



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN Y CORRIENTE EN EL  
SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA ISLA TAQUILE – REGION  
PUNO 2023”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ALBINO CAMPOS MANGO PUMALEQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN  
Y CORRIENTE EN EL SISTEMA FOTOVOL  
TAICO DE LA ISLA TAQUILE - REGION PU  
NO 2023**

AUTOR

**ALBINO CAMPOS MANGO PUMALEQUE**

RECuento DE PALABRAS

**14868 Words**

RECuento DE CARACTERES

**86877 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**105 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Dec 26, 2023 3:30 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Dec 26, 2023 3:32 PM GMT-5**

### ● 18% de similitud general


El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 11 palabras)

  
ASESOR  
LEONIDAS VILCA CALLATA  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
CIP N° 63278

  
Vrjo Sub. Dirección de Investigaci  
Dr. Julio Freddy Churruarín  
EPIME.

Resumen



## DEDICATORIA

Dedico Para mis queridos padres,  
**Gregorio Bernardino Mango León y**  
**Gregoria Pumaleque Soncco,** y  
queridos hermanos **Fidel, Arnaldo de la**  
**Fuente y Alberto Ademón,**

Y Quiero dedicarles estas palabras de agradecimiento por su apoyo incondicional durante toda mi carrera universitaria. Gracias por estar siempre a mi lado, por brindarme su amor, comprensión y apoyo en cada paso que he dado.

A ustedes, mis amigos, también les agradezco por su apoyo moral, por ser mi sostén en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada logro alcanzado.

**Albino Campos, Mango Pumaleque**



## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a nuestro “**DIOS TODOPODEROSO**”, a mi alma mater, **LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**. También quiero agradecer a todos los profesores de la **Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de FIMEES - UNA Puno**. Gracias por su dedicación, enseñanzas y apoyo incondicional durante mi formación académica. Vuestra labor ha sido fundamental en mi desarrollo profesional y personal. Agradezco su compromiso y dedicación en la formación de futuros ingenieros. Sin su guía y conocimiento, no habría sido posible alcanzar mis metas. ¡Gracias de todo corazón!

**Albino Campos, Mango Pumaleque**



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 17**

**ABSTRACT..... 18**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 19**

**1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 20**

1.2.1 Problema general..... 20

1.2.2 Problemas específicos ..... 20

**1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 20**

1.3.1 Hipótesis general..... 20

1.3.2 Hipótesis específicas ..... 21

**1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 21**

**1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 24**

1.5.1 Objetivo general ..... 24

1.5.2 Objetivos específicos..... 24

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 25**

**2.2 MARCO TEORICO ..... 26**



2.2.1 Energía solar.....	26
2.2.2 Orígenes de la energía solar .....	27
2.2.3 Energía solar en el Perú.....	29
2.2.4 Energía solar en Puno.....	30
2.2.5 Energía solar fotovoltaica.....	32
2.2.6 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.....	33
2.2.7 Calidad de Energía .....	34
2.2.8 Definición de armónicos .....	35
2.2.9 Análisis de Fourier .....	38
2.2.10 Hendidura (Notching).....	38
2.2.11 Flickers .....	39
2.2.12 Caída momentánea de tensión (SAG –DIPS).....	39
2.2.13 Elevación .....	41
2.2.14 Sobretensiones transitorias .....	42
2.2.15 Cortes, salidas o interrupciones (OUTAGE).....	43
2.2.16 Impulsos.....	43
2.2.17 Parámetros que influyen en la calidad eléctrica.....	45
2.2.18 Tipos de cargas .....	45
<b>2.3 DEFINICION DE FACTOR DE POTENCIA TEORICO .....</b>	<b>50</b>
2.3.1 Triangulo De Potencia.....	51
2.3.2 El factor de potencia con presencia de armónicos .....	52
2.3.3 Problemas Causados Por Los Armónicos .....	53
2.3.4 ESTANDAR IEEE 1159 .....	53
2.3.5 ESTANDAR IEEE 519.....	54



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>55</b>
3.1.1 Ubicación Geográfica.....	55
3.1.2 Ubicación política. ....	55
<b>3.2 PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO.....</b>	<b>56</b>
<b>3.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>56</b>
<b>3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>56</b>
3.4.1 Población.....	56
3.4.2 Muestra .....	57
<b>3.5 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ISLA TAQUILE .....</b>	<b>57</b>
3.5.1 Sistema de generación fotovoltaico (SGFV).....	57
3.5.2 Sistema de Inversores Bidireccionales de Batería.....	60
3.5.3 Sistema de Distribución y Transferencia.....	62
3.5.4 Sistema de Generación Térmico.....	63
<b>3.6 DISEÑO ESTADÍSTICO.....</b>	<b>63</b>
3.6.1 Diseño de investigación .....	63
<b>3.7 PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>64</b>
3.7.1 Planificación.....	66
3.7.2 Información del Instrumento PowerQ4 Plus .....	67
<b>3.8 METODO DE MEDICIONES .....</b>	<b>71</b>
3.8.1 Análisis de Fourier .....	71
3.8.2 Índices para la medición de armónicos .....	72
3.8.3 Filtrado de Componentes Armónicas.....	74
3.8.4 Filtros pasivos .....	74
3.8.5 Filtros activos (compensador activo de armónicos).....	76
3.8.6 Filtros híbridos .....	77



<b>3.9 VARIABLES .....</b>	<b>78</b>
<b>3.10 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
3.10.1 Técnica	79
3.10.2 Instrumento de recolección de datos.....	79
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADO Y DISCUSION</b>	
<b>4.1 RESULTADOS DE ESPECTROS DE ARMONICOS:.....</b>	<b>80</b>
<b>4.2 RESULTADOS DE VARIACIONE DE TENSION Y CORRINTE .....</b>	<b>82</b>
<b>4.3 RESULTADOS DE ESPECTRO DE INTERARMONICOS: .....</b>	<b>84</b>
<b>4.4 DETERMINACIÓN DEL FILTRO: .....</b>	<b>89</b>
<b>4.5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>90</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>VII. REFERENCIAS .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>97</b>

**ÁREA : Energías renovables**

**TEMA: Eficiencia Energética**

**Fecha de Sustentación: 29/12/2023**





## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Espectro de la irradiación solar .....	27
<b>Figura 2</b> Tipos de radiación sobre una superficie .....	29
<b>Figura 3</b> Mapa de irradiación horizontal global (2019).....	30
<b>Figura 4</b> Energía solar incidente en la región Puno. ....	31
<b>Figura 5</b> Datos de irradiancia diaria.....	32
<b>Figura 6</b> Sistemas fotovoltaicos conectados a la red. ....	34
<b>Figura 7</b> Sistema trifásico con un nivel constante de tensión.....	34
<b>Figura 8</b> Señales armónicas en comparación con la fundamental a 60Hz.....	36
<b>Figura 9</b> Onda con contenido armónico.....	37
<b>Figura 10</b> Perturbación de tensión de tipo hendidura. ....	38
<b>Figura 11</b> Medidor de flicker .....	39
<b>Figura 12</b> Caída de Tensión.....	41
<b>Figura 13</b> Aumento de tensión (swell).....	42
<b>Figura 14</b> Efectos transitorios.....	43
<b>Figura 15</b> Pérdidas de tensión.....	43
<b>Figura 16</b> Transitorios de tensión. ....	44
<b>Figura 17</b> Caída permanente de tensión.....	44
<b>Figura 18</b> Efectos en la calidad eléctrica .....	45
<b>Figura 19</b> Cargas lineales y cargas no lineales .....	45
<b>Figura 20</b> Onda de la corriente proporcional al voltaje senoidal.....	46
<b>Figura 21</b> Cargas no lineales que contienen la electrónica.....	47
<b>Figura 22</b> Las fases de la tensión y corriente perfectamente alineadas (0).....	48
<b>Figura 23</b> Muestra de corriente a desfase de -90 grados con respecto a la tensión. ....	49



<b>Figura 24</b>	Muestra de corriente adelantada a 90 grados con respecto a la tensión. ....	50
<b>Figura 25</b>	Triangulo de potencias activa, reactiva y aparente.....	52
<b>Figura 26</b>	Presencia de armónicos (Triangulo de potencias).....	52
<b>Figura 27</b>	Área de estudio.....	55
<b>Figura 28</b>	Ubicación instalada del analizador de redes (Sistema de Generación Fotovoltaica) de Taquile Norte.....	64
<b>Figura 29</b>	Ubicación instalada del analizador de redes (Sistema de Generación Fotovoltaica) de Taquile Sur. ....	65
<b>Figura 30</b>	Método del diagrama.....	66
<b>Figura 31</b>	Instrumento PowerQ4 Plus.....	67
<b>Figura 32</b>	Elección de un sistema de 4 hilos trifásico en el instrumento.....	69
<b>Figura 33</b>	Sistema trifásico de 4 hilos.....	69
<b>Figura 34</b>	Representa la relación de tensión correspondiente al ejemplo del transformador con una relación de 11kV/110kV.....	70
<b>Figura 35</b>	Forma en que el instrumento se conecta a los transformadores de tensión que ya están instalados en una red de media tensión .....	71
<b>Figura 36</b>	Comportamiento principal de un filtro pasivo. ....	76
<b>Figura 37</b>	Comportamiento principal de un filtro activo. ....	77
<b>Figura 38</b>	Comportamiento principal de un filtro hibrido. ....	78
<b>Figura 39</b>	Armonicos de tension del sistema fotovoltaico (THD 10.81 %). ....	80
<b>Figura 40</b>	Armonico de corriente del sistema fotovoltaico (4.75 %). ....	81
<b>Figura 41</b>	Variacion de la tension del sistema fotovoltaico.....	82
<b>Figura 42</b>	Variacion de la corriente del sistema fotovoltaico. ....	83
<b>Figura 43</b>	Interarmonicos de tension (14.38 %). ....	84
<b>Figura 44</b>	Interarmonicos de corriente y tension. ....	84



<b>Figura 45</b> Factor de potencia (0.55 inductivo).....	85
<b>Figura 46</b> Diagrama de flujo de potencia con carga real a un 50%.....	86
<b>Figura 47</b> Diagrama de flujo de potencia con carga real a un 100%.....	87
<b>Figura 48</b> Diagrama Unifilar del sistema fotovoltaico de la Isla Taquile.....	88



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Límites para los equipos clase A según norma 61000-3-2 .....	22
<b>Tabla 2</b> Límites según la norma IEEE 1159 .....	23
<b>Tabla 3</b> Clasificación de las Caídas de Tensión.....	40
<b>Tabla 4</b> Clasificación del aumento de tensión (swell). .....	41
<b>Tabla 5</b> Clasificación de causas de armónicos.....	53
<b>Tabla 6</b> Límites según la norma estándar IEEE 1159.....	53
<b>Tabla 7</b> Límites según la norma estándar IEEE 519.....	54
<b>Tabla 8</b> Número de Localidades y Población del Proyecto. ....	56
<b>Tabla 9</b> Patio fotovoltaico Taquile Norte.....	58
<b>Tabla 10</b> Patio fotovoltaico Taquile Sur. ....	59
<b>Tabla 11</b> Ficha técnica de Módulo fotovoltaico. ....	59
<b>Tabla 12</b> Ficha técnica de Inversor trifásico. ....	60
<b>Tabla 13</b> Sistema de inversores bidireccionales para batería.....	61
<b>Tabla 14</b> Baterías. ....	62
<b>Tabla 15</b> Distribución y Transferencia. ....	62
<b>Tabla 16</b> Características del transformador de potencia Taquile Norte.....	62
<b>Tabla 17</b> Características del transformador de potencia Taquile Sur. ....	63
<b>Tabla 18</b> Grupo electrógeno.....	63
<b>Tabla 19</b> Variable independiente .....	78
<b>Tabla 20</b> Variable dependiente .....	79
<b>Tabla 21</b> Evaluación económica .....	90



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Diagrama Unifilar General – Sfv Taquile.....	97
<b>ANEXO 2</b> Calculo de Flujo de Potencia.....	98
<b>ANEXO 3</b> Sistema Fotovoltaico Taquile.....	99
<b>ANEXO 4</b> Trabajo de Campo (Instalación del Analizador de Redes).....	101
<b>ANEXO 5</b> Grupo electrógeno Potencia de generación 150 Kw.....	102
<b>ANEXO 6</b> Autorización para instalación de Analizador de redes.....	103
<b>ANEXO 7</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	104
<b>ANEXO 8</b> Autorización para el depósito de tesis o trabajo de investigación en el repositorio institucional.....	105



## ACRÓNIMOS

<b>FV</b>	:	Fotovoltaico
<b>PCs</b>	:	Computadoras personales
<b>SFCR</b>	:	Sistema fotovoltaica conectado a la red
<b>SGFV</b>	:	Sistema de generación fotovoltaica
<b>LFCs</b>	:	Lámparas florecientes compactas
<b><math>i_i</math></b>	:	Corriente de cada armónico
<b>THD</b>	:	Distorsión total de armónicos
<b>TDD</b>	:	Distorsión de demanda total
<b>THD<sub>v</sub></b>	:	Distorsión total de armónicos de voltaje
<b>THD<sub>i</sub></b>	:	Distorsión total de armónicos de corriente
<b>MFV</b>	:	Modulo fotovoltaico
<b>LifePo4</b>	:	Litio ferro fosfato
<b>DC</b>	:	Corriente continua
<b>AC</b>	:	Corriente alterna
<b>PCC</b>	:	Punto de acoplamiento común
<b>RP</b>	:	Red primaria
<b>MT</b>	:	Media tensión
<b>RS</b>	:	Red secundaria
<b>BT</b>	:	Baja tensión
<b><math>I_{rms}</math></b>	:	Valor eficaz de la corriente
<b><math>V_{rms}</math></b>	:	Valor eficaz de la tensión
<b><math>D_v</math></b>	:	Distorsión individual de tensión
<b><math>V_i</math></b>	:	Tensión de cada armónico
<b><math>V_n</math></b>	:	Tensión Nominal del alimentador



<b>In</b>	:	Corriente nominal del alimentador
<b>FP</b>	:	Factor de potencia
<b>P</b>	:	Potencia activa
<b>S</b>	:	Potencia Aparente
<b>Fd disp.</b>	:	Factor de potencia de distribución sin presencia de armónicos
<b>Fp des</b>	:	Factor de potencia de desplazamiento sin presencia de armónicos
<b>Fpt</b>	:	Factor de potencia total
<b>NTCSE</b>	:	Norma técnica peruana de calidad del servicio de energía eléctrica.



## INSTITUCIONES

<b>UNE</b>	:	Asociación Española de Normalización
<b>MEM</b>	:	Ministerio de Energía y Minas.
<b>IEEE</b>	:	El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
<b>IEC</b>	:	La Comisión Electrotécnica Internacional
<b>CENELEC</b>	:	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
<b>OSINERGMIN</b>	:	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.





## RESUMEN

La investigación del proyecto de tesis tiene como objetivo analizar los efectos armónicos del voltaje y la corriente. Además, es fundamental tener en cuenta la compensación de potencia reactiva en el sistema fotovoltaico, que tiene una potencia instalada de 144 KW. Conectado al sistema eléctrico de la Isla Taquile, ubicada en la Región Puno. Instalar un analizador de redes a la salida del inversor del sistema fotovoltaico permitirá observar los armónicos que surgen cuando se suministra energía directamente al sistema de transformación de la red primaria. Con esta información será posible evaluar y monitorear el impacto de los armónicos en el sistema de transformación de la red primaria y tomar las medidas necesarias para mitigar su efecto. Después de tomar las medidas, la información se transferirá desde el analizador de red a la computadora utilizando el software PowerView v3.0. Esta herramienta nos dio los valores de los armónicos de tensión en un 10,81%, mientras que los armónicos de corriente fueron un 4,75%. Estos armónicos fueron generados por el sistema fotovoltaico conectado a la red en la isla de Taquile. Luego de realizar el análisis mediante el software ETAP 20.0, se buscó conocer el comportamiento del SFCR según estándares nacionales e internacionales sobre calidad energética. Estos estándares establecen límites para THD y factor de potencia. En el momento de la medición, el factor de potencia estaba retrasado 0,55. Sin embargo, se podría mejorar hasta 0,95 de retraso, consiguiendo también una mejora de la potencia reactiva de 43,33 Kvar. El objetivo de este proyecto es reducir los armónicos de tensión y corriente, además de mejorar el factor de potencia del sistema, mediante el uso de filtros pasivos.

**Palabras clave:** Armónicos, energía, potencia reactiva, SFCR, tensión.



## ABSTRACT

The research of the thesis project aims to analyze the harmonic effects of voltage and current. Furthermore, it is essential to take into account the reactive power compensation in the photovoltaic system, which has an installed power of 144 KW. Connected to the electrical system of Taquile Island, located in the Puno Region. Installing a network analyzer at the output of the inverter of the photovoltaic system will allow observing the harmonics that arise when energy is supplied directly to the transformation system of the primary network. With this information it will be possible to evaluate and monitor the impact of harmonics on the primary network transformation system and take the necessary measures to mitigate their effect. After taking measurements, the information will be transferred from the network analyzer to the computer using PowerView v3.0 software. This tool gave us the values of the voltage harmonics at 10.81%, while the current harmonics were 4.75%. These harmonics were generated by the grid-connected photovoltaic system on the island of Taquile. After carrying out the analysis using the ETAP 20.0 software, we sought to know the behavior of the SFCR according to national and international standards on energy quality. These standards set limits for THD and power factor. At the time of measurement, the power factor was lagging 0.55. However, it could be improved by up to 0.95 delay, also achieving an improvement in reactive power of 43.33 Kvar. The objective of this project is to reduce voltage and current harmonics, in addition to improving the power factor of the system, through the use of passive filters.

**Keywords:** Harmonics, energy, reactive power, SFCR, voltage.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el país, la importancia de la calidad del servicio de energía eléctrica está aumentando debido a las demandas de la normativa actual. Esta normativa establece que las empresas concesionarias de energía eléctrica deben asegurar un suministro constante, seguro y de excelente calidad.

Los armónicos son creados por equipos electrónicos con cargas no lineales estos causan formas de onda distorsionadas en la corriente debidos principalmente al uso de cargas con impedancia no lineal (Rectificadores, Computadora, UPS, Iluminación fluorescente, Cargadores de batería, Variadores de velocidad, Convertidores fotovoltaicos y eólicos, etc.) Los armónicos tienen un impacto negativo en la calidad y eficiencia de la energía eléctrica.

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)

Debido al acelerado progreso de los sistemas fotovoltaica en el mundo y su crecimiento en los países Sudamericanos, a causa de la demanda energética y la contaminación ambiental, se espera que los clientes residenciales e industriales en el Perú en el futuro aprovechen esta clase de Generación de Energía.

El incremento en la utilización de sistemas fotovoltaicos en todo el país implica un aumento en la presencia de armónicos y perturbaciones, debido al uso de componentes de electrónica de potencia en estos sistemas. Los operadores de la red a nivel nacional



experimentan creciente preocupación por la interferencia de los armónicos en el funcionamiento óptimo de la red y su impacto significativo en las cargas conectadas. Esta situación genera inquietud debido a los efectos negativos que pueden afectar tanto al sistema eléctrico como a los equipos que dependen de él.

