidirecta existente, en la segunda fase se inhabilitó el sistema fotovoltaico.

Figura 5. Diagrama unifilar



Fuente. (Autores)

4.3.2. Información con el sistema solar FV

De acuerdo a la información registrada, el porcentaje de armónicos de distorsión armónica total de voltaje no supera el 5%, cumple con el límite de 8 % THD

establecido en el estándar IEEE STD 519-2014, no hay riesgo que afecten los equipos eléctricos de la sede administrativa.

En la tabla 2, se indican los valores de distorsión armónica total de voltaje registrados con generación fotovoltaica.

Tabla 2. Indicador THDV, pruebas registradas con generación FV

Indicador THD Con Generación Fotovoltaica			
Indicador	THD FASE R	THD FASE S	THD FASE T
Generación FV	4.05 %	3.99 %	3.98 %

Fuente: (Autores)

Para tensiones menores a 1.0 kV los armónicos individuales no deben superar el 5 %, los registros tomados con generación FV mostrados en la tabla 3, no superan este límite, cumpliendo con el estándar IEEE 519-2014, con estos valores, los dispositivos eléctricos conectados no sufren alteraciones en su funcionamiento.

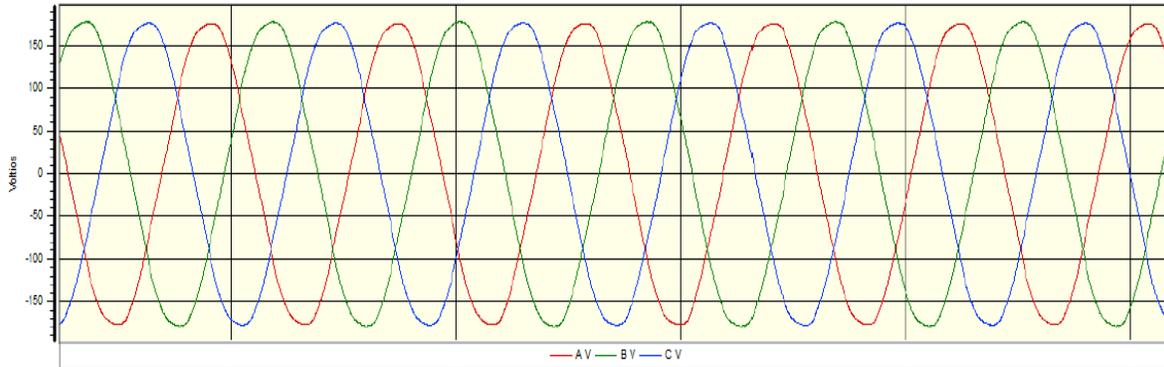
Tabla 3. Armónicos Individuales THDV con generación FV

Armonicos Individuales de tensión con Generación FV											
Orden del armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Generación FV	100%	0.01 %	0.28 %	0.01%	3.83 %	0.01 %	0.98 %	0.01 %	0.15 %	0.01 %	0.32 %

Fuente: (Autores)

La distorsión en la forma de onda de tensión está formada por las cargas conectadas en la instalación y los armónicos generados por los microinversores, aun así, su forma de onda se mantiene, similar a la onda portadora sin causar afectaciones al sistema eléctrico en la figura 6, se muestra la señal de onda de tensión del sistema trifásico con generación fotovoltaica.

Figura 6. Señal de onda de tensión.



Fuente: (Autores)

Los límites máximos de distorsión armónica total de voltaje, (ver tabla 4) son establecidos de acuerdo al estándar IEEE STD 519 de 2014, la instalación fotovoltaica de la sede administrativa ESSA Parnaso se encuentra en nivel de tensión 1.

Tabla 4. Límites Máximos Permitidos de THDV

Límites Máximos de Distorsión Total de Voltaje	
Tensión del Sistema	THDV Máximo (%)
Niveles de tensión 1,2 y 3	5.0
Nivel de Tensión 4	2.5
STN	1.5

Fuente: (CREG 024, 2005)

Distorsión Armónica Total de Corriente (THDI) y Distorsión Total de Demanda (TDD).

Los límites de distorsión de corriente se establecen en el estándar IEEE STD 519-2014 (ver tabla 5), en él se fijan los porcentajes máximos y el orden de los armónicos en sistemas de tensión entre 120 V a 69 kV.

