

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS  
RENOVABLES**



**“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE TENSION, CORRIENTE Y  
COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA EN EL SISTEMA  
FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE LA ISLA  
AMANTANI-PUNO”**

**Victor Abel Payé Huanto**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Asesor: Dr. Norman Jesús Beltrán Castañón**

**Co-asesor: Dr. Leonardo Payé Colquehuanca**



**Juliaca, 2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS  
RENOVABLES**



**“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN, CORRIENTE Y  
COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA EN EL SISTEMA  
FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE LA ISLA  
AMANTANI-PUNO”**

**Victor Abel Payé Huanto**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Asesor: Dr. Norman Jesús Beltrán Castañón  
Co-asesor: Dr. Leonardo Payé Colquehuanca**



**Juliaca, 2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS**  
**RENOVABLES**



**“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE TENSION, CORRIENTE Y  
COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA EN EL SISTEMA  
FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE LA ISLA  
AMANTANI-PUNO”**

Víctor Abel Payé Huanto

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

**ASESOR:** Dr. Norman Jesús Beltrán Castañón

**CO-ASESOR:** Dr. Leonardo Payé Colquehuanca

Juliaca, 2021

## Ficha catalográfica

Payé V. (2021). análisis de armónicos de tensión, corriente y compensación de potencia reactiva en el sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani-puno (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca.

**AUTOR:** Víctor Abel Payé Huanto

**TÍTULO:** análisis de armónicos de tensión, corriente y compensación de potencia reactiva en el sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani-puno

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2021

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (84 páginas)

**NOTA:** Tesis de la Escuela profesional de Ingeniería en energías Renovables - Universidad Nacional de Juliaca.

**CÓDIGO:** 02-0000802/P32

**NOTA:** Incluye bibliografía.

**ASESOR:** Mg. Reynaldo Condori Yucra

**PALABRAS CLAVE:** Armónicos de tensión, Armónicos de corriente, calidad, factor de potencia, potencia reactiva.

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN, CORRIENTE Y COMPENSACIÓN  
DE POTENCIA REACTIVA EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO  
A LA RED DE LA ISLA AMANTANI-PUNO”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

**Presentada por:**

Víctor Abel Payé Huanto

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

M. Sc Reynaldo Condori Yucra

**PRESIDENTE DE JURADO**

M. Sc. Washington M. Soncco Vilcapasa

**JURADO (secretario)**

**2° MIEMBRO**

M. Sc. Jhon Eduardo Abarca Suca

**JURADO (Vocal)**

**3° MIEMBRO**

Dr. Norman Jesús Beltrán Castañón

**ASESOR DE TESIS**

Dr. Leonardo Payé Colquehuanca

**CO-ASESOR DE TESIS**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, por mi familia y amigos, por guiar e iluminar mi camino. Agradezco a mis padres por todo el esfuerzo, sacrificio y a mis hermanos por su confianza. A Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables, a los docentes por sus enseñanzas y acogerme durante los cinco años de mi vida académica.

A mi co-asesor de tesis el Dr. Leonardo Payé Choquehuanca por su tiempo, paciencia, exigencia por haber compartido sus conocimientos y por guiarme durante la elaboración de este proyecto. A mi asesor de tesis Dr. Norman Jesús Beltrán Castañón por su confianza y exigencia para finalizar la tesis.

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo – PRONABEC, por el apoyo financiero para culminar mis estudios superiores en la UNAJ.

A la Universidad Nacional de Juliaca, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

# ÍNDICE GENERAL

Índice de tablas .....	8
Índice de figuras .....	9
Índice de Anexos.....	10
Resumen.....	11
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 1 - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
1.1.1 <i>Identificación del problema</i> .....	17
1.1.2 <i>Formulación del Problema General:</i> .....	19
1.1.3 <i>Formulación de los Problemas Específicos:</i> .....	19
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.2.1 <i>Objetivo General:</i> .....	19
1.2.2 <i>Objetivos específicos:</i> .....	19
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	20
<b>CAPÍTULO 2 - REVISIÓN DE LA LITERATURA .....</b>	<b>21</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2.2 DEFINICIONES .....	22
2.2.1 <i>Energía Solar Fotovoltaica</i> .....	22
2.2.2 <i>Radiación Solar</i> .....	23
2.2.3 <i>Sistemas Fotovoltaicos Aislados</i> .....	23
2.2.4 <i>Calidad de la Energía</i> .....	24
2.2.5 <i>Definición de Armónicos</i> .....	25
2.2.6 <i>Interrupción</i> .....	26
2.2.7 <i>Hendiduras</i> .....	26
2.2.8 <i>Parpadeo (Flicker)</i> .....	27
2.2.9 <i>Tipos de Carga</i> .....	27
2.2.10 <i>Factor de Potencia</i> .....	30
2.3 NORMATIVIDAD.....	32
2.3.1 <i>Norma IEEE STD 519 - 2014</i> .....	32
2.3.2 <i>Normas de IEC -61000-4-7 para Armónicos</i> .....	33
2.3.3 <i>Norma de EN-50160 para armónicos</i> .....	35
2.3.4 <i>Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos</i> .....	36
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
3.1 LUGAR DEL ESTUDIO .....	38
3.2 POBLACIÓN.....	39
3.3 MUESTRA.....	39
3.4 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ISLA AMANTANI.....	39
3.4.1 <i>Sistema de Generación Fotovoltaica</i> .....	39
3.4.2 <i>Sistema de Almacenamiento de Energía</i> .....	41
3.4.3 <i>Transformadores de potencia</i> .....	42
3.4.4 <i>Sistema de Generación Térmica</i> .....	42
3.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
3.6 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	43
3.7 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y DISEÑO .....	43

3.7.1	<i>Técnicas</i> .....	43
3.7.2	<i>Instrumentos</i> .....	43
3.7.3	<i>Técnicas de procesamiento</i> .....	43
3.7.4	<i>Recursos computacionales de hardware y software</i> .....	46
3.8	<b>MÉTODO</b> .....	46
3.8.1	<i>Análisis de armónicos en redes de MT y BT</i> .....	46
3.8.2	<i>Análisis de Fourier</i> .....	47
3.8.3	<i>Índices para la medición de armónicos</i> .....	48
3.8.4	<i>Filtros de armónicos</i> .....	50
3.8.5	<i>Bancos de condensadores en presencia de armónicos</i> .....	53
3.8.6	<i>Criterios de selección</i> .....	54
3.9	<b>HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	54
3.9.1	<i>Hipótesis General:</i> .....	54
3.9.2	<i>Hipótesis Específicos:</i> .....	54
3.10	<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b> .....	55
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....		<b>56</b>
4.1	<b>ASPECTOS GENERALES</b> .....	56
4.2	<b>RESULTADOS DE FLUJO DE POTENCIA</b> .....	57
4.3	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	61
4.3.1	<i>Consumos de potencia y energía</i> .....	61
4.3.2	<i>Resultado de espectro de armónicos</i> .....	63
4.3.3	<i>Resumen de resultados</i> .....	67
4.3.4	<i>CALCULO DEL FILTRO</i> .....	68
4.3.5	<i>INTERPRETACION DE LOS DATOS</i> .....	70
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....		<b>71</b>
5.1	<b>CONCLUSIONES</b> .....	71
5.2	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	71
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....		<b>72</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>74</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Interrupciones de energía .....	26
Tabla 2: Límites de distorsión de voltaje.....	33
Tabla 3: Distorsión máxima de corriente armónica.....	33
Tabla 4: Distorsión máxima de corriente .....	35
Tabla 5: Valores de las tensiones de armónicos individuales en los puntos de suministro.....	36
Tabla 6: Los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales ( $V_i$ ) y los THD.....	36
Tabla 7: sistema de generación fotovoltaica (elaboración propia).....	40
Tabla 8: ficha técnica del panel solar (Elaboración propia).....	40
Tabla 9: ficha técnica del inversor (Elaboración Propia).....	41
Tabla 10: sistema de inversores bidireccionales para batería (Elaboración Propia).....	41
Tabla 11: Banco de baterías (Elaboración propia) .....	42
Tabla 12: Características del transformador de potencia (Elaboración Propia) .....	42
Tabla 13: Datos de grupo electrógeno (Elaboración propia).....	42
Tabla 14: Definición de variables.....	55
Tabla 15: Resumen de cuadro de cargas .....	56
Tabla 16: Resumen totales de las mediciones en el sistema fotovoltaico .....	63
Tabla 17: Resumen totales de las mediciones en la sala de baterías .....	63
Tabla 18: Cuadro resumen de armónicos por SED .....	67
Tabla 19: Evaluación económica.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Forma de onda fundamental y de 2°, 3°, 4° y armónicos .....	18
Figura 2: Onda deformada compuesta por la superposición de la fundamental a 60 Hz. y menores armónicos de 3° y 5 orden .....	18
Figura 3 Espectro de la irradiancia solar .....	23
Figura 4: Distorsión armónica en la forma de onda de tensión Fuente .....	25
Figura 5: Señal de tensión y corriente medidos en una carga no lineal.....	26
Figura 6: Disminuciones de voltaje (Hendiduras).....	27
Figura 7: Carga resistiva.....	28
Figura 8: El Angulo de la tensión y corriente es cero. ....	28
Figura 9: Carga inductiva. ....	29
Figura 10: La corriente está retrasada respecto de la tensión 90° .....	29
Figura 11: Carga capacitiva.....	29
Figura 12: La corriente está adelantada respecto de la tensión 90°. ....	29
Figura 13: triangulo de potencias .....	30
Figura 14: Triangulo de potencias con presencia de armónicos.....	31
Figura 15: Clasificación de normatividad en categoría. ....	32
Figura 16: Área de estudio. Fuente (Expediente de la obra). ....	38
Figura 17: Ruta de embarque (Google Earth). ....	38
Figura 18 :Lugar de la instalación del SFCR (Google Earth). ....	39
Figura 19: Lugar de la instalación del analizador de redes en el SGFV (Expediente de la obra). ....	44
Figura 20: lugar de instalación del analizador de redes en el sistema de almacenamiento fuente:(Expediente de la obra).....	44
Figura 21: Diagrama de flujo de método (Payé, 2018) .....	45
Figura 22: Instrumento PowerQ4plus (Metrel) .....	46
Figura 23: Principio de funcionamiento de un filtro pasivo.....	51
Figura 24: Principio de funcionamiento de un filtro activo.....	52

Figura 25: Principio de funcionamiento de un filtro hibrido.....	53
Figura 26: Diagrama de flujo de potencia con carga de diseño.....	58
Figura 27: Diagrama de flujo de potencia con carga real.....	59
Figura 28: Diagrama de flujo de potencia con carga real y armónicos .....	60
Figura 29: Evolución de la demanda máxima en el mes de julio y agosto del 2021.....	61
Figura 30: Demanda de potencia diario del sistema fotovoltaico .....	61
Figura 31: Evolución de la demanda máxima en el mes de julio y agosto del 2021.....	62
Figura 32: Energía producida en la sala de batería.....	62
Figura 33: Armónicos de voltaje del sistema fotovoltaico .....	64
Figura 34: Armónicos de voltaje del sistema fotovoltaico .....	65
Figura 35: Armónicos de corriente del sistema fotovoltaico.....	65
Figura 36: Armónicos de corriente del sistema fotovoltaico.....	66
Figura 37: Diagrama de flujo de carga real con filtro .....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia del Proyecto.....	75
Anexo 2 Flujo de potencia de los transportadores en la isla Amantani (software etapa)...	76
Anexo 3. Diagrama unifilar(expediente de obra taquile) .....	77
Anexo 4 Conexión del instrumento a la red .....	78
Anexo 5: Características de filtros de protección(Compensation & Filtering, 2019) .....	79
Anexo 6: ficha técnica del inversor de red(SMA Solar Technology, 2012) .....	80
Anexo 7:ficha técnica del panel solar (Solar jinko, 2018) .....	81
Anexo 8: ficha técnica del inversor bidireccional(Solar Technology, 2021) .....	82
Anexo 9: ficha técnica box de la batería(ByD.b-BOX 13.8, 2018).....	83
Anexo 10: Planta solar fotovoltaica de la isla amantani.....	84

## Lista de abreviaturas

PCs	Computadoras personales
LFCs	Lámparas florecientes compactas
THD	Distorsión total de Harmónicos
NTCSE	Norma técnica peruana de calidad del servicio de energía eléctrica
FV	Fotovoltaico
IEC	La Comisión Electrotécnica Internacional
IEEE	El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
PCC	Punto de acoplamiento común
AC	Corriente alterna
DC	Corriente continua
MT	Media tensión
BT	Baja tensión
MFV	Modulo fotovoltaico
LifePo4	Litio ferro fosfato
RP	Red primaria
RS	Red secundaria
SGFV	Sistema de generación fotovoltaica

## Lista de símbolos

<b>FP</b>	Factor de potencia
<b>P</b>	Potencia activa
<b>S</b>	Potencia Aparente
<b>Di</b>	Distorsión armónica individual de corriente
<b>Ii</b>	Corriente de cada armónico
<b>In</b>	Corriente nominal del alimentador
<b>THD</b>	Distorsión total de armónicos
<b>TDD</b>	Distorsión de demanda total
<b>Dv</b>	Distorsión individual de tensión
<b>Vi</b>	Tensión de cada armónico
<b>Vn</b>	Tensión Nominal del alimentador
<b>Vrms</b>	Valor eficaz de la tensión
<b>Irms</b>	Valor eficaz de la corriente
<b>Fpt</b>	Factor de potencia total
<b>Fp des</b>	Factor de potencia de desplazamiento sin presencia de armónicos
<b>Fd disp.</b>	Factor de potencia de distribución sin presencia de armónicos
<b>THDv</b>	Distorsión total de armónicos de voltaje
<b>THDi</b>	Distorsión total de armónicos de corriente

## **RESUMEN**

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo analizar los armónicos de tensión y corriente, así como la compensación de potencia reactiva del sistema fotovoltaico cuya potencia instalada es de 275 KW, conectado a la red en la isla Amantani de la Región Puno. A través de un analizador de redes que se instaló a la salida del inversor del sistema fotovoltaico que inyecta energía directamente al sistema de transformación de la red primaria se vio el comportamiento de los armónicos de tensión y armónicos de corriente. Luego de efectuar las mediciones correspondientes, se bajó la información del equipo analizador de redes a la PC a través del software PowerView v3.0, el cual nos dio los valores de los armónicos de tensión 86.09% y de corriente 28.52% generados por el sistema fotovoltaico conectado a la red, de la isla Amantani, Luego se efectuó el cálculo utilizando el software ETAP 20.0 a fin de saber el comportamiento del SFCR, de acuerdo a las normas nacionales e internacionales sobre calidad de energía que exigen límites del THD y factor de potencia, mejorando este de 0.8314 a 0.95, luego se dio las alternativas de solución.

## **PALABRAS CLAVES**

Armónicos de tensión, Armónicos de corriente, calidad, factor de potencia, potencia reactiva.

## **ABSTRACT**

This thesis project aims to analyze the harmonics of voltage and current, as well as the compensation of reactive power of the photovoltaic system whose installed power is 275 KW. connected to the grid on the Amantani Island of the Puno Region. Through a network analyzer that was installed at the exit of the inverter of the photovoltaic system that injects energy directly into the transformation system of the primary network, the behavior of the voltage harmonics and current harmonics was seen. After making the corresponding measurements, the information from the network analyzer equipment was downloaded to the PC through the PowerView v3.0 software, which gave us the values of the 86.09% voltage harmonics and 28.52% current generated by the photovoltaic system connected to the grid, of Amantani Island, Then the calculation was made using the ETAP 20.0 software in order to know the behavior of the SFCR, according to national and international standards on energy quality that require limits of the THD and power factor, improving this from 0.8314 to 0.95, then the alternatives of solution were given.

## **KEY WORDS**

Voltage harmonics, current harmonics, quality, power factor, reactive power.



## INTRODUCCIÓN

El mercado fotovoltaico (FV) mundial ha tenido un fuerte crecimiento durante los últimos años como consecuencia de las políticas de promoción implementadas por diversos países, que han impulsado la instalación de sistemas FV conectados a la red de distribución eléctrica. Esto ha producido un nuevo récord que está fijado la capacidad instalada durante 2021, con una potencia 181 GW a nivel global (REN21, 2021).

A pesar de que en Perú no existe una reglamentación para la instalación y uso de sistemas fotovoltaicos (SF) interconectados a la red o aislado, a nivel mundial existe una enorme difusión de este tipo de sistemas. El estándar (IEEE 929, 2000) define los requerimientos técnicos de interconexión de sistemas fotovoltaicos de forma tal que sean adoptados como sistemas estándar de interconexión por empresas prestadoras de servicio eléctrico. El estándar expone en forma explícita, los respectivos lineamientos referentes a los parámetros de la calidad de la potencia interconectada en paralelo a la red eléctrica que se deben cumplir de acuerdo a los límites establecidos en dicha norma. Dentro del sistema interconectado, el directo responsable de la calidad de la potencia eléctrica a generar, es el equipo inversor de corriente directa a corriente alterna. El Estándar (IEEE 929, 2000) establece que los siguientes parámetros determinan la calidad de la potencia eléctrica: porcentaje total de distorsión armónica, componentes armónicos, frecuencia y tensión del sistema, flicker y factor de potencia (Gordillo et al., 2017).

Los armónicos son un problema que han aumentado en la última década debido al incremento de las cargas no lineales conectadas a la red eléctrica. Cargas no lineales más comunes en el ámbito residencial y comercial son computadoras, lavadoras con sistemas de control automático, las cocinas de inducción, sensores de presencia y foto celda, entre otros. Debido a estas cargas no lineales la calidad de energía hoy en día se ha visto muy afectada, lo que ha provocado que el nivel de confiabilidad del sistema eléctrico disminuya. Se entiende como calidad de energía según la Norma IEC 555-2, como “una característica física del suministro de electricidad la cual le debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo” (Aguirre, 2019).

Los elementos conceptuales que explican el fenómeno de la compensación reactiva en un sistema eléctrico de distribución y su relación con la calidad de energía eléctrica, y que adecuadamente utilizadas permite identificar el problema y aportar los criterios para la apropiada selección y aplicación de los equipos de compensación correspondiente. El

elevado consumo de la Potencia Reactiva ocasiona no solo mala regulación de voltaje o bajo voltaje en una industria, sino que también puede afectar a otros usuarios. Además, disminuirá la eficiencia con la cual los equipos conectados a la red aprovechan la energía que se les suministra((Payé, 2018).

En el capítulo I, está referido a los aspectos generales del proyecto de investigación como son: planteamiento y enunciado del problema, también la justificación, hipótesis y objetivos del presente trabajo de tesis.

En el capítulo II, se establece los fundamentos teóricos de la investigación, pretendiendo asumir una posición de análisis de los antecedentes, bases teóricas y conceptos básicos referentes al presente estudio, que permite la concepción de definiciones y terminología básica para su comprensión.

En el capítulo III, para concretizar el trabajo, se presenta el ámbito de estudio, el tipo de investigación y la población de estudio, asimismo la metodología empleada, técnicas e instrumentos de investigación teniendo en cuenta procedimientos pertinentes a un diseño apropiado, para cada objetivo presentado.

En el capítulo IV, se da a conocer los resultados del análisis de la investigación, los cuales están expresados en cuadros y gráficos, y muestran a la vez la comprobación de la hipótesis planteada, tomando en consideración los objetivos.

En el capítulo V, se da a conocer las conclusiones y recomendaciones muy pertinentes a las que se llegó en la investigación del presente trabajo.

## **CAPÍTULO 1 - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

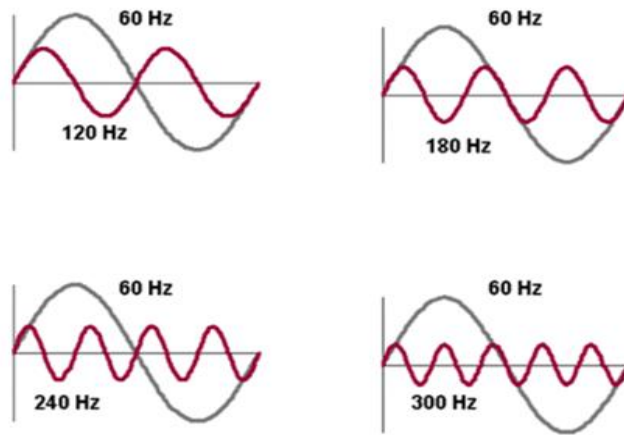
### **1.1.1 Identificación del problema**

Los armónicos son distorsiones o deformaciones de las ondas senoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debidos principalmente al uso de cargas con impedancia no lineal (computadores, televisores, variadores de velocidad, rectificadores, hornos de arco, lámparas fluorescentes, arrancadores electrónicos, etc.), al uso de materiales ferromagnéticos en las máquinas eléctricas, a operaciones de conmutación en subestaciones y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal (Alberto & Porras, 2003).

El uso cada vez más frecuente de cargas no lineales como computadoras personales (PCs), lámparas fluorescentes compactas (LFCs), fuentes conmutadas de diferentes equipos electrónicos, etc. ha motivado en los últimos años la atención de los investigadores de la ingeniería eléctrica en los distintos problemas provocados por la degradación de la calidad de la energía (Suárez et al., 2010).

La importancia de la energía solar fotovoltaica, hace necesaria la utilización de herramientas que permitan analizar la calidad de energía, bajo diferentes condiciones, cargas inductivas, resistivas y capacitivas. Y por lo tanto es necesario conocer los parámetros de la calidad de los servicios eléctricos (tensión, corriente, frecuencia y armónicos) en el sistema eléctrico, y así poder evaluar en qué condiciones se encuentran actualmente y poder plantear las alternativas, con el propósito de minimizar los efectos adversos que pudieran ocasionar estos. El contenido armónico de un inversor puede medirse por medio del valor de THD (Total Harmonic Distorsion) (Fotovoltaicos, 2010).