En consecuencia, es imperativo evaluar y regular la distorsión de la corriente y la tensión utilizando diferentes dispositivos, siguiendo los protocolos y cumpliendo con las normativas que establecen los límites de distorsión armónica. El desconocimiento de las regulaciones establecidas y la falta de una medición precisa de la calidad del suministro eléctrico generan una deficiencia en la identificación de posibles problemas.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema general**

¿Será factible análisis de armónicos de tensión y corriente en el sistema fotovoltaico de la isla Taquile de una potencia 144 kW?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a) ¿De qué manera influyen los armónicos de tensión en el sistema fotovoltaico conectado a la red?
- b) ¿De qué manera influyen los armónicos de corriente en el sistema fotovoltaico conectado a la red?
- c) ¿De qué manera contribuye la compensación reactiva en el sistema fotovoltaico conectado a la red?

## **1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Hipótesis general**

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



### 1.3.2 Hipótesis específicas

- a) Los armónicos de tensión influyen en la buena calidad de la energía del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Taquile.
- b) Los armónicos de corriente influyen en la buena calidad de la energía del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Taquile.
- c) La compensación reactiva contribuye a mejorar del sistema fotovoltaico conectado a la red de la Taquile.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La calidad del servicio eléctrico implica que debe ser confiable, seguro, eficiente y accesible para todos los usuarios. También se mide en términos de la capacidad de respuesta ante emergencias, averías y la satisfacción general de los usuarios. De acuerdo con la Norma Técnica Peruana de Calidad del Servicio de Energía Eléctrica (NTCSE) (MEM-DGE-DS-040, 2001), así como la norma técnica de calidad del sistema eléctrico rural no convencional que proporciona el sistema fotovoltaico conectado. En relación a los componentes que integran la calidad del servicio eléctrico, se pueden identificar tres aspectos principales: la calidad técnica, la calidad comercial y la calidad del alumbrado público. La calidad del producto se refiere específicamente al voltaje y la forma de onda de la fuente de energía, así como a cualquier interferencia relacionada. Estos aspectos cubren prácticamente todas las fuentes técnicas de interferencia, con excepción de las interrupciones prolongadas en el suministro eléctrico, las cuales están relacionadas con la continuidad o confiabilidad del suministro.

Un factor de potencia bajo y la producción de armónicos aumentan los costos relacionados con la entrega de potencia reactiva en un sistema eléctrico, ya que requieren una mayor corriente para ser transmitidos. Estos gastos adicionales se transfieren

directamente al consumidor a través de cláusulas de factor de potencia incluidas en las tarifas.

La generación de armónicos y un bajo factor de potencia también provoca sobrecarga en los generadores, transformadores y líneas de distribución presentes en las instalaciones. Además, se presentan descensos en el voltaje y pérdidas de potencia que exceden los niveles esperados, lo que resulta en pérdidas y daños en los equipos de la SF Taquile.

### **Norma UNE en 50160**

La norma detalla las características principales de la tensión proporcionada por baja tensión en las redes de distribución general, tanto en situaciones normales como durante la entrega a los clientes. Esta norma establece límites o características de voltaje que todos los clientes tienen derecho a esperar, independientemente de los valores típicos que se encuentran comúnmente en las redes de distribución general.

### **Norma IEC 61000-3-2.**

Hace referencia a las restricciones establecidas para las emisiones de corriente armónica en equipos en los cuales la entrada de corriente por fase sea igual o inferior a 16. (Pour, 2018).

### **Tabla 1**

*Límites para los equipos clase A según norma 61000-3-2*

<b>Orden armónico h</b>	<b>Corriente armónica máxima pérdida (A)</b>
<b>Armónicos Impares</b>	
3	2.3A
5	1.14A
7	0.77 A
9	0.4 A
11	0.33 A
13	0.21 A
15	0.25 A
15≤h≤39	0.25 A /h
<b>Armónicos Pares</b>	

2do	1.08 A
4to	0.43 A
6to	0.3 A
$8 \leq h \leq 40$	1.84 A /h

Nota: Norma 61000-3-2.

En esta Recomendación (IEEE, 1992), encontramos "Recomendaciones y requisitos prácticos para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia". Todas las cargas no lineales tienen un impacto integral limitado en el sistema de distribución y su capacidad para absorber corrientes armónicas es limitada. Es responsabilidad del operador de la red eléctrica asegurar que el voltaje y la forma de onda cumplan con los estándares de calidad más altos posibles. La norma IEEE 519 no solo se enfoca en la cantidad absoluta de armónicos generados por una fuente de alimentación individual, sino también en cómo estos armónicos afectan a la red de suministro de energía.

## Tabla 2

*Limites según la norma IEEE 1159*

<b>Los Límites De Corriente Armónica Para Cargas No Lineales En El Punto De Acoplamiento Común Con Otras Cargas Varían Según Los Voltajes Que Se Encuentren En El Rango De 120 A 69,000 Volts.</b>						
Máxima Distorsión Armónico Impar De La Corriente, En % Del Armónico fundamental.						
ISC/IL	< 11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<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

Nota: Norma IEEE 1159.

## **Requisitos de calidad para sistemas eléctricos rurales no convencionales con energía solar fotovoltaica conectados a la red.**

La finalidad de esta norma es establecer un estándar mínimo de calidad para los sistemas eléctricos rurales no convencionales suministrados por sistemas fotovoltaicos autónomos, desarrollados y/o gestionados dentro del contexto de la ley general de electrificación rural y la implementación de concesiones por parte de proveedores



privados. y la implementación de concesiones por parte de proveedores privados. El estándar más bajo de calidad se busca lograr a través de iniciativas que promueven inversiones en la producción de energía en áreas rurales, con el objetivo de mejorar el bienestar de la población y conservar el medio ambiente.

### **La norma UNE-EN 50160,**

Define las características fundamentales de la tensión suministrada por una red general en baja y media tensión durante operaciones normales, específicamente en el punto de interconexión con el cliente. Esta normativa establece los límites para los valores de las especificaciones de la tensión Cada usuario tiene el derecho de esperar, sin proporcionar los valores típicos de la red general de distribución. La norma "Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución", aprobada por CENELEC en 1994, establece las características principales que la tensión normal de operación debe tener en el punto de entrega al cliente.

## **1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 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 Taquile.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- a) Analizar los armónicos de tensión del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Taquile.
- b) Analizar los armónicos de corriente del sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Taquile.
- c) Examinar la compensación reactiva en el sistema fotovoltaico conectado a la red de la isla Taquile.





## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

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, 2018). Al analizar sistemas con cargas no lineales, es necesario ajustar el flujo de carga teniendo en cuenta cómo responde el sistema a diferentes frecuencias armónicas. Se presentan los enfoques principales para resolver el flujo de potencia armónico y se sugiere un método específico para sistemas radiales. En este caso, se emplea un algoritmo iterativo de exploración. Este proceso se propone para sistemas equilibrados, pero puede extenderse fácilmente a sistemas no equilibrados. (Garcés Ruiz, 2004).

Los armónicos se refieren a la modificación o distorsión de las formas de onda sinusoidales de voltaje y corriente en un sistema eléctrico. Esto ocurre principalmente debido al uso de cargas que presentan una impedancia no lineal, como computadoras, televisores, variadores de velocidad, rectificadores, hornos de arco eléctrico, lámparas fluorescentes y arrancadores electrónicos, entre otros dispositivos. Los materiales ferromagnéticos se emplean en motores, se llevan a cabo operaciones de conmutación en subestaciones y generalmente se utilizan dispositivos que requieren ser conmutados en sus operaciones habituales. El uso de estos dispositivos genera la presencia de corrientes y/o voltajes adicionales en el sistema eléctrico, los cuales tienen frecuencias diferentes a la frecuencia fundamental de la onda sinusoidal original. La circulación de corriente y / o voltaje adicional en el sistema de potencia puede causar problemas, como aumento de la pérdida de potencia activa, sobretensión en los condensadores, errores de medición, falla



de las funciones de protección, daño del aislamiento, degradación del rendimiento del aislamiento, reducción de la vida útil del dieléctrico y del equipo, etc. (Ríos, 2013).

La calidad de la energía eléctrica depende en al menos una docena de características clave de las fuentes de electricidad, incluyendo la frecuencia, la tensión, pero las características más críticas son el contenido armónico y los transitorios por sobretensión (Saucedo & Taxis, 2008)

La totalidad de resultados del estudio de flujo de armónicos puede ser agrupada en lo siguiente: Resultados de tensiones armónicas individuales y THD<sub>v</sub>, y Resultados de corrientes armónicas individuales y THD<sub>i</sub>. (Rivas, 2016)

## **2.2 MARCO TEORICO**

A continuación, se detalla el fundamento teórico del presente trabajo de investigación.

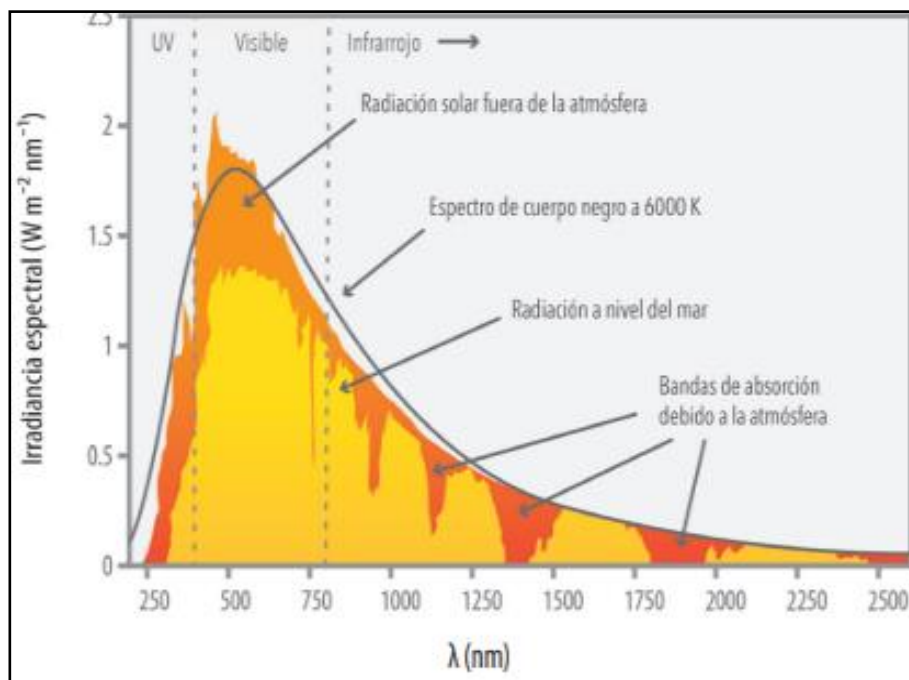
### **2.2.1 Energía solar**

Implica la generación de energía renovable a través de la radiación electromagnética liberada por el sol. Esta radiación desencadena una reacción química que genera electricidad. Los sistemas de energía solar se pueden clasificar en dos categorías: pasivos y activos. Los edificios pasivos no requieren dispositivos adicionales para captar la energía solar, ya que utilizan elementos constructivos bioclimáticos que aprovechan la luz solar de manera indirecta. Por otro lado, los sistemas activos emplean dispositivos como paneles solares o colectores solares para capturar la radiación solar. En este libro, que se enfoca en la generación de electricidad, se exploran dos tecnologías que pertenecen a la categoría de sistemas activos: la fotovoltaica y la solar térmica. (Osinermin, 2019).

El Sol es la estrella principal del Sistema Solar, con un diámetro de alrededor de 1.392.000 kilómetros y una masa aproximadamente 300.000 veces mayor que la de la Tierra. A la distancia entre nuestro planeta y el sol (casi a 149,5 millones de km), la energía del mismo se puede analizar y calcular según el modelo de radiación, solo una parte va directamente a nuestro espacio habitable, una de las razones es por la cantidad de nubes, gases en la atmósfera, La fracción de energía absorbida y reflejada por el océano.(Tejada, 2018)

### Figura 1

*Espectro de la irradiación solar*



Nota: Lira, 2017.

### 2.2.2 Orígenes de la energía solar

El sol es una enorme bola de gas caliente a muy alta temperatura. Tiene un diámetro de  $1,39 \times 10^9$  metros, una distancia media a la Tierra de  $1,5 \times 10^{11}$  metros (conocida como unidad astronómica) contiene principalmente helio, hidrógeno y carbono. En su interior, tiene lugar la fusión nuclear, un proceso que genera una enorme cantidad de energía. Por ejemplo, dos átomos de hidrógeno se



fusionan para formar helio. La producción de energía en el Sol se produce debido a la pérdida de masa durante estas reacciones de fusión nuclear. Esta energía llega a la superficie terrestre en forma de radiación solar de forma desigual según (la distancia de la tierra, hora del día, inclinación del globo terráqueo respecto al sol, zona de superficie terrestre, el diámetro solar y la temperatura del sol, y otros.(Nedelcu S, 2009)

### **2.2.2.1 Tipos de radiación**

Se pueden distinguir diversos tipos de radiación, en función de cómo ésta es recibida por las superficies, ellos son directa, difusa y reflejada, la suma de las tres da como resultado la radiación global.

- **Radiación Directa**

La radiación directa se refiere a la energía solar que llega sin cambios de dirección desde el sol. Esta forma de radiación es la más abundante y significativa en las aplicaciones fotovoltaicas.

- **Radiación difusa**

la energía difusa se distribuye de manera más uniforme y llega a superficies tanto horizontales como verticales. Sin embargo, las superficies horizontales generalmente reciben más radiación difusa que las superficies verticales.

- **Radiación reflejada**

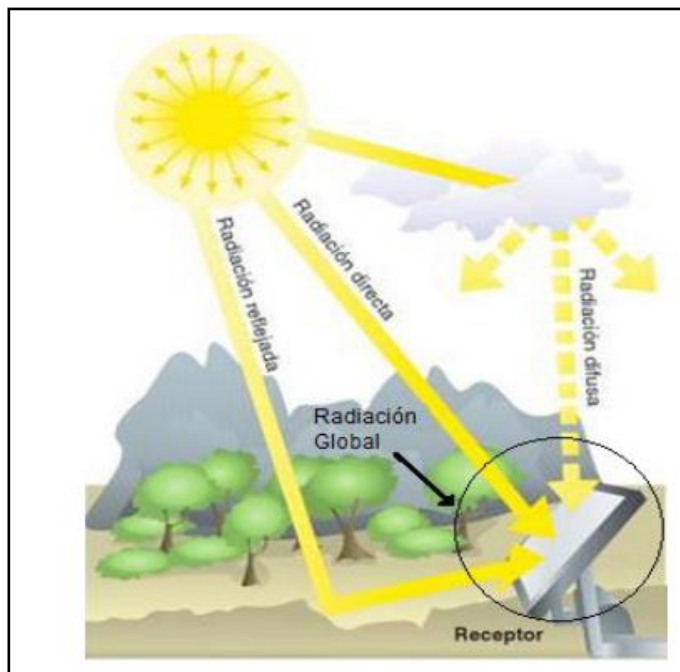
El albedo hace referencia a la radiación solar, tanto directa como difusa, que alcanza el suelo o superficies cercanas y se refleja para ser captada por los receptores.

- **Radiación global**

La cantidad total de energía que llega a la superficie de un receptor, y que debe ser conocida y cuantificada, es la suma de todas las radiaciones mencionadas anteriormente. Esta radiación se conoce como radiación solar global. Para facilitar la comprensión de cada tipo de energía mencionada, se presenta en la figura siguiente.

**Figura 2**

*Tipos de radiación sobre una superficie*



Nota: Santa Mario, 2011.

### 2.2.3 Energía solar en el Perú

Los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna se destacan por tener las condiciones óptimas para el desarrollo de recursos energéticos renovables. En términos de la cantidad total de energía generada (medida en megavatios), se distribuyen de la siguiente manera:

- Minihidráulicas: 496 MW (11.50%)
- Energía eólica: 1,342 MW (31.10%)

- Energía solar: 360 MW (8.30%)
- Energía geotérmica: 1,500 MW (34.70%)
- Biomasa: 623 MW (14.40%)

En conjunto, estas tecnologías fotovoltaicas y solares térmicas tienen una capacidad total de generación de energía renovable de 4,321 MW, lo que representa el 100% de la capacidad total. En las tres regiones ubicadas al sur del país, la radiación solar horizontal global varía entre 6.8 kWh/m<sup>2</sup> y 7 kWh/m<sup>2</sup>, mientras que la radiación solar directa normal se encuentra en el rango de 7.5 kWh/m<sup>2</sup> a 8.5 kWh/m<sup>2</sup>. (Osinergmin, 2019).

### Figura 3

*Mapa de irradiación horizontal global (2019)*



Nota: Banco Mundial (2019).

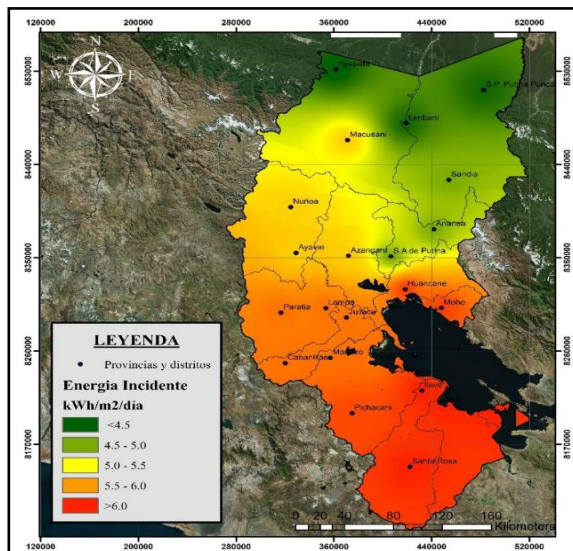
#### 2.2.4 Energía solar en Puno

La radiación solar mensual promedio de 2010 a 2019 fue de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/día en agosto, septiembre, octubre y noviembre y disminuyó de diciembre a julio con la menor radiación solar en mayo y junio. En esta serie de

10 años, 5,18 y 4,99 kWh/m<sup>2</sup>/día, respectivamente. Incluso en las zonas de mayor frecuencia solar, Juli, Ilave, Yunguyo, Santa Rosa y Picachani alcanzan valores de 7 kWh/m<sup>2</sup>/día, mientras que Limbani se encuentra por debajo del valor de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día., Ayapata y San Pedro de Putina Punco son consideradas selvas y selvas lluviosas y nubladas la mayor parte del año por ser factores que interfieren en la generación de energía solar desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. Como resultado, la región de Puno tiene un alto potencial de energía solar aleatoria y es imperativo utilizar esta energía utilizando herramientas y tecnologías de energía renovable adaptadas a cada población para brindar servicios esenciales como la electrificación del hogar y la calefacción. comodidad. Zonas remotas afectadas por heladas en la región Puno. Eventos solares en la región Puno. (Cañazaca N, 2020).