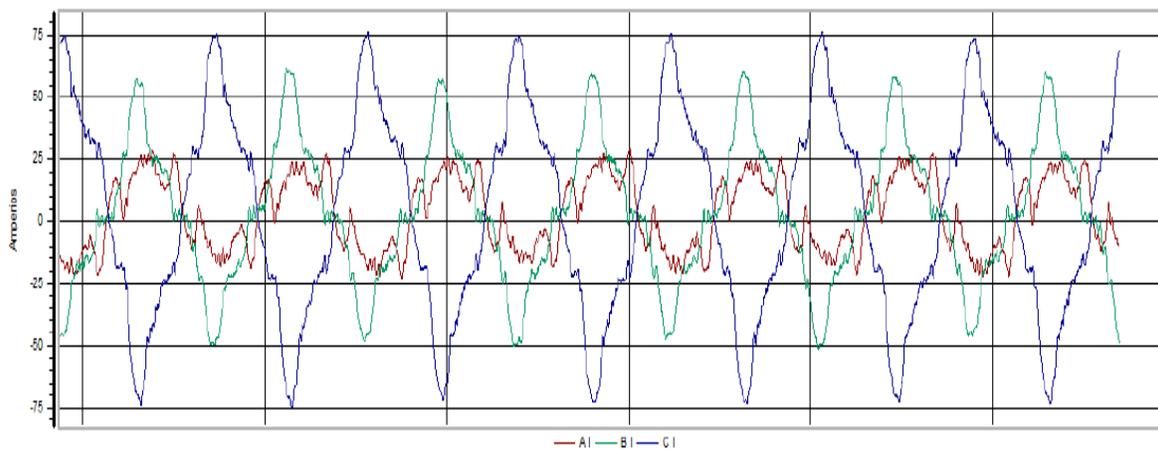
Tabla 5. Máxima distorsión armónica de corrientes

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	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 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente. IEEE STD 519, 2014

En la sede administrativa ESSA Parnaso, la distorsión armónica de corriente, (ver tabla 7) es causada por cargas monofásicas (iluminación led, equipos de cómputo y aires acondicionados), estas cargas no lineales presentan electrónica en su etapa de entrada, por otro lado, la autogeneración muestra la influencia que tienen los microinversores sobre las señales debido a la electrónica de potencia que tienen para hacer la inversión de corriente continua a corriente alterna, en la figura 8 se muestra la forma de onda formada por las cargas de la sede administrativa.

Figura 7. Forma de onda de corriente



Fuente: (Autores)

Tabla 6. Distorsión Armónica de Corriente (THDI) Con FV

THDI Con Generación Fotovoltaica			
Indicador	THDI FASE R	THDI FASE S	THDI FASE T
Generación FV	13.18 %	12.08 %	9.04 %

Fuente: (Autores)

Este sistema fotovoltaico está condicionado a distorsiones armónicas de demanda (TDD) para que su porcentaje no supere el 15 %, corriente de cortocircuito (29700 A), corriente máxima de demanda (80 A), los armónicos del orden 3, 5, 7, 9 y 11 no superan ese valor de porcentaje, (ver tabla 7).

Tabla 7. Distorsión Armónica de Corriente (THDI) Con FV

Armónicos Individuales de Corriente con Generación FV											
Orden del Armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Generación FV	100%	1.99 %	5.35 %	1.96 %	8.0 %	0.79	6.81 %	2.17 %	1.15 %	1.11 %	1.13 %

Fuente: (Autores)

4.3.3. Información sin el sistema solar FV

Distorsión Armónica Total de Tensión sin Generación FV. El operador de red eléctrico garantiza fiabilidad en la onda de tensión, cumple con el estándar IEEE STD 519-2014, la distorsión armónica THD, no supera el 8 % establecido en la norma IEEE 518-2014 con estos valores el comportamiento de los equipos eléctricos trabaja en óptimas condiciones, en la tabla 8, se muestra el indicador THD, pruebas registradas sin generación fotovoltaica, en la red del operador de energía eléctrica.

Tabla 8. Indicador THD, pruebas registradas sin generación FV

Indicador THD Sin Generación Fotovoltaica			
Indicador	THD FASE R	THD FASE S	THD FASE T
Transformador de RED	4.15 %	4.02 %	3.89 %

Fuente: (Autores)

Los armónicos individuales de tensión no superan el límite permisible de 5%, (ver tabla 9).

Tabla 9. Armónicos Individuales THDV sin generación FV

Armonicos Individuales de tensión sin generación FV (THDV)											
Orden del armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Generación FV	100%	0.01 %	0.04 %	0.01%	4.03 %	0.02 %	0.90 %	0.03 %	0.11 %	0.01 %	0.27 %

Fuente: (Autores)

Distorsión Armónica Total de Corriente (THDI) y Distorsión Total de Demanda (TDD) Sin Generación FV. La red que suministra el servicio eléctrico presenta armónicos que cumple con la regulación, el prestador de servicio es vigilado por la comisión de regulación de energía y gas (CREG), para obtener los resultados presentados en la tabla 10 y 11 se apagó la generación FV, estos valores no superan el 15 %, valor máximo permitido en distorsión armónica de demanda y 12 % en distorsión armónica individual para este sistema fotovoltaico.