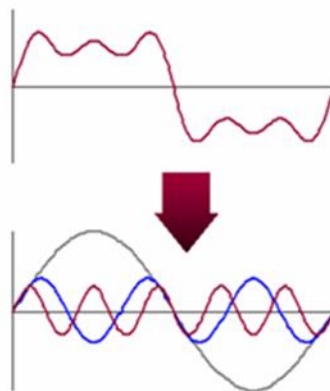
La figura 1 ilustra la onda senoidal de corriente alterna a la frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2do, 3ro, 4to, y 5to armónico, en cada gráfica se observa la relación de frecuencia angular de las ondas ( $\omega$ ), entre mayor es el armónico ( $w$ ) se hace más grande.



**Figura 1: Forma de onda fundamental y de 2°, 3°, 4° y armónicos**

Fuente: elaboración propia

En la Figura 2 podemos ver la señal básica en negro, el tercer armónico en azul y el quinto armónico en rojo, debemos entender que el armónico superior tiene una amplitud menor que la señal inferior, por eso los estudios de calidad de energía están en la mayoría casos. En algunos casos, se ocupan del análisis de problemas de distorsión hasta el 50° armónico.



**Figura 2: Onda deformada compuesta por la superposición de la fundamental a 60 Hz. y menores armónicos de 3° y 5 orden**

Fuente: Elaboración propia

### **1.1.2 Formulación del Problema General:**

¿Será factible el análisis de la armónicos y compensación reactiva del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani de una potencia 275 kW?

### **1.1.3 Formulación de los Problemas Específicos:**

¿De qué manera influyen los armónicos de tensión en el sistema fotovoltaico conectado a la red?

¿De qué manera influyen los armónicos de corriente en el sistema fotovoltaico conectado a la red?

¿De qué manera contribuye la compensación reactiva en el sistema fotovoltaico conectado a la red?

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo General:**

Realizar el análisis de armónicos de tensión, corriente y compensación de potencia reactiva en el sistema fotovoltaica conectado a la red eléctrica de la isla Amantani.

### **1.2.2 Objetivos específicos:**

Analizar los armónicos de tensión del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani.

Analizar los armónicos de corriente del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani.

Examinar la compensación reactiva en el sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani.

### **1.3 Justificación**

La calidad de los servicios eléctricos se puede definir como un conjunto de características que se deben cumplir en la interacción entre los proveedores de servicios eléctricos, los usuarios y la población en general. De acuerdo con la Norma Técnica Peruana de Calidad del Servicio de Energía Eléctrica (NTCSE, 2001), así como la norma técnica de calidad del sistema eléctrico rural no convencional que proporciona el sistema fotovoltaico conectado. Los aspectos que constituyen la llamada calidad del servicio eléctrico incluyen: calidad técnica, calidad comercial y calidad del alumbrado público. La calidad del producto se refiere al voltaje, se refiere a la onda de voltaje de la fuente de alimentación y la interferencia relacionada. Cubre casi todas las fuentes técnicas de interferencia, excepto las interrupciones del suministro a largo plazo (calidad del suministro) (pertenecientes a la continuidad o fiabilidad del suministro).

La generación de armónicos y un bajo factor de potencia también causa sobrecarga en los generadores, transformadores y líneas de distribución dentro de las mismas instalaciones, así como también las caídas de voltaje y pérdidas de potencia se tornan mayores de las que deberían ser. Todo esto representa pérdidas y desgaste en equipo que se tienen en las instalaciones de la isla Amantani.

## **CAPÍTULO 2 - REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

Los posibles efectos de la conexión de sistemas fotovoltaicos (FV) a la red eléctrica sobre la calidad del servicio, en particular en lo referente a la inyección de componentes armónicas, suelen ser una preocupación de las empresas distribuidoras y los entes de regulación. A fin de aportar datos cuantitativos en relación con este tema, se analizó la calidad de la energía: (i) en el punto de conexión de un sistema FV de 40 kW instalado en el Polo Científico y Tecnológico, y (ii) en uno de los circuitos eléctricos de una vivienda unifamiliar. Por un lado, las mediciones realizadas en el sistema FV permitieron verificar que las componentes armónicas de corriente inyectadas a la red están claramente por debajo de los límites establecidos por la norma IEC 61000-3-2. Por su parte, las mediciones efectuadas en la vivienda muestran que las componentes armónicas de corriente emitidas por electrodomésticos son significativamente mayores que las armónicas inyectadas por un inversor FV de potencia típica para una vivienda unifamiliar. Los análisis realizados permiten afirmar, en consecuencia, que la conexión de sistemas FV a la red eléctrica no afecta la calidad del servicio en cuanto a la distorsión armónica (Durán, 2016).

La calidad de la energía surge de una atención continua, en los últimos años esta atención se ha vuelto más importante debido al aumento del número de cargas sensibles en el sistema de distribución de energía, las cuales constituyen por sí mismas la causa de la disminución de la calidad de la energía (Campos, 2011). Al estudiar los sistemas con cargas no-lineales el flujo de carga debe ser modificado para incluir la respuesta del sistema a distintas frecuencias armónicas. Se introducen los principales métodos para resolver el flujo de potencia armónico y se propone un método para el sistema radial. Para ello, se utiliza un algoritmo de exploración iterativo. Este proceso se propone para sistemas equilibrados, pero puede extenderse fácilmente a sistemas no equilibrados (Issn, 2004).

Las armónicas son corrientes y/o voltajes presentes en un sistema eléctrico, con un múltiplo de frecuencia. Así, como las cargas monofásicas en sistemas con frecuencia de 60 Hz, las armónicas son las características en la tercera de (180 Hz), en la quinta (300 Hz), y el séptima

(420 Hz), por ejemplo. Con el creciente aumento en el uso de cargas no lineales (procedentes de la electrónica de potencia), se han empezado a tener algunos problemas en las instalaciones eléctricas debido a los efectos de las componentes armónicas de corrientes y voltajes en el sistema eléctrico, que no se contemplaban anteriormente (IEEE 929, 2000). Entre estos están el sobrecalentamiento de cables, transformadores y motores, corrientes excesivas en el neutro, fenómenos de resonancia entre los elementos del circuito ha sido la instalación de bancos de condensadores para la compensación de potencia reactiva. Desafortunadamente estos bancos interactúan con el sistema eléctrico formando circuitos R-L-C que producen resonancias, siendo las frecuencias naturales del sistema una función de los componentes inductivas y capacitivas de la red. Por otro lado, la presencia de cargas no lineales modifica la onda de tensión senoidal, distorsionando los mismos, originado por corrientes armónicas, por lo que las frecuencias naturales del sistema pueden ser excitadas por alguna componente armónica cuya frecuencia está cerca o coincide con este modo natural, produciéndose una severa amplificación de voltajes y corrientes. Por lo tanto, es deseable considerar la instalación de Filtros los que deben ser capaces de aportar la potencia reactiva necesaria a la red y además absorber las corrientes armónicas, evitando su propagación hacia el resto del sistema de potencia. Esta solución requiere de un cuidadoso diseño ya que los elementos del filtro deben ser adecuadamente dimensionados y su interacción con la red debe ser analizada (Payé, 2018).

## **2.2 Definiciones**

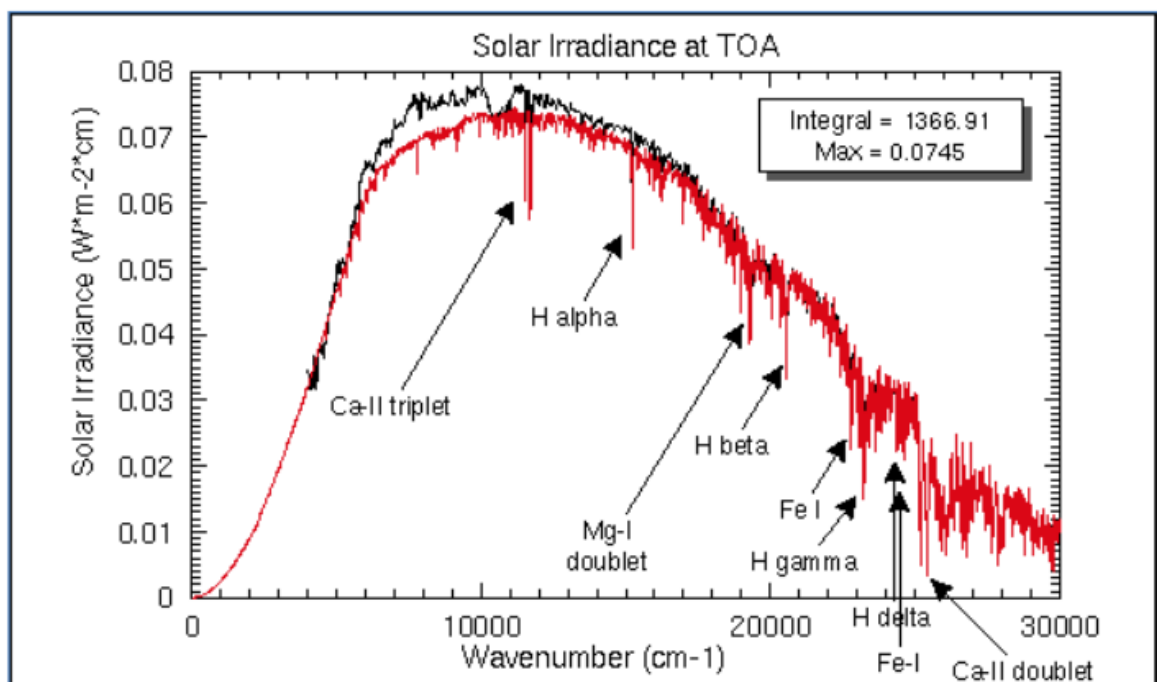
### **2.2.1 Energía Solar Fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica es la energía procedente del Sol que se convierte en la energía eléctrica de la forma directa, sin ninguna conversión intermedia. Se produce mediante generadores fotovoltaicos compuestos por módulos fotovoltaicos conectados entre sí que su vez están compuestos por unidades básicamente denominadas células solares o fotovoltaicas. El conjunto de módulos fotovoltaicos que componen un generador forma una superficie plana que tiene que ser expuestas a la luz del sol para producir energía eléctrica. La inclinación y la orientación adecuadas de dicha superficie son fundamental para conseguir una conversión eficiente de energía solar en energía eléctricas (Agustín Castejon, 2016).



### 2.2.2 Radiación Solar

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde infrarrojo hasta ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la tierra. Su unidad es el W/m<sup>2</sup> (vatio x metro cuadrado) (Barberá Santos, 2017).



*Figura 3 Espectro de la irradiancia solar*

FUENTE: Barbera Santos

### 2.2.3 Sistemas Fotovoltaicos Aislados

Los sistemas aislados se utilizan normalmente para proporcionar electricidad a los usuarios con consumos de energía muy bajos para los cuales no compensa pagar el coste de la conexión a la red, y para los que sería muy difícil conectarlos debido a su posición poco accesible: ya a partir de distancia de más de 3Km de la red eléctrica, podría resultar conveniente instalar un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda. Los sistemas aislados, suelen estar equipados con sistemas de acumulación de la energía producida. La acumulación es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía sólo en

las horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche. Durante la fase de insolación es necesario prever una acumulación de la energía no inmediatamente utilizada, que es proporcionada a la carga cuando la energía disponible es reducida e incluso nula (Horikoshi, 2009).

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico aislado son:

módulos fotovoltaicos, regulador de carga, inversor y sistema de acumulación (baterías de acumulación).

- 1) La energía producida por los módulos fotovoltaicos es almacenada en baterías de acumulación. La carga es alimentada, a través del regulador de carga, por la energía acumulado en las baterías.
- 2) El regulador de carga sirve fundamentalmente para preservar los acumuladores de un exceso de carga por el generador fotovoltaico y de la descarga por el exceso de uso. Ambas condiciones son nocivas para la correcta funcionalidad y la duración de los acumuladores.
- 3) Un sistema de acumulación está formado por un conjunto de acumuladores recargables, dimensionado de forma que garantice la suficiente autonomía de alimentación de la carga eléctrica. Las baterías que se utilizan con esta finalidad son acumuladores de tipo estacionario y sólo en casos muy especiales es posible utilizar baterías tipo automoción. Las baterías para uso fotovoltaico tienen que cumplir los siguientes requisitos: bajo valor de auto descarga, larga vida útil, bajo mantenimiento y elevado número de ciclos de carga-descarga.
- 4) La finalidad del inversor en los sistemas aislados es la de transformar corriente continua (DC) producida por el campo fotovoltaico, en corriente alterna (AC), necesaria para la alimentación directa de los usuarios. En este caso, el inversor tiene que estar dimensionado para poder alimentar directamente la carga que se le quiere conectar. De todas maneras, en este tipo de instalaciones, el inversor no es un componente indispensable.

#### **2.2.4 Calidad de la Energía**

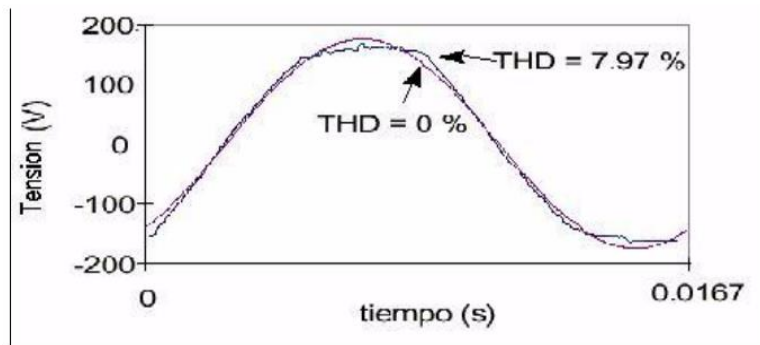
El estándar IEC 61000-4-30 define Power Quality como las “características de la electricidad en un punto dado de una red de energía eléctrica, evaluadas con relación a un conjunto de parámetros técnicos de referencia”.

El estándar IEEE 1159-2014 define la calidad de la energía eléctrica como “una gran variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente en un instante dado y en un punto determinado de la red eléctrica”.

- **Armónicos en una instalación fotovoltaica:**

En el caso de una instalación fotovoltaica, será relativamente fácil medir la calidad eléctrica producida por el inversor.

Si desconectamos la instalación de la red, y trabajamos en isla podremos medir de forma directa la calidad de suministro de electricidad fotovoltaica nuestra red. Si el inversor causa subidas de tensión o micro cortes, perturbación armónica, etc. Lo podremos fácilmente identificar (Gomez, 2020).



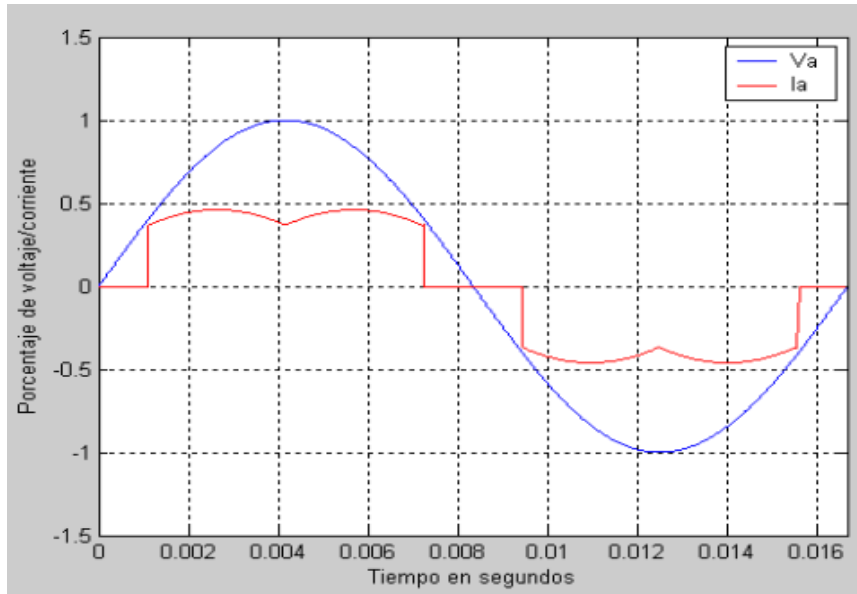
*Figura 4: Distorsión armónica en la forma de onda de tensión Fuente*

Fuente: Texto CSEE- S. Ramírez.

- **Modelos Analíticos para análisis de armónicos.** Dominio de la frecuencia es el modelo más utilizado para el análisis de armónicos, debido a su simplicidad ya que utiliza el marco de referencia de las componentes de secuencia para determinar la distribución de las corrientes armónicas inyectadas a la red eléctrica.

### 2.2.5 Definición de Armónicos

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales que poseen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar. Las formas de onda distorsionadas pueden ser descompuestas en una suma de la señal de frecuencia fundamental y las armónicas. La distorsión armónica se origina debido a las características no lineales de los equipos y cargas de un sistema de potencia (En & Redes, n.d.).



**Figura 5: Señal de tensión y corriente medidos en una carga no lineal.**

Fuente: En & Redes,n.d

### 2.2.6 Interrupción

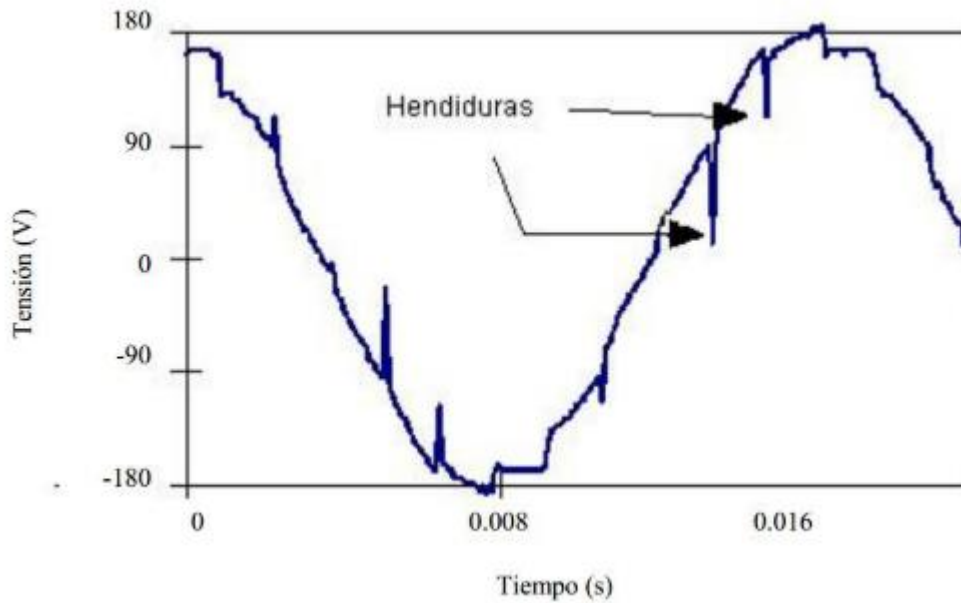
Hace referencia a la pérdida parcial o completa del suministro eléctrico dentro de un periodo de tiempo, estos efectos son producidos suelen presentarse cuando existen interrupciones de energía producidas por la baja confiabilidad de SEP, es decir se producen fallos.

**Tabla 1: Interrupciones de energía**

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

### 2.2.7 Hendiduras

Efecto presentado durante el periodo de tiempo de conmutación de los puentes conversores, debido a la acción de conmutación de los componentes, referidas a las disminuciones sustractivas de voltaje., dándose casos en el cual se puede perder hasta la señal.



**Figura 6: Disminuciones de voltaje (Hendiduras)**

Fuente: Texto CSEE- S. Ramírez

Es un fenómeno que produce una variación de la frecuencia de voltaje de entrada.

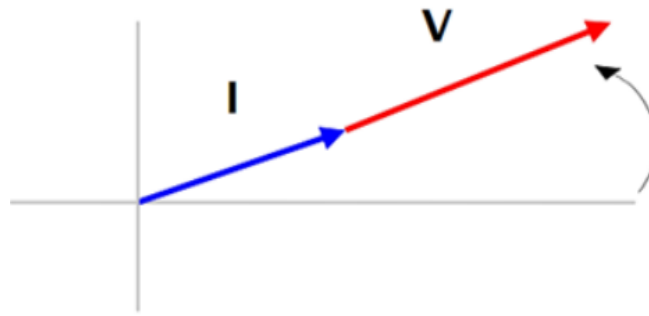
### 2.2.8 Parpadeo (Flicker)

Este fenómeno ocurre con un período de tiempo considerado como un cambio de voltaje visualmente observable, generalmente observable al comienzo de un cambio en la intensidad de la lámpara, del orden de 15-30 Hz. Generalmente el 10% del nominal y se puede repetir varias veces por segundo.

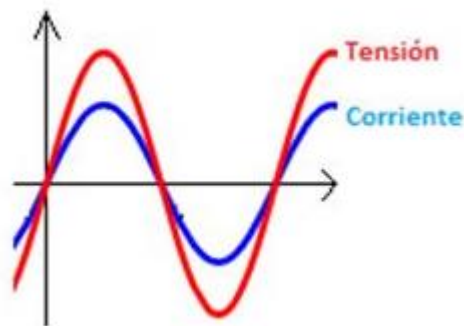
### 2.2.9 Tipos de Carga

- **Carga resistiva:**

Toda la energía se transforma en energía lumínica o calorífica, no en movimiento. La corriente, a su paso por la resistencia, está en fase con la tensión; es decir, ambas tienen el mismo ciclo y pasan por los mismos puntos en el mismo momento. El ángulo entre tensión y corriente es cero.