#### Figura 4

*Energía solar incidente en la región Puno.*



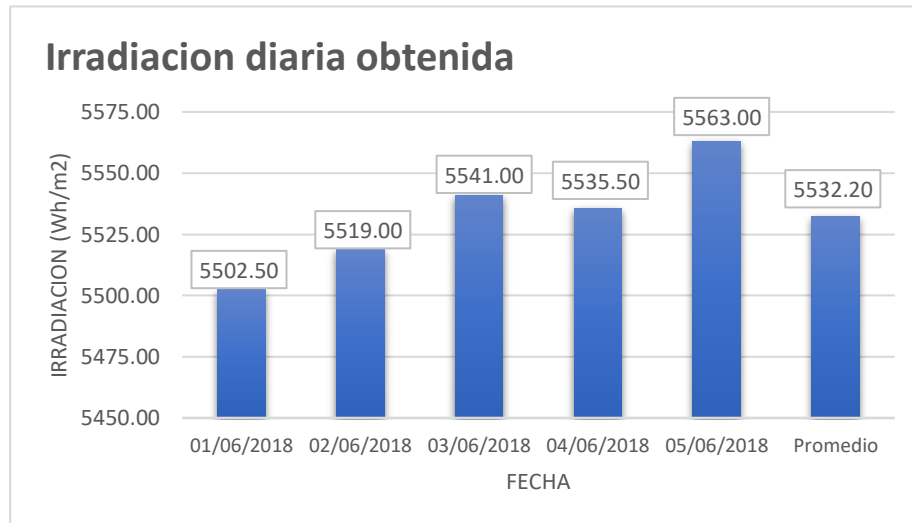
Nota: NASA, 2020, <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

Basándonos en la información proporcionada, la figura muestra un valor de irradiación solar de 5532.20 Wh/m<sup>2</sup>, lo que implica que hay 5.53 horas pico de sol. El cálculo de las horas pico de sol se realiza al dividir el valor de la irradiación

diaria por 1000 Wh/m<sup>2</sup>, conforme al estándar empleado para establecer las especificaciones técnicas de los paneles solares tras efectuar las mediciones requeridas.

**Figura 5**

*Datos de irradiancia diaria.*



Elaboración propia.

### 2.2.5 Energía solar fotovoltaica

Los sistemas fotovoltaicos ofrecen una opción para aprovechar la energía solar utilizando celdas solares. Estos sistemas capturan la luz solar y la transforman en corriente continua (CC), que luego se convierte en una fuente de energía limpia e inagotable. Además, esta tecnología es amigable con el medio ambiente y no genera ruido durante la producción de energía. A medida que ha pasado el tiempo, la energía eléctrica se ha transformado en una necesidad esencial en la rutina diaria de las personas, y seguro gracias al sistema fotovoltaico. Las áreas que realmente lo necesitaban tuvieron acceso a la electricidad. Aunque actualmente, el uso de este sistema se ha convertido en una costosa alternativa para quienes tienen áreas iluminadas por el sol para mejores resultados, se requiere





un área grande para capturar y generar la máxima cantidad de energía posible. (Cevallos B & Rojas D, 2019).

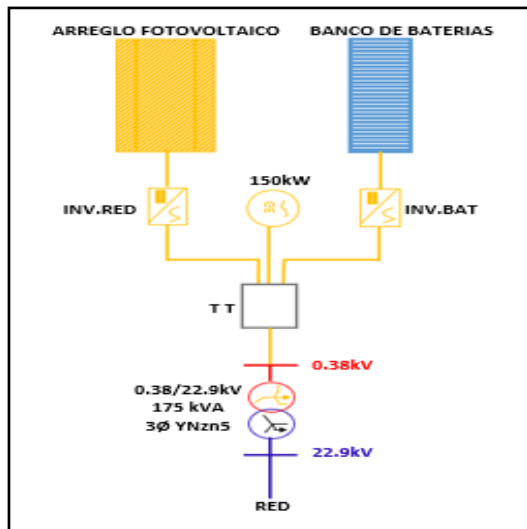
### **2.2.6 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica**

El propósito fundamental de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red es optimizar la generación de electricidad que se alimenta a la red eléctrica durante todo el año. Las principales aplicaciones de estos sistemas son para, Tejados en viviendas (integración en edificios), en los que la instalación está físicamente situada en un edificio que habitualmente se encuentra en un entorno urbano, una planta de energía FV (planta de energía fotovoltaica), donde funciona como una planta de energía convencional, transfiere toda la electricidad generada a la red. (Abella & Alonso, 2015)

Los sistemas conectados a la red se vinculan mediante un inversor que convierte la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). También tienen un equipo especial que le permite suministrar el exceso de energía después de la carga o viceversa, es decir, extraen energía de la red según sea necesario para la carga. Se puede decir que este tipo de instalación es la más efectiva porque los puntos de consumo están muy cerca de donde se genera la electricidad, lo que ayuda a reducir las pérdidas de transmisión y procesamiento de energía. (Rodríguez, 2021).

**Figura 6**

*Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.*



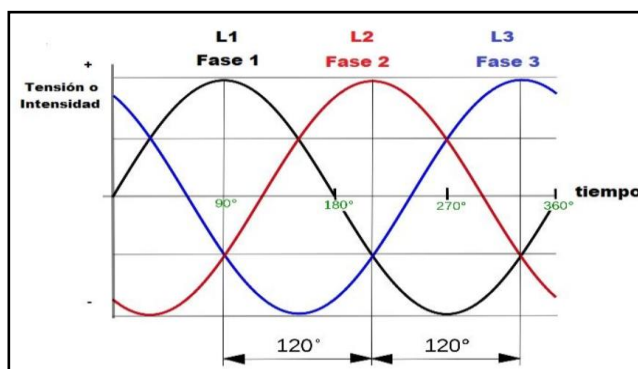
Elaboración propia.

### 2.2.7 Calidad de Energía

Dado que un sistema de energía ideal es aquel donde el voltaje y la corriente están balanceados y varían a una frecuencia constante, la calidad de la energía se puede definir como ininterrumpida, sin picos, variable, sin distorsión, sin armónicos, sin cambios en el voltaje ni otras perturbaciones que puedan desviar el sistema eléctrico de su estado óptimo. La calidad de la energía debe garantizar un voltaje y una frecuencia estables y un funcionamiento continuo. (Acevedo J, 2012).

**Figura 7**

*Sistema trifásico con un nivel constante de tensión.*



Nota: (Acevedo J, 2012)



De acuerdo a la norma estándar IEEE 1159/1995 define el término “Calidad de Energía Eléctrica” como la 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.

Brevemente, la calidad del suministro de energía eléctrica se refiere a la disponibilidad de energía y a la calidad de la tensión y corriente suministradas. Cualquier variación de estas magnitudes respecto a su estado óptimo se considera una perturbación o deterioro en la calidad del suministro eléctrico.

Según las normas IEC (61000-2-2/4) y CENELEC (50160), la Calidad de la Energía Eléctrica se puede describir como una propiedad física del suministro de electricidad que debe llegar al cliente en condiciones normales, sin generar perturbaciones o interrupciones en sus procesos.

### **2.2.8 Definición de armónicos**

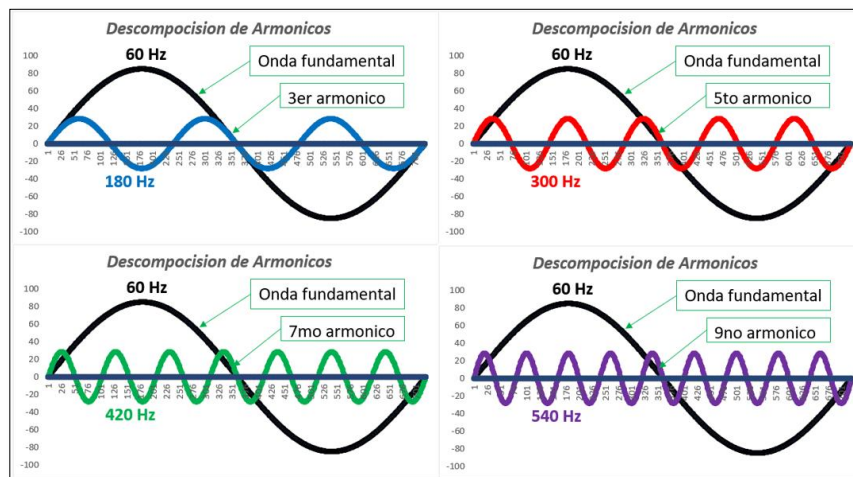
Cuando se introduce una carga no lineal en un sistema de energía eléctrica, produce una distorsión armónica. Las fuentes comunes de armónicos en los sistemas eléctricos incluyen la saturación de transformadores, las corrientes de energización de transformadores, las conexiones al neutro de los transformadores, las fuerzas magnetomotrices en máquinas rotatorias de corriente alterna, los hornos de arco eléctrico, las lámparas fluorescentes, las fuentes reguladas por conmutación, los cargadores de baterías, los compensadores estáticos de VAR's y los variadores de frecuencia para motores (drives), inversores y convertidores de estado sólido. (Tejada & Llamas, 2021).

Es importante tener en cuenta los armónicos son fenómenos de estado estable y no deben confundirse con los transitorios. Aunque las corrientes de suministro en los transformadores son transitorias en el sistema de potencia,

también pueden clasificarse como fuentes de armónicos si operan en un sistema que presenta una fuerte resonancia a cualquier frecuencia de corriente (la mayor de las veces la 2da, 3ra, 4ta y 5ta armónicas). Esto causará una distorsión del voltaje, que a su vez afectará la corriente de entrada del transformador, lo que aumentará la frecuencia de resonancia del sistema y aumentará la distorsión del voltaje a un nivel que puede provocar, de manera inmediata o eventual, la degradación o el daño del equipo. (Tejada & Llamas, 2021).

### Figura 8

*Señales armónicas en comparación con la fundamental a 60Hz.*



Nota: Dariel, 2010.

#### 2.2.8.1 Distorsión Armónica total (THD)

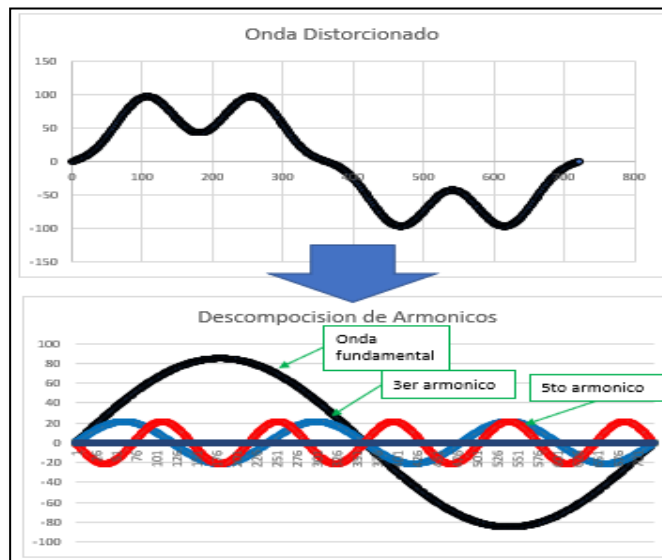
La distorsión armónica es la distorsión que experimenta la onda senoidal de corriente o tensión al alimentar una carga no lineal debido a que el operador de la red debe asegurar una onda senoidal pura. (Moreno C & Pabón E, 2021).

Los armónicos pueden interferir en la operación en la red eléctrica y dispositivos electrónicos vinculados a ella, es importante controlar los

armónicos generados por el sistema fotovoltaico para evitar problemas de calidad de energía y cumplimiento de normativas.

**Figura 9**

*Onda con contenido armónico.*



Nota: REASA, 2017.

Estos disturbios en general presente en forma de onda con distorsión. En la ecuación (1) y (2), La distorsión armónica en la corriente y el voltaje es medida y representada. La THD se define como la relación de la raíz cuadrada del contenido armónico entre la raíz cuadrada de la cantidad fundamental, expresada en porciento. (Pérez R, 2008).

$$THD = \frac{\sqrt{\sum I_n^2}}{\sqrt{I_f^2 \pm \sum I_n^2}} \dots \dots \dots (1)$$

$$THD = \frac{\sqrt{\sum V_n^2}}{\sqrt{V_f^2 \pm \sum V_n^2}} \dots \dots \dots (2)$$

donde:

If = Representa la parte principal de la corriente.

In = Indica la parte armónica de la corriente.

$V_f$  = denota la parte principal del voltaje.

$V_n$  = se refiere a la parte armónica del voltaje.

### 2.2.9 Análisis de Fourier

Según el teorema de Fourier, una función periódica y no sinusoidal puede ser descompuesta en una serie de Fourier, compuesta por la suma de ondas sinusoidales, siempre que se cumplan ciertas condiciones. Estas condiciones incluyen que la función tenga un valor limitado durante un período, que haya un número finito de discontinuidades en ese período, así como un número finito de máximos y mínimos.

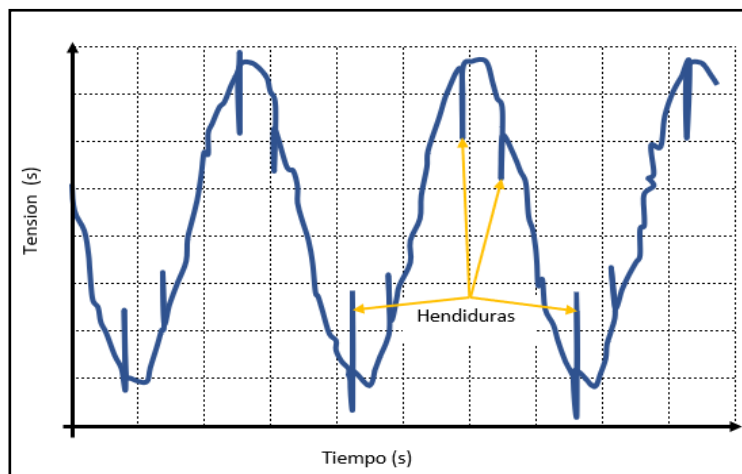
Cualquier función  $F(x)$  con periodo  $2p$  tiene su representación en series de Fourier de acuerdo con (Dariel Arcila, 2010).

### 2.2.10 Hendidura (Notching)

La hendidura o grieta de voltaje ("brecha") es una perturbación periódica en la forma de onda del voltaje, Figura (10) causada por el funcionamiento normal de los dispositivos electrónicos de potencia cuando la corriente se transfiere de esta fase a otra. (Acevedo J, 2012).

#### Figura 10

*Perturbación de tensión de tipo hendidura.*



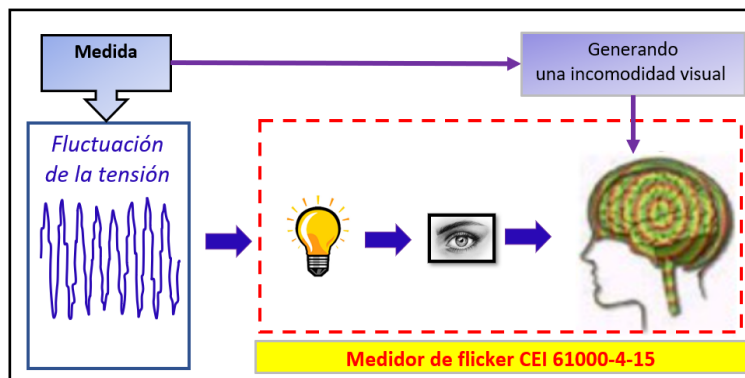
Nota: Acevedo J, 2012.

### 2.2.11 Flickers

El efecto de parpadeo depende de la amplitud y duración de las fluctuaciones de tensión que lo provocan; ya que se ha verificado que un cambio de voltaje de más del 0,25% causa un parpadeo visible del sistema de iluminación de 8,8 Hz para un determinado grupo de observadores, en los niveles de molestia equivalente que serían percibidos por el sistema ojo-cerebro del observador generando una incomodidad visual para las personas. (Anthony & Alejandría, 2021)

#### Figura 11

*Medidor de flicker*



Nota: CLADE 2012.

Según los analizadores de calidad de energía IEC 61000-4-30 clase S están diseñados para análisis de calidad de energía básicos / avanzados y proporcionan datos de monitoreo útiles. Los instrumentos que cumplen con los requisitos de rendimiento de Clase S se utilizan para estudios estadísticos de calidad de energía y aplicaciones contractuales.

### 2.2.12 Caída momentánea de tensión (SAG –DIPS)

Hace referencia a una caída en la tensión por debajo de los límites permitidos en la frecuencia industrial, que dura más de medio ciclo, pero menos de 2 minutos, afectando la intensidad RMS.

Las caídas de tensión implican una rápida disminución de la tensión nominal, que puede oscilar entre el 10% y el 90%, o de la corriente instantánea efectiva a la frecuencia de la red, en un punto específico del sistema. Estas caídas de tensión pueden tener una duración que va desde 0.5 ciclos hasta 60 segundos y se categorizan como instantáneas, momentáneas o temporales. Se hace referencia a las fórmulas (3) y (4) son definiciones de los valores efectivos de tensión y corriente.

$$I_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^t i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.7071I_n \dots \dots \dots (3)$$

$$V_{eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^t v^2 dt} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.7071V_n \dots \dots \dots (4)$$

Las caídas de tensión se clasifican según su magnitud y duración. En la tabla (2), se muestra la clasificación de las caídas de tensión con su correspondiente duración y magnitud de la tensión. (Vizcaíno R, 2017).

**Tabla 3**

*Clasificación de las Caídas de Tensión*

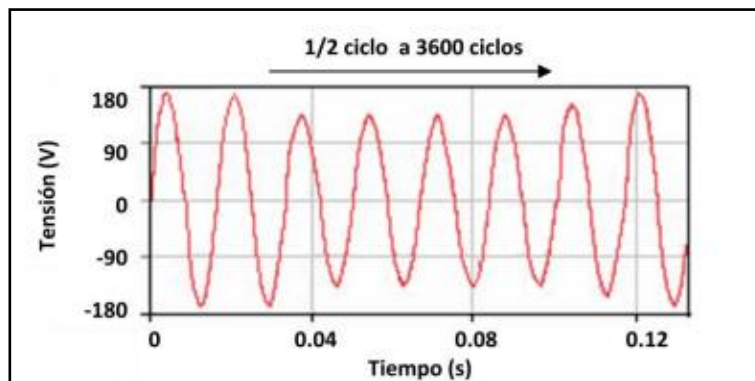
VARIACIÓN EN LA TENSIÓN		
CATEGORIA	DURACIÓN	MAGNITUD DE LA TENSIÓN
Instantáneas	0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
Momentáneas	30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9 pu
Temporales	3 s - 60 s	0.1 - 0.9 pu

Nota: Vizcaíno R, 2017.



**Figura 12**

*Caída de Tensión.*



Nota: Vizcaíno R, 2017.

### 2.2.13 Elevación

Subida de tensión RMS por MOMENTÁNEA DE TENSIÓN (SWELL) superior a la permitida en la frecuencia de línea, Estos aumentos tienen un período que excede medio ciclo, pero no llega a ser de varios segundos (0,5 ciclos o hasta 1 minuto). Por lo general, se manifiestan en las fases no afectadas en un circuito trifásico cuando se produce un cortocircuito en una fase única. Estos aumentos de tensión también se pueden clasificar como instantáneos, momentáneos y temporales. Los incrementos en el voltaje pueden ser categorizados de acuerdo a su duración e intensidad.