Tabla 10. Distorsión Armónica de Corriente (THDI) sin FV

THDI sin Generación Fotovoltaica			
Indicador	THDI FASE R	THDI FASE S	THDI FASE T
Transformador Red	10.78	8.52	10.04

Fuente: (Autores)

Tabla 11. Armónicos Individuales de Corriente (THDI) sin FV

Armónicos Individuales de Corriente sin Generación FV											
Orden del Armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Transformador Red	100%	0.35 %	8.97 %	0.08 %	3.20 %	0.05 %	2.20 %	0.09 %	2.40 %	0.14 %	1.35 %

Fuente: (Autores)

4.4. Comparación de los armónicos con y sin el sistema Fotovoltaico.

La generación FV inyecta armónicos a la red en pequeña proporción, los 105 microinversores, iluminación led, equipos de cómputo y aires acondicionados son los causantes de esta distorsión, en la comparación se aprecia que los porcentajes de armónicos en tensión y en corriente no exceden el estándar IEEE 519-2014, su variación es pequeña, no representan alteraciones al sistema eléctrico. Por su parte el operador de red que suministra el servicio eléctrico, cumple con las condiciones de la calidad de la potencia en el punto de conexión, se realiza comparación de armónicos con generación FV y sin generación FV con el estándar IEEE STD 519-214, (ver tabla 12).

Tabla 22. Comparación armónicos sin y con generación FV

Indicador THD Con Generación Fotovoltaica											
Indicador	THD FASE R	THD FASE S	THD FASE T								
Generación FV	4.05 %	3.99 %	3.98 %								
Indicador THD Sin Generación Fotovoltaica											
Indicador	THD FASE R	THD FASE S	THD FASE T								
Transformador de RED	4.15 %	4.02 %	3.89 %								
Armonicos Individuales de tensión con Generación FV											
Orden del armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Generación FV	100%	0.01 %	0.28 %	0.01%	3.83 %	0.01 %	0.98 %	0.01 %	0.15 %	0.01 %	0.32 %
Armonicos Individuales de tensión sin generación FV (THDV)											
Orden del armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Generación FV	100%	0.01 %	0.04 %	0.01%	4.03 %	0.02 %	0.90 %	0.03 %	0.11 %	0.01 %	0.27 %
THDI Con Generación Fotovoltaica											
Indicador	THDI FASE R	THDI FASE S	THDI FASE T								
Generación FV	13.18 %	12.08 %	9.04 %								
THDI sin Generación Fotovoltaica											
Indicador	THDI FASE R	THDI FASE S	THDI FASE T								
Transformador Red	10.78	8.52	10.04								
Armónicos Individuales de Corriente con Generación FV											
Orden del Armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Generación FV	100%	1.99 %	5.35 %	1.96 %	8.0 %	0.79	6.81 %	2.17 %	1.15 %	1.11 %	1.13 %
Armónicos Individuales de Corriente sin Generación FV											
Orden del Armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Transformador Red	100%	0.35 %	8.97 %	0.08 %	3.20 %	0.05 %	2.20 %	0.09 %	2.40 %	0.14 %	1.35 %

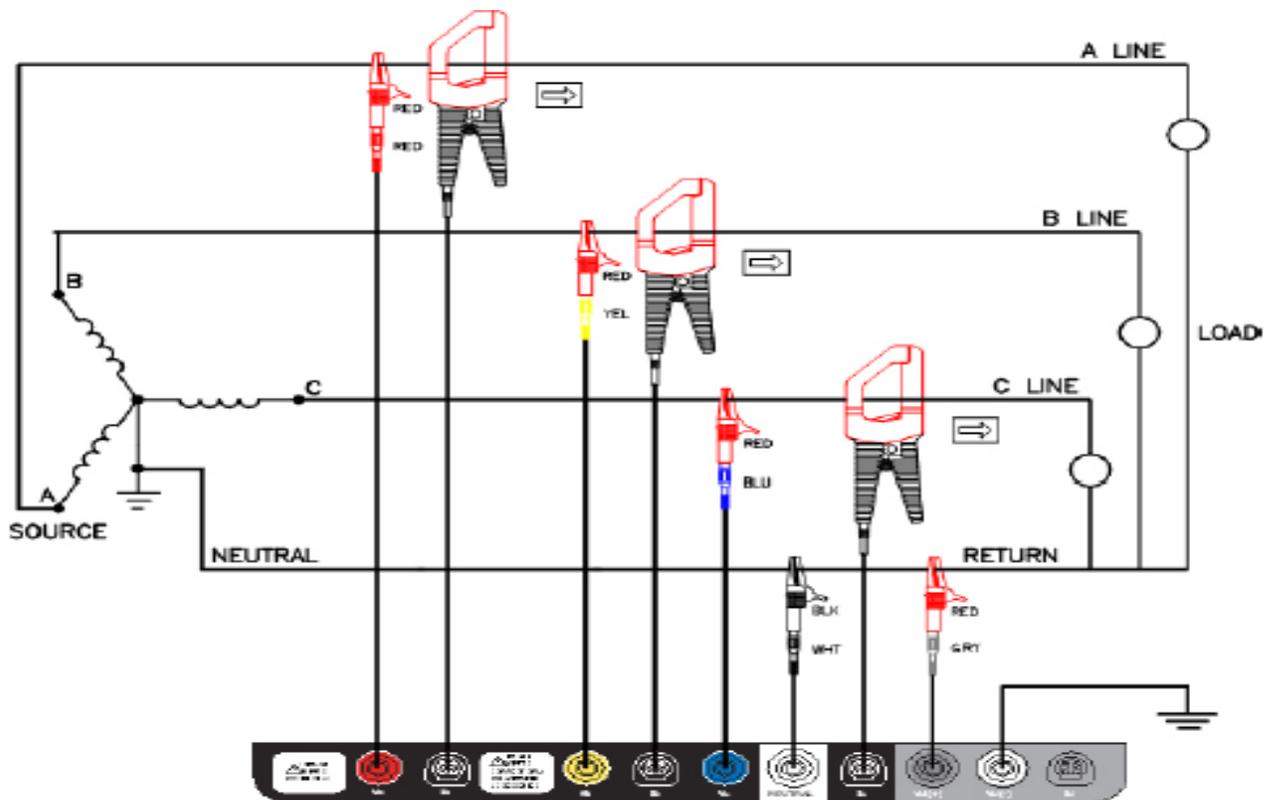
Fuente: (Autores)