**Figura 7: Carga resistiva**  
**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 8: El Angulo de la tensión y corriente es cero.**  
**Fuente: Elaboración propia**

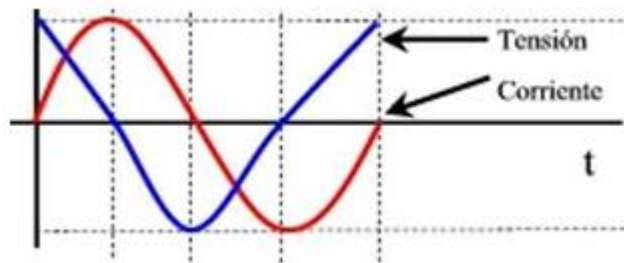
- **Carga Inductiva:**

Al circular una corriente eléctrica por estos dispositivos, se genera un campo magnético que convierte la energía eléctrica en la energía magnética necesaria para hacerlos funcionar. En un primer momento, la bobina se opone al funcionamiento, de tal forma que en el siguiente ciclo parte de la potencia regresa a la fuente. En los siguientes ciclos, será la inercia la que regulará esta diferencia de potencia. Este hecho hace que se produzca desfases en la corriente. En este caso, la corriente está retrasada respecto de la tensión  $90^\circ$ . Un ejemplo de estas cargas son los motores.



**Figura 9: Carga inductiva.**

**Fuente: Elaboración Propia**



**Figura 10: La corriente está retrasada respecto de la tensión 90°**

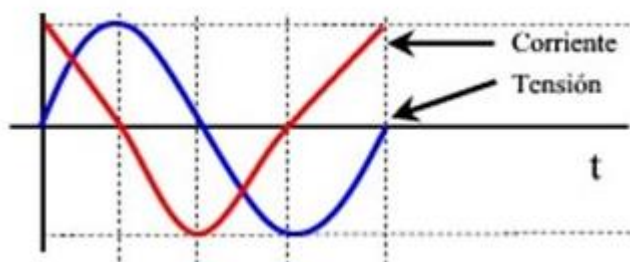
**Fuente: Elaboración propia.**

- **Carga capacitiva:**

En un circuito eléctrico, los condensadores se comportan como un elemento capaz de almacenar la energía eléctrica que recibe y luego la devuelven al sistema. En este caso, la corriente está adelantada respecto de la tensión 90°.



**Figura 11: Carga capacitiva.**



**Figura 12: La corriente está adelantada respecto de la tensión 90°.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 2.2.10 Factor de Potencia

El factor de potencia de un inversor fotovoltaico es, al igual que cualquier sistema de corriente alterna, el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente a la salida del inversor. En una situación ideal, su valor máximo es de 1.

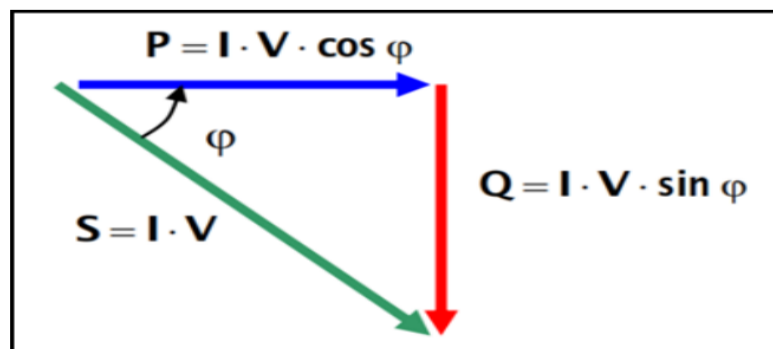
$$FP = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Todos los equipos electromecánicos que están constituidos por devanados o bobinas, tales como motores y transformadores necesitan la denominada corriente reactiva para establecer campos magnéticos necesarios para su operación. La corriente reactiva produce un desfase entre la onda de tensión y la onda de corriente, si no existiera la corriente reactiva la tensión y la corriente estarían en fase y el factor de potencia sería la unidad (Campos, 2011).

- **Triángulo de potencias:**

El llamado triángulo de potencias es la mejor forma de observar y comprender de forma gráfica qué es el factor de potencia o  $\cos \varphi$  y su estrecha relación con los restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna, además de observar la interacción de una potencia con respecto a las otras dos ya que al modificar una potencia repercutiría en la modificación de las otras dos potencias (Payé, 2018).

El factor de potencia sin presencia de armónicos, lo podemos deducir a través del triángulo de potencias de la figura 11.



*Figura 13: triángulo de potencias*

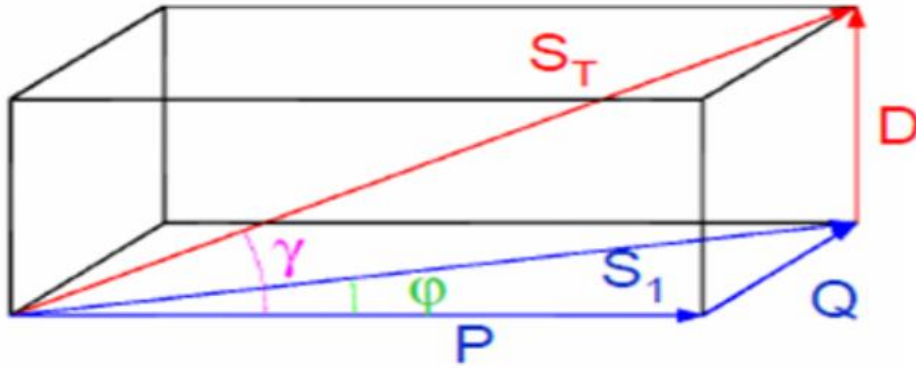
*Fuente: Elaboración propia.*



$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (3)$$

El factor de potencia con presencia de armónicos:



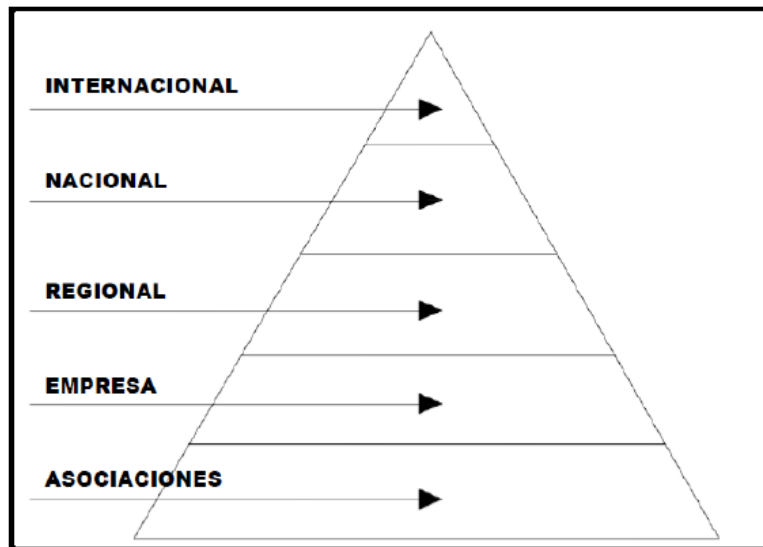
**Figura 14: Triángulo de potencias con presencia de armónicos**

**Fuente: Elaboración propia.**

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (4)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (5)$$

## 2.3 Normatividad



*Figura 15: Clasificación de normatividad en categoría.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### 2.3.1 Norma IEEE STD 519 - 2014.

Norma IEEE internacional enfocada a la calidad de energía que va 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 conectadas a sistemas eléctricos, tales como: convertidores estáticos de potencia, dispositivos de descarga, dispositivos magnéticos, maquinas rotativas, convertidores de energía que son mayores cargas no lineales que puede 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 de CA produciendo un flujo de corriente armónico por la red causando interferencias en circuitos de comunicación y demás equipos(519-2014, n.d.).

Las fuentes comunes de donde nacen estas corrientes armónicas se dan con mayor severidad en los convertidores electrónicos de potencia, hornos de arco, VAR, inversores de generación distribuida, control de fase, rectificadores entre otros. Los límites establecidos en la norma STD 519, son para estado estacionario, recomendado para condiciones del peor caso.

Los límites de distorsión armónica de voltaje recomendados para sistemas de 120V hasta 60KV en el PCC, se establecen en la Tabla 2.

**Tabla 2: Límites de distorsión de voltaje.**

Límites de Distorsión Armónica en Voltaje en % del voltaje nominal		
Nivel de tensión en la acometida (Vn)	Distorsión Armónica Individual	Distorsión Armónica Total THD Vn
Vn < 69 k	3.0%	5.0%
69 kV < Vn < 161 kV	1.5%	2.5%
Vn > 161 kV	1.0%	1.5%

Los límites de distorsión armónica de corriente recomendados para sistemas de 20 A hasta 1000 en el PCC, se establecen en la Tabla 3

**Tabla 3: Distorsión máxima de corriente armónica**

Distorsión máxima de corriente armónica en porcentaje de $I_L$						
Orden armónico individual (armónicos impares) a, b						
Isc/IL	3sh<11	IIS 11<17	17Sh<23	23Sh<35	35ShS50	TDD
< 20 <sup>c</sup>	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

### 2.3.2 Normas de IEC -61000-4-7 para Armónicos.

En la definición de la calidad de red a nivel de valor eficaz de la tensión, el proyecto de norma IEC-61000-4-30 propone cuatro ventanas o intervalos de observación estándar:

$$U_{RMS\_200ms} = \sqrt{\frac{1}{200} \int_{-200ms}^1 u^2(\tau) d\tau} \quad (6)$$

$$U_{RMS\_3s} = \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} U^2_{RMS\_200ms}} \quad (7)$$

$$U_{RMS\_10min} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} U^2_{RMS\_3s}} \quad (8)$$

$$U_{RMS\_2h} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{200} U^2_{RMS\_3s}} \quad (9)$$

Asimismo, el proyecto de norma (6100-4-7, 2002) propone medir distintos conceptos de forma separada, a saber:

- Medida de la frecuencia, promediando cada 10 segundos
- Medida de armónicos de tensión, según IEC-61000-4-7 Por lo general se indican estadísticos con 95% de probabilidad (valor que no ha sido rebasado más que en un 5% de los ciclos)
- Medida de Flicker , según IEC-61000-4-15, en intervalos de 10 minutos (Pst) y de 2 horas (Plt)
- Medida del % de desequilibrio, usando las componentes fundamentales de U12, U23, U31. El resultado se da en estadísticos con 95% de probabilidad.

Este bloque contiene información del análisis de armónicos. que se realiza a intervalos de 160 ms, aunque se guardan a intervalos como mínimo de 10s, dando normalmente el valor con probabilidad 95% de no ser sobrepasado. Un registro completo debería contener al menos los valores indicados en la tabla 2, que suponen un total de 1660 bytes por registro. Para el intervalo mínimo de 10 segundos marcado por la Norma IEC-61000-4-7 y supuesto que se dispone de aproximadamente 1,5 Mbyte de memoria, esto supone poder guardar unos 940 registros, es decir 157 minutos en registros de 10 segundos. Si se pretende obtener datos de períodos más largos hay que recurrir a datos promediados cada 10 minutos y guardar el caso peor bajo el criterio de  $THD(I) \cdot I_{RMS} \text{ máximo}$  (Balcells, 2013).

**Tabla 4: Distorsión máxima de corriente**

Fuente: WWW.IEC.ORG

Orden armónico h	Corriente armónica máxima permitida (A)
<b>Armónicos impares</b>	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq h \leq 39$	$0.25 / h$
<b>Armónicos pares</b>	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq h \leq 40$	$1.84 / h$

### 2.3.3 Norma de EN-50160 para armónicos

En condiciones normales de explotación, durante cada período de una semana, el 95% de los valores eficaces de cada tensión armónica promediados en 10 min no debe sobrepasar los valores indicados en la tabla 1. Tensiones más elevadas para un armónico dado pueden ser debidas a resonancias(UNE-EN 50160, 2015).

Además, la tasa de distorsión armónica total de la tensión suministrada (THD) (comprendidos todos los armónicos hasta el orden 40) no debe sobrepasar el 8%.

**Tabla 5: Valores de las tensiones de armónicos individuales en los puntos de suministro**

Armónicos impares				Armónicos pares	
No múltiplos de 3		Múltiplos de 3		Orden h	Tensión relativa
Orden h	Tensión relativa	Orden h	Tensión relativa		
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	6...24	0,5%
13	3%	21	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

NOTA – Los valores que corresponden a los armónicos de orden superior a 25, que son generalmente débiles y muy imprevisibles debido a los efectos de resonancia, no están indicados en esta tabla.

### 2.3.4 Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos

Los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales ( $V_i$ ) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite ( $V_i'$  y  $THD'$ ) indicados en la siguiente tabla. Para efectos de esta Norma, se consideran las armónicas comprendidas entre la dos (2) y la cuarenta (40), ambas inclusive.

**Tabla 6: Los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales ( $V_i$ ) y los THD.**

ORDEN (n) DE LA ARMONICA ó THD	TOLERANCIA   $V_i'$   o   $THD'$   (% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Para tensiones mayores a: 60 kV	Para tensiones menores o iguales a: 60 kV
(Armónicas Impares no múltiplos de 3)		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
mayores de 25	0.1 + 2.5/n	0.2 + 12.5/n
(Armónicas Impares múltiplos de 3)		
	1.5	5.0

3	1.0	1.5
9	0.3	0.3
15	0.2	0.2
21	0.2	0.2
mayores de 21		
<b>(Pares)</b>		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10		
12	0.2	0.5
mayores de 12	0.2	0.2
	0.2	0.2
THD	3	8

El Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) está definido como:

$$THD = \left( \sqrt{\sum_{i=2 \dots 40} (V_i^2 / V_N^2)} \right) * 100\% \quad (10)$$

Donde:

$V_i$  .- Es el Valor eficaz (RMS) de la tensión armónica "i" (para  $i=2 \dots 40$ ) expresada en Voltios.

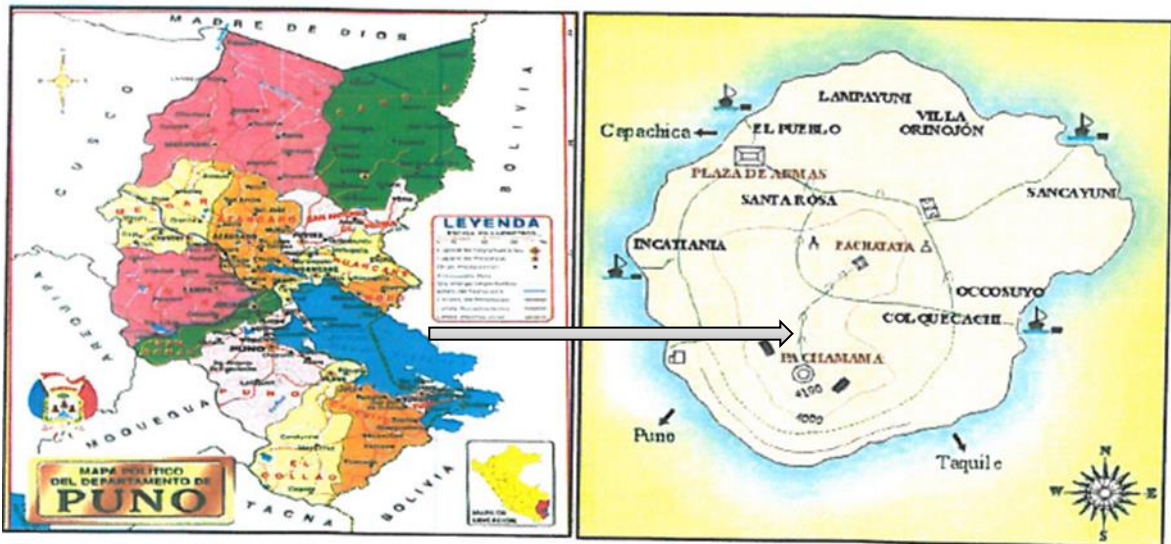
$V_N$  .- Es la tensión nominal del punto de medición expresada en Voltios.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si los indicadores de las perturbaciones medidas se encuentran fuera del rango de tolerancias establecidas en este numeral, por un tiempo superior al 5% del Período de Medición. Cada tipo de perturbación se considera por separado.

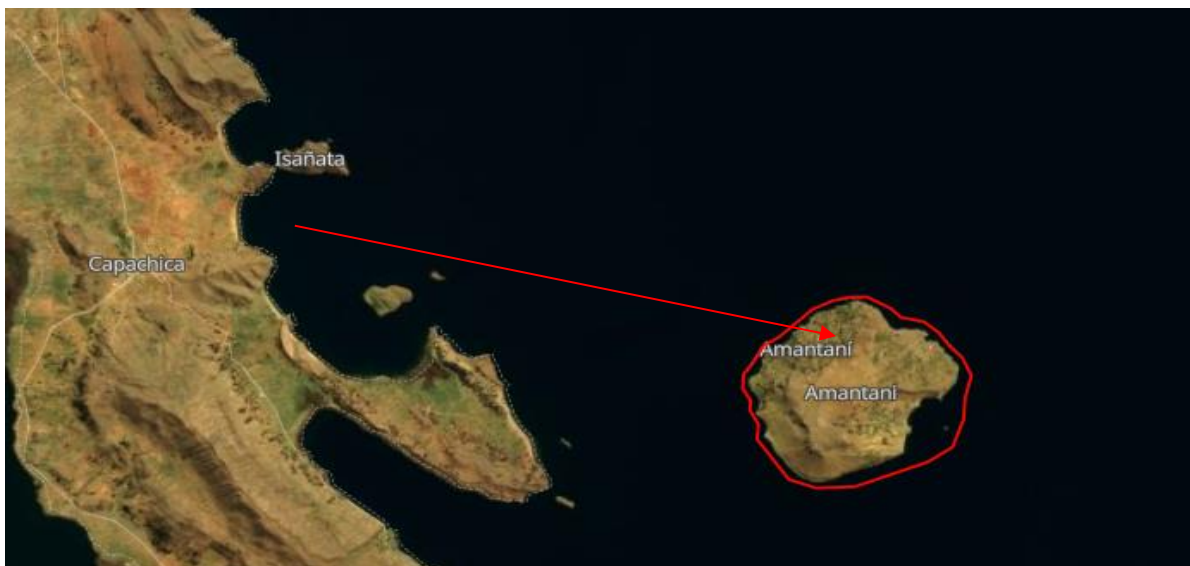
## CAPÍTULO 3 - MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Lugar del Estudio

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en el sistema solar fotovoltaico conectado a la red de la Isla de Amantani, ubicado en el Distrito de Amantani, Provincia de Puno, Departamento de Puno, cuyas coordenadas geográficas son:  $15^{\circ} 65'81''$  S  $69^{\circ} 71'05''$  O. A una altitud de 4000 metros sobre el nivel del mar.



*Figura 16: Área de estudio. Fuente (Expediente de la obra).*



*Figura 17: Ruta de embarque (Google Earth).*





*Figura 18 :Lugar de la instalación del SFCR (Google Earth).*

### **3.2 Población**

La ejecución del proyecto, ubicado en el departamento de Puno tiene una población de 3976 habitantes con un total de 994 conexiones domiciliarias y 37 cargas especiales.

### **3.3 Muestra**

De acuerdo con las muestras establecidas en la normativa nacional e internacional vigente, la central mini-generación fotovoltaica conectada a la red en la isla Amantani de la región Puno, será muestreada durante 7 días con una frecuencia de 15 minutos.

Se instalará el equipo de analizador de redes. Esto es importante para el desarrollo de la investigación.

### **3.4 Sistema Eléctrico de la Isla Amantani**

#### **3.4.1 Sistema de Generación Fotovoltaica**

El sistema de generación Fotovoltaica está ubicado a más de 4000 msms por lo que las potencias indicadas siempre están referidas a este nivel de altura. Este sistema comprende la

instalación de 1056 módulos fotovoltaicos (MFV) de 270 Wp cada uno, distribuidos de la siguiente forma:

- Se conectan 16 MFV en serie los cuales formaron un String, que en cada inversor hay 6 String, por la simple multiplicación sería 96 MFV.
- Se instalaron 11 inversores DC/AC para generar 275 KW de potencia a la tensión de 380 V, 60 Hz.
- Como se ha mencionado la generación es modular teniendo así arreglos de módulos conectados a inversores de red; el SGFV cuenta con 11 inversores cada uno de los cuales tiene las siguientes características de conexión eléctrica

***Tabla 7: sistema de generación fotovoltaica (elaboración propia).***

Potencia nominal AC	25 kW
Potencia nominal DC	25.5
Tensión de máxima potencia	484,8 Vdc
Tensión de circuito abierto	670,8 Vdc
Corriente de máxima potencia.	51 ,5 Adc
Sistema	trifásico con neutro a tierra
Tensión de salida AC	380 Vac
Número inversores del patio	11 unidades
Potencia nominal del patio	275 kW

***Tabla 8: ficha técnica del panel solar (Elaboración propia).***

<b>Modulo fotovoltaico</b>	<b>Medida</b>
Modelo	JKM270PP-60
tipo	Policristalino
Máxima potencia (Pmax)	270 Wp
Tolerancia de potencia	3%
voltaje de circuito abierto (Voc)	38.8 V
corriente de corto circuito (Isc)	9.09 A
Tensión de funcionamiento (Vmpp)	31.7 V
Corriente de funcionamiento (Impp)	8.52 A
fusible de serie máxima	20 A
voltaje máximo del sistema	1000VDC
temperatura nominal de la celda de funcionamiento (NOCT)	45+-2°C
peso del módulo	18.5 Fg
Dimensionamiento del modulo	1650*992*35
clase de aplicación	clase A

**Tabla 9: ficha técnica del inversor (Elaboración Propia).**

<b>Inversor de red Trifásico</b>	<b>Medida</b>
Fabricante	SMA solar
Modelo	25000TL
Potencia de CC máxima a $\cos \varphi=1$	25550W
Tensión de entrada máxima	1000 V
Rango de tensión del MPP	390 a 800 V
Tensión asignada de entrada	600 V
Corriente de entrada máxima de entrada	33 A
Corriente de cortocircuito máxima por string	43 A
Potencia eléctrica nominal	25 KW
factor de potencia: fp	0.8
frecuencia de red Ca/Rango: fca	60 HZ

### 3.4.2 Sistema de Almacenamiento de Energía

Este sistema está encargado de formar y regular la Red Eléctrica de la Isla, su implementación comprende:

La instalación de 10 bancos de baterías que componen de 80 Módulos de batería de Litio Fierro Fosfato (LiFeP04), y cada Módulo consta de 02 baterías, conectadas en paralelo, con una tensión nominal de 48 Vdc y una capacidad útil de 110.4kWh cada banco (Total 1104.00 kWh).