En la tabla se muestra la clasificación de los aumentos de tensión con su correspondiente duración típica y magnitudes de la tensión. (Pérez R, 2008)

**Tabla 4**

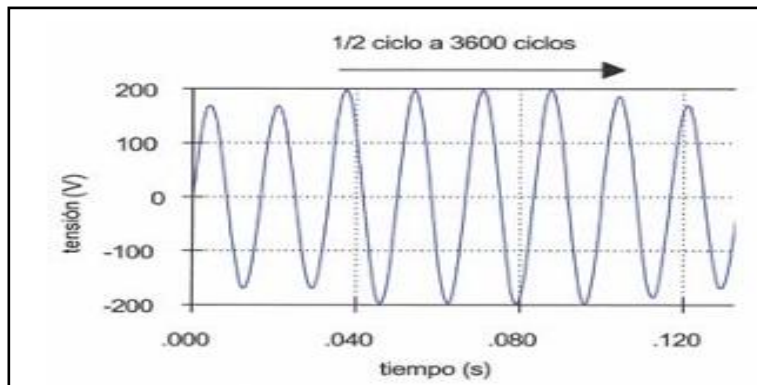
*Clasificación del aumento de tensión (swell).*

VARIACIÓN EN LA TENSIÓN		
CATEGORIA	DURACIÓN	MAGNITUD DE LA TENSIÓN
Instantáneas	0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
Momentáneas	30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4 pu
Temporales	3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu

Nota: Vizcaíno R, 2017.

### Figura 13

*Aumento de tensión (swell).*



Nota: Pérez R, 2008.

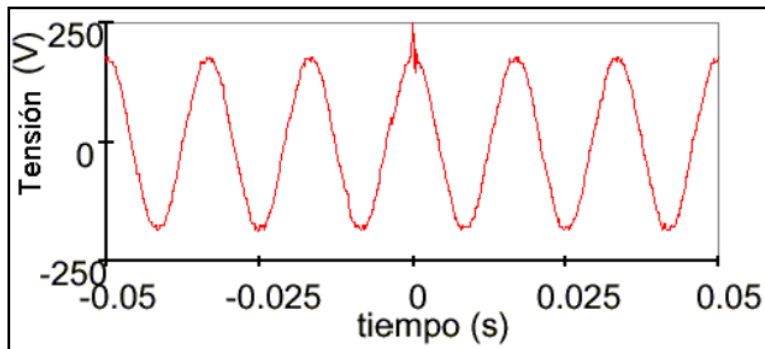
#### 2.2.14 Sobretensiones transitorias

Durante el proceso de activar o desactivar un interruptor, independientemente de si es de baja o alta tensión, es factible identificar frecuencias considerablemente altas como consecuencia de dicha acción. alcanzando valores de 3 MHz, provocando efectos transitorios y provocando interacciones entre conductores eléctricos. conectado a este conductor portador de señal de alta frecuencia, como el conductor de control y el conductor de protección, provoca un funcionamiento no deseado del interruptor. Estos estados transitorios. (Vizcaíno R, 2017).

El fenómeno de alta frecuencia que se superpone a la señal de corriente alterna suele tener una duración menor a medio ciclo, puede ser de suma o resta y disminuye de forma oscilatoria.

**Figura 14**

*Efectos transitorios.*



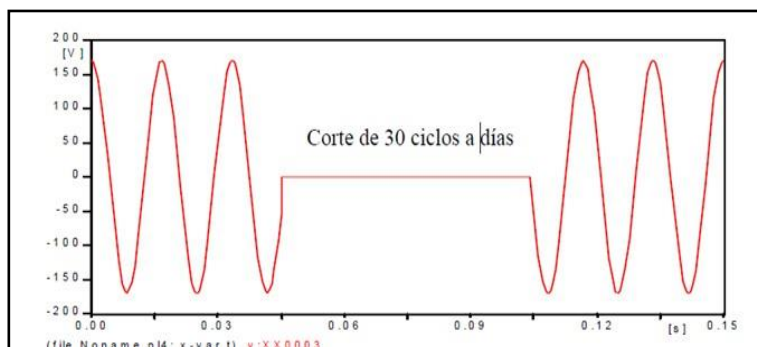
Nota: Pérez R, 2008.

### 2.2.15 Cortes, salidas o interrupciones (OUTAGE).

Las fluctuaciones de tensión pueden ocurrir durante períodos que van desde 30 ciclos hasta varias horas, e incluso días.

**Figura 15**

*Pérdidas de tensión.*



Nota: Pérez R, 2008.

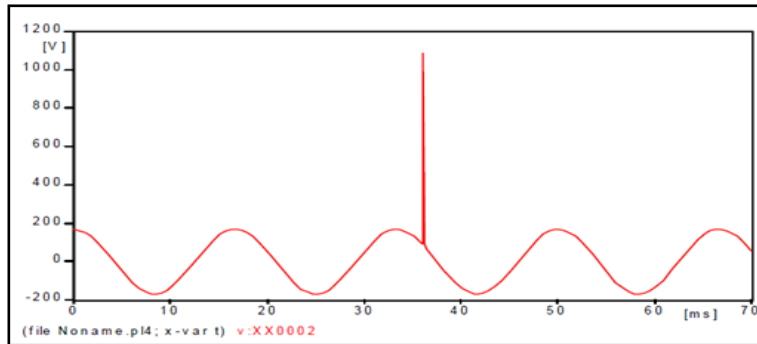
### 2.2.16 Impulsos

Es un cambio súbito en la potencia con una frecuencia diferente a la principal, y presenta una polaridad unidireccional (ya sea positiva o negativa). En lo general, se caracterizan por ciclos de picos, más comúnmente causados por descargas atmosféricas. Por lo tanto, son vistas por altas frecuencias y son atenuadas rápidamente por el elemento resistivo del circuito y no se transmiten a largas distancias desde la fuente. Pueden causar resonancia en el circuito y

producir transitorios oscilatorios (descargas atmosféricas o impulsos por maniobras): son transitorios de tensión o de corriente de muy corta duración y muy alta magnitud. (Vizcaíno R, 2017).

**Figura 16**

*Transitorios de tensión.*



Fuente: Pérez R, 2008.

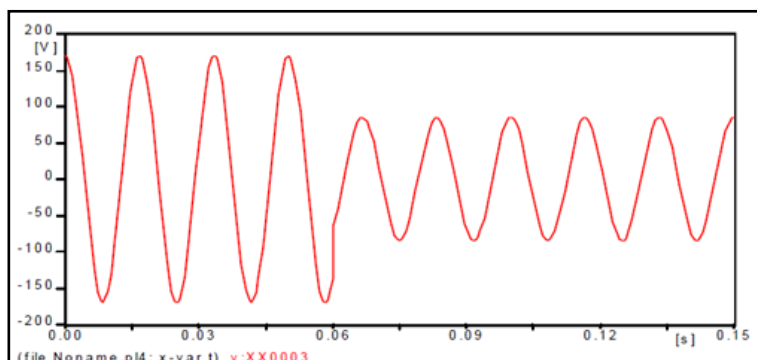
### 2.2.16.1 Oscilatorios

Estos son estados transitorios donde el valor instantáneo de la tensión cambia extremadamente rápido de polaridad. Siempre son causados por el funcionamiento de los equipos, por ejemplo, desconectando líneas, banco de capacitores; cada uno tiene un período y una frecuencia característica. (Vizcaíno R, 2017).

(Under voltage –voltage drop): la figura ilustra una caída permanente de tensión.

**Figura 17**

*Caída permanente de tensión.*

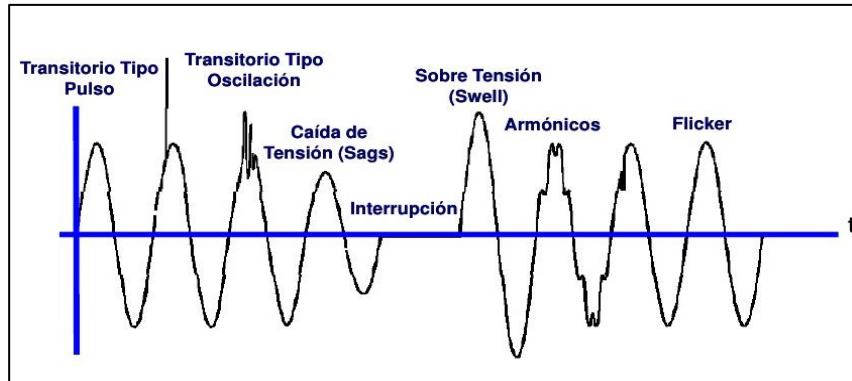


Nota: (Pérez R, 2008).

### 2.2.17 Efectos que influyen en la calidad eléctrica

**Figura 18**

*Efectos en la calidad eléctrica*



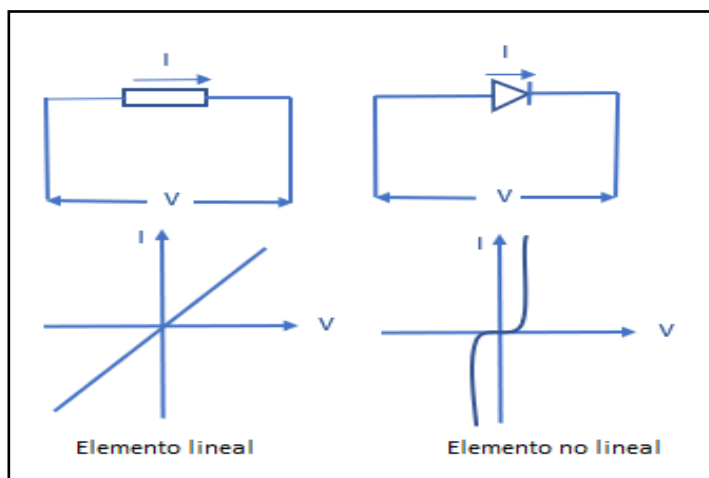
Nota: Voltimum, 2016.

### 2.2.18 Tipos de cargas

Una carga es un elemento que consume energía eléctrica, en general existen dos tipos de cargas dentro de los sistemas eléctricos: cargas lineales y cargas no lineales. La distorsión armónica en los sistemas eléctricos es causada por cargas no lineales que contaminan la red e incluso pueden afectar a otros usuarios que únicamente posean cargas lineales. (Téllez E, 2008).

**Figura 19**

*Cargas lineales y cargas no lineales*



Nota: Pérez R, 2008.

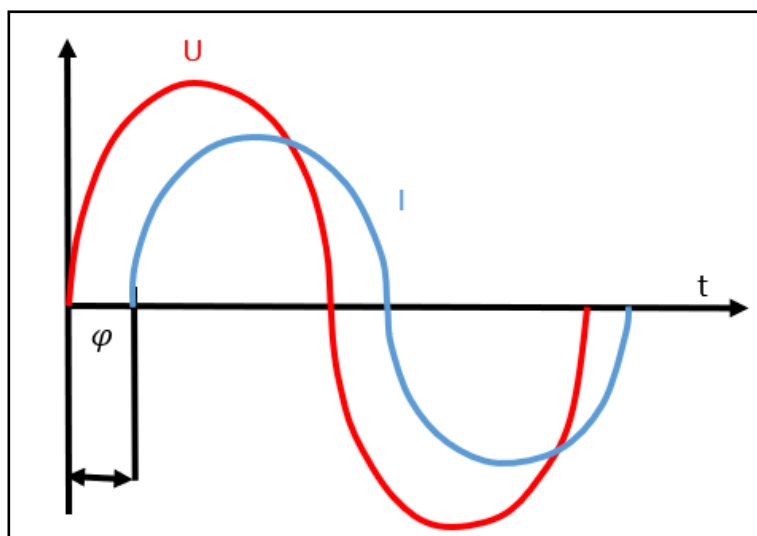
### 2.2.18.1 Carga lineal

La aplicación inmediata de un voltaje sinusoidal a componentes como resistencias, inductores, capacitores o una combinación de estos, da lugar a una corriente proporcional que también se manifiesta como una onda sinusoidal. Es por esta razón que se utiliza el término "carga lineal". Ejm.: resistencias, cargas inductivas en régimen permanente y no saturadas. (motores, transformadores.). (Téllez E, 2008).

Apenas la impedancia de un componente alimentado desde una fuente de tensión permanece constante con el tiempo sin ningún cambio, lo llamamos carga lineal y su característica es la variación de la forma de onda de la corriente proporcional al voltaje senoidal aplicado como se muestra en la figura.(Moreno C & Pabón E, 2021).

#### Figura 20

*Onda de la corriente proporcional al voltaje senoidal.*



Nota: Moreno C & Pabón E, 2021.

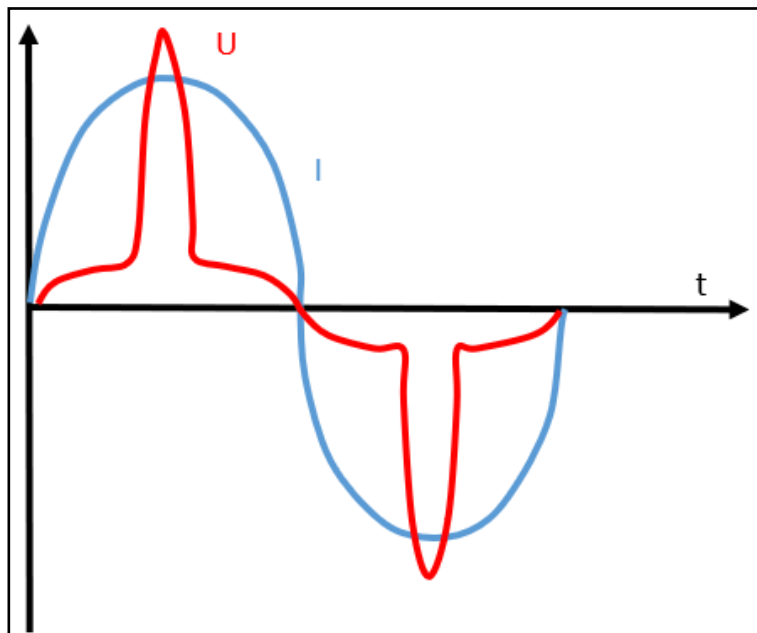
### 2.2.18.2 Carga no lineal

En circuitos con características de tensión-corriente no lineales, la tensión aplicada no es proporcional a la corriente, lo que provoca una distorsión de la señal en relación con la onda senoidal. (Téllez E, 2008)

Si la impedancia de un componente alimentado desde una fuente de tensión no opera continuamente en el tiempo y sufre algún cambio, lo llamamos carga no lineal y la consecuencia que la respectiva onda de corriente para ese circuito no sea senoidal pura, lo que significa que la señal no coincide con la forma de onda del voltaje aplicado. (Moreno C & Pabón E, 2021).

#### Figura 21

*Cargas no lineales que contienen la electrónica.*



Nota: Moreno C & Pabón E, 2021.

### 2.2.18.3 Carga Resistiva

La característica de esta carga es que el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente es cero, por lo que se dice que tiene un factor de potencia de 1. las cargas resistivas se encuentran en Hornos eléctricos

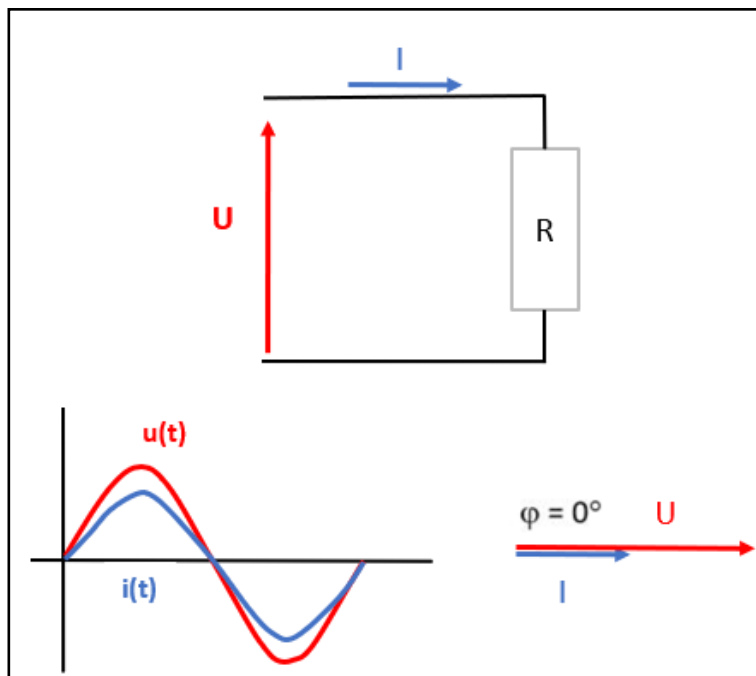
resistivos, lámparas de luz incandescentes, calefactores.(García J et al., 2016).

Estos dispositivos se identifican como si tuvieran una resistencia eléctrica específica, denotada por la letra R y medida en Ohmios.

$$|S| = R \cdot |I|^2 = \frac{|U|^2}{R} = P \dots \dots \dots (5)$$

**Figura 22**

*Las fases de la tensión y corriente perfectamente alineadas (0).*



Elaboración propia.

#### 2.2.18.4 Cargas Inductivas

Los dispositivos inductivos, tales como las bobinas de motores y transformadores, son ejemplos de cargas que tienen la capacidad de almacenar y absorber energía eléctrica para convertirla en energía magnética generada por los flujos de corriente en estos elementos. En este tipo de cargas, la corriente presenta un retraso en relación con el voltaje,



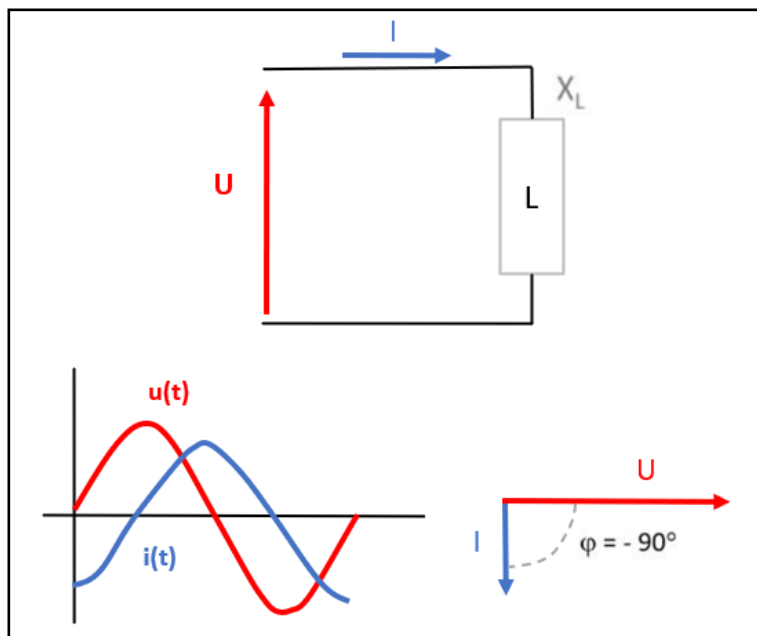
lo que provoca un desplazamiento negativo de 90 grados en la fase. En este caso, hay un factor de potencia en atraso. (García J et al., 2016).

Las cargas inductivas se encuentran en dispositivos con bobinados, como motores, balastos y transformadores, que son componentes electromecánicos comunes.

$$|S| = X_L \cdot |I|^2 = \frac{|U|^2}{X_L} = Q_L \dots \dots \dots (6)$$

**Figura 23**

*Muestra de corriente a desfase de -90 grados con respecto a la tensión.*



Elaboración propia.