5. RESULTADOS

5.1. Esquema de conexiones.

En la instalación del equipo analizador se analizó el manual del propietario, se siguieron los protocolos de seguridad correspondientes para salvaguardar la vida y la protección de los equipos, elementos de protección personal y distancias de seguridad, el diagrama de conexiones de la figura 8, muestra el conexionado del analizador.

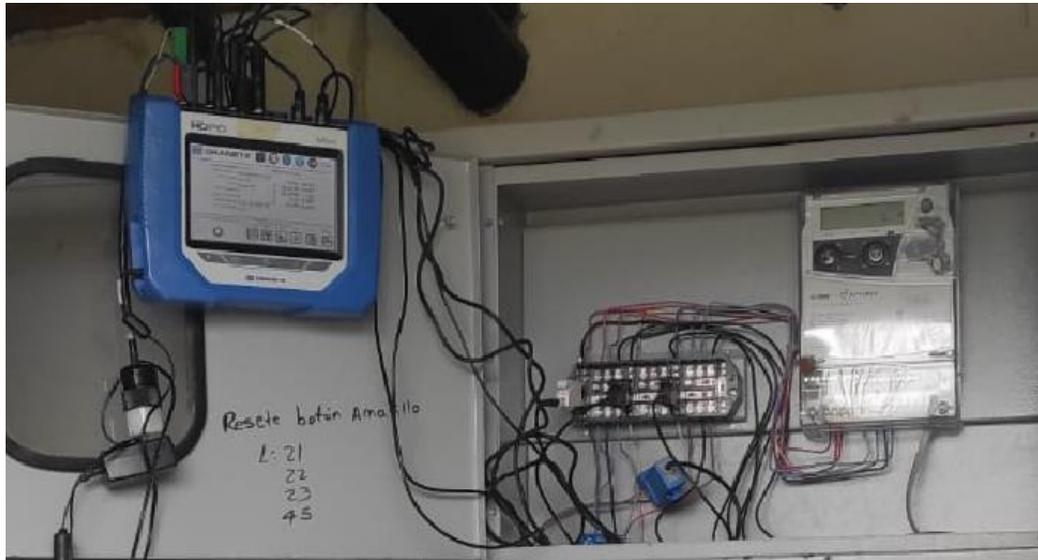
Figura 8. Conexión de analizador Dranetz



Fuente. (Dranetz)

El analizador DRANETZ se instaló en la regleta de conexiones del medidor bidireccional existente, el bloque de pruebas facilita la conexión de pinzas de tensión y pinzas de corrientes.

Figura 9. Conexión física del analizador



Fuente: (Autores)

5.2. Comparación de los resultados obtenidos con las normas

La distorsión armónica generada por el sistema FV no supera el porcentaje THD del 8 % fijado en el estandar IEEE STD 519-2014, las muestras tomadas registrarán armónicos con valores entre el 0 % y 5 %, el sistema fotovoltaico fue diseñado garantizando los limites de distorsión armónica de la norma, (ver tabla 12).

Tabla 3. Comparación THD estándar IEEE 519-2014 con registros tomados

Indicador THD Con Generación Fotovoltaica			
Indicador	THD FASE R	THD FASE S	THD FASE T
Generación FV	4.05 %	3.99 %	3.98 %
Indicador THD Sin Generación Fotovoltaica			
Indicador	THD FASE R	THD FASE S	THD FASE T
Transformador de RED	4.15 %	4.02 %	3.89 %
Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)	
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	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 ^a	

Fuente: (Autores)

La generación Fotovoltaica esta limitada a los siguientes valores de THDI.

Isc = Corriente de cortocircuito maxima, Isc = 29700 A

IL = Corriente de carga de demanda maxima, IL = 80 A

Para comparar los armónicos de corriente se tuvo presente el estándar IEEE STD 519-2014, en él se indican los porcentajes de distorsión individuales y el límite de distorsión total de demanda TDD, el balance generado entre la norma y el registro de los armónicos, reflejan armónicos individuales, generados por las cargas monofásicas presentes en la sede administrativa donde se encuentra instalado la generación FV, de acuerdo a los valores de corriente de corto circuito y corriente de carga de demanda máxima, la distorsión de demanda máxima no debe superar el 15 %, los registros mostrados en la tabla 13, reflejan que los valores THDI tomados están dentro de este porcentaje y por debajo del 15 % como lo indica el estándar IEEE STD 519-2014.