Los inversores bidireccionales son los encargados de formar la red eléctrica es decir establecen los parámetros de tensión y frecuencia. Dado que la conexión en el bus AC es trifásico, los inversores bidireccionales forman la red con agrupaciones de tres. El Sistema de Inversores Bidireccionales para Batería en la Isla Amantani contará con 10 agrupaciones, cada agrupación de inversores bidireccionales tendrá las siguientes características de conexión eléctrica.

**Tabla 10: sistema de inversores bidireccionales para batería (Elaboración Propia).**

Potencia AC durante 1 hora	19.2 kW
Potencia AC durante % hora	8 kW
Tensión nominal DC	48 Vdc
Sistema	trifásico con neutro a tierra
Control de carga y descarga de baterías	
Control automático de arranque y parada de grupo electrógeno	
Número de grupos por sistema	10
Potencia AC del sistema	192 kW (1 hora)
Tensión salida del sistema	380 Vac (3Ø)

El sistema de Inversores Bidireccionales cuenta con bancos de batería que almacenan o despachan energía en función del requerimiento de la demanda, generación fotovoltaica o generación térmica; cada agrupación de inversores bidireccionales contará con un banco de baterías, el cual tiene las siguientes características de conexión eléctrica.

**Tabla 11: Banco de baterías (Elaboración propia)**

Tensión nominal	48 Vdc
Unidades en paralelo	8 unidades
Capacidad de banco	110,4 kWh
Tecnología	Litio Fierro Fosfato LiFeP04
Número de bancos del sistema	10 bancos
Capacidad total del sistema	1 ,104 MWh

### 3.4.3 Transformadores de potencia

Este sistema permite la conexión del bus AC de los sistemas descritos a la Red Primaria de la Isla Amantani.

**Tabla 12: Características del transformador de potencia (Elaboración Propia)**

Las características para el patio de generación son:	
Sistema	Trifásico con neutro a tierra
Potencia de transformación	300 kVA
Tensión de transformación	0,38/22,9 kV
Las características para el Sistema de Inversores Bidireccionales son:	
Sistema	Trifásico con neutro a tierra
Potencia de transformación	225KVA
Tensión de transformación	0,38/22,9 kV

### 3.4.4 Sistema de Generación Térmica

El grupo existente funcionará como respaldo de energía para lo que se realizará el mantenimiento respectivo al motor, al generador que permita su puesta en operación. Como condición de operación el grupo encenderá cuando exista déficit de energía de manera manual. Las características del grupo existente son:

**Tabla 13: Datos de grupo electrógeno (Elaboración propia).**

Sistema	Trifásico con neutro a tierra
Potencia de generación	250 HP
Tensión de salida	380 Vac

### **3.5 Metodología de la Investigación**

#### **3.6 Tipo de Investigación**

Cuando la investigación es de tipo aplicada, pues busca conocer, actuar, construir y modificar la problemática de compensación de la potencia reactiva y analizar los causantes de generadores de armónicos en el sistema de generación fotovoltaica de la Isla Amantani Puno. Así también es diacrónica, pues se investiga problemas en una sucesión de momentos temporales a fin de conocer la evolución del comportamiento del problema en un periodo dado, que permita hacer inferencias, respecto al cambio y sus consecuencias (Borja Suárez M, 2016).

#### **3.7 Técnicas, instrumentos de recolección de datos y diseño**

##### **3.7.1 Técnicas**

La tecnología a utilizar nos permitirá verificar las cuestiones planteadas, en cuyo caso se establecerán las herramientas, medios utilizados. Todo lo que harán los investigadores está respaldado por tecnología de observación. Aunque utiliza diferentes métodos, el marco de su método de recopilación de datos se centra en las técnicas de observación, y el éxito de la investigación dependerá del método que utilice. La recopilación de datos se refiere al uso de una variedad de tecnologías y herramientas. Los analistas pueden utilizar estas tecnologías y herramientas para desarrollar sistemas de información. Esto se basa en la observación de información y diagramas de flujo (Behar, 2010). Para ello utilizaremos el software power view 3.0 y ETAP 20.0

##### **3.7.2 Instrumentos**

Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información (Fidias, 2012).

##### **3.7.3 Técnicas de procesamiento**

- Lugares de la instalación del equipo en la isla Amantani

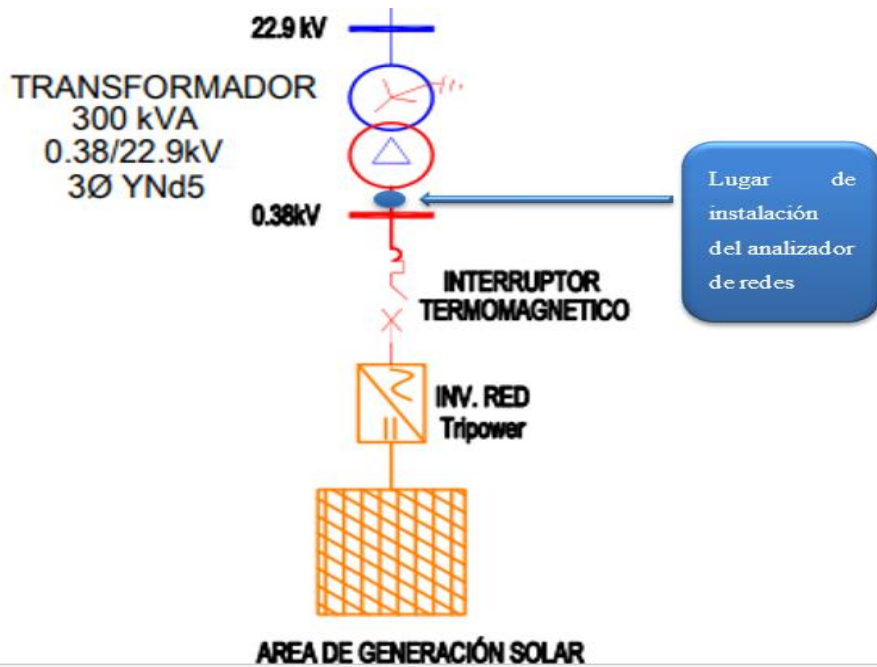


Figura 19: Lugar de la instalación del analizador de redes en el SGFV (Expediente de la obra).

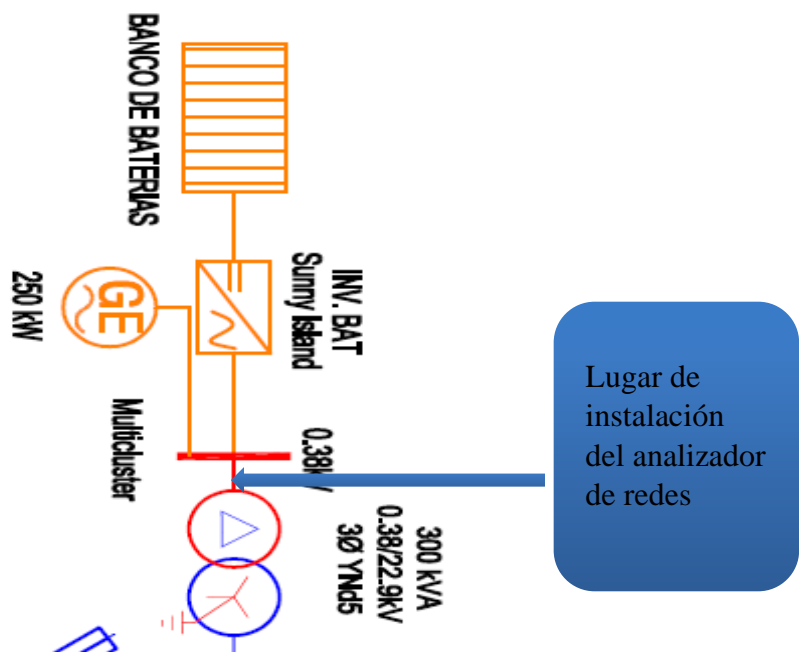


Figura 20: lugar de instalación del analizador de redes en el sistema de almacenamiento fuente:(Expediente de la obra).

- Plan de recolección de datos y ejecución

Se seguirá los siguientes pasos para la recolección de datos y ejecución del algoritmo, en base al diagrama de flujo mostrado:

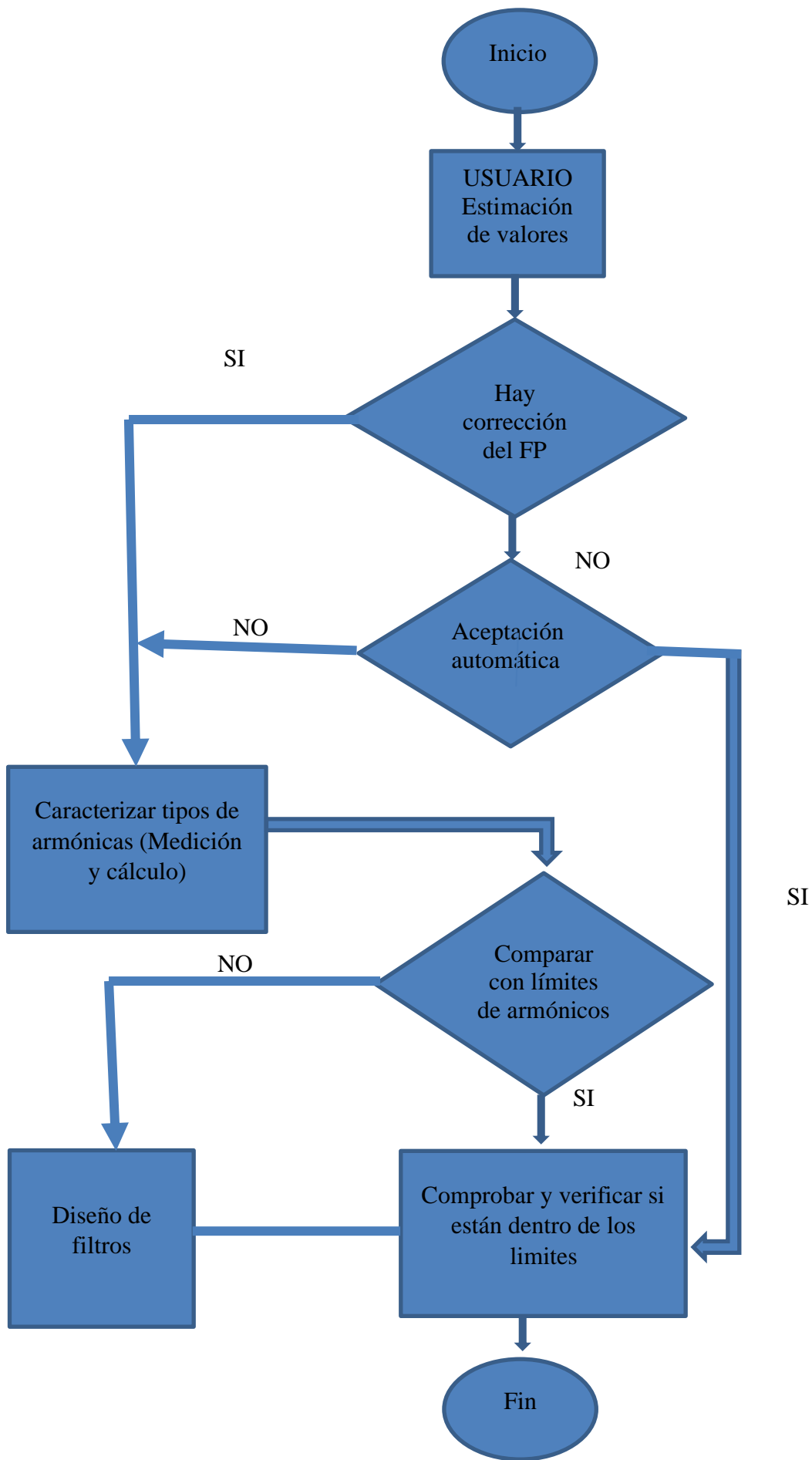


Figura 21: Diagrama de flujo de método (Payé, 2018)

- Plan de procesamiento de datos

Para las mediciones se utilizará el analizador de redes de las siguientes características (METREL, 2011):



*Figura 22: Instrumento PowerQ4plus (Metrel)*

*Fuente: (METREL, 2011)*

#### **3.7.4 Recursos computacionales de hardware y software**

- El analizador PowerView v3.0 incluye una interfaz simple y poderosa para descargar datos del instrumento para un análisis rápido, intuitivo y descriptivo. La organización de la interfaz permite una selección rápida de datos utilizando una vista de árbol similar al Explorador de Windows.
- Para el procesamiento de datos se utilizará el software ETAP para poder analizar los datos medidos por el analizador de redes en el SGFV.

### **3.8 Método.**

La mejor solución, tanto desde el punto de vista técnico como económico, se basa en los resultados de un estudio detallado. Por tanto, se tiene un enfoque cuantitativo.

#### **3.8.1 Análisis de armónicos en redes de MT y BT**

Un análisis de armónicos se lleva a cabo tomando en cuenta las perturbaciones que afectan a las redes de distribución eléctrica y que están equipadas con potentes equipos y software de análisis y simulación.



Los pasos para un análisis son los siguientes:

- 1) Medición de las perturbaciones que afectan a la corriente y a las tensiones compuestas y simples en la fuente de alimentación, los circuitos de salida perturbados y las cargas no lineales.
- 2) Simulación por ordenador del fenómeno para obtener una explicación precisa de las causas y determinar la mejor solución.
- 3) Un informe completo del análisis presenta:
  - Los niveles de corriente de las perturbaciones.
  - Los niveles máximos permitidos de las perturbaciones (IEC 61000, IEC 60034, etc.).
  - Una propuesta que incluye soluciones con niveles de rendimiento garantizados.
  - Finalmente, la aplicación de la solución seleccionada utilizando los medios y los recursos necesarios. Todo el proceso de la auditoría está certificado con la ISO 9002.7.

De acuerdo a lo especificado en cada caso, con equipos de uso múltiple o individual, se llevan a cabo mediciones independientes de cada parámetro de la Calidad de Producto. El lapso mínimo de medición de un parámetro es de siete (7) días calendario continuos, con excepción de la frecuencia cuya medición es permanente durante el Período de Control (MEM-DGE-DS-040, 2014).

### 3.8.2 Análisis de Fourier

El teorema de Fourier dice que toda onda periódica no sinusoidal puede ser descompuesta como la suma de ondas sinusoidales, mediante la aplicación de la serie de Fourier, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- Que la integral a lo largo de un periodo de la función sea un valor finito.
- Que la función posea un número finito de discontinuidades en un periodo.
- Que la función posea un número finito de máximos y mínimos en un periodo.

Cualquier función  $F(x)$  con periodo  $2\pi$  tiene su representación en series de Fourier de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Y = F(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \text{sen}(nx) + B_n \text{cos}(nx)] \quad (11)$$

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(X) dx \quad (12)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(X) \text{sen}(nx) dx \quad (13)$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(X) \text{cos}(nx) dx \quad (14)$$

$$[A_n \text{sen}(nx) + B_n \text{cos}(nx)] = R_n \text{sen}(nx + \Phi_n) \quad (15)$$

$$R_n = \sqrt{[A_n^2 + B_n^2]} \quad \Phi_n = \tan^{-1} \left( \frac{B_n}{A_n} \right) \quad (16)$$

### 3.8.3 Índices para la medición de armónicos

Para analizar los efectos producidos por los armónicos se utilizan generalmente unos índices que cuantifican el nivel de contaminación armónica de las ondas. Para el análisis los índices son comparados con valores límites dados por las normas o con valores de soportabilidad de los equipos. A continuación, se presentan las definiciones de los índices más utilizados.

Para corriente se tienen dos tipos de índices, los de distorsión armónica individual y los de distorsión armónica total. El índice de distorsión armónica individual de corriente se define mediante la siguiente ecuación:

$$D_i = \frac{I_i}{I_n} \times 100\% \quad (17)$$

$D_i$ : Distorsión armónica individual de corriente.

$I_i$ : Corriente de cada armónico.

$I_n$ : Corriente nominal del alimentador.

La distorsión armónica total, es una medida de la coincidencia de formas entre una onda y su componente fundamental y los índices de distorsión armónica total es:

$$THD_I = \frac{I}{I_L} \sqrt{\sum_{t=2}^{\infty} (I_t)^2} \times 100\% \quad (18)$$

Los índices de distorsión de demanda total son:

$$TDD_I = \frac{I}{I_d} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (I_t)^2} \times 100\% \quad (19)$$

El índice de distorsión armónica individual de tensión se define mediante la siguiente ecuación:

$$D_v = \frac{V_i}{V_n} \times 100\% \quad (20)$$

$DV$ : Distorsión armónica individual de tensión.

$V_i$ : Tensión de cada armónico.

$V_n$ : Tensión nominal del alimentador.

El índice de distorsión armónica total de tensión se define como:

$$THD_V = \frac{1}{V_n} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (V_t)^2} \times 100\% \quad (21)$$

El factor de potencia con armónicos o llamado también factor de potencia de desplazamiento está dado por la siguiente relación:

$$fp = \frac{P}{S} = \frac{\sqrt{3}V_1I_1\cos\varphi}{\sqrt{3}V_{rms}I_{rms}} = \frac{\sqrt{3}V_1I_1\cos\varphi}{\sqrt{3}V_1I_1\sqrt{(THD_V)^2 + 1}\sqrt{(THD_I)^2 + 1}} \quad (22)$$

Donde los valores eficaces de tensión y de corriente son:

$$V_{rms} = V_1\sqrt{(THD_V)^2 + 1} \quad (23)$$

$$I_{rms} = I_1\sqrt{(THD_I)^2 + 1} \quad (24)$$

Vrms: Valor eficaz de tensión

Irms: Valor eficaz de corriente

Por consiguiente, se tiene el factor de potencia total:

$$fp_T = fp_{des} \times fp_{dis} \quad (25)$$

Donde:

fpT : Factor de potencia total

fpdesp: Factor de potencia de desplazamiento sin presencia de armónicos

fpdist : Factor de potencia de distribución sin presencia de armónicos

### 3.8.4 Filtros de armónicos.

En los casos en los que la acción preventiva indicada anteriormente sea insuficiente, es necesario equipar la instalación con sistemas de filtrado. Existen tres tipos de filtros:

A. Pasivos.

B. Activos.

C. Híbridos.

#### A. Filtros pasivos

Las aplicaciones típicas que se tienen son las siguientes:

- Instalaciones industriales con una serie de cargas no lineales que representan más de 200 kVA (variadores de velocidad, SAI, rectificadores, etc.).
- Instalaciones que requieren corrección del factor de potencia.
- Instalaciones en las que la distorsión de tensión debe reducirse para evitar perturbar las cargas sensibles.
- Instalaciones en las que la distorsión de corriente debe reducirse para evitar sobrecargas.

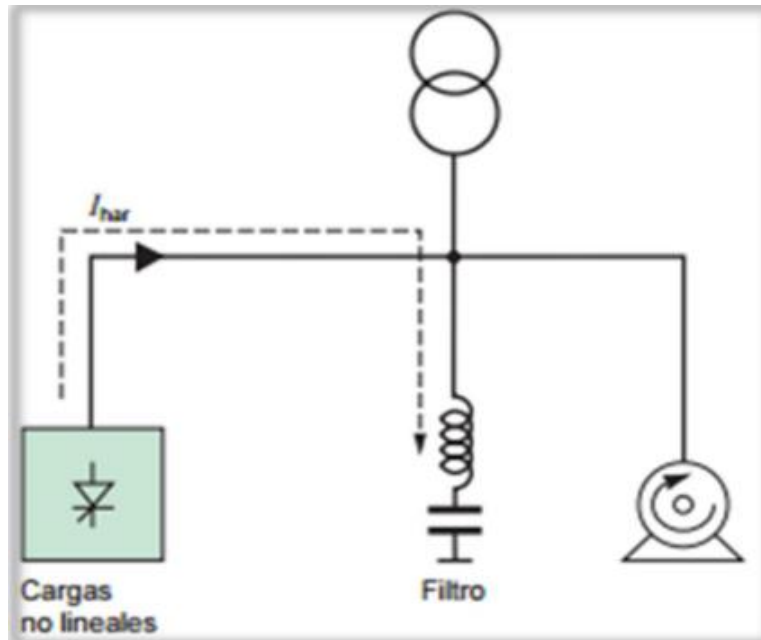


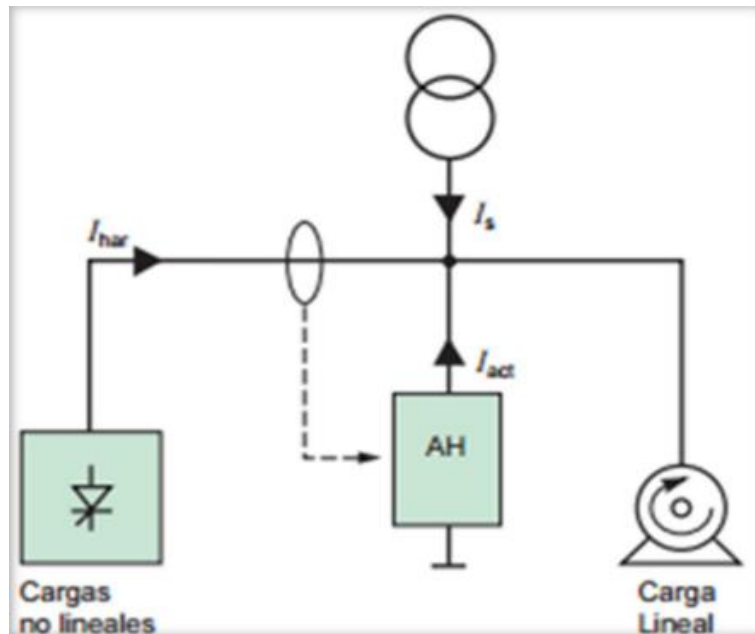
Figura 23: Principio de funcionamiento de un filtro pasivo.