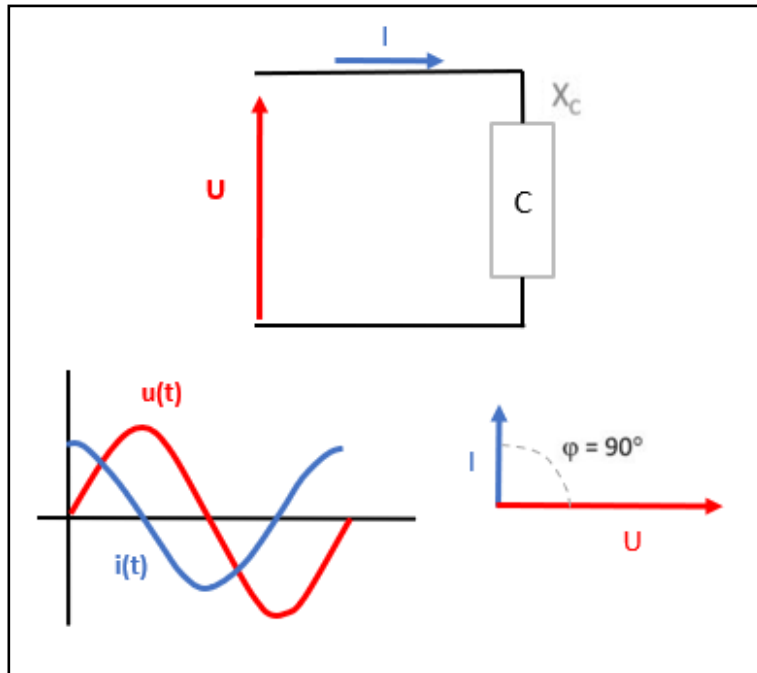
### 2.2.18.5 Cargas Capacitivas

Capaz de almacenar energía en forma de un campo eléctrico, las cargas capacitivas ocurren en los capacitores y se caracterizan por el hecho de que la corriente esta adelantada respecto de la tensión 90°. (García J et al., 2016)

$$|S| = X_C \cdot |I|^2 = \frac{|U|^2}{X_C} = Q_C \dots \dots \dots (7)$$

**Figura 24**

*Muestra de corriente adelantada a 90 grados con respecto a la tensión.*



Elaboración propia.

### 2.3 DEFINICION DE FACTOR DE POTENCIA TEORICO

La energía en un sistema de corriente alterna (CA) se separa en dos componentes: la energía disipada que realiza el trabajo y la energía almacenada en componentes pasivos que se intercambia con la fuente. El factor de potencia (fp) se define como la proporción entre la energía empleada, que puede realizar trabajo, y la cantidad total de energía disponible. Estas energías están vinculadas directamente con la potencia activa ( $P$ ) y la potencia aparente ( $S$ ), lo que lleva a la definición del factor de potencia (fp) como  $fp = W_p / W_s = P / S$ . Luego, utilizando las ecuaciones  $P = V I \cos \varphi$  y  $S = V I$ ,  $fp = \cos \varphi$ . El factor de potencia representa la eficiencia del sistema y se expresa como un valor sin unidades que varía de 0 a 1, según su definición. Indica la proporción de energía disponible que se convierte en trabajo, calculada mediante la fórmula  $P = S \cos \varphi$ . Cuando el factor de potencia es cero, toda la energía transferida se vuelve completamente reactiva, lo que implica que la energía almacenada en la carga se devuelve a la fuente. Cuando el



factor de potencia es igual a 1, toda la potencia suministrada por la fuente de alimentación es utilizada por la carga. La cantidad total de potencia requerida para disipar una cierta cantidad de potencia activa dependerá del factor de potencia del circuito. Por ejemplo, para obtener 1 kW de potencia activa con un factor de potencia de uno, sería necesario transmitir 1 KVA de potencia aparente ( $1 \text{ KVA} = 1 \text{ KW} / 1$ ). Con valores bajos de factor de potencia, se requerirá transmitir más potencia aparente para obtener la misma potencia activa real. Por ejemplo, para obtener 1 kW de potencia activa a un factor de potencia de 0.2, se necesitaría transmitir 5 kVA de potencia aparente. Los factores de potencia, al igual que la potencia reactiva, a menudo se expresan en términos de adelanto o retraso para indicar si un circuito es capacitivo o inductivo, respectivamente. (Naula Y & Revelo D, 2018).

### 2.3.1 Triangulo De Potencia

La relación entre las potencias activa y reactiva al cuadrado da como resultado el cuadrado de la potencia aparente. Esta relación puede ser representada gráficamente a través del triángulo de potencia. En este contexto, se toma en cuenta el voltaje total con una fase de 0 grados y se descompone la corriente en sus componentes activas y reactivas, es decir,  $\vec{V} = V \angle 0$  e  $\vec{I} = I \phi$ . La potencia activa (P) resultará del producto entre V por la proyección de  $\vec{I}$  sobre  $\vec{V}$  ( $V I \cos \phi$ ) y la potencia reactiva (Q) resultará del producto entre V por la proyección de  $\vec{I}$  sobre una perpendicular a  $\vec{V}$  ( $V I \sin \phi$ ). Así, la dirección de la potencia reactiva Q en el triángulo determina la característica inductiva o capacitiva del circuito, ya que la potencia reactiva dirigida hacia los ejes negativos del plano se obtiene a partir de un diagrama fasorial donde la corriente se atrasa con respecto a la tensión, y viceversa. (Naula Y & Revelo D, 2018)

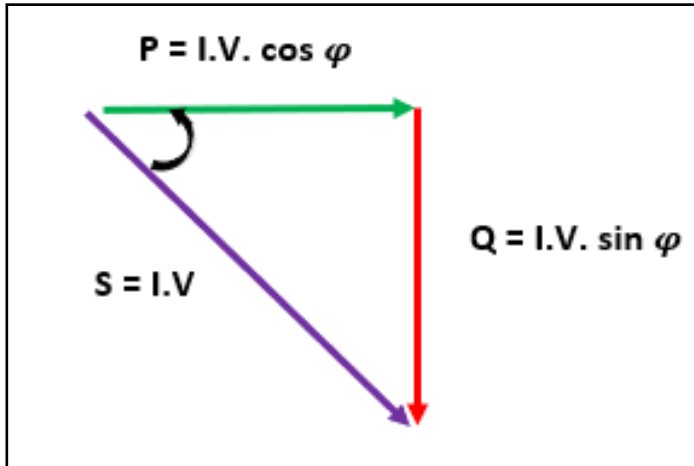
El factor de potencia sin presencia de armónicos

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (8)$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \dots \dots \dots (9)$$

**Figura 25**

*Triangulo de potencias activa, reactiva y aparente.*



Elaboración propia.

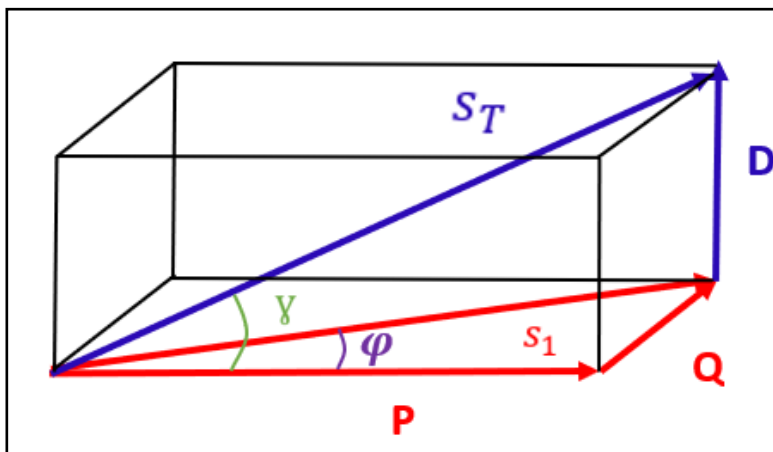
**2.3.2 El factor de potencia con presencia de armónicos**

$$FP = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (10)$$

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \dots \dots \dots (11)$$

**Figura 26**

*Presencia de armónicos (Triangulo de potencias).*



Elaboración propia.

### 2.3.3 Problemas Causados Por Los Armónicos

**Tabla 5**

*Clasificación de causas de armónicos.*

<b>PROBLEMAS CAUSADOS POR LOS ARMONICOS</b>		
<b>ELEMENTOS</b>	<b>PROBLEMAS</b>	<b>EFECTO</b>
<b>Conductor</b>	Aumento de corriente.	Disparo protecciones.
<b>Conductor De Neutro</b>	Retorno por el conductor de neutro.	Sobreintensidad por el neutro. Calentamiento del neutro.
<b>Condensador</b>	Resonancia paralela con el sistema. Circulación de corriente	Calentamiento de condensadores
<b>Maquinas Eléctricas</b>	armónicas por los devanados y tensiones armónicas en bornes.	Sobrecalentamiento y pérdida de aislamiento térmico (efecto joule).
<b>Equipos De Medida Y Control</b>	Medidas no válidas. Errores en procesos de control.	Valores de magnitudes incorrectas. Interferencias con el sistema de comunicación y control. Error en los instantes de disparo de tristores.

Elaboración propia.

### 2.3.4 ESTANDAR IEEE 1159

El estándar IEEE 1159 es la práctica recomendada por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) para el control de calidad de la energía. (Díaz J et al., 2015).

**Tabla 6**

*Limites según la norma estándar IEEE 1159.*

<b>Categorías</b>	<b>Duración típica</b>	<b>Magnitud típica de la tensión</b>
<b>1.- Variaciones de corta duración</b>		
<b>1.1.- instantánea</b>		
Hueco	0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 p.u.
Swell	0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 p.u.
<b>1.2.-Momentanea</b>		
Interrupción	0.5 ciclos - 3 s	< 0.1 p.u
Hueco	30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9 p.u.
Swell	30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4 p.u.
<b>1.3.- Temporal</b>		
Interrupción	3 s - 1 min	< 0.1 p.u
Hueco	3 s - 1 min	0.1 - 0.9 p.u.

Swell	3 s - 1 min	1.1 - 1.2 p.u.
<b>1.4.- Variaciones de larga duración</b>		
Interrupción	> 1 min	0.0 p.u
Subtensión	> 1 min	0.8 - 0.9 p.u
Sobretensión	> 1 min	1.1 - 1.2 p.u.

Nota: Norma estándar IEEE 1159.

### 2.3.5 ESTANDAR IEEE 519

El estándar IEEE 519 es propuesto por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) para reducir la distorsión armónica en los sistemas eléctricos. Esta norma especifica los límites máximos de distorsión armónica en los sistemas eléctricos con el fin de evitar afectar negativamente el desempeño de los dispositivos eléctricos y electrónicos que están conectados a la red eléctrica. Las especificaciones incluyen límites en la distorsión armónica total (THD) de corriente y voltaje, Lo mismo que la distorsión de voltaje en ciertos niveles de voltaje. Esta norma también incluye recomendaciones en relación a la medición y análisis de armónicos en sistemas de potencia, así como la selección de equipos para reducir la distorsión armónica en redes eléctricas. La última versión del estándar IEEE 519 es IEEE 519-2014.(IEEE Power and Energy Society, 2014).

#### Tabla 7

*Limites según la norma estándar IEEE 519.*

<b>Voltaje de barra en el punto de acoplamiento común</b>	<b>Distorsión individual de tensión (%)</b>	<b>Distorsión total del voltaje THD (%)</b>
Hasta 69 KV	3.0	5.0
De 69 KV a 137.9 KV	1.5	2.5
138 KV y mas	1.0	1.5

los sistemas de alto voltaje pueden llegar hasta un 2.0 % en THD cuando lo que causa es un alto voltaje terminal DC, el cual podría ser atenuado.

Nota: Norma estándar IEEE 519.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

El estudio se realizó en el sistema de energía solar fotovoltaica que está conectado a la red eléctrica en la Isla de Taquile, ubicada en el Distrito de Amantani, Provincia de Puno, dentro del Departamento de Puno.

##### 3.1.1 Ubicación Geográfica.

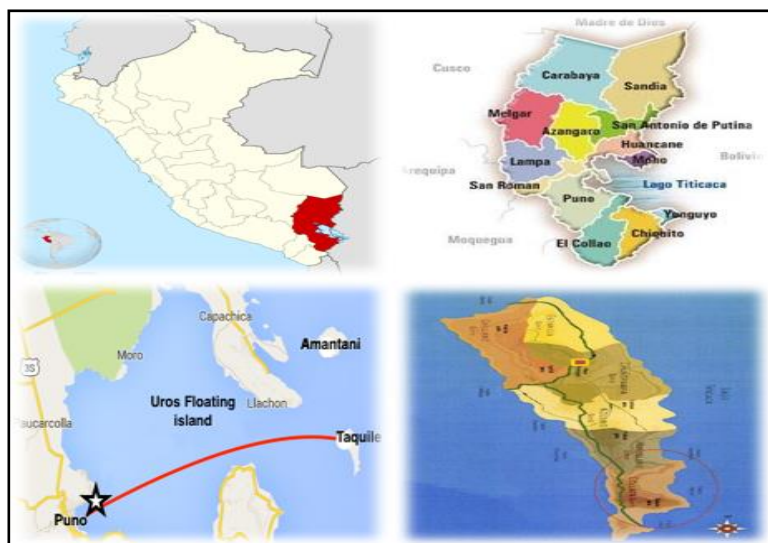
Se encuentra ubicado en el departamento de Puno, con coordenadas UTM 19L: 425000 E, 4258400 N; 428000 E, 8253000 N encontrándose dentro del cuadrángulo de la Carta Del Instituto Geográfico Nacional: 32-x (Chucuito). Con una altitud promedio de 3800 msnm (mínimo) – 4100 msnm (máximo).

##### 3.1.2 Ubicación política.

País	Departamento	Provincia	Distrito	Centro poblado
Perú	Puno	Puno	Amantani	Isla Taquile

**Figura 27**

*Área de estudio.*



Elaboración propia.

### 3.2 PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo durante una semana, abarcando un total de 7 días consecutivos durante el segundo trimestre del año 2023. Se llevó a cabo en intervalos de 15 minutos, siguiendo las directrices establecidas en la norma IEEE-519-2014 para una evaluación precisa de los armónicos, con el objetivo de realizar una comparación posterior con las normativas correspondientes.

### 3.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se trata de una investigación aplicada pues busca conocer, actuar el problema en función a cálculos, analizar los armónicos de tensión y corriente en el sistema de generación fotovoltaico de la isla Taquile. Con el objetivo de generar conocimiento de los problemas y el comportamiento del problema en un periodo dado para cumplir con las normas técnicas de calidad y mejorar en relación con los cambios.

### 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.4.1 Población.

La ejecución del proyecto impulsa el progreso socioeconómico de la región y favorece a 2645 residentes, distribuidos en 705 hogares y 24 instalaciones especiales, lo que suma un total de 729 conexiones de baja tensión.

**Tabla 8**

*Numero de Localidades y Población del Proyecto.*

PROYECTO	LOCALIDADES	POBLACIÓN BENEFICIADA	ABONADAS
"Electrificación de la isla Taquile, ubicada en el departamento puno"	24 localidades alimentados con 06 transformadores en MT	2645	729

Nota: Expediente de la obra.



### **3.4.2 Muestra.**

Siguiendo las normativas nacionales e internacionales en vigor, se realizará un proceso de muestreo en la central de mini-generación fotovoltaica conectada a la red en la isla Taquile, ubicada en la región de Puno. Se recolectarán datos en intervalos de 15 minutos durante un período de 7 días. Para garantizar la precisión en esta tarea, se implementará un equipo analizador de redes, un elemento esencial que impulsará el avance de la investigación.

## **3.5 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ISLA TAQUILE**

### **3.5.1 Sistema de generación fotovoltaico (SGFV).**

Por tanto, el sistema de generación de energía fotovoltaica se encuentra a una altitud 4000 msnm. Las potencias mencionadas siempre se refieren al nivel de altura mencionado. En este caso específico, el sistema está compuesto por 513 módulos fotovoltaicos (MFV) con una capacidad de 390 WP cada uno. En el Patio fotovoltaico Norte se instalaron 260 módulos fotovoltaicos y en el Patio Sur 253. Ambos Patios de generación Fotovoltaica se acopla en corriente alterna formando eléctricamente una central fotovoltaica de 200 kwp.

El Sistema de Generación Fotovoltaica está distribuida de la siguiente manera:

#### **3.5.1.1 SGFV Taquile Norte:**

- La capacidad instalada es de 101.4 kWp, con capacidad de transformar dc/ac de 100kW.
- 04 inversores DC/AC fueron instalados para producir una potencia de 100 kW a un voltaje de 380 voltios de corriente alterna (VCA) y una frecuencia de 60 hertzios (Hz).
- Cada inversor está conectado con 5 string (módulos fotovoltaicos conectado en serie), cada string está formado por 13 módulos

fotovoltaicos de 390 Wp conectado en serie, por simple multiplicación sería 65 MFV.

### 3.5.1.2 SGFV Taquile Sur:

- La capacidad instalada es de 98.67 kW<sub>p</sub>, con capacidad de transformar dc/ac de 100kW.
- 04 inversores DC/AC fueron instalados para producir una potencia de 100 kW a un voltaje de 380 voltios de corriente alterna (VCA) y una frecuencia de 60 hertzios (Hz).
- 03 inversores son alimentados cada uno por 5 string de 13 módulos fotovoltaicos por strings, mientras que el cuarto inversor es alimentado por 2 string de 14 módulos fotovoltaicos. Cada módulo fotovoltaico es de 390 Wp.

Como se ha mencionado anteriormente, la generación en ambos sistemas fotovoltaicos (SGFV) de Taquile Norte y Taquile Sur es modular, esto implica que los paneles solares están vinculados a los inversores de red. Cada sistema tiene 4 inversores, y cada uno de estos posee características de conexión eléctrica particulares.

**Tabla 9**

*Patio fotovoltaico Taquile Norte.*

Potencia nominal AC:	100 kW
Potencia nominal DC:	101.4 kW <sub>p</sub>
Máxima tensión de operación por inversor:	573.3 Vdc
Máxima tensión de circuito abierto por inversor:	687.7 Vdc
Corriente Máxima operación por inversor:	26.55 Adc
Corriente Máxima de circuito abierto por inversor:	35.44 amperios (Adc)
Sistema:	3Φ(trifásico) con neutro a tierra
Voltaje de salida en corriente alterna:	380 voltios de corriente alternan
Cantidad de inversores por patio:	04 unid.

Elaboración propia con la colaboración de ELPU y LIFASA.

**Tabla 10**

*Patio fotovoltaico Taquile Sur.*

Potencia nominal AC:	100 kW
Potencia nominal DC:	98.67 kWp
Máxima tensión de operación por inversor:	661.5 Vdc
Máxima tensión de circuito abierto por inversor:	793.5 Vdc
Corriente Máxima operación por inversor:	26.55 Adc
Corriente Máxima de circuito abierto por inversor:	35.44 amperios (Adc)
Sistema:	3 $\Phi$ (trifásico) con neutro a tierra
Voltaje de salida en corriente alterna:	380 voltios de corriente alternan
Cantidad de inversores por patio:	04 unid.

Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.