Tabla 4. Comparación THDI estándar IEEE 519-2014 con registros tomados

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L											
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}											
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD					
< 20 ^c	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 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0					
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0					
Armónicos Individuales de Corriente con Generación FV											
Orden del Armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Generación FV	100%	1.99 %	5.35 %	1.96 %	8.0 %	0.79	6.81 %	2.17 %	1.15 %	1.11 %	1.13 %
Armónicos Individuales de Corriente sin Generación FV											
Orden del Armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Transformador Red	100%	0.35 %	8.97 %	0.08 %	3.20 %	0.05 %	2.20 %	0.09 %	2.40 %	0.14 %	1.35 %

Fuente: (Autores)

6. CONCLUSIONES

1. El sistema solar fotovoltaico utilizado en este proyecto tiene una capacidad instalada de 34125 W y una generación de energía promedio de 150 kW/h día, se encuentra conectado a la red y está conformado por 105 paneles fotovoltaicos policristalinos marca Trina Solar, cada panel tiene una capacidad en potencia de 325W con tensión de 48VDC y cuenta con un microinversor.
2. Los parámetros de distorsión armónica, son definidos por la norma CREG 024 de 2005, el estándar IEEE 1547, estándar IEEE Std 519-2014, la distorsión armónica registrada en las mediciones es originada por los microinversores y las cargas no lineales.
3. La identificación y análisis de armónicos se realizó de acuerdo al esquema de conexiones de analizador DRANETZ, la conexión del instrumento se hizo siguiendo los protocolos establecidos en el código eléctrico americano (ANSI/NFPA 70-2008).
4. Para el análisis de los armónicos en el sistema se utilizaron dos escenarios, con el sistema fotovoltaico funcionando y posteriormente con este desactivado, arrojando valores de distorsión de corriente individual de 13.18%, 12.08% y 10.04% con el sistema fotovoltaico funcionando y de 10.78%, 8.52% y 10.04% sin el sistema, evidenciándose que se presenta un ligero aumento, pero no sobrepasa el 15% definido por el estándar IEEE STD 519-2014. Para la distorsión de voltaje se obtuvieron valores de 4.05%, 3.99% y 3.98% con el sistema fotovoltaico funcionando y 4.15%, 4.02% y 3.87% sin el sistema, resaltando que también se presentó un aumento, pero se encuentra por debajo del límite definido por la norma IEEE STD 519-2014, que es del 5 %.

7. RECOMENDACIONES

Realizar estudios de armónicos en sistemas que presenten cargas no lineales, así como sistemas fotovoltaicos, ya que estos producen distorsión y pérdidas técnicas disminuyendo la eficiencia del sistema eléctrico.

Realizar mediciones con el equipo analizador de la calidad de la potencia para identificar y corregir anomalías que afecten la eficiencia de los componentes eléctricos, estas desviaciones solo son perceptibles con equipos certificados cumpliendo con los estándares para la calidad de la energía.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución No. 016 de 2017. Recuperado de: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2007-CREG016-2007>

Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución No. 016 de 2007. Recuperado de: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2007-CREG016-2007>

Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución No. 024 de 2005. Recuperado de: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/7ef77a545ceb66680525785a007a6b88?OpenDocument>

Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución No. 030 de 2018. Recuperado de: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191>

Durán, J., Raggio, D., Socolovsky, H., Videla, M. y Plá, J. (2016). Evaluación de la calidad de la energía en dos casos de estudio: distorsión armónica inyectada por un sistema fotovoltaico de 40kw y emitida por las cargas de una vivienda unifamiliar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Volumen (20)*, pp. 1301 -1312.

Electricaplicada. Cálculo de distorsión armónica de corriente y voltaje (THDi, THDv, TDD)-IEEE 519. Recuperado de: <https://www.electricaplicada.com/calculo-armonicos-corriente-voltaje-thdi-thdv-tdd/>

Enphase. (2018). Ficha técnica, Microinversores de Enphase. Recuperado de: <https://www4.enphase.com/sites/default/files/downloads/support/IQ6-IQ6%2BDS-ES-LAC.pdf>

Horikoshi, I. (2009). *Análisis de las componentes armónicas de los inversores fotovoltaicos de conexión a red*. Universidad Carlos III de Madrid, Leganés.