*Fuente: Elaboración propia.*

### **B. Filtros activos (compensador activo de armónicos)**

Aplicaciones típicas:

- Instalaciones comerciales con una serie de cargas no lineales que representan menos de 200 kVA (variadores de velocidad, SAI, equipos de oficina, etc.).
- Instalaciones en las que la distorsión de corriente debe reducirse para evitar sobrecargas.



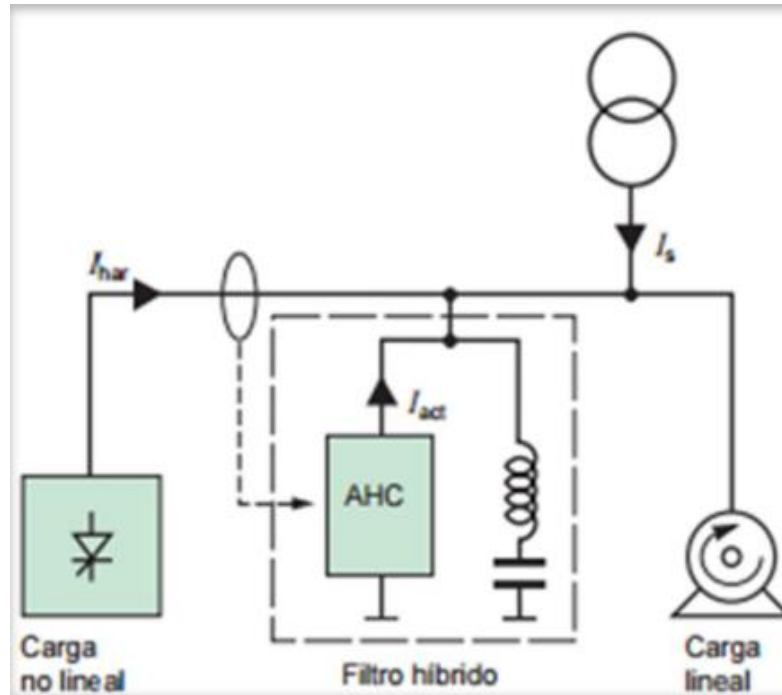
**Figura 24: Principio de funcionamiento de un filtro activo.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### C. Filtros híbridos

Las aplicaciones típicas son:

- Instalaciones industriales con una serie de cargas no lineales que representan más de 200 kVA (variadores de velocidad, SAI, rectificadores, etc.).
- Instalaciones que requieren corrección del factor de potencia. Instalaciones en las que la distorsión de tensión debe reducirse para evitar perturbar las cargas sensibles.
- Instalaciones en las que la distorsión de corriente debe reducirse para evitar sobrecargas.
- Instalaciones en las que deben cumplirse límites estrictos de emisiones de armónicas.



*Figura 25: Principio de funcionamiento de un filtro híbrido.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.8.5 Bancos de condensadores en presencia de armónicos

La norma IEEE-519 establece los siguientes valores en condensadores utilizados para corrección del factor de potencia cuando se encuentran presentes componentes armónicos en el sistema:

135 % de los KVAR nominales.

110 % tensión nominal RMS.

180 % corriente nominal RMS.

Se espera que, con estas capacidades de sobrecarga, se provea las márgenes necesarias ante sobretensiones en el sistema y/o ante componentes armónicas. Los kVAR del banco de condensadores con componentes armónicos se calcula con:

$$KVAR = \sum_{h=1}^{\infty} V_h \cdot I_h \quad (26)$$

Donde:  $V_h$ ,  $I_h$  = Valores de tensión y corriente RMS

### **3.8.6 Criterios de selección**

Filtro pasivo: Ofrece tanto corrección del factor de potencia como capacidad para el filtrado de corrientes. Los filtros pasivos también reducen las tensiones armónicas en las instalaciones en las que la tensión de alimentación tiene perturbaciones. Si el nivel de la potencia reactiva suministrada es elevado, se recomienda desactivar el filtro pasivo cuando el porcentaje de la carga sea bajo. Los estudios preliminares para un filtro deben tener en cuenta la posible presencia de una batería de condensadores que puede resultar necesario eliminar.

Acondicionadores de armónicos activos: Filtran los armónicos en un amplio rango de frecuencias y se pueden adaptar a cualquier tipo de carga. Por otro lado, las especificaciones de potencia son bajas.

Filtros híbridos: Combinan el rendimiento de los filtros activos y pasivos.

## **3.9 Hipótesis de Investigación**

### **3.9.1 Hipótesis General:**

Es factible el análisis de los armónicos y compensación reactiva del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani.

### **3.9.2 Hipótesis Específicos:**

Los armónicos de tensión influyen en la buena calidad de la energía del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani.

Los armónicos de corriente influyen en la buena calidad de la energía del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani.

La compensación reactiva contribuye a mejorar del sistema fotovoltaico conectado a la red de la Amantani.



### 3.10 Operacionalización de Variables

*Tabla 14: Definición de variables*

<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b>		
<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>UND</b>
Independiente	A. Tensión	(V)
	B. Corriente	(A)
Dependiente	A. Distorsión total de armónicos THDV THDI	(%)
	B. Factor de potencia	(W/VA)

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Aspectos Generales

El proyecto comprende de un Sistema de Generación Fotovoltaico, con la instalación de 1056 paneles de 270Wp y estos conectados a 11 inversores Tripower de 25000W quienes son los equipos encargados de transformar la corriente continua en corriente alterna y para luego enviarlo hasta un transformador elevador de 300kVA que está encargado de elevar la tensión para poder convertirlo de 380V a 22.9kV para luego ser enviado por la Redes Primarias hasta los transformadores de distribución y así mismo hasta la Sala de Baterías llegando aquí hasta un transformador de 225kVA y de aquí pasar a un 01 (Un) Centro de Distribución y Transferencia Multicluster, controlados por un Sistema de Inversores Bidireccionales Sunny Island conectado a 10 bancos de Módulos de baterías de LiFePo4 el cual está compuesto cada banco por 08 módulos de baterías y cada módulo consta 02 baterías de LiFePo4; los cuales son los encargados de controlar los diferentes parámetros necesarios para el funcionamiento del sistema; así mismo se realizó el mantenimiento correctivo de un grupo electrógeno existente el cual se cambió el sistema de arranque y se instaló un tablero para el encendido automático del grupo electrógeno controlado por el master de los inversores Sunny Island. Construcción de 5,49 km de Redes Primarias Aéreas trifásicas con neutro rígidamente puesta a tierra para suministrar energía a las redes de las subestaciones proyectadas con 3 transformadores de 40KVA, 1 transformador de distribución de 50KVA y un transformador de distribución de 75KVA. Construcción de 05 subestaciones en redes Secundarias instalando 994 acometidas domiciliarias.

*Tabla 15: Resumen de cuadro de cargas*

S.E.	LOCALIDADES	N° ABONADOS			
		SP (*)	CE(*)	TOTAL	POBLACION
SE 01	INCATIANA	91	4	95	380
SE 01 Y SE 02	PUEBLO CENTRAL	178	11	189	756
SE 01 Y SE 02	SANTA ROSA	106	3	109	436
SE 02 Y SE 03	LAMPAYUNI	116	3	119	476
SE 03	VILLA ORINOJON	84	2	86	344
SE 04	ALTO SANCAYUNI	64	2	66	264
SE 04	SANCAYUNI CAMPESINA	88	4	92	368
SE 05	OCCOPAMPA	70	2	72	288
SE 05	OCCOSUYO	76	4	80	320
SE 05	COLQUECACHI	84	2	86	344

---

---

## 4.2 Resultados de flujo de potencia

Una vez obtenida toda la información, se hizo el cálculo de flujo de potencia mediante el software ETAP. Donde se puede observar en la figura 26, 27 y 28 los datos del flujo de potencia, con carga de diseño, carga real y con armónicos.

- a. Carga de diseño en la figura 26 se observa que en el bus 5 hay una regulación de 0.66% y una potencia 139.3 KW y un potencia reactiva de 15.3 Kvar.
- b. Carga de real en la figura 27 se observa que en el bus 5 hay una regulación de 0.40% y una potencia 44 KW y un potencia reactiva de 3.96 Kvar.
- c. Carga de real en la figura 28 se observa que en el bus 5 hay armónicos THD 12.14% y una potencia 44 KW.

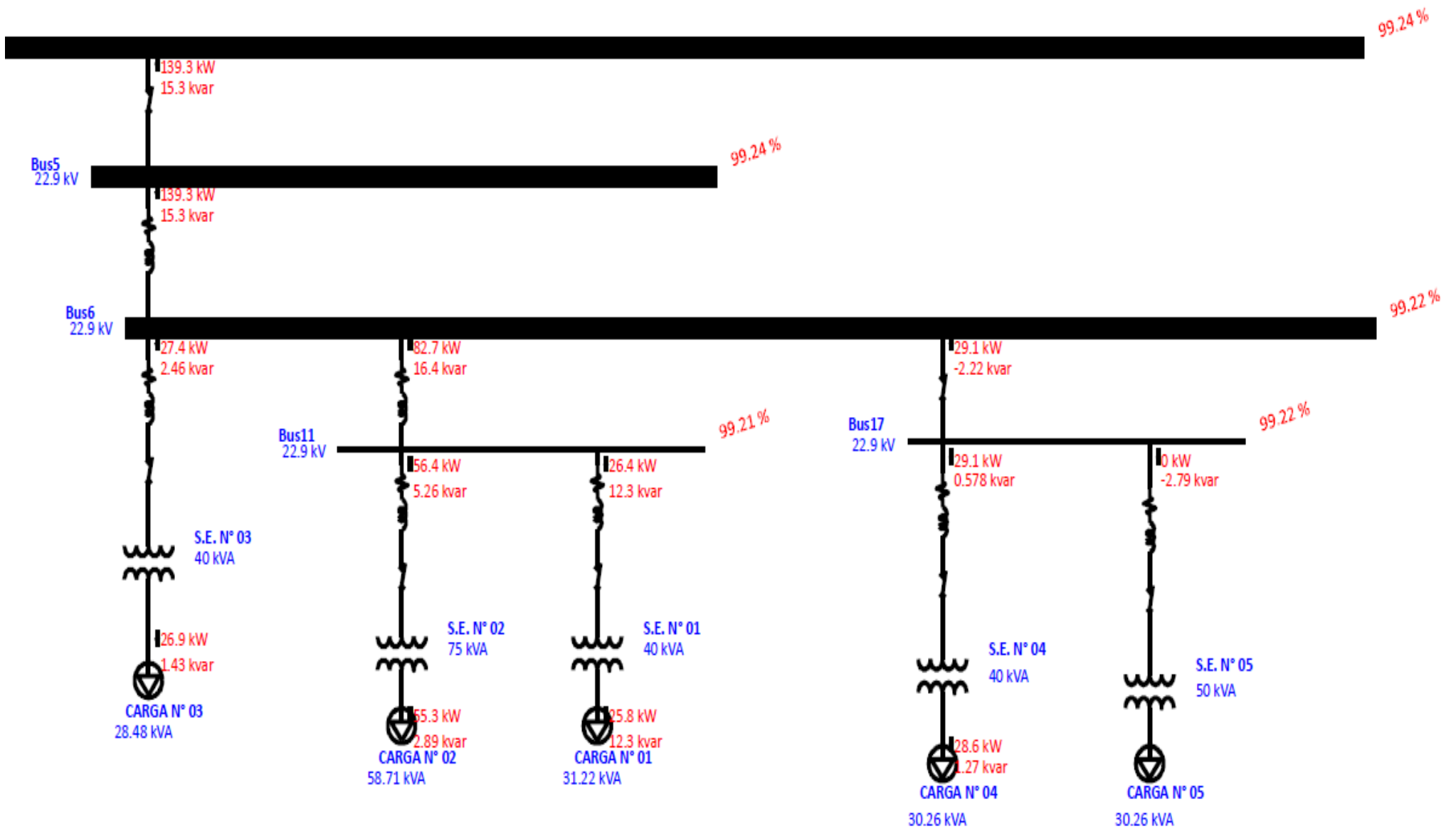


Figura 26: Diagrama de flujo de potencia con carga de diseño

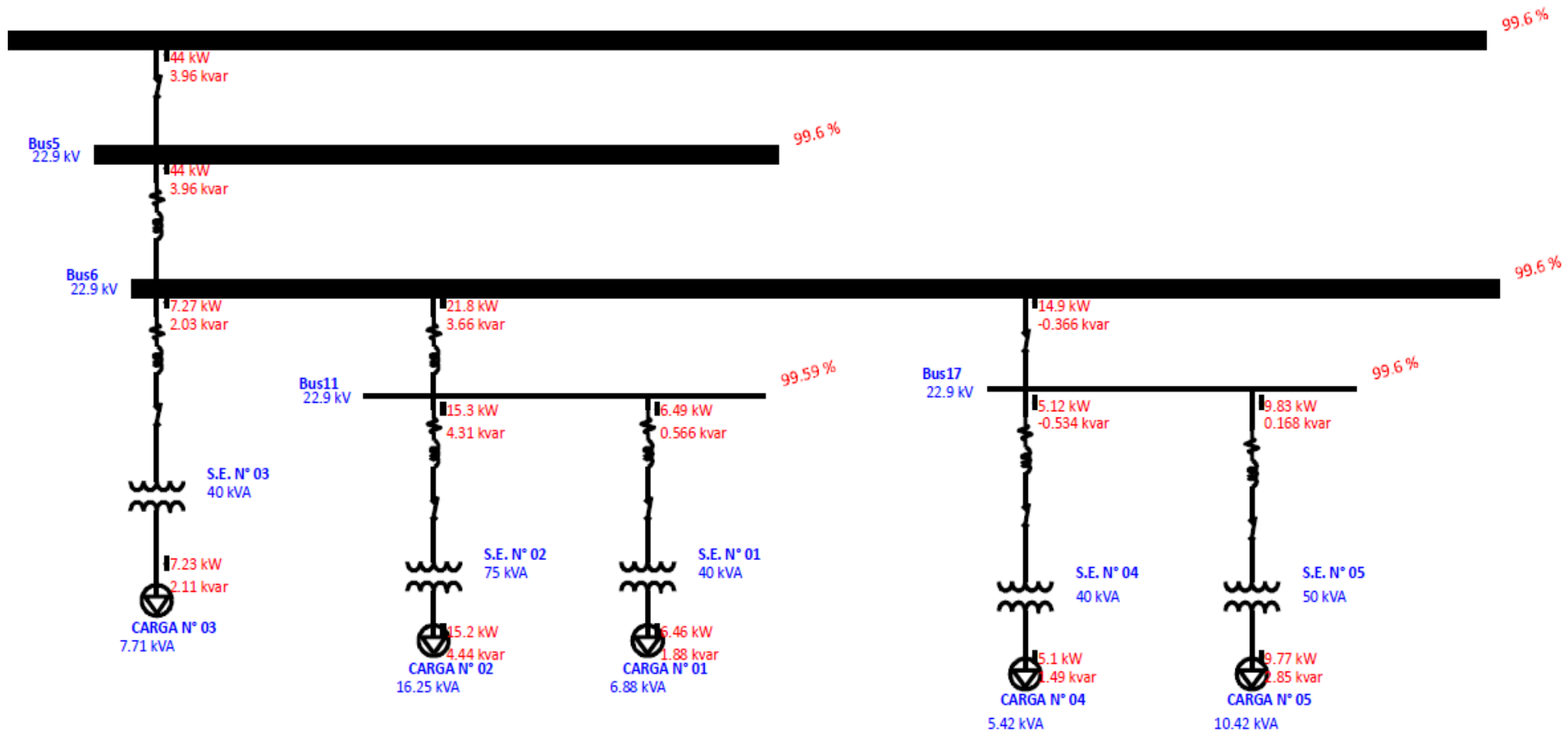


Figura 27: Diagrama de flujo de potencia con carga real

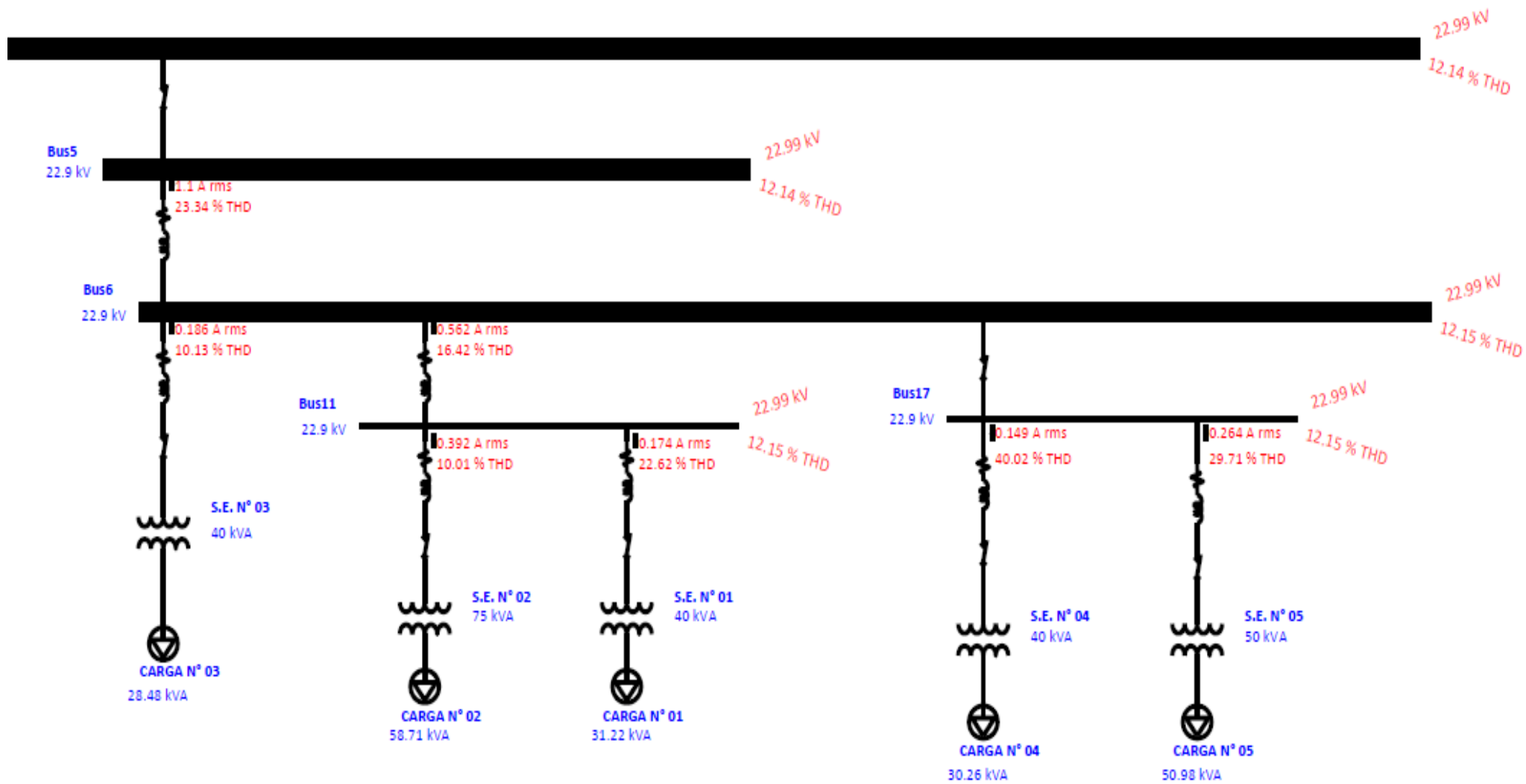
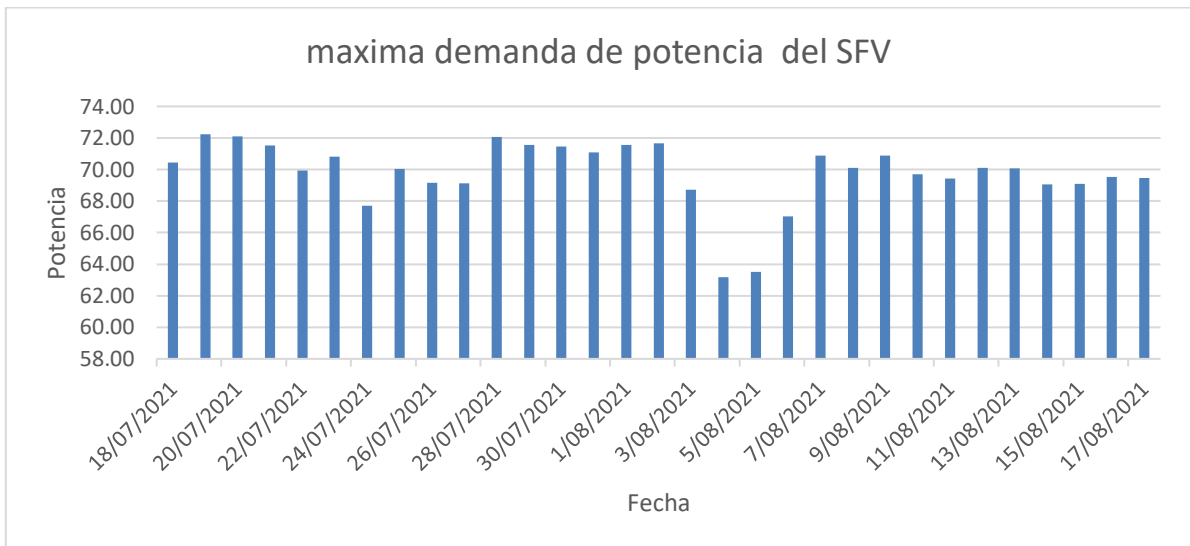