**Tabla 11**

*Ficha técnica de Modulo fotovoltaico.*

CARACTERÍSTICA GENERAL	
Tipo	monocristalino
Potencia máxima	390 Wp
Tolerancia	0/+5 Wp
Eficiencia mínima del modulo	0.189
Tensión mínima en Pmax	44.1 Vdc
Corriente mínima en Pmax	8.85 Amp
Tensión mínima en circuito abierto	52.9 Vdc
Corriente mínima de cortocircuito	9.45 Amp
Máxima tensión del sistema	1500 Vdc
Valor máximo del fusible en serie	18 Amp
Rango de temperaturas de funcionamiento	-40 hasta +85C°
Número mínimo de celdas	128 und
material del marco	Aluminio anodizado clase 2
Grado d protección mínima de la caja de conexiones	IP67
Certificaciones mínimas	IEC 61215 IEC 61730

Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.

**Tabla 12**

*Ficha técnica de Inversor trifásico.*

INVERSOR DE RED TRIFASICO	
Potencia de CC máx a $\cos \varphi=1$	25550W
Tensión de entrada máx	1000 V
Rango de Voltaje del MPP	390 - 800 V
Tensión entrada designado	600 V
Corriente de entrada máxima de entrada	33 A
Corriente de cortocircuito máxima por string	43 A
Potencia eléctrica nominal a 230 V, 60Hz	25.000 W
factor de potencia: fp	1%
frecuencia de red Ca/Rango: fca	60 Hz
Rango de temperaturas de funcionamiento	-25 hasta +60C°
Tipo de protección electrónica según IEC 60529	IP65

Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.

### 3.5.2 Sistema de Inversores Bidireccionales de Batería

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

La instalación de 576 baterías de Litio Fierro Fosfato (LiFePo<sub>4</sub>), distribuidos en 08 bancos con 72 baterías cada banco, conectadas en paralelo, con una tensión nominal de 48 Vdc y una capacidad útil de 108KWh cada banco (Total 864 kWh).

Lo cual los inversores bidireccionales son responsables de configurar los valores de voltaje y frecuencia en la red eléctrica. Esto se aplica específicamente al bus de corriente alterna (AC), que opera en un sistema trifásico se agrupan de tres en tres para crear la red. El sistema de inversores bidireccionales para acumulación de energía en la Isla Taquile estará compuesto por 08 conjuntos, y cada uno de estos conjuntos de inversores bidireccionales contará con características específicas de conexión eléctrica.

### 3.5.2.1 Inversores Bidireccionales

Los inversores están encargados de fijar los valores de voltaje y frecuencia para crear la red eléctrica. Al tratarse de una Red trifásica, se agrupan 3 Inversores Bidireccionales formando un “Cluster” con las siguientes características 380 V, 60 Hz y una potencia de 18 kW. Todo el sistema está compuesto por 8 cluster para lograr una potencia de 144 kW.

Se dispone de 4 cluster en Taquile Norte y 4 Cluster en Taquile Sur.

**Tabla 13**

*Sistema de inversores bidireccionales para batería.*

Potencia continua AC:	18 kilovatios (kW)
Potencia AC durante 1/2 hora:	24 kilovatios (kW)
Tensión nominal DC:	48 Vdc
Sistema:	3 $\Phi$ (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:	8
Potencia AC del sistema:	144 kilovatios (kW) (Continua) 192 kilovatios (kW) (Media hora)
Tensión salida del sistema:	380 Vac (3 $\emptyset$ )

Elaboración propia con la colaboración de ELPU y LIFASA.

### 3.5.2.2 Baterías de Litio Fierro Fosfato (LiFePO<sub>4</sub>)

Se utilizaron las baterías conformando bancos con 72 unidades conectadas en paralelo, logrando una capacidad de 108 kWh por banco a una tensión de 48 Vdc nominales. Cada unidad de batería tiene una capacidad de 1.5 kWh y 48 Vdc nominales, el número de ciclos es de 6000 a una profundidad de descarga (DOD) del 95%, esta es la característica principal de la tecnología de batería empleada.

**Tabla 14***Baterías.*

Tensión nominal	48 Vdc
Unid en paralelo:	72 unid.
Capacidad de banco:	108 kWh
Tecnología:	Litio Fierro Fosfato LiFePO4
Número de bancos del sistema:	08 bancos
Capacidad total del sistema:	864 kWh

Elaboración propia con la colaboración de ELPU y LIFASA.

### 3.5.3 Sistema de Distribución y Transferencia

El sistema se encarga de establecer una conexión con el bus de corriente alterna (AC) y está equipado con puntos de entrada para sistemas de generación solar, generación térmica e inversores bidireccionales. Además, dispone de una salida hacia la red de cargas. A continuación, se detallan las especificaciones eléctricas de conexión:

**Tabla 15***Distribución y Transferencia.*

Sistema:	3 $\Phi$ (trifásico) con neutro a tierra
Tensión de conexión:	380 voltios de corriente alternan Vac
Frecuencia de conexión:	60 hertzios Hz

Elaboración propia con la colaboración de ELPU y LIFASA.

#### 3.5.3.1 Transformadores Elevadores de Aislamiento

Este sistema facilita la conexión de los sistemas descritos al bus de corriente alterna (AC) de la Red media tensión en la Isla Taquile.

**Tabla 16***Características del transformador de potencia Taquile Norte.*

Sistema:	3 $\Phi$ (trifásico) con neutro a tierra
Potencia de transformación:	125 kVA
Tensión de transformación:	22,9/0,40-0,23 kV

Elaboración propia con la colaboración de ELPU y LIFASA.

### Tabla 17

*Características del transformador de potencia Taquile Sur.*

Sistema:	3 $\Phi$ (trifásico) con neutro a tierra
Potencia de transformación:	175 kVA
Tensión de transformación:	22,9/0,40-0,23 kV

Elaboración propia con la colaboración de ELPU y LIFASA.

#### 3.5.4 Sistema de Generación Térmico

La instalación de grupo actúa únicamente como una fuente de respaldo de energía. Como parte de su operación, el grupo se encenderá obligatoriamente durante una hora continua cada semana, y además se activará cuando haya una escasez de energía.

### Tabla 18

*Grupo electrógeno.*

Sistema:	3 $\Phi$ (trifásico) con neutro a tierra
Potencia de generación:	150 kW a 4100 m.s.n.m.
Tensión de salida:	380 Vac

Elaboración propia con la colaboración de ELPU y LIFASA.

## 3.6 DISEÑO ESTADÍSTICO.

Se trata de una investigación aplicada pues busca conocer, actuar el problema en función a cálculos, analizar las distorsiones armónicas en la tensión y la corriente del sistema de generación fotovoltaico en la Isla Taquile. Con el objetivo de generar conocimiento de los problemas y el comportamiento del problema en un periodo dado. Con el objetivo de cumplir con las normativas de calidad técnicas y mejorar en relación a los cambios.

### 3.6.1 Diseño de investigación

La investigación debe definir métodos de recopilación de datos para crear o seleccionar herramientas para obtener datos sobre el tema de investigación. Los métodos de recopilación de datos organizan la investigación para obtener nuevos

conocimientos. Por ejemplo, organizar las etapas de investigación, desarrollar instrumentos de medición, realizar el control de datos y gestionar la adquisición de conocimientos. (Montes, 2014).

Utilizaremos las aplicaciones Power View 3.0 y ETAP 20.0 para llevar a cabo la investigación.

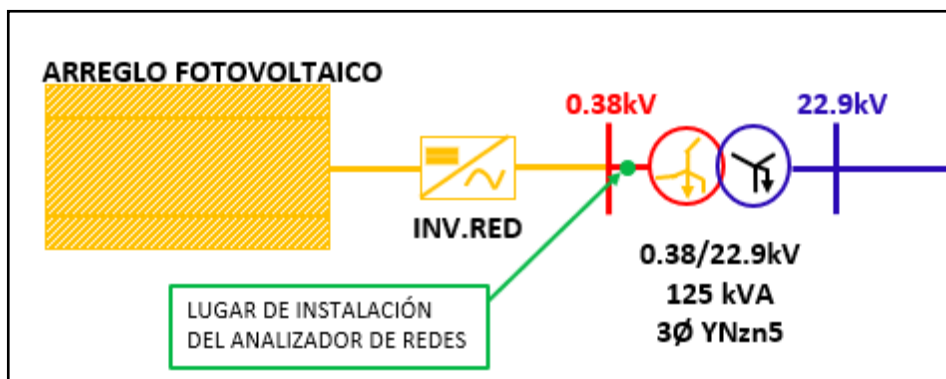
### 3.7 PROCEDIMIENTO

Para llevar a cabo el estudio de investigación, se implementó un equipo de analizador de redes con el objetivo de recolectar datos en el sistema de generación fotovoltaica de la isla Taquile del departamento de Puno. Lugares de la instalación del equipo en la isla Taquile.

- **Patio Fotovoltaico Taquile Norte.**

#### Figura 28

*Ubicación instalada del analizador de redes (Sistema de Generación Fotovoltaica) de Taquile Norte.*



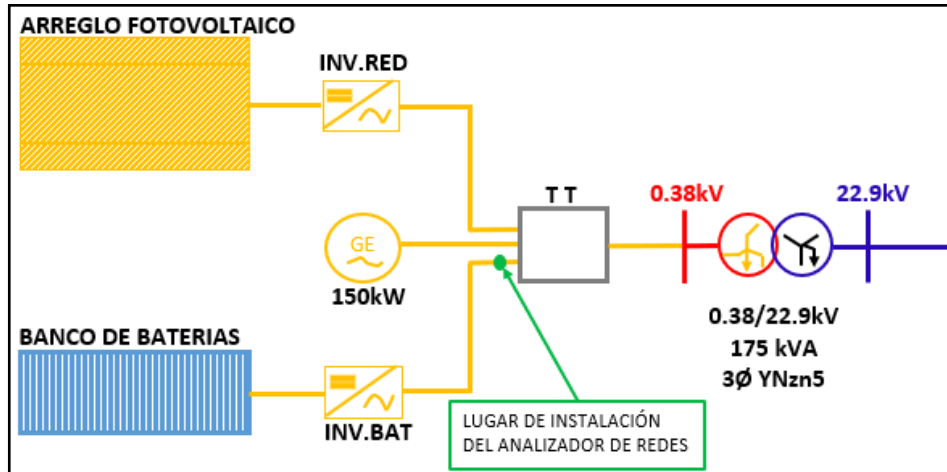
Elaboración propia.



- **Patio Fotovoltaico Taquile Sur.**

**Figura 29**

*Ubicación instalada del analizador de redes (Sistema de Generación Fotovoltaica) de Taquile Sur.*



Elaboración propia.

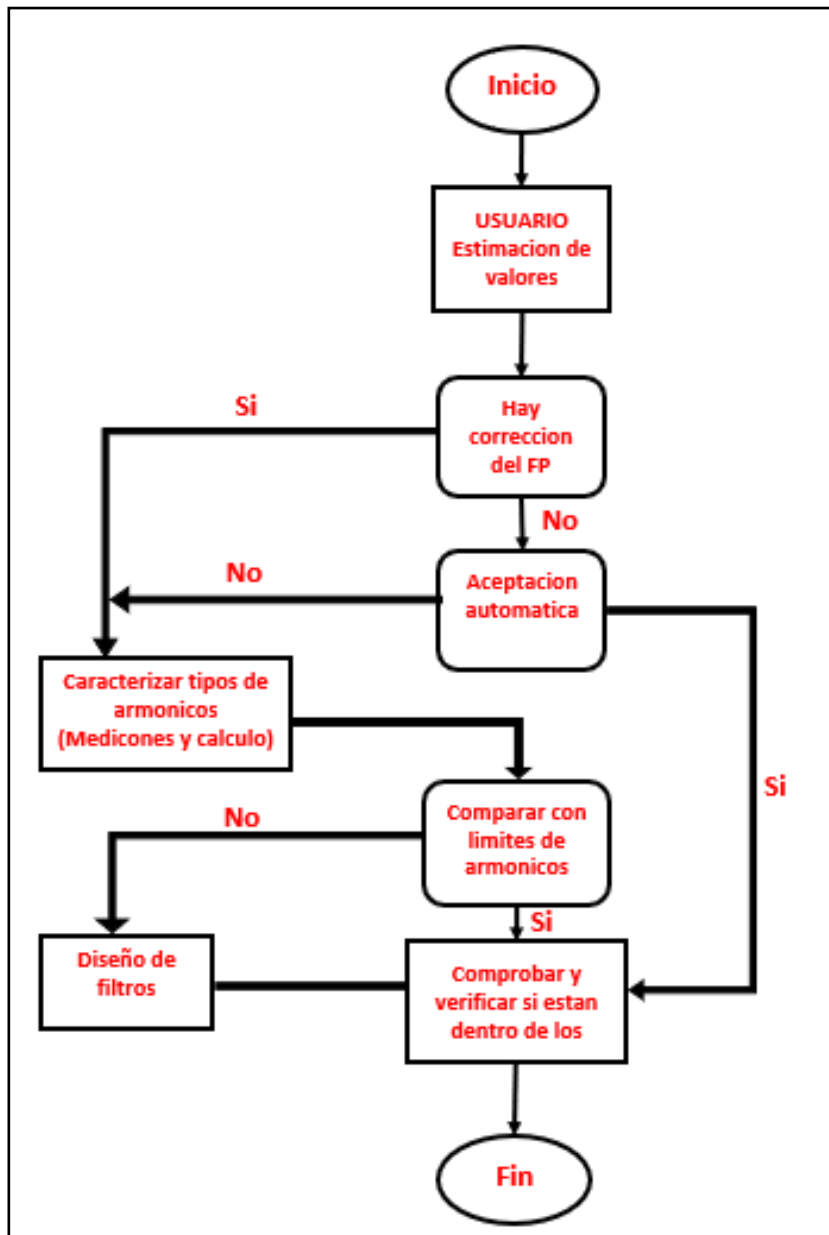
### 3.7.1 Planificación

#### 3.7.1.1 Detalles del proceso de recopilación de datos

Con el propósito de adquirir los datos necesarios y llevar a cabo el algoritmo, se procederá a seguir los pasos señalados en el diagrama de flujo:

**Figura 30**

*Método del diagrama.*



Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.

### 3.7.1.2 Información sobre el método procesamiento de datos

Para poder conocer los datos de los armónicos de tensión y corriente del sistema Fotovoltaico de la Isla Taquile, realizar las mediciones se utilizó el analizador de redes. Instrumento PowerQ4plus (Metrel). (METREL, 2011).

**Figura 31**

*Instrumento PowerQ4 Plus.*



Nota: METREL,2011.

### 3.7.2 Información del Instrumento PowerQ4 Plus

PowerQ4 Plus es un instrumento multifunción portátil para el análisis de la calidad de la energía y las mediciones de eficiencia energética, también PowerView v3.0 es un software informático de acompañamiento que ofrece el modo más fácil para descargar, visualizar y analizar los datos medidos, o para imprimirlos.



- El analizador PowerView v3.0 es una herramienta que ofrece una interfaz sencilla y fácil de usar para descargar y analizar datos de instrumentos. Su interfaz está diseñada de manera intuitiva y descriptiva, lo que facilita la selección de datos mediante una estructura de visualización tipo árbol, comparable a la del Explorador de Windows. Esto permite una descarga rápida y sencilla de los datos del instrumento, así como un análisis eficiente.
- Para evaluar la información registrada por el analizador de redes en el Sistema de Generación Fotovoltaica (SGFV), se empleará el software ETAP. Este software permitirá realizar un procesamiento eficiente de los datos, lo cual facilitará su análisis y comprensión. El uso del software ETAP brindará herramientas y funcionalidades específicas para llevar a cabo un análisis detallado de la información adquirida del analizador de redes en el Sistema de Generación Fotovoltaica (SGFV).

### **3.7.2.1 Medición**

Las evaluaciones de calidad de energía son análisis detallados que pueden prolongarse durante varios días y, en su mayoría, se realizan en un único evento. Por lo general, se llevan a cabo grabaciones con el propósito de realizar un análisis estadístico en puntos específicos de la red. Estas mediciones son de gran importancia para evaluar y monitorear la calidad del suministro de energía en un sistema determinado.

### **3.7.2.2 Conexión a redes de baja tensión (BT)**

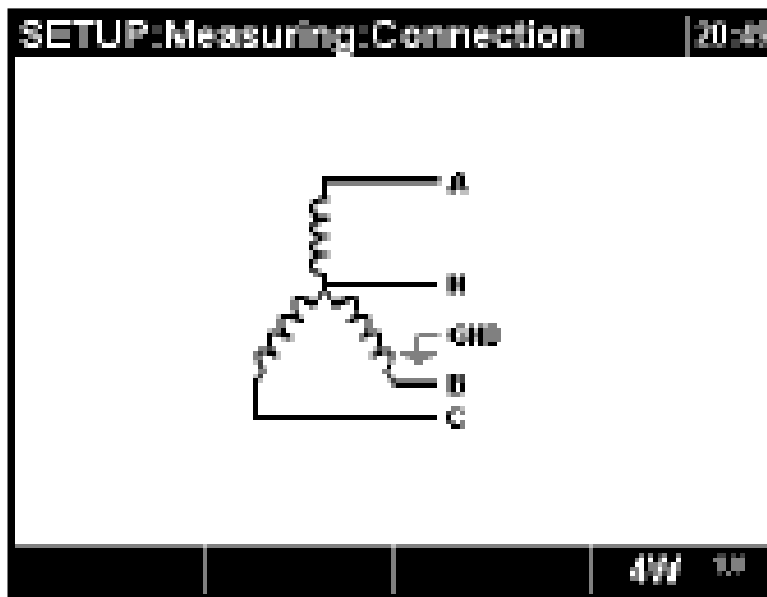
Es fundamental verificar cuidadosamente las conexiones de corriente y tensión al configurar el instrumento. Específicamente, se deben observar las siguientes instrucciones para los transformadores de corriente

de pinza: la flecha marcada en el transformador debe indicar la dirección del flujo de corriente, desde la fuente de alimentación hacia la carga. Si el transformador de corriente se conecta de manera incorrecta, la potencia medida en esa fase suele mostrar un valor negativo.

La selección del esquema de conexión del equipo.

### Figura 32

*Elección de un sistema de 4 hilos trifásico en el instrumento.*

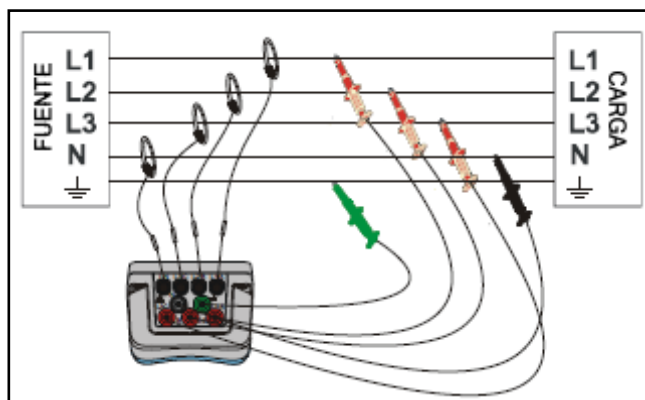


Nota: METREL,2011.