- IEEE SA. (2014). IEEE 519-2014 - IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. Recuperado de: <https://standards.ieee.org/standard/519-2014.html>
- IEEE Xplore. (2002). Spatial regularization of the inverse problem of electrocardiography: noncontact mapping of unipolar and bipolar endocardial electrograms. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/731746>
- IEEE Xplore. (2012). 1547-2018 - IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8332112>
- International Electrotechnical commission. (2008). Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto. Recuperado de: <https://webstore.iec.ch/publication/4226>
- International Electrotechnical commission. (2010). Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications. Recuperado de: <https://webstore.iec.ch/publication/22269>
- Marroquín, A., Olivares, J., Ortiz, E., Martínez, D., Ugalde, B. y Cervantes G. (2014). Análisis armónico de un sistema fotovoltaico operando bajo modalidad tipo isla. Universidad Tecnológica de San Juan del Río, San Juan del Río.
- Rojas, H., Rivas, E. y Jaramillo, A. (2014). Aspectos técnicos y normativos para el monitoreo y medición de armónicos. *Ingeniería, Volumen* (19), No. 2, pp. 129-146.
- Schneider Electric. (S.F.) Detección y filtrado de armónicos. Recuperado de: http://automata.cps.unizar.es/bibliotecaschneider/BT/Guia/5_Armonicos
- Smart Energy Together. Trina Solar, Módulo Tallmax. Recuperado de: http://static.trinasolar.com/sites/default/files/LA_TSM_PD14_datasheet.pdf

Voltech. (2003). IEC61000-3-12 Harmonic Measurements UP to 75A.

Llamas Terres, A., Baez Moreno, J., De los Reyes Pérez, J. y Acevedo Porras, S.
(2014). *Armónicas en Sistemas Eléctricos Industriales*. Naucalpan de Juárez,
Mexico: Innovación Editorial Lagares de México

Domínguez, D. y Salvatierra, B. (2016). *Análisis de calidad de energía eléctrica en
sistemas fotovoltaicos conectados a la red*. Universidad Politécnica Salesiana,
Cuenca.

9. ANEXOS

Anexo 1. Panel Solar Policristalino



POLICRISTALINO 240 -255 WP

ECO LINE P60/250 LX250P

Power proofed

Longlife tested

Safety provided

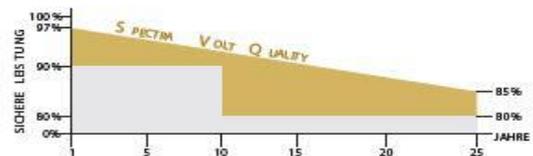
- alta eficiencia en transformar los rayos solares en energía eléctrica.
- modulo de alta potencia con una tolerancia positiva de 0 + 5 W
- producto de alta calidad
- resistente a climas variados y temperaturas extremas.
- resistencia mecánica de 5400 Pa para una estabilidad contra viento y cargas de nieve de hasta 10 KPa
- todas las especificaciones de la certificación IEC están cumplidas, nuestros productos de calidad son sometidos constantemente a pruebas de diferentes instituciones.



GARANTÍA Y CERTIFICACIÓN

Otorgamos una garantía de 12 años en fallas de materiales y de fabricación, y las siguientes garantías de potencia*:

- Al menos un 97% de la potencia nominal* dentro del primer año. Después una degradación max. de 0,6 % por año.
 - Al menos un 92% de la potencia nominal* después de los 10 años.
 - Al menos un 85% de la potencia nominal* después de los 20 años.
 - Al menos un 83% de la potencia nominal* después de los 25 años.
- Todos los módulos tienen IEC 61215:2005, IEC 61730-1 IEC 61730-2.



Anexo 2. Panel Solar Multicristalino

Mono
Multi
Solutions

MÓDULO TALLMAX

72 CELDAS
MÓDULO MULTICRISTALINO

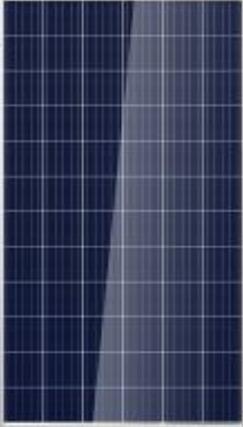
310-325W
RANGO DE POTENCIA

16.8%
MÁXIMA EFICIENCIA

0~+5W
TOLERANCIA POSITIVA DE

Como líder mundial en la fabricación de productos fotovoltaicos de última generación, creemos que la cooperación estrecha con nuestros socios es un ingrediente crítico para el éxito. A través de nuestra presencia local en todo el mundo, Trina es capaz de brindar un servicio excepcional a cada cliente en cada mercado, y suplementar nuestros productos innovadores y confiables con todo el respaldo de Trina como un socio fuerte y rentable. Nuestro compromiso es cultivar una colaboración estratégica y mutuamente benéfica.