Figura 28: Diagrama de flujo de potencia con carga real y armónicos

### 4.3 Análisis de resultados.

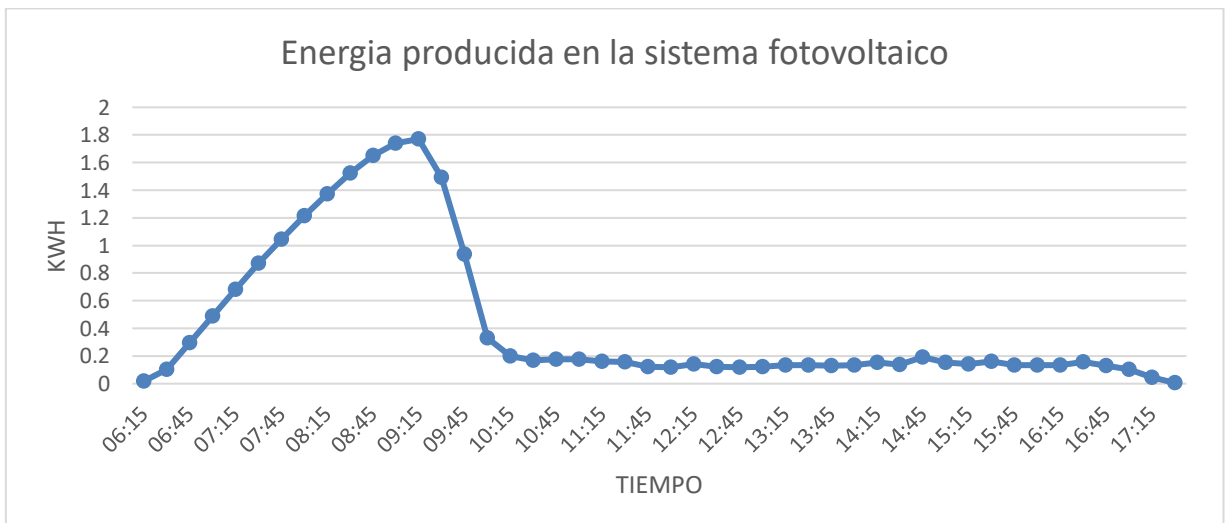
#### 4.3.1 Consumos de potencia y energía

De acuerdo a la información obtenida de la Empresa concesionaria Electro Puno S.A.A. se tiene que la máxima demanda del generador fotovoltaico que se dio en el mes de julio y agosto del año 2021, con una máxima demanda de 72.25 KW.



**Figura 29: Evolución de la demanda máxima en el mes de julio y agosto del 2021**

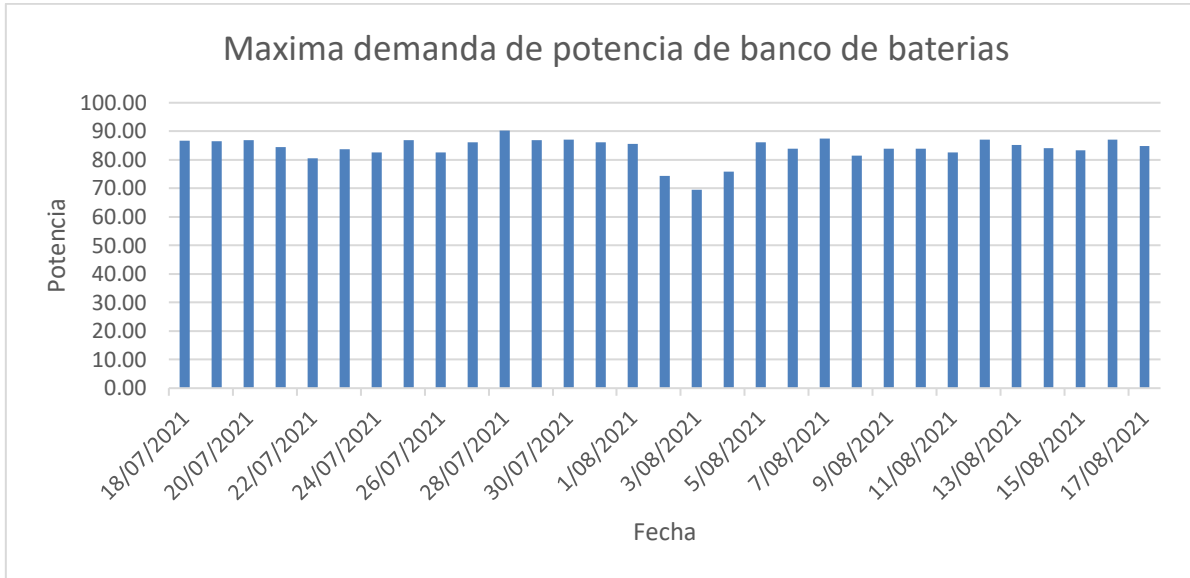
La energía producida en un día, con de fecha 23/07/2021 como se observa en la fig. 30 que a las 9.15 horas de la mañana se da el máximo resultado 1.77 KWh.



**Figura 30: Demanda de potencia diario del sistema fotovoltaico**

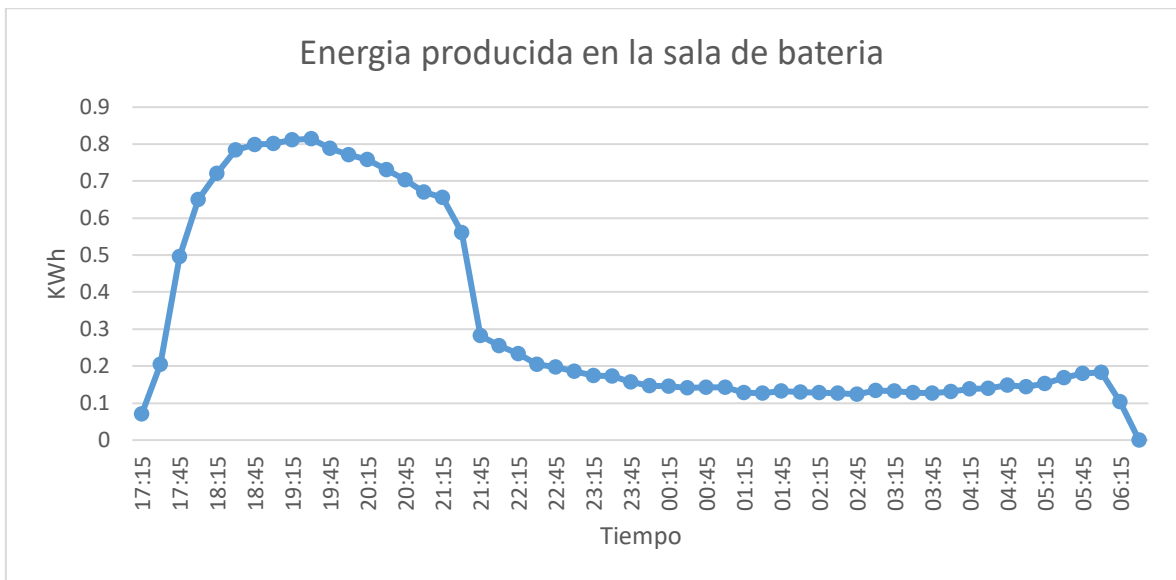
Fuente: Elaboración propia

Se tiene que la máxima demanda del generador fotovoltaico que se dio en el mes de julio y agosto del año 2021, con una máxima demanda de 90.32 KW.



**Figura 31: Evolución de la demanda máxima en el mes de julio y agosto del 2021**

Energía producida en la sala de batería en un día con de fecha 8/08/2021 y 09/08/2021 como se observa en la fig. 32 que a las 7.40 horas de la noche se da el máximo resultado 0.8144 KWh.



**Figura 32: Energía producida en la sala de batería**



También se tiene los valores del consumo de la energía, siendo máximo en el mes de julio y agosto del año 2021, cuyo valor fue de 179.50 KW.h del sistema fotovoltaico tabla 16.

**Tabla 16: Resumen totales de las mediciones en el sistema fotovoltaico**

RESUMEN TOTALES		
EAHP	-	KWH
EAHFP	5,897.94	KWH
TOTAL, EA	5,897.94	KWH
ERACTIVA INDUCTIVA	179.50	KVARH
MAX POTENCIA INDUCTIVA	1.66	KVAR
ERACTIVA CAPACITIVA	1.11	KVARH
MAX POTENCIA CAPACITIVA	0.004	KVAR

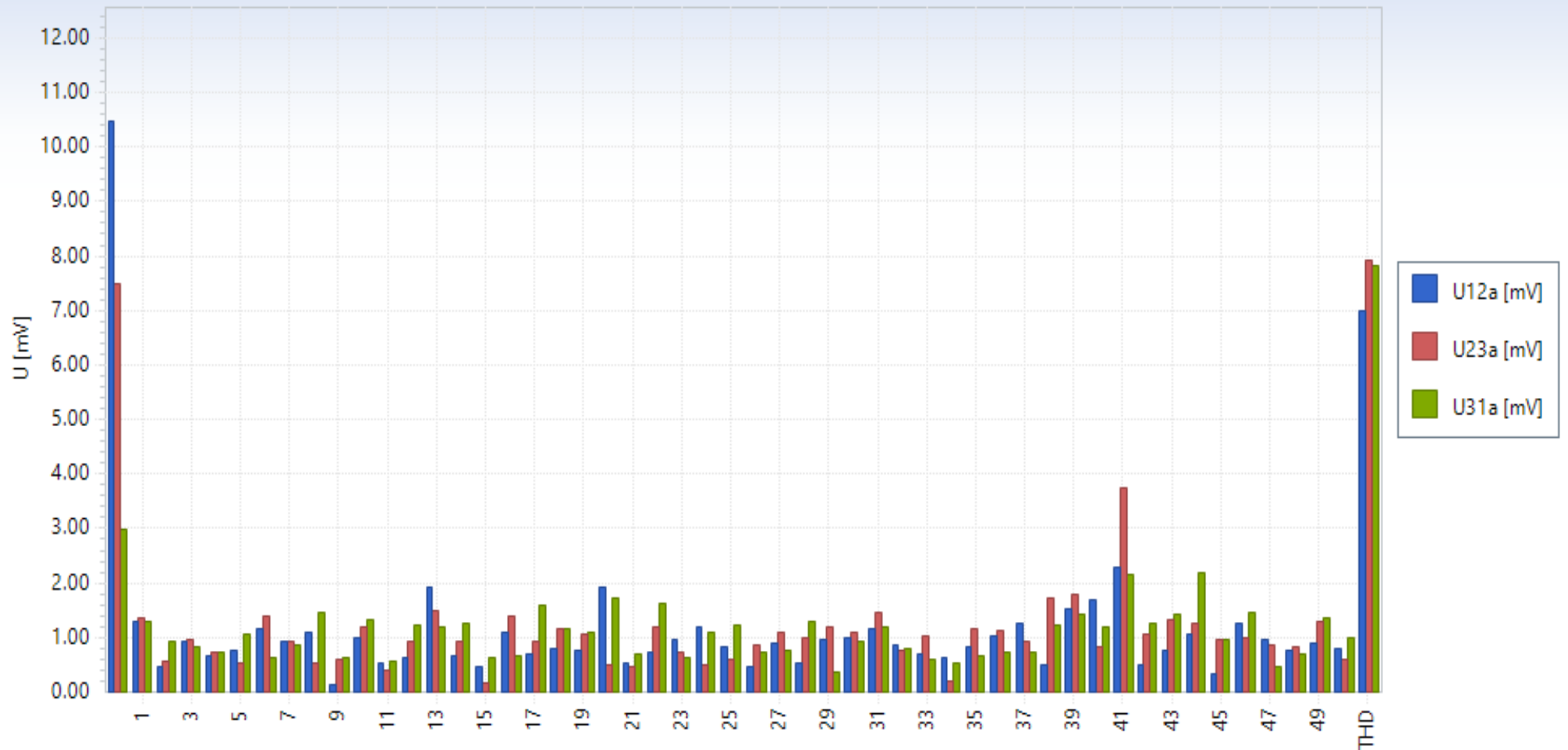
También se tiene los valores del consumo de la energía, siendo máximo en el mes de julio y agosto del año 2021, cuyo valor fue de 13557.25 KW.h de la sala de baterías. En la tabla 17.

**Tabla 17: Resumen totales de las mediciones en la sala de baterías**

RESUMEN TOTALES		
EAHP		KWH
	9,248.97	
EAHFP		KWH
	4,308.28	
TOTAL, EA		KWH
	13,557.25	
ERACTIVA INDUCTIVA		KVARH
	1,196.02	
MAX POTENCIA INDUCTIVA	16.8	KVAR
ERACTIVA CAPACITIVA		KVARH
	18,325.28	
MAX POTENCIA CAPACITIVA	275.3	KVAR

#### 4.3.2 Resultado de espectro de armónicos

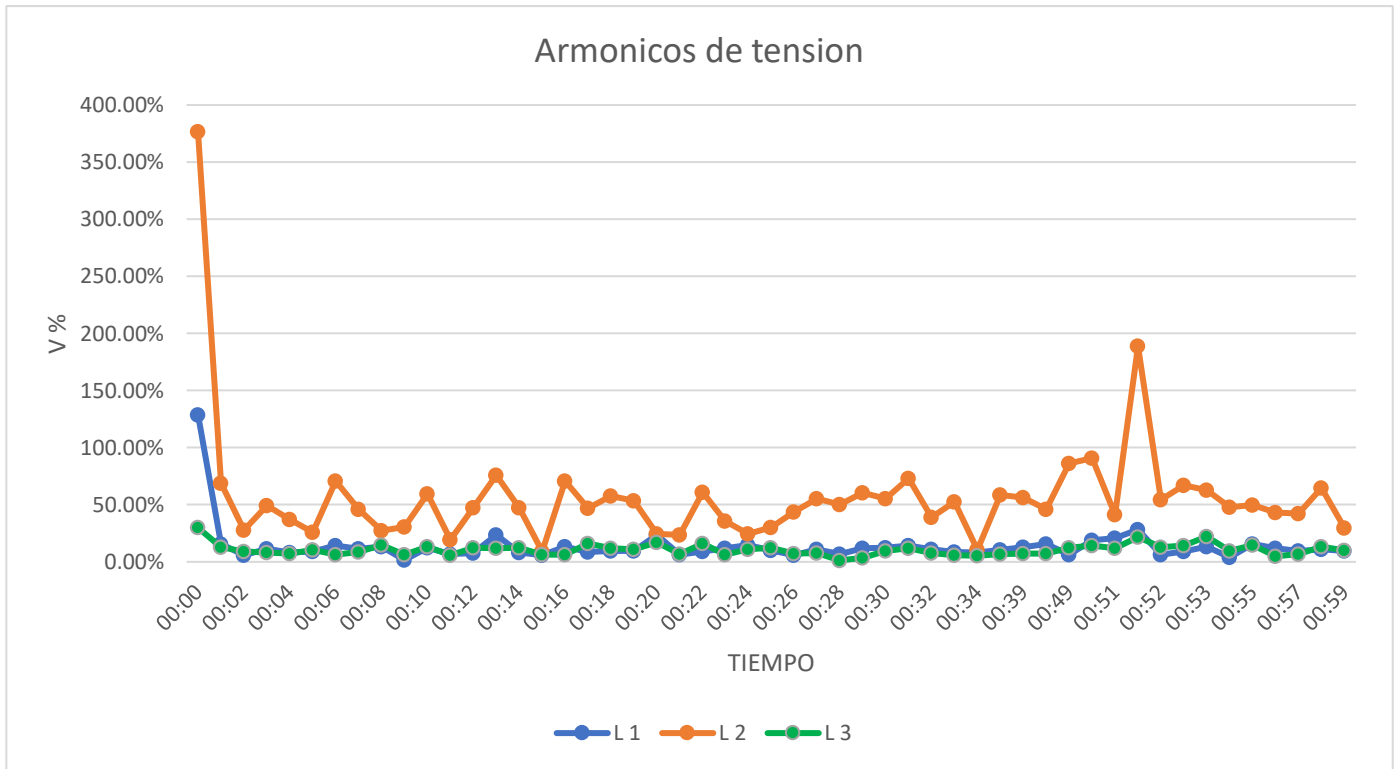
A continuación, mostramos los resultados obtenidos de las mediciones efectuadas con el analizador de redes. En la figura 34 se muestra los armónicos de tensión que fase L 2 tienes más porcentaje de armónicos. La figura 35 muestra los armónicos de corriente que la fase I 3 tiene más porcentaje de armónicos.



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
U12a [mV]	10.46	1.28	0.46	0.93	0.66	0.75	1.15	0.92	1.08	0.13	0.99	0.54	0.64	1.93	0.66	0.48	1.08	0.70	0.78	0.76	1.93	0.52	0.72	0.97
U23a [mV]	7.47	1.36	0.56	0.97	0.74	0.52	1.40	0.91	0.54	0.61	1.18	0.39	0.94	1.50	0.94	0.18	1.40	0.93	1.14	1.06	0.49	0.47	1.21	0.71
U31a [mV]	2.99	1.28	0.93	0.83	0.72	1.05	0.63	0.87	1.46	0.62	1.34	0.56	1.23	1.19	1.26	0.64	0.67	1.59	1.18	1.09	1.72	0.68	1.62	0.65

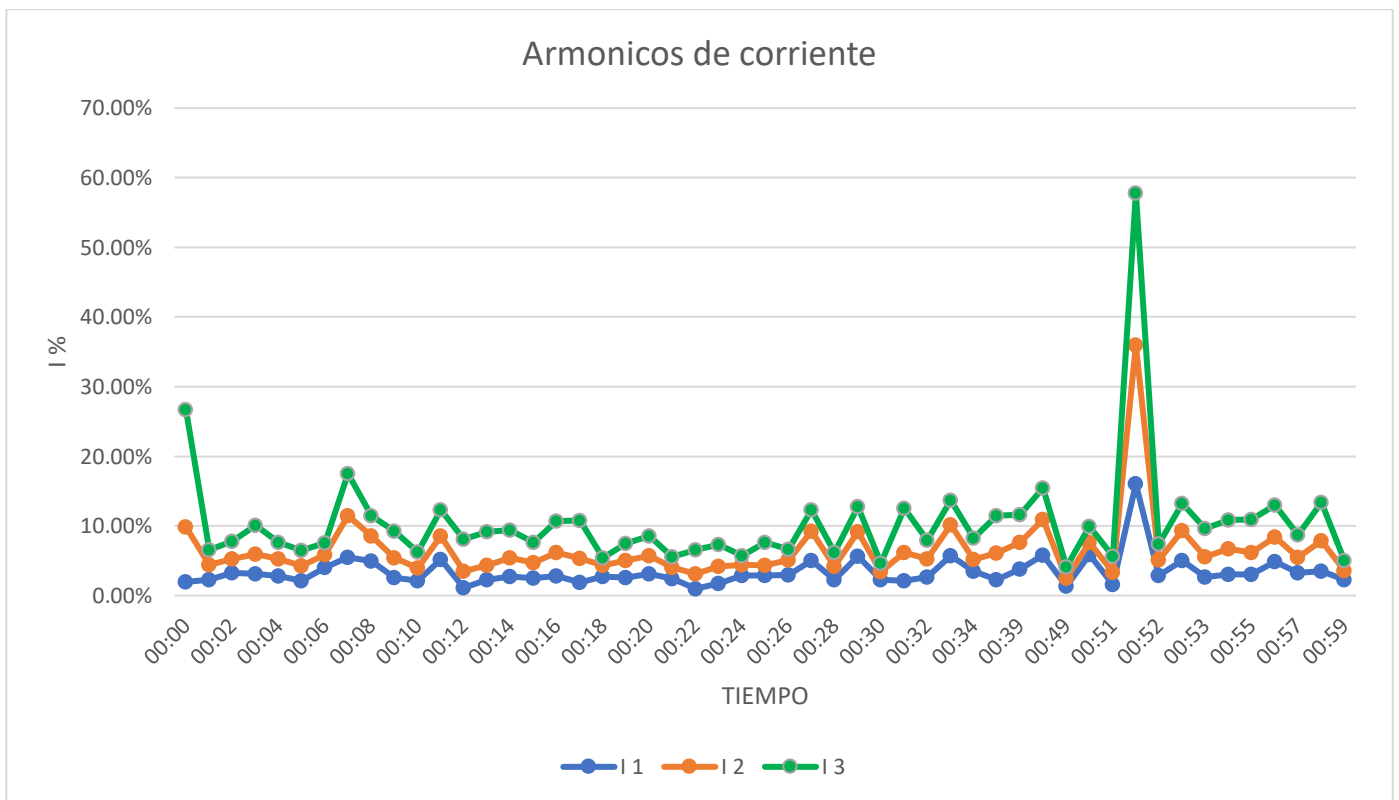
**Figura 33: Armónicos de voltaje del sistema fotovoltaico**