El instrumento se debe conectar a la red según la siguiente figura:

### Figura 33

*Sistema trifásico de 4 hilos.*



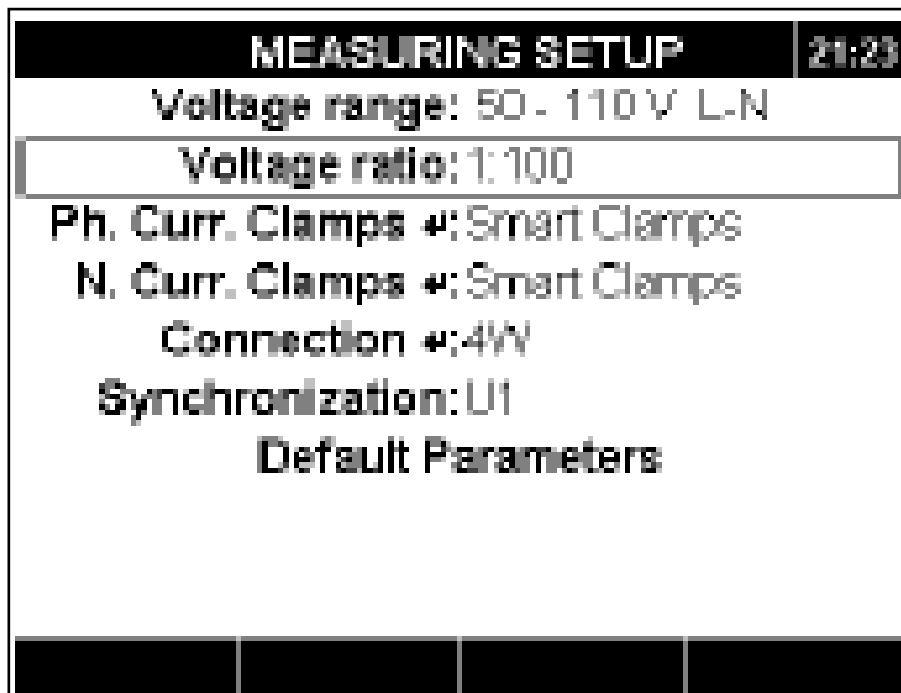
Nota: METREL,2011.

### 3.7.2.3 Conexión a redes de media tensión (MT) o alta tensión (AT)

En los sistemas en los que la tensión se mide en el lado secundario de un transformador de tensión (por ejemplo 11 kV / 110 V), la escala de tensión del instrumento se debe fijar como 50÷110V y se debe introducir el factor de escala de la relación de ese transformador de tensión con el fin de garantizar que las mediciones sean correctas. Los ajustes específicos para este ejemplo en particular se muestran en la siguiente figura.

**Figura 34**

*Representa la relación de tensión correspondiente al ejemplo del transformador con una relación de 11kV/110kV.*

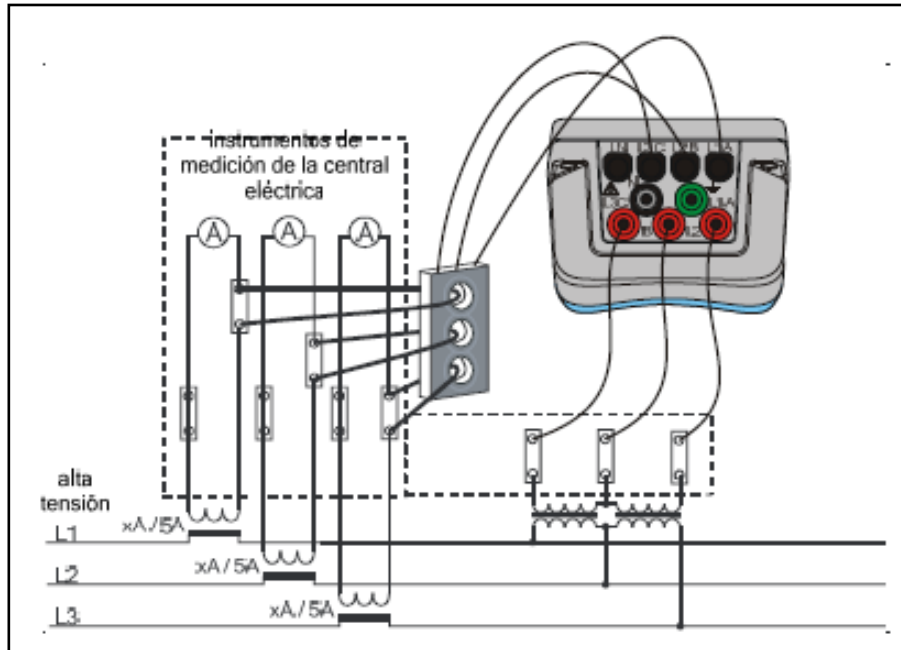


Nota: METREL,2011.

El instrumento debe ser conectado a la red siguiendo las indicaciones ilustradas en la figura adjunta.

### Figura 35

*Forma en que el instrumento se conecta a los transformadores de tensión que ya están instalados en una red de media tensión*



Nota: METREL,2011.

## 3.8 METODO DE MEDICIONES

### 3.8.1 Análisis de Fourier

El teorema de Fourier afirma que cualquier forma de onda periódica que no sea sinusoidal puede ser expresada como la suma de múltiples ondas sinusoidales utilizando la serie de Fourier, bajo ciertas condiciones.

Con la siguiente condición:

$$Y = F(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \text{sen}(nx) + B_n \text{cos}(nx)] \dots \dots \dots (12)$$

En lo cual:



$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(x) dx \dots \dots \dots (13)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x) \text{sen}(nx) dx \dots \dots \dots (14)$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(x) \text{cos}(nx) dx \dots \dots \dots (15)$$

$$[A_n \text{sen}(nx) + B_n \text{cos}(nx)] = R_n \text{sen}(nx + \Phi_n) \dots \dots \dots (16)$$

$$R_n = \sqrt{[A_n^2 + B_n^2]} \dots \dots \dots (17)$$

$$\Phi_n = \text{tan}^{-1} \left( \frac{B_n}{A_n} \right) \dots \dots \dots (18)$$

### 3.8.2 Índices para la medición de armónicos

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

$$D_i = \frac{I_i}{I_n} \times 100 \dots \dots \dots (19)$$

Donde:

Di: Distorsión armónica individual de corriente.

Ii: Corriente de cada armónico.

In: Corriente nominal del alimentador.

- Los índices de distorsión armónica total se definen como:

$$THD_I = \frac{1}{I_L} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (I_i)^2} \times 100\% \dots \dots \dots (20)$$

- Los índices de distorsión de demanda total, solo para corrientes:



$$TDD = \frac{1}{I_d} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (I_t)^2} \times 100\% \dots \dots \dots (21)$$

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

$$D_V = \frac{V_I}{V_n} \times 100\% \dots \dots \dots (22)$$

Donde:

DV: Se refiere a la distorsión armónica individual de tensión.

Vi: Representa la tensión de cada armónico.

Vn: Corresponde a la tensión nominal del alimentador.

- La evaluación del índice de distorsión armónica total de tensión:

$$THD_V = \frac{1}{V_n} \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} (V_i)^2} \times 100\% \dots \dots \dots (23)$$

- El factor de potencia con armónicos, también conocido como factor de potencia de desplazamiento, se puede definir mediante la siguiente fórmula.

$$fp = \frac{P}{S} = \frac{\sqrt{3}V_1 I_1 \cos\phi}{\sqrt{3}V_{rms} I_{rms}} = \frac{\sqrt{3}V_1 I_1 \cos\phi}{\sqrt{3}V_1 I_1 \sqrt{(THD_V)^2 + 1} \sqrt{(THD_I)^2 + 1}} \dots \dots \dots (24)$$

- Los valores eficaces de tensión y corriente se definen como:

$$V_{rms} = V_1 \sqrt{(THD_V)^2 + 1} \dots \dots \dots (25)$$

$$I_{rms} = I_1 \sqrt{(THD_I)^2 + 1} \dots \dots \dots (26)$$



Donde:

Vrms: Magnitud eficaz de la tensión

Irms: Magnitud eficaz de la corriente

- Por consiguiente, se calcula el factor de potencia total:

$$fpT = fpdes \times fpdis \dots \dots \dots (27)$$

Donde:

fpT : Factor de potencia total

fpdesp: Factor de potencia de desplazamiento en ausencia de armónicos

fpdist : Factor de potencia de distribución en ausencia de armónicos

### 3.8.3 Filtrado de Componentes Armónicas.

Cuando la medida preventiva mencionada anteriormente no sea suficiente, es necesario instalar sistemas de filtrado en la instalación. Un filtro de armónicos es un dispositivo electrónico diseñado para reducir o eliminar las distorsiones armónicas que puedan estar presentes en la corriente eléctrica de una instalación. Estos filtros mantienen la calidad de la energía y evitan problemas como el sobrecalentamiento del motor, fallas electrónicas sensibles, pérdidas de energía y un mayor consumo de energía. Los filtros de armónicos pueden ser pasivos, activos e híbridos, y su finalidad es limitar la presencia de armónicos en la red eléctrica y así proteger los equipos instalados.

### 3.8.4 Filtros pasivos

Los inductores y capacitores conectados en un circuito resonante son los componentes principales de un filtro pasivo. Estos componentes se ajustan a las frecuencias armónicas específicas que se desean eliminar. El dispositivo se instala

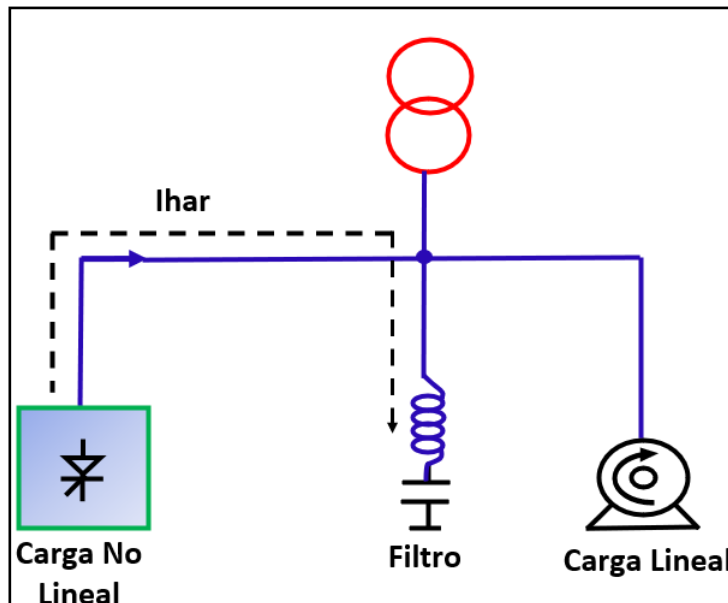


en paralelo con el generador de armónicos y su función es absorber las corrientes armónicas, evitando que se propaguen por el circuito. Este equipo puede contener múltiples dispositivos diseñados para eliminar los armónicos en una secuencia específica. En la mayoría de los casos, su desempeño es satisfactorio, pero la tecnología solo puede reducir parcialmente las corrientes armónicas. La operación está restringida a un número limitado de pedidos. Ejemplo típico de aplicación incluyen:

- El compensador activo es un dispositivo electrónico de potencia utilizado en instalaciones industriales con diversas cargas no lineales que superan los 200 kVA, como los variadores de velocidad, sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) y rectificadores. Su objetivo principal es corregir el factor de potencia en estas instalaciones. También se utiliza en instalaciones donde es necesario reducir la distorsión de tensión para evitar interferencias con cargas sensibles y en instalaciones donde es necesario reducir la distorsión de corriente para evitar perturbaciones en el sistema eléctrico.

**Figura 36**

*Comportamiento principal de un filtro pasivo.*



Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.

### 3.8.5 Filtros activos (compensador activo de armónicos)

El compensador activo es un dispositivo electrónico de potencia que opera mediante un sistema de control digital. Utiliza sensores de corriente para evaluar la corriente de carga en la línea. A través de un circuito de control digital, se determina el valor de la corriente armónica ( $I_{har}$ ) basándose en estas corrientes de carga. generando una señal de orden correspondiente en la fuente de alimentación. El bloque de potencia produce una corriente opuesta a la corriente armónica de la carga, lo que resulta en una corriente resultante ( $I_s$ ) con un contenido de corriente armónica muy bajo. La reducción de la corriente armónica puede variar entre 10 y 20, dependiendo del tipo de carga y de la capacidad actual del compensador.

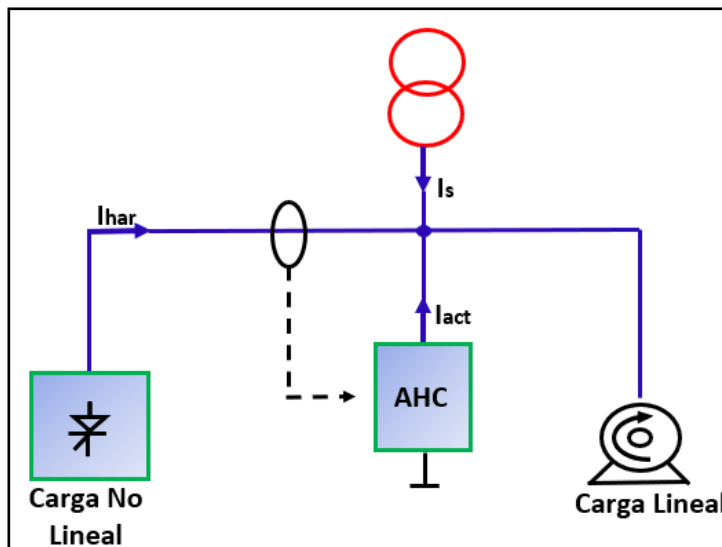
Ejemplo típico de aplicación incluyen:

- El compensador activo es un dispositivo electrónico de potencia controlado digitalmente que se utiliza en instalaciones comerciales con varias cargas no lineales de menos de 200 kVA, como variadores de velocidad, sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) y equipos de

oficina. Además, se utiliza en instalaciones donde es necesario reducir la distorsión de corriente para evitar sobrecargas en el sistema eléctrico.

**Figura 37**

*Comportamiento principal de un filtro activo.*



Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.

### 3.8.6 Filtros híbridos

Con el objetivo de ampliar las aplicaciones y mejorar las capacidades de los filtros pasivos y compensadores activos, se han desarrollado enfoques innovadores que permiten combinar eficientemente ambas tecnologías. en un único dispositivo conocido como filtros híbridos.

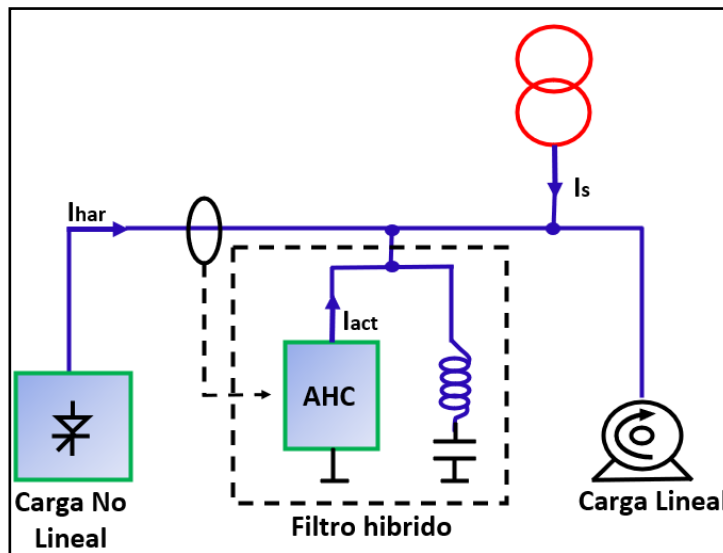
Ejemplo típico de aplicación incluyen:

- Instalaciones industriales que cuentan con múltiples cargas no lineales que tienen una capacidad superior a 200 kVA, tales como variadores de velocidad, sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI), rectificadores, entre otros. Estas instalaciones requieren de la corrección del factor de potencia.

- Instalaciones donde es necesario disminuir la distorsión de tensión para prevenir interferencias en dispositivos sensibles.
- En instalaciones donde es crucial disminuir la distorsión de tensión para evitar problemas en cargas delicadas.
- En áreas donde es necesario disminuir la distorsión de tensión para evitar interferencias en las cargas sensibles.

**Figura 38**

*Comportamiento principal de un filtro híbrido.*



Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.

### 3.9 VARIABLES

#### 3.7.1. Variable independiente

**Tabla 19**

*Variable independiente*

VARIABLES	DIMENSIONES	UND
Independiente	A. Tensión B. Corriente	(V) (A)

Elaboración propia.

### 3.7.2. Variable de dependiente

**Tabla 20**

*Variable dependiente*

VARIABLES	DIMENSIONES	UND
Dependiente	A. Distorsión armónica total de voltaje (THDV) y distorsión armónica total de corriente (THDI)	(%)
	B. Factor de potencia	(W/VA)

Elaboración propia.

## 3.10 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 3.10.1 Técnica

La investigación planteó una estrategia de análisis de datos con el fin de utilizar la estadística inferencial. El objetivo principal de esta técnica consiste en “generalizar los resultados obtenidos en la población muestra. Los datos recogidos en la muestra se convierten en estadísticos, y a la estadística inferencial, los convertimos en parámetros de la población” (Montes, 2014).

### 3.10.2 Instrumento de recolección de datos

Asegurando el adecuado avance de la investigación y la recopilación precisa de información, fue esencial establecer una estructura coherente con los objetivos fundamentales del proyecto. Los analizadores de red jugaron un papel crucial como los principales instrumentos para recabar los datos necesarios. La medición del tiempo resultó fundamental para obtener datos precisos y llevar a cabo un análisis detallado. Los datos recolectados mediante los analizadores de red se extrajeron utilizando el software Metrel PowerView. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis utilizando el software ETAP 20.0 para evaluar el desempeño del SFCR de acuerdo con las normativas nacionales e internacionales de calidad de energía, las cuales establecen límites para el THD y el factor de potencia. Basándose en estos resultados, se propusieron alternativas de solución.