Trina Solar Limited
www.trinasolar.com



Ideal para instalaciones a gran escala

- Poderosa huella que reduce el tiempo de instalación y costos BOS
- Certificación IEC 1000V UL/1000V

Uno de los módulos más confiables de la industria

- Desempeño probado en campo

Altamente confiable gracias a su riguroso control de calidad

- Más de 30 pruebas en fábrica (UV, TC, HF, y muchas más)
- Las pruebas en fábrica van más allá de los requisitos de certificación
- Resistente a PID

Certificado para soportar condiciones ambientales adversas

- Cargas de viento de 2,400 Pa
- Cargas de nieve de 5,400 Pa
- Cargas de granizo de 25 mm a 82 km/h

Certificados de Productos y Sistema

- IEC 61215/ IEC 61730/ UL 1703/ IEC 61701/ IEC 62716
- ISO 9001: Sistema de manejo de control de calidad
- ISO 14001: Sistema de gestión ambiental
- ISO 14064: Verificación de gases de efecto invernadero
- OHSAS 18001: Sistema de manejo de salud y seguridad

GARANTÍA DE DESEMPEÑO LINEAL

25 años de Garantía del Producto + 25 años de Garantía de Potencia Lineal

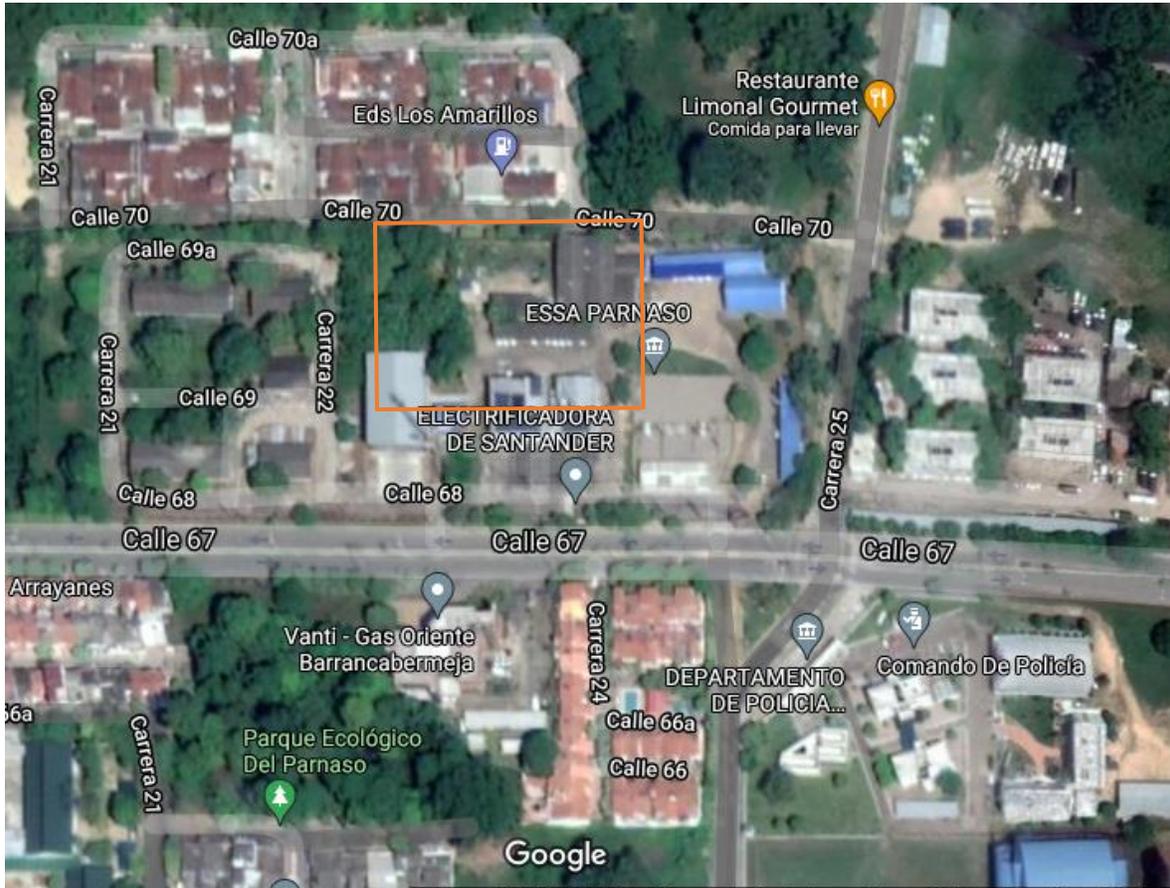


Anexo 3. Características del microinversor Enphase.