Fuentes: Elaboración propia con información de analizador de redes



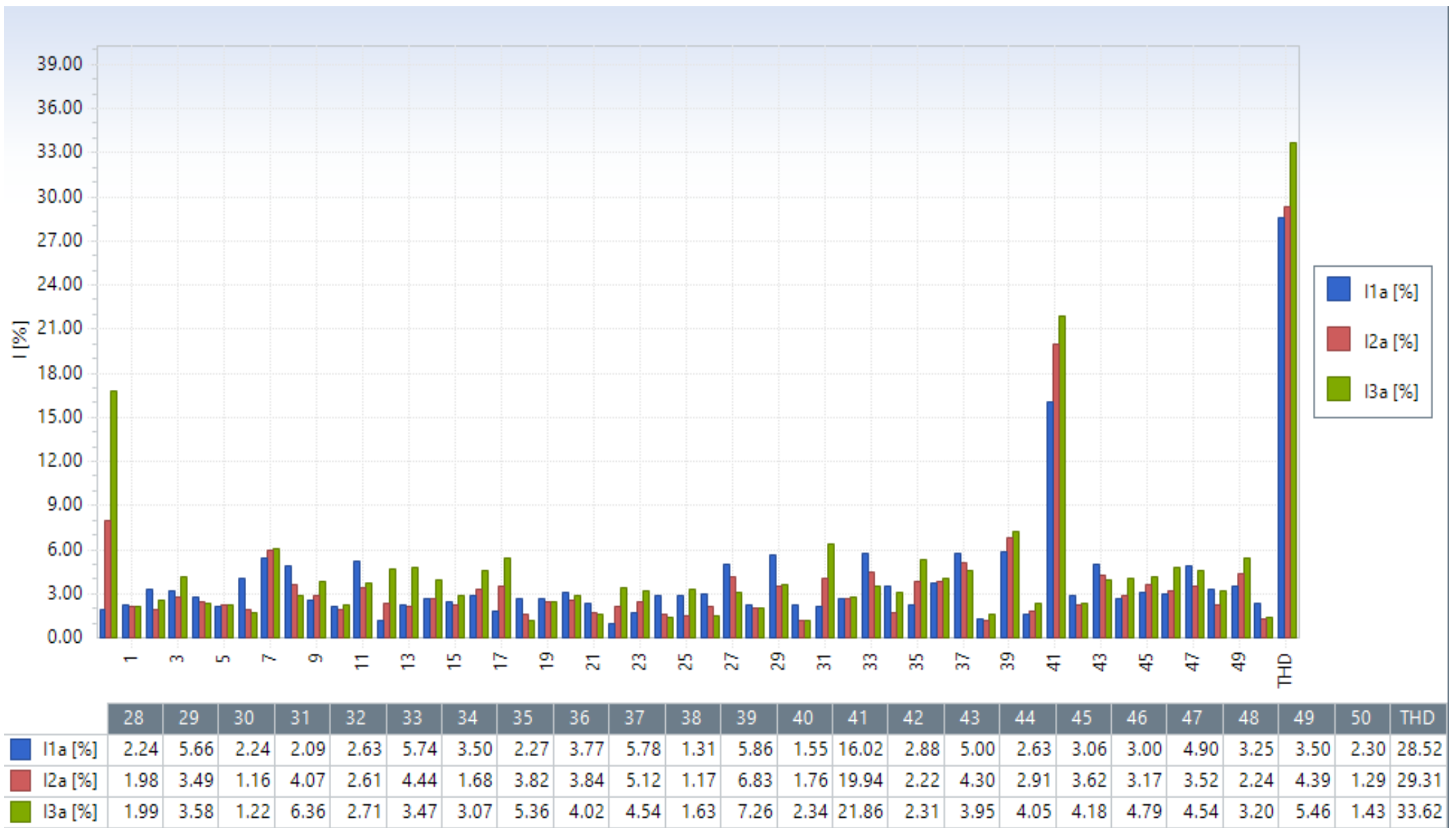
**Figura 34: Armónicos de voltaje del sistema fotovoltaico**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 35: Armónicos de corriente del sistema fotovoltaico**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 36: Armónicos de corriente del sistema fotovoltaico**

Fuente: elaboración propia

### 4.3.3 Resumen de resultados

En la tabla 18 se muestra los armónicos más pronunciados en la red eléctrica de la isla Amantani, que conlleva hacer la instalación de los filtros para bajar los armónicos en el sistema.

**Tabla 18: Cuadro resumen de armónicos por SED**

*Fuente: Elaboración propia con información de analizador de redes*

LUGAR	ARMONICO	CORRIENTE			TENSION		
	N.º	I1a%	I2a%	I3a%	T1a	T2a	T3a
SGFV	3	3.14	2.80	4.17	0.93	0.97	0.83
SGFV	5	2.10	2.19	2.19	0.75	0.52	1.05
SGFV	7	5.46	5.46	6.02	0.92	0.91	0.87
SGFV	15	2.49	2.49	2.89	0.48	0.18	0.64
SGFV	31	3.77	2.09	6.36	1.16	1.45	1.20
SGFV	41	16.02	19.94	21.86	2.30	3.75	2.16

#### 4.3.4 CALCULO DEL FILTRO

$$\begin{aligned} F_{sis} &= 60 \text{ Hz} \\ kV &= 0.38 \text{ kV} \end{aligned}$$

En base al Estudio de Flujo se determina la potencia del banco  
 $Q_c = 0.09338 \text{ MVAR}$

Con base a la potencia de Banco determinamos  $X_c$

$$X_c = \frac{kV^2}{Q_c} = 1.546369672 \text{ Ohm}$$

Elegimos la frecuencia de la armónica

$$h = 7$$

En base al orden de armónico determinamos el valor de la reactancia

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} = 0.031558565 \text{ Ohm}$$

Definimos

$$X_h = \sqrt{X_L X_c} = 0.220909953 \text{ Ohm}$$

El factor de Calidad es un valor comprendido entre  
"El factor de calidad es la habilidad del filtro de  
dispar la energía absorbida a la frecuencia h"

$$30 \leq QF \leq 100$$

Seleccionamos

$$QF = 100$$

$$R = \frac{X_h}{QF} = 0.0022091 \text{ ohm}$$

La Potencia del Filtro será:

$$Q_{FILTRO} = \frac{kV^2}{X_c - X_L} = \frac{h^2}{h^2 - 1} \times \frac{kV^2}{X_c} = \frac{h^2}{h^2 - 1} \times Q_c$$

$$Q_{Filtro} = 0.10 \text{ MVAR}$$

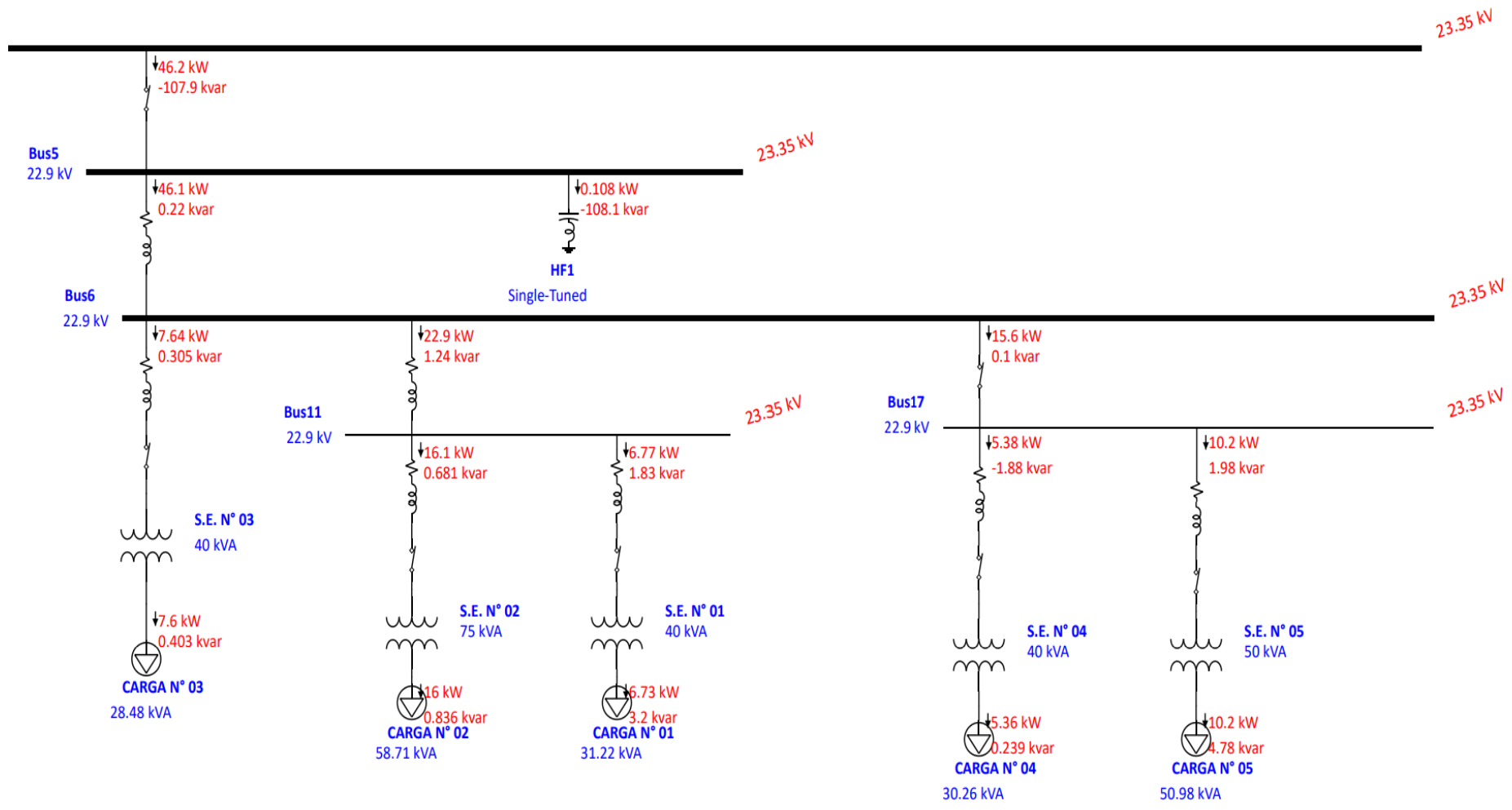


Figura 37: Diagrama de flujo de carga real con filtro

**Tabla 19: Evaluación económica**

Fuente: Elaboración propia con información de ELPY y LIFASA

COSTO FILTRO DE 0.1 Mvar	CONSUMO ENERGIA REACTIVA	COSTO ENERGIA REACTIVA	PERIODO DE RECUPERACION
(S/.)	Kvar-hr.	(S/.)	(meses)
5546.15	67233.6	3603.72	1.53

#### **4.3.5 INTERPRETACION DE LOS DATOS**

Al realizar las mediciones de los armónicos de corriente y tensión, se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra en la figura 32 y 33. Lo cual interpretamos que hay una distorsión de corriente 28.52% y de tensión 86.06%. y además podemos apreciar que hay una distorsión armónica total (THD) del sistema fotovoltaico.

Al realizar la compensación de potencia reactiva se logra corregir el factor de potencia lo cual conlleva a un ahorro mensual que en este caso para la isla de Amantani que se analizó corresponde al 49.18% de ahorro en la factura de consumo de energía.

De acuerdo a los resultados se suprimen las penalizaciones en los por un consumo de energía reactiva.

- Se optimiza toda la instalación eléctrica. La corriente reactiva  $I_r$  se abastece en el mismo lugar de su consumo. Descargando así el centro donde se ubica el centro de transformación. Por otra parte, los resultados calculados indican un valor del filtro de 0.10 Mvar y al usar el software ETAP 4.0 de flujos de carga, indican que es recomendable la compensación individual por cada Sub Estación que requieren mejorar la potencia reactiva, con respecto a los valores sin realizar la compensación de potencia reactiva (caso base).
- Se ajusta la potencia aparente del sistema, a la necesidad real de la instalación de la isla Amantani. Por otro lado, la batería de condensadores debe estar conectado al área del cuadro de distribución principal de baja tensión, y permanece en servicio durante el periodo de carga normal. En el método de compensación central, las variabilidades en las líneas de alimentación de las cargas no disminuyen, quedando con los mismos porcentajes que antes de efectuar la compensación de potencia reactiva, puesto que su amortización resulta en un mediano plazo en este caso de 6 meses y seguirá produciendo ahorros económicos durante su funcionamiento.



## **CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

1. La distorsión armónica de tensión que se obtuvo según las mediciones es el 86.06%, superior a lo que establece la norma EN 50160, IEC-61000-4-7 y IEEE STD 519-2014. Esto debido a que existen elementos que modifican sustancialmente la onda frecuencia fundamental, básicamente generados por la instalación de inversores los cuales contienen transistores.
2. La distorsión armónica de corriente que se obtuvo según las mediciones es el 28.52%, superior a lo que establece la norma EN 50160, IEC-61000-4-7 y IEEE STD 519-2014.
3. De acuerdo a los resultados efectuados para la compensación de potencia reactiva, se pudo identificar que la aplicación de los bancos reduce las pérdidas por efecto Joule, como se observa en el cálculo de flujo de potencia, donde al pasar de un factor de potencia de 0.8314 a 0.95, las pérdidas se reducen en 49.18 % y por ende la corriente eléctrica.

### **5.2 RECOMENDACIONES**

1. Es recomendable efectuar el análisis más exhaustivo por tipos de cargas en las diferentes sub estacione de distribución eléctrica de la isla Amantani, debido a que solo se hizo las mediciones en el sistema fotovoltaico.
2. También es necesario hacer un análisis más detallado de los factores que afectan a los bancos de capacitores y los fenómenos que estos pueden provocar al ser conectados a la red, es decir hacer un análisis del comportamiento de las armónicas y de los fenómenos transitorios ocurridos al conectar los bancos de capacitores, haciendo uso de algún software para realizar una simulación que permita ver dichos fenómenos, uno de estos programas podría ser el uso del programa ETAP que se utiliza para la simulación de transitorios.
3. Es necesario evaluar los demás factores que afectan en la calidad de energía como flikler, frecuencia, variación y regulación de tensión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 519-2014, I. S. (n.d.). *IEEE Std. 519-2014*.
- 6100-4-7, I. (2002). *Iec 61000-4-7. 2002*.
- 929, I. (2000). *IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic ( PV ) Systems* (Vol. 2000).
- Aguirre, T. V. M. (2019). *EVALUACIÓN DE LA THDI Y THDV EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN MONOFÁSICOS''*.
- Agustín Castejon, G. S. (2016). *Instalaciones solares fotovoltaicas*.
- Alberto, C., & Porras, R. (2003). Modelado De Sistemas Eléctricos En Presencia De Armónicos. *Modelado De Sistemas Eléctricos En Presencia De Armónicos*, 2(22), 7–12. <https://doi.org/10.22517/23447214.7401>
- Balcells, J. (2013). Calidad de la red eléctrica:¿ como medirla? *Online: Http://Www. Jcee. Upc. Es/JCEE2001/PDFs*, 22–26. <http://www.jcee.upc.es/JCEE2001/PDFs2000/5BALCELLS.pdf>
- Barberá Santos, D. (2017). *Introduccion a La Energia Fotovoltaica*. 1–20. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCIÓN+A+LA+ENERGÍA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducción+a+la+Energía+Fotovoltaica.pdf>
- ByD.b-BOX 13.8. (2018). *B-Box 13.8*.
- Campos, C. (2011). *E L a B O R a D O P O R : Guía Para Implementación de Sistema Integral de Gestión de Energía\_UPME*. <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Guia/Guia.pdf>
- Compensation, R. P., & Filtering, H. (2019). *Compensation, Reactive Power Filtering, Harmonic*.
- Durán, J. C. (2016). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- En, A., & Redes, L. A. S. (n.d.). *Capitulo 2*.
- Fotovoltaicos, S. (2010). *Análisis de la calidad de energía de los inversores en sistemas fotovoltaicos. February 2016*.
- Gomez, A. (2020). *Armónicos y fotovoltaica*.
- Gordillo, G., Aristizabal, A., & Hernandez, J. (2017). *Analisis De Calidad De Potencia Para Un Sistema Fotovoltaico Interconectado. July 2016*, 1–5. <https://www.researchgate.net/publication/275024403>
- Horikoshi, I. (2009). *Análisis de las componentes armónicas de los inversores fotovoltaicos de conexión a red*. 1–136.
- Issn, P. (2004). Flujo De Carga Armónico Para Sistemas Radiales. *Scientia Et Technica*, X(25), 65–70. <https://doi.org/10.22517/23447214.7187>
- NTCSE. (2001). *Decreto supremo n° 040-2001-em*. 1–16.

- Payé colquehuanca Leonardo. (2018). Universidad Nacional Del Altiplano Monografías : *Tesis*, 105.  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12303/Yana\\_Aydee\\_Quispe\\_Patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12303/Yana_Aydee_Quispe_Patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- REN21. (2021). *Global Clean Energy Index*. 1–13.  
<http://www.standardandpoors.com/indices/sp-global-clean-energy/en/us/?indexId=spgbthenceusdw---p-rgl--->
- SMA Solar Technology. (2012). *Sunny Tripower 15000TL / 20000TL -- Economic Excellence*.
- Solar, J. (2018). *JKM270P-60*. 1–2.
- Solar Technology, S. A. (2021). *SUNNY ISLAND 4.4M / 6.0H / 8.0H - The most reliable all-purpose solution — easier than ever*. 6–9. [www.SMA-Solar.com](http://www.SMA-Solar.com)
- Suárez, J. A., Di Mauro, G. F., Anaut, D. O., & Agüero, C. (2010). Parámetros que afectan la corriente de neutro en presencia de armónicos. *Informacion Tecnologica*, 21(1), 77–89. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4144it.08>
- UNE-EN 50160. (2015). *español la*.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de Consistencia del Proyecto

“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN, CORRIENTE Y COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE LA ISLA AMANTANI-PUNO”

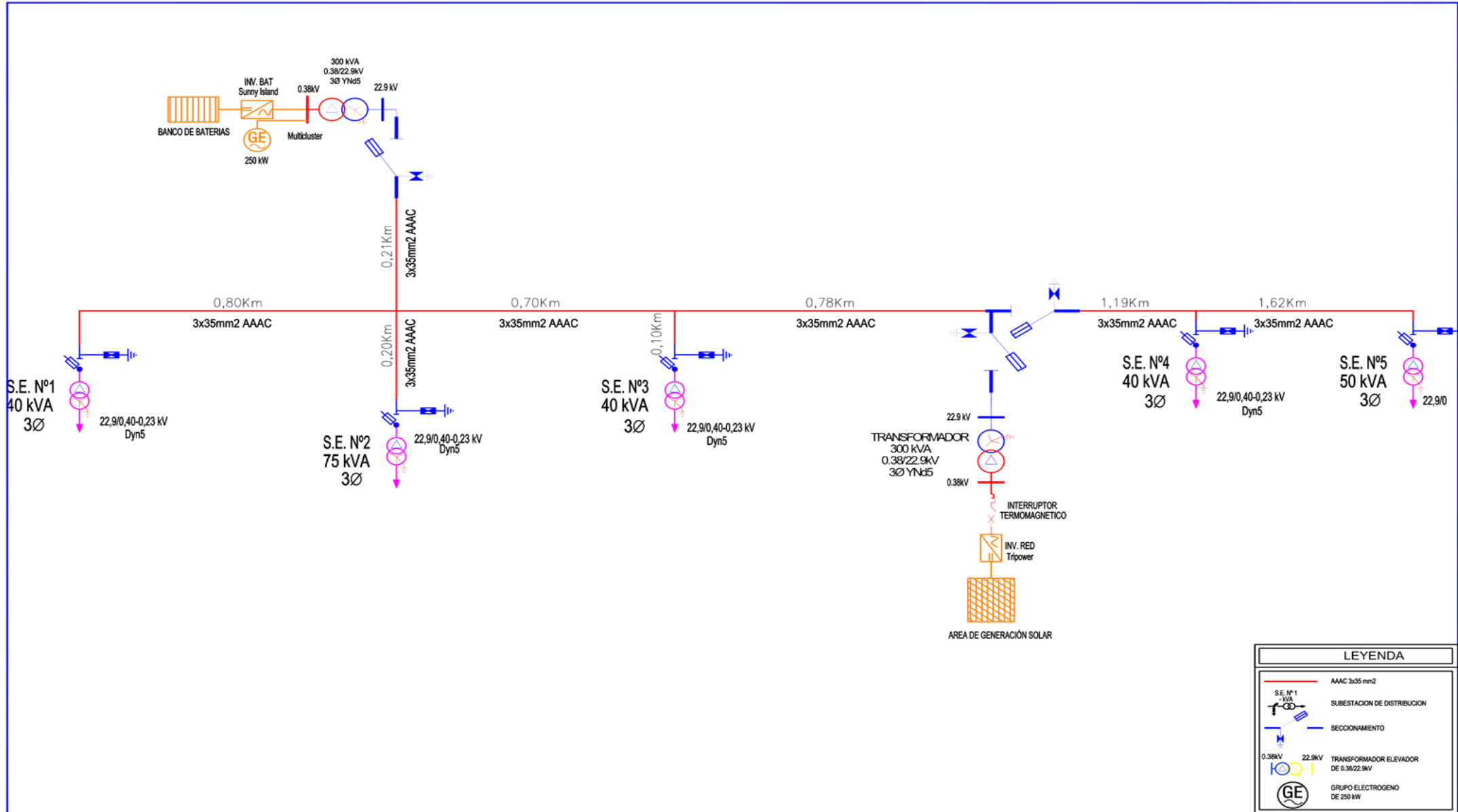
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			METODOLOGÍA
			VARIABLES	DIMENSIONES	UND	
<p><b>Problema general</b> ¿Será factible el análisis de la armónicos y compensación reactiva del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani?</p> <p><b>Problemas específicos</b> ¿De qué manera influyen los armónicos de tensión en el sistema fotovoltaico conectado a la red? ¿De qué manera influyen los armónicos de corriente en el sistema fotovoltaico conectado a la red? ¿De qué manera contribuye la compensación reactiva en el sistema fotovoltaico conectado a la red?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Realizar el análisis de armónicos de tensión, corriente y compensación de potencia reactiva en el sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la isla Amantani.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> Analizar los armónicos de tensión del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani. Analizar los armónicos de corriente del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani. Examinar la compensación reactiva en el sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani.</p>	<p><b>Hipótesis principal</b> Es factible el análisis de los armónicos y compensación reactiva del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> Los armónicos de tensión influyen en la buena calidad de la energía del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani. Los armónicos de corriente influyen en la buena calidad de la energía del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Amantani. La compensación reactiva contribuye a mejorar del sistema fotovoltaico conectado a la red de la Amantani.</p>	Independiente	A. Tensión B. Corriente	(V) (A)	<p>La investigación propuesta es de tipo aplicativo y será realizada con un enfoque cuantitativo. Utilizará datos recopilados del sistema fotovoltaico conectado a la red que tomará durante un tiempo de una semana.</p> <p style="text-align: center;"><b>Población y muestra</b></p> <p>La ejecución del proyecto, ubicado en el departamento de Puno tiene una población de 3976 habitantes con un total de 994 conexiones domiciliarias y 37 cargas especiales. De acuerdo con las muestras establecidas en la normativa nacional e internacional vigente, la central mini-generación fotovoltaica conectada a la red en la isla Amantani de la región Puno, será muestreada durante 7 días con una frecuencia de 15 minutos. Se instalará un equipo de medición analizador de redes. Esto es importante para el desarrollo de la investigación. De acuerdo a la normatividad (NTP) el análisis de armónicos de tensión y corriente del sistema eléctrico puede ser medido en tres lugares, en la generación, distribución y utilización. En este caso del proyecto de investigación que se realizará, será instalado en la zona de generación antes de la Sub estación de 300 KVA 0.38/22.9 KV 3Ø Dyn5 de potencia.</p>
			Dependiente	A. Distorsión total de armónicos THDV THDI B. Factor de potencia	(%)  (W/VA)	

*Anexo 2 Flujo de potencia de los transportadores en la isla Amantani (software etapa)*

Project:	<b>ETAP</b>	Page:	6
Location:	20.6.0C	Date:	09-20-2021
Contract:		SN:	ELECTRPUNO
Engineer:		Revision:	Base
Filename:	PANELESAMANTANI	Config.:	Normal
	Study Case: LF		

Transformer		Rating					Z Variation			% Tap Setting		Adjusted	Phase Shift	
ID	Phase	MVA	Prim. kV	Sec. kV	% Z1	X1/R1	+ 5%	- 5%	% Tol.	Prim.	Sec.	% Z	Type	Angle
S.E. N° 01	3-Phase	0.040	22.900	0.380	6.75	2.47	0	0	0	0	0	6.7500	Dyn	0.000
S.E. N° 02	3-Phase	0.075	22.900	0.380	6.75	2.47	0	0	0	0	0	6.7500	Dyn	0.000
S.E. N° 03	3-Phase	0.040	22.900	0.380	6.75	2.47	0	0	0	0	0	6.7500	Dyn	0.000
S.E. N° 04	3-Phase	0.040	22.900	0.380	6.75	2.47	0	0	0	0	0	6.7500	Dyn	0.000
S.E. N° 05	3-Phase	0.050	22.900	0.380	6.75	2.47	0	0	0	0	0	6.7500	Dyn	0.000
TRAFO BT/MT 1	3-Phase	0.300	0.380	22.900	6.75	3.09	0	0	0	0	0	6.7500	YNd	0.000

### Anexo 3. Diagrama unifilar (expediente de obra Taquile)

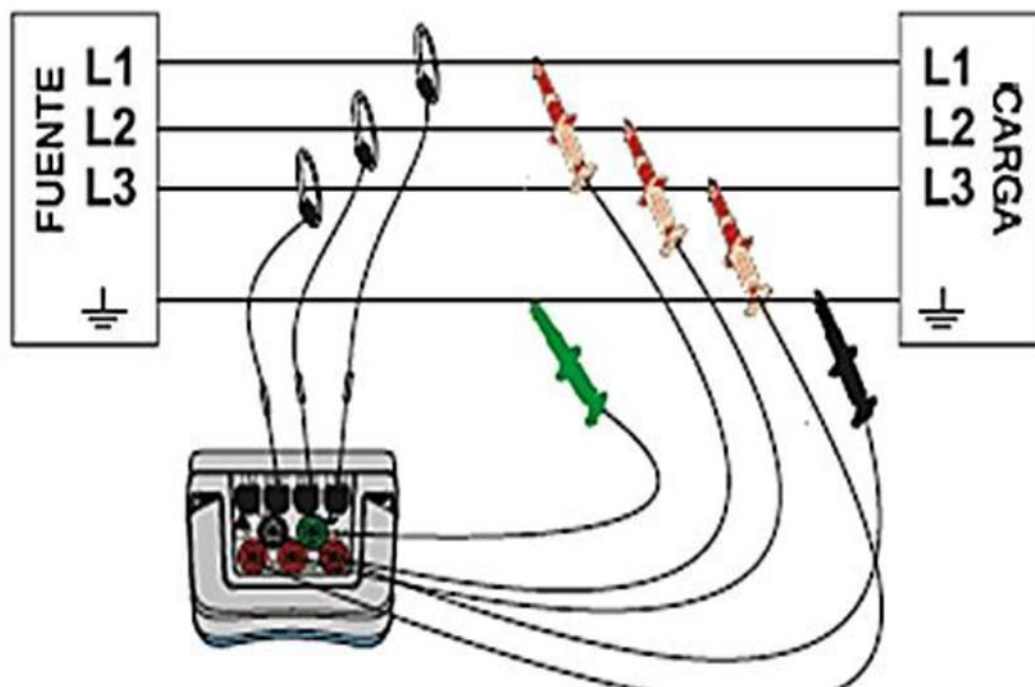


LEYENDA	
	AAAC 3x35 mm2
	SUBSTACION DE DISTRIBUCION
	SECCIONAMIENTO
	TRANSFORMADOR ELEVADOR DE 0.38/22.9KV
	GRUPO ELECTROGENO DE 250 KW

UBICACION POLITICA:	DISEÑADO POR : J.M.M.	CONTRATISTA	PROPIETARIO	PLANO N°
DISTRITO: <b>AMANTANI</b>	REVISADO POR : J.L.A.L.	<b>CONSORCIO FORTALEZA</b>		DU- 001-1/1
PROVINCIA: <b>PUNO</b>	APROBADO POR : DGER	PROYECTO	DIRECCION GENERAL DE ELECTRIFICACION RURAL	VERSION: <b>01</b>
DEPARTAMENTO: <b>PUNO</b>	DIBUJADO POR : J.Q.P.	<b>"ELECTRIFICACIÓN DE LA ISLA AMANTANI, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO"</b>	PLANO:	ARCHIVO: <b>00-DIAGRAMA UNIFILAR.dwg</b>
			<b>DIAGRAMA UNIFILAR CONFORME A OBRA ELECTRIFICACIÓN DE LA ISLA AMANTANI</b>	FECHA: <b>NOVIEMBRE 2019</b>
				ESCALA: <b>1:50</b>

*Anexo 4 Conexión del instrumento a la red*

*Fuente: (METREL, 2011)*

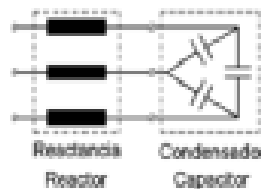
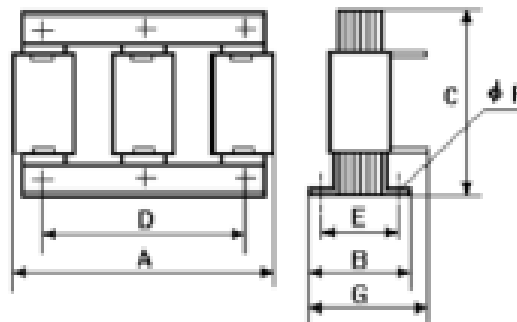




## Anexo 5: Características de filtros de protección (Compensation & Filtering, 2019)

INA/INR

REACTANCIA PARA BATERÍA ESTÁNDAR  
REACTOR FOR STANDARD CAPACITOR BANK



### DATOS DEL REACTOR / REACTOR DATA

Referencia Part Number	Filtro			Dimensiones Dimension (mm)								Peso (kg) Weight	Pérdidas Losses (W)
	Qn (kvar)	Un (V) 50Hz	Resonance	A	B	C	D	E	F	G			
INR40057	5	400	7% (189Hz)	155	76	165	75	55	5	--	5	26	
INR40107	10	400	7% (189Hz)	180	102	190	90	75	7	--	7,5	52	
INR40127	12,5	400	7% (189Hz)	180	112	190	90	85	7	--	8,5	55	
INR40157	15	400	7% (189Hz)	180	112	190	90	85	7	--	8,5	59	
INA40207	20	400	7% (189Hz)	235	125	165	150	95	7	165	14	79	
INA40257	25	400	7% (189Hz)	235	125	165	150	95	7	165	14	93	
INA40307	30	400	7% (189Hz)	255	125	200	160	95	7	150	19	124	
INA40407	40	400	7% (189Hz)	255	125	200	160	95	7	150	20	149	
INA40507	50	400	7% (189Hz)	255	145	230	160	115	8	175	25	189	
INA40607	60	400	7% (189Hz)	280	145	240	160	115	8	175	28	210	
INA40757	75	400	7% (189Hz)	305	155	235	180	115	8	190	31	235	
INA40807	80	400	7% (189Hz)	305	155	235	180	115	8	190	31	241	
INA40997	100	400	7% (189Hz)	305	170	235	180	135	8	215	37	285	

### COMPONENTES DEL FILTRO / FILTER PARTS

Referencia Part Number	Q Filtro Q Filter	Current Current (A)	Condensador	Capacitor	Contactor	Fusible Fuse (A)	Int. Automático MOCC (A)	Cable Cable (mm <sup>2</sup> )
			POLE	FWE				
INR40057	5 kvar	7	FOLB46063HD	FALF4606	KAL12	16	16	1,5
INR40107	10 kvar	14	FOLB46125HD	FALF4612	KAL12	25	25	2,5
INR40127	12,5 kvar	18	FOLB46150HD	FALF4615	KAL25	32	32	4
INR40157	15 kvar	22	FOLB46185HD	FALF4618	KAL25	50	32	4
INA40207	20 kvar	29	FOLB46250HD	FALF4625	KAL25	50	50	10
INA40257	25 kvar	36	FOLB46300HD	FALF4631	KAL30	63	63	10
INA40307	30 kvar	43	FOLB46370HD	FALF4637	KAL30	100	63	16
INA40407	40 kvar	58	2 x FOLB46250HD	FALF4649	KAL50	100	100	25
INA40507	50 kvar	72	2 x FOLB46300HD	FALF4661	KAL60	125	125	50
INA40607	60 kvar	87	2 x FOLB46370HD	FALF4674	KAL60	160	125	70
INA40757	75 kvar	108	3 x FOLB46300HD	FALF4692	KAL80	200	160	95
INA40807	80 kvar	115	3 x FOLB46333HD	FALF4698	KAL80	200	200	95
INA40997	100 kvar	144	-	2 x FALF4661	-	250	250	120

## Anexo 6: ficha técnica del inversor de red(SMA Solar Technology, 2012)

Datos técnicos	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
<b>Entrada (CC)</b>			
Potencia máx. del generador fotovoltaico	27000 Wp	36000 Wp	45000 Wp
Potencia asignada de CC	15330 W	20440 W	25550 W
Tensión de entrada máx.	1000 V	1000 V	1000 V
Rango de tensión MPP/tensión asignada de entrada	240 V a 800 V/600 V	320 V a 800 V/600 V	390 V a 800 V/600 V
Tensión de entrada mín./de inicio	150 V/188 V	150 V/188 V	150 V/188 V
Corriente máx. de entrada, entradas: A/B	33 A/33 A	33 A/33 A	33 A/33 A
Número de entradas de MPP independientes/strings por entrada de MPP	2/A:3; B:3	2/A:3; B:3	2/A:3; B:3
<b>Salida (CA)</b>			
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	15000 W	20000 W	25000 W
Potencia máx. aparente de CA	15000 VA	20000 VA	25000 VA
Tensión nominal de CA		3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V	
Rango de tensión de CA		180 V a 280 V	
Frecuencia de red de CA/rango		50 Hz/44 Hz a 55 Hz 60 Hz/54 Hz a 65 Hz	
Frecuencia asignada de red/tensión asignada de red		50 Hz/230 V	
Corriente máx. de salida/corriente asignada de salida	29 A/21,7 A	29 A/29 A	36,2 A/36,2 A
Factor de potencia a potencia asignada/factor de desfase ajustable		1/0 inductivo a 0 capacitivo	
THD		≤ 3%	
Fases de inyección/conexión		3/3	
<b>Rendimiento</b>			
Rendimiento máx./europeo	98,4%/98,0%	98,4%/98,0%	98,3%/98,1%
<b>Dispositivos de protección</b>			
Punto de desconexión en el lado de entrada		●	
Monitorización de toma a tierra/de red		● / ●	
Descargador de sobretensión de CC: DPS tipo II		○	
Protección contra polarización inversa de CC/resistencia al cortocircuito de CA/con separación galvánica		● / ● / -	
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal		●	
Clase de protección (según IEC 62109-1)/categoría de sobretensión (según IEC 62109-1)		I / AC: III; DC: II	
<b>Datos generales</b>			
Dimensiones (ancho/alto/fondo)		661/682/264 mm (26,0/26,9/10,4 in)	
Peso		61 kg (134,48 lb)	
Rango de temperatura de servicio		-25 °C a +60 °C (-13 °F a +140 °F)	
Emisión sonora, típica		51 dB(A)	
Autoconsumo nocturno		1 W	
Topología/principio de refrigeración		Sin transformador/OptiCool	
Tipo de protección (según IEC 60529)		IP65	
Clase climática (según IEC 60721-3-4)		4K4H	
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)		100%	

## Anexo 7: ficha técnica del panel solar (Solar jinko, 2018)

### SPECIFICATIONS

Module Type	JKM255P		JKM260P		JKM265P		JKM270P	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	255Wp	189 Wp	260Wp	193Wp	265Wp	197Wp	270Wp	200Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.8V	28.5V	31.1V	28.7V	31.4V	29.0V	31.7V	29.4V
Maximum Power Current (Imp)	8.28A	6.63A	8.37A	6.71A	8.44A	6.78A	8.52A	6.80A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.0V	35.2V	38.1V	35.2V	38.6V	35.3V	38.8V	35.4V
Short-circuit Current (Isc)	8.92A	7.26A	8.98A	7.31A	9.03A	7.36A	9.09A	7.38A
Module Efficiency STC (%)	15.57%		15.88%		16.19%		16.50%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C							
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)							
Maximum series fuse rating	15A							
Power tolerance	0~+3%							
Temperature coefficients of Pmax	-0.41%/°C							
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/°C							
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C							
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C							

STC:  Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>  Cell Temperature 25°C  AM=1.5

NOCT:  Irradiance 800W/m<sup>2</sup>  Ambient Temperature 20°C  AM=1.5  Wind Speed 1m/s

## Anexo 8: ficha técnica del inversor bidireccional(Solar Technology, 2021)

Technical data	Sunny Island 4.4M	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
<b>Operation on the utility grid or generator</b>			
Rated grid voltage / AC voltage range	230 V / 172.5 V to 264.5 V		
Rated grid frequency / permitted frequency range	50 Hz / 40 Hz to 70 Hz		
Maximum AC current for increased self-consumption (grid operation)	14.5 A	20 A	26 A <sup>6)</sup>
Maximum apparent AC power for increased self-consumption (grid operation)	3.3 kVA	4.6 kVA	6 kVA <sup>6)</sup>
Maximum AC input current	50 A	50 A	50 A
Maximum AC input power	11500 W	11500 W	11500 W
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited to 0.8 underexcited		
<b>Stand-alone or emergency power operation</b>			
Rated grid voltage / AC voltage range	230 V / 202 V to 253 V		
Rated frequency / frequency range (adjustable)	50 Hz / 45 Hz to 65 Hz		
Rated power (at Unom, fnom / 25 °C / cos φ = 1)	3300 W	4600 W	6000 W
AC power at 25 °C for 30 min / 5 min / 3 sec	4400 W / 4600 W / 5500 W	6000 W / 6800 W / 11000 W	8000 W / 9100 W / 11000 W
AC power at 45 °C continuously	3000 W	3700 W	5430 W
Rated current / maximum output current (peak)	14.5 A / 60 A	20 A / 120 A	26 A / 120 A
Total harmonic distortion output voltage / power factor at rated power	< 5% / -1 to +1	< 1.5% / -1 to +1	< 1.5% / -1 to +1
<b>Battery DC input</b>			
Rated input voltage / DC voltage range	48 V / 41 V to 63 V	48 V / 41 V to 63 V	48 V / 41 V to 63 V
Maximum battery charging current / rated DC charging current / DC discharging current	75 A / 63 A / 75 A	110 A / 90 A / 103 A	140 A / 115 A / 130 A
Battery type / battery capacity (range)	Li-Ion <sup>1)</sup> , FLA, VRLA / 100 Ah to 10000 Ah (lead-acid) 50 Ah to 10000 Ah (li-ion)		
Charge control	IUoU charge procedure with automatic full charge and equalization charge		
<b>Efficiency / self-consumption of the device</b>			
Maximum efficiency	95.5 %	95.8 %	95.8 %
No-load consumption / standby	18 W / 6.8 W	25.8 W / 6.5 W	25.8 W / 6.5 W
<b>Protective devices (equipment)</b>			
AC short-circuit / AC overload	● / ●		
DC reverse polarity protection / DC fuse	- / -		
Overtemperature / battery deep discharge	● / ●		
Overvoltage category as per IEC 60664-1	III		
<b>General Data</b>			
Dimensions (W / H / D)	467 mm / 612 mm / 242 mm (18.4 inches / 21.1 inches / 9.5 inches)		
Weight	44 kg (97 lbs)	63 kg (138.9 lbs)	63 kg (138.9 lbs)
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +14 °F)		
Protection class as per IEC 62103	I		
Climatic category as per IEC 60721	3K6		
Degree of protection according to IEC 60529	IP54		
RoHS-III compliant	●		
<b>Features / function</b>			
WLAN, Speedwire / Webconnect / SI-SYSCAN (Multicluster)	● / ● / -	● / ● / ○	● / ● / ○
Direct connection to Sunny Portal via Webconnect	●		
Sunny Portal powered by ennexOS via SMA Data Manager M or L	●		
Micro SD memory card for extended data logging	○		
Display via smartphone, tablet, laptop / multifunction relay	● / 2		
Three-phase systems (including rotating magnetic field) <sup>2)</sup> / battery-backup function	● / ●		
State of charge calculation / full charge / equalization charge	● / ● / ●		
Battery temperature sensor / data cables	○ / ●		
Certificates and approvals	www.SMA-Solar.com		
Cover color yellow / aluminum white	○ / ○		
Warranty 5/10 years	● / ● <sup>3)</sup>		

### *Anexo 9: ficha técnica box de la batería (ByD.b-BOX 13.8, 2018)*

B-Box 13.8	
Battery type	Lithium iron phosphate (LiFePO <sub>4</sub> )
Battery configuration	B-PLUS 13.8 (13.8 kWh)
Usable capacity <sup>1</sup>	13.8 kWh
Max output power	12.8 kW
Peak output power, 60 sec	13.3 kW
Nominal voltage	51.2 V <sub>DC</sub>
Voltage range	43.2 - 56.4 V
Ambient temperature <sup>2</sup>	-10 °C to +50 °C
Interfaces	RS485/CAN
Round trip energy efficiency	≥ 95.3 %
Warranty	10 years
Certifications and standards	UL1642 for cell, EMC (EN 61 000 chapter 4.2, 4.3, 4.5, 4.6; EN55022), dangerous goods (UN3480, UN38.3)
IP protection class	IP20
Dimensions (W/D/H)	650 x 550 x 880 mm
Weight	175 kg
Compatible inverters	SMA / Goodwe / Solax / Victron, more brands to be announced
Scalable	Extend anytime / up to 32 systems parallel / 441.6 kWh

*Anexo 10: Planta solar fotovoltaica de la isla Amantani*





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**"Universidad Pública de Calidad"**