Microinversores Enphase IQ 6 y IQ 6+

DATOS DE ENTRADA (CC)		IQ6-60-2-US		IQ6PLUS-72-2-US	
Combinaciones de módulos recomendadas ¹	195 W - 330 W +	Solo módulos fotovoltaicos de 60 celdas		Módulos fotovoltaicos de 60 y 72 celdas	
Compatibilidad del módulo	48 V	27 V - 37 V		27 V - 48 V	
Tensión máxima de CC de entrada	48 V	16 V - 48 V		16 V - 62 V	
Tensión máxima de registro de corriente	27 V - 37 V	22 V/48 V		22 V/62 V	
Intervalo de funcionamiento	16 V - 48 V	15 A		15 A	
Tensión de arranque mínima/máxima	22 V/48 V	II		II	
Corriente de cortocircuito de CC máxima (módulo I _{sc})	15 A	0 A		0 A	
Puerto de CC de clase sobretensión	II	Panel sin tierra de 1 x 1; No se necesita protección adicional de la CC lateral. La protección de CA lateral requiere un máximo de 20 A por circuito de ramal			
Retroalimentación de puerto de CC ante falla única	0 A				
Configuración de panel fotovoltaico					
DATOS DE SALIDA (CA)		IQ6-60-2-US		IQ6PLUS-72-2-US	
Potencia máxima de salida	240 VA	240 V (1Φ)/183-229 V		240 V (1Φ)/183-229 V	
Potencia de salida (continua) nominal	230 VA	1,11 A		1,17 A	
Tensión nominal/intervalo ²	240 V/211-264 V	1,17 A		1,35 A	
Corriente de salida nominal	0,96 A	60 Hz		60 Hz	
Frecuencia nominal	60 Hz	47 - 68 Hz		47 - 68 Hz	
Intervalo de frecuencia extendido	47 - 68 Hz	1,0		1,0	
Factor de potencia a potencia nominal	1,0	16 (240 VAC)		13 (240 VAC)	
Unidades máximas por circuito derivado de 20 A	16 (240 VAC)	14 (208 VAC monofásico)		11 (208 VAC monofásico)	
Puerto de CA de clase sobretensión	III	III		III	
Retroalimentación de puerto de CA ante falla única	0 A	0 A		0 A	
Factor de potencia (ajustable)	0,7 adelantado ... 0,7 retrasado	0,7 adelantado ... 0,7 retrasado		0,7 adelantado ... 0,7 retrasado	
RENDIMIENTO		A 240 V		A 208 V (1Φ)	
Rendimiento ponderado del CEC	97,0 %	96,5 %		97,0 %	
96,5 %					
DATOS MECÁNICOS					
Intervalo de temperatura ambiente	-40 a 65 °C				
Humedad relativa	4 % a 100 % (con condensación)				
Tipo de conector	MC4				
Dimensiones (An. x Al. x Pr.)	219 mm x 191 mm x 37,9 mm (sin soporte)				
Peso	1,5 kg (3,3 libras)				
Refrigeración	Convección natural, sin ventiladores				
Aprobado para ubicaciones húmedas	Sí				
Grado de contaminación	PD3				
Categoría medioambiental/Clasificación de exposición a rayos UV	Exterior: NEMA 250, tipo 6 (IP67)				
CARACTERÍSTICAS					
Comunicación	Línea eléctrica				
Supervisión	Opciones de monitoreo Enlighten Manager y MyEnlighten Compatible con IQ Envoy de Enphase				
Cumplimiento	UL 62109-1, UL1741/IEEE1547, FCC Part 15 Class B, ICES-0003 Class B, CAN/CSA-C22.2 NO. 107.1-01 <small>Este producto se incluye en la lista de UL como un equipo fotovoltaico de anclaje rígido y</small>				

Anexo 4. Ubicación del proyecto generación FV Parnaso Barrancabermeja.



ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Anexo 5.Ficha de datos Analizador DRANETZ



HDPQ Power Quality Package
HDPQ-XAFLEX3KPKG



HDPQ Xplorer

Simply the Best PQ Available - Don't Miss An Event

The **Dranetz HDPQ® Xplorer** merges the state-of-the-art power monitoring you expect from Dranetz, with "best in class" communication capabilities to provide our users with a revolutionary monitoring experience.



AC Adapter 118317-G1

AC Adapter: 100-240Vac 50/60Hz, includes: US, EURO, UK, AUSTRALIA and CHINA plug adapters.



USB-MCABLE

USB male A to USB Micro B, 6 foot cable.



USB-BLUETOOTH

USB Bluetooth 2.1 adapter, class I.



118313-G1 Keyhole Mounting Kit

Keyhole mounting kit for HDPQ.



Voltage Cable Set 118375-G1

Includes: 8 - Six ft. (183cm) measurement cables: 4 Black, 4 White; 4 - Black alligator clips; 4 - White alligator clips; 4 - Black 25 cm stackable jumpers. Compatible with portable and permanent systems with 4mm voltage connectors.



1- DRANFLEX3003XLB24 Three phase flex probe 30/300/3000Amp

3A to 3000Amp (3 ranges), 1.5V output, Dranetz Hypertronics connector, 8" dia. maximum conductor size, 1000V Max rated.



1- DRANFLEX3000XLB24 Single phase flex probe 30/300/3000Amp

3A to 3000Amp (3 ranges), 1.5V output, Dranetz Hypertronics connector, 8" dia. maximum conductor size, 1000V Max rated.



SCC-HDPQ Soft Carry Case

Individual storage compartments for the instrument, CT's, voltage cables and more. Dimensions: 12" L x 18" W x 9" D (30.5cm L x 45.7cm W x 22.9cm D)

See View® 7 DV/E DV

Anexo 6. Cálculo de distorsión armónica de corriente y de voltaje

Calculo de distorsión armónica de corriente y voltaje (THDi, THDv, TDD) – IEEE 519. !!! PREMIUM !!!

por Andres