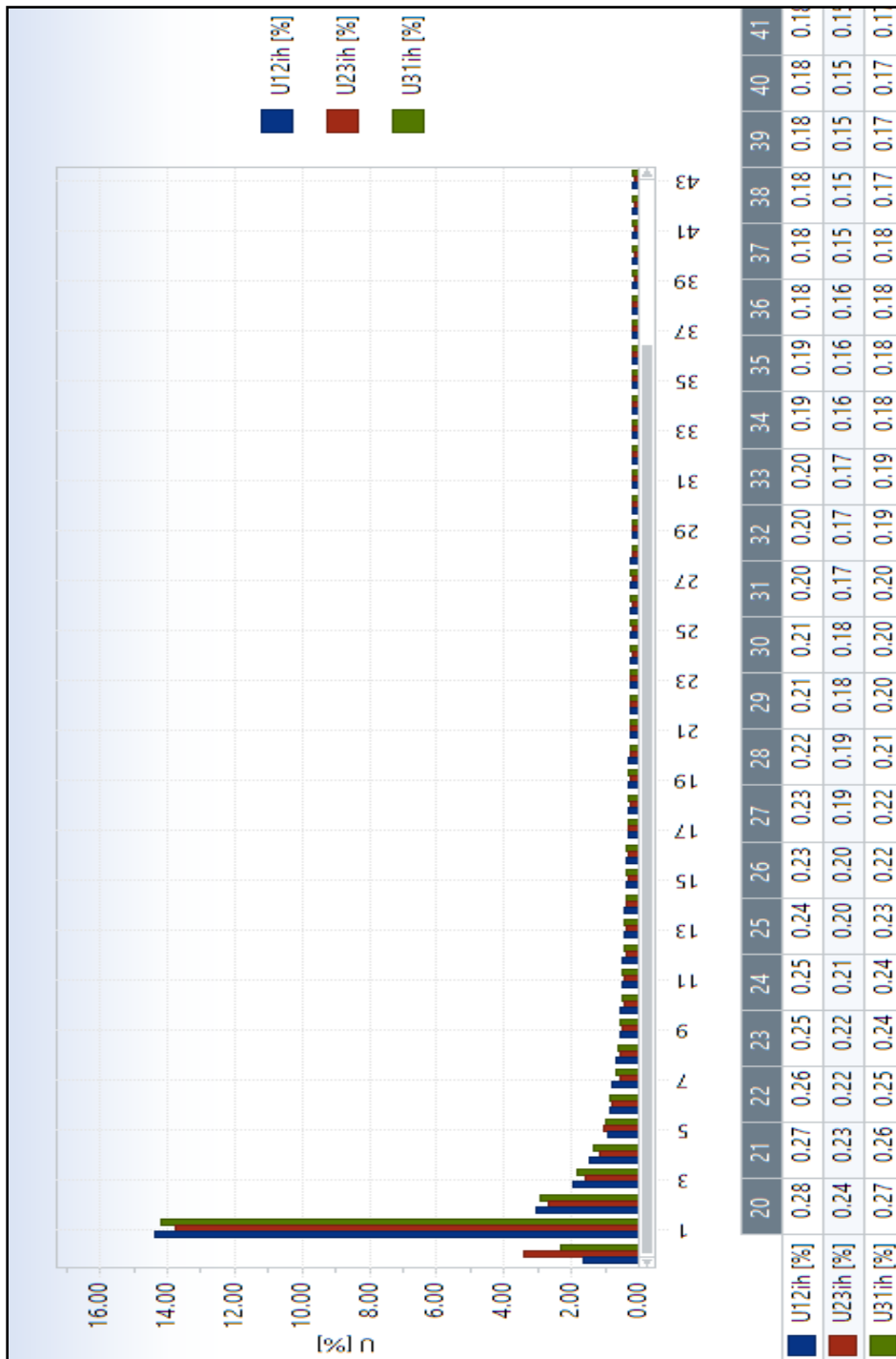
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS DE ESPECTROS DE ARMONICOS:

**Figura 39**

*Armonicos de tension del sistema fotovoltaico (THD 10.81 %).*

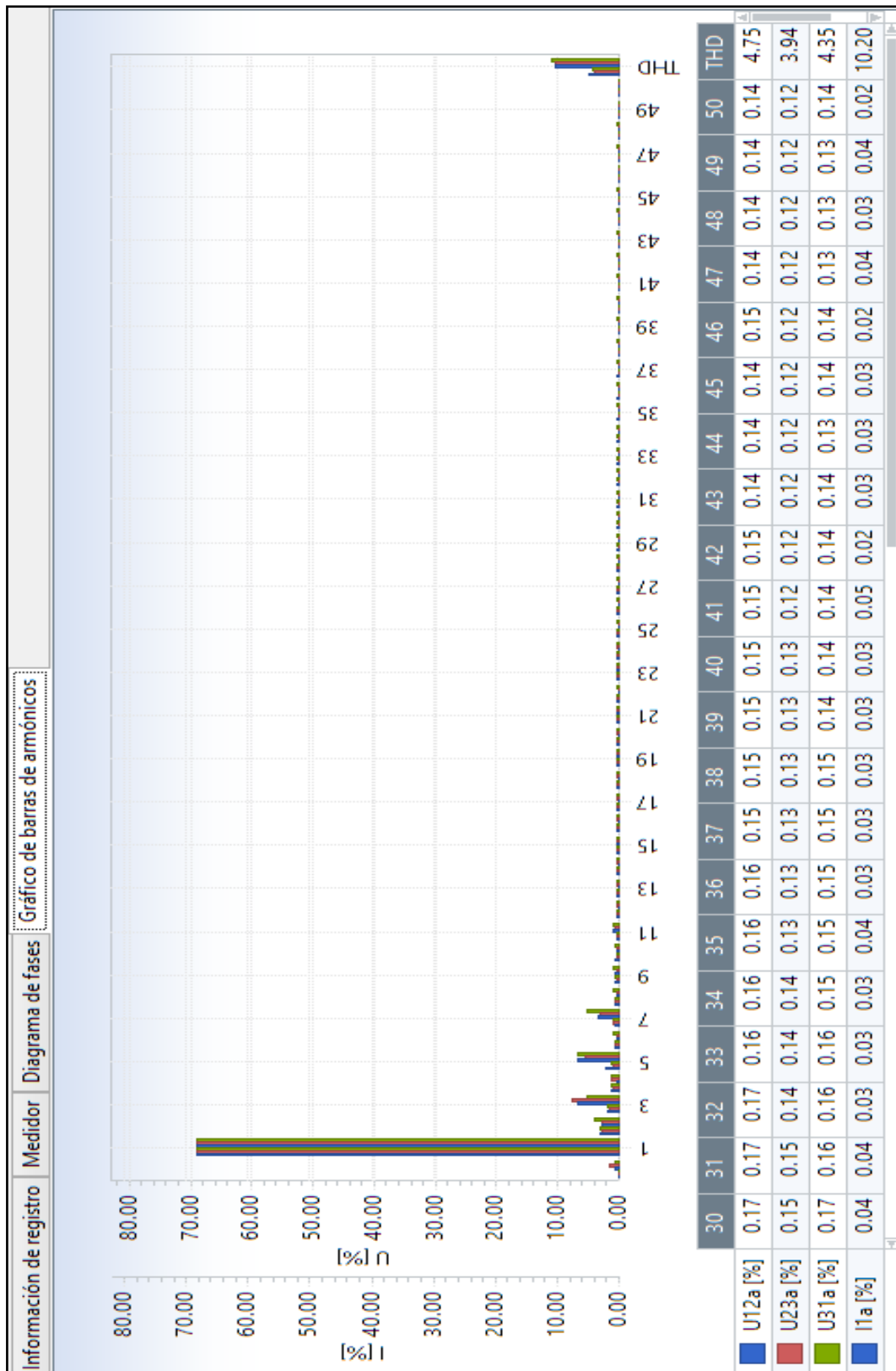


Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.



**Figura 40**

*Armonico de corriente del sistema fotovoltaico (4.75 %).*

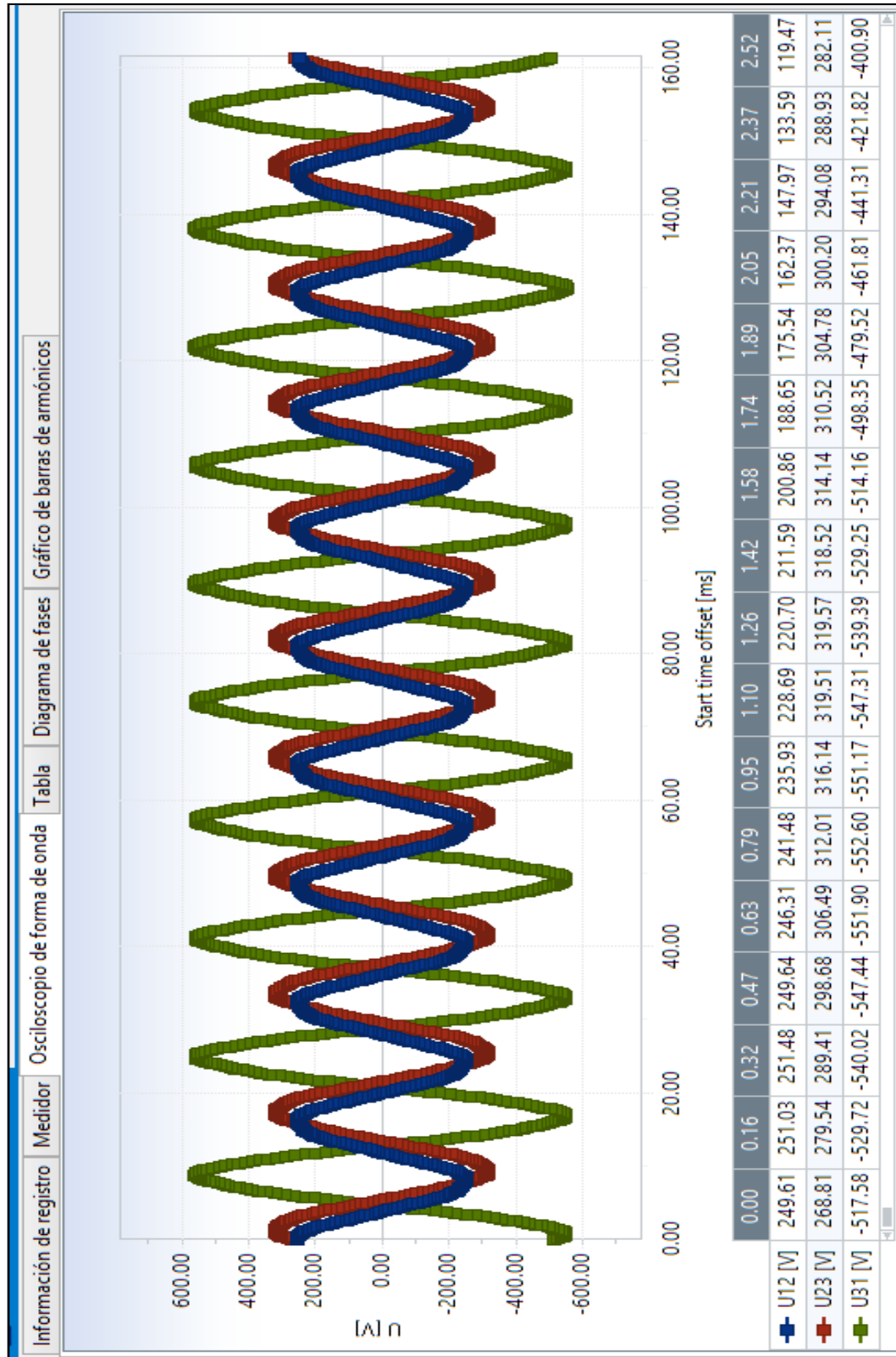


Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.

## 4.2 RESULTADOS DE VARIACION DE TENSION Y CORRIENTE

**Figura 41**

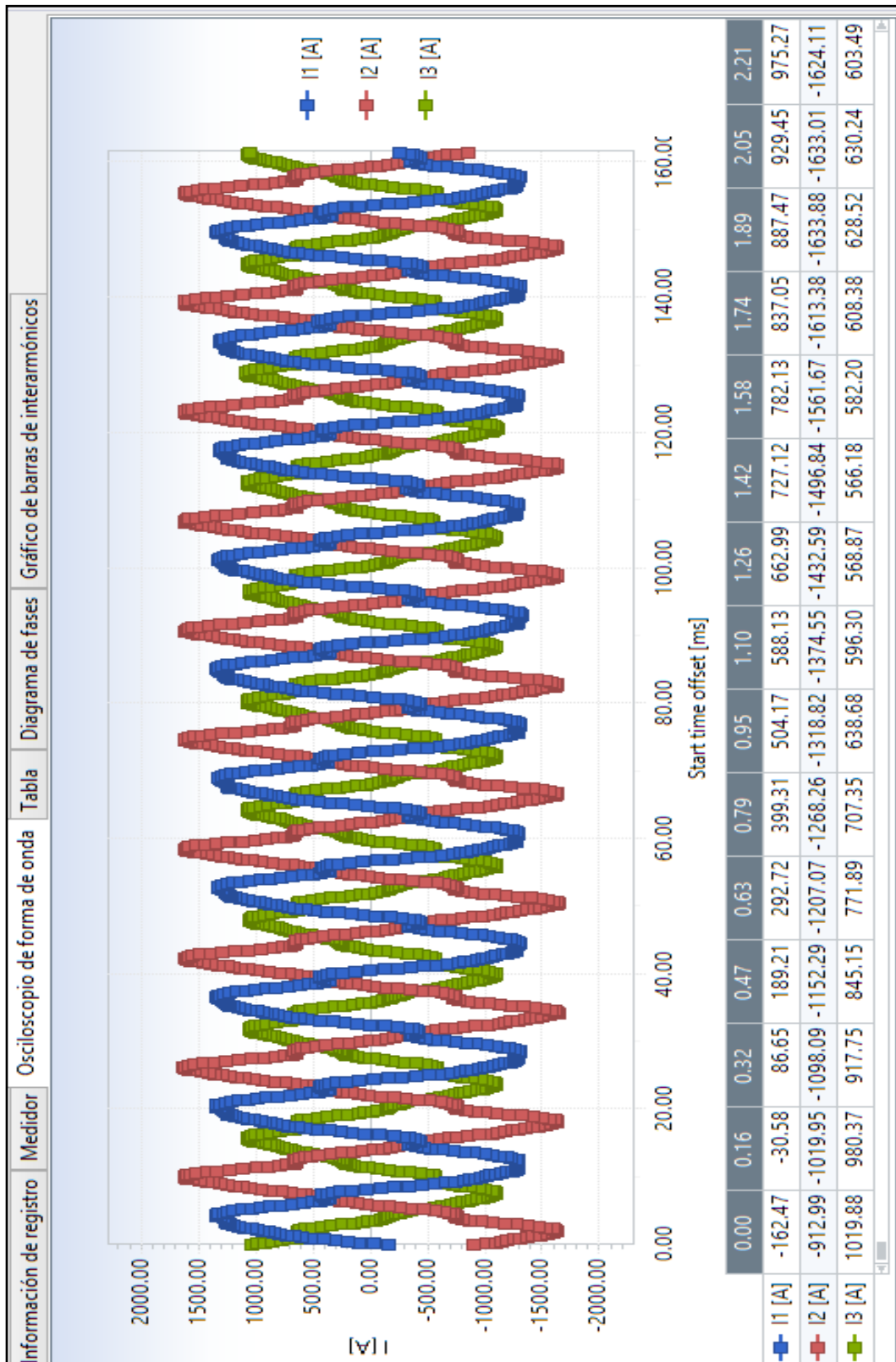
*Variacion de la tension del sistema fotovoltaico.*



Elaboración propia con la colaboración de ELPU y LIFASA.

**Figura 42**

*Variación de la corriente del sistema fotovoltaico.*

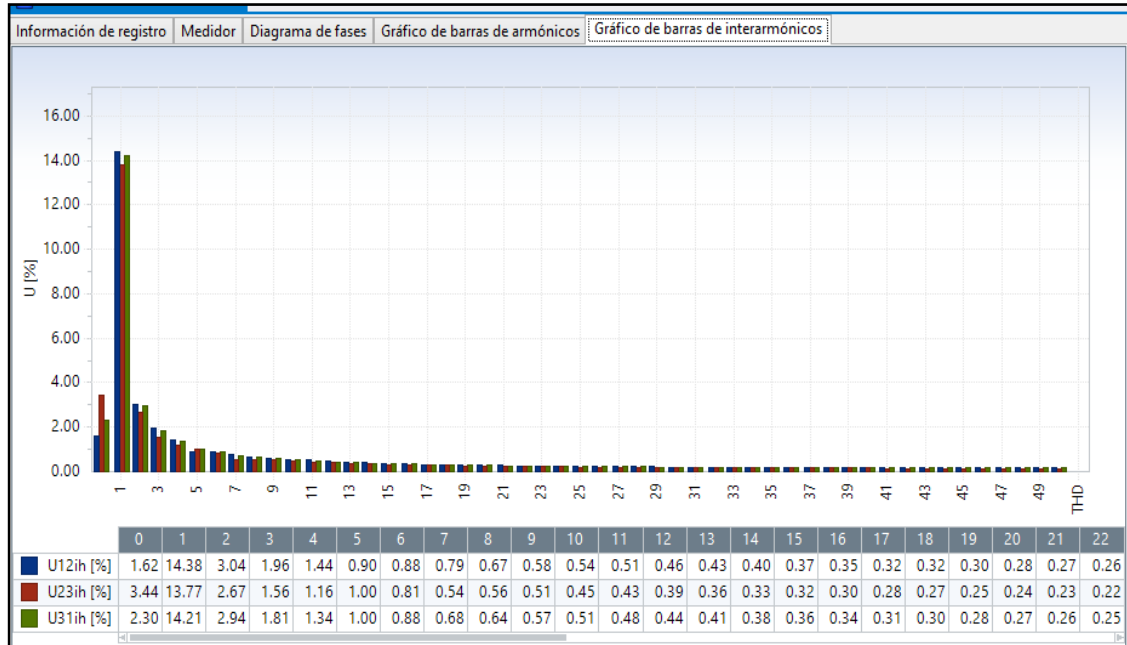


Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.

### 4.3 RESULTADOS DE ESPECTRO DE INTERARMONICOS:

**Figura 43**

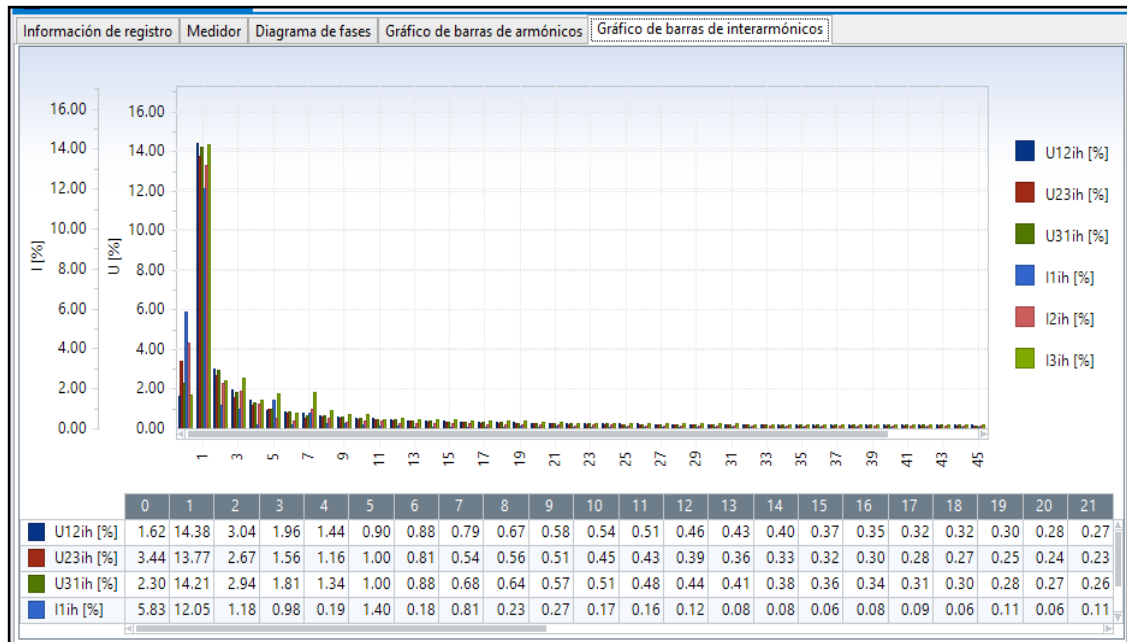
*Interarmónicos de tensión (14.38 %).*



Elaboración propia con la colaboración de ELPU y LIFASA.

**Figura 44**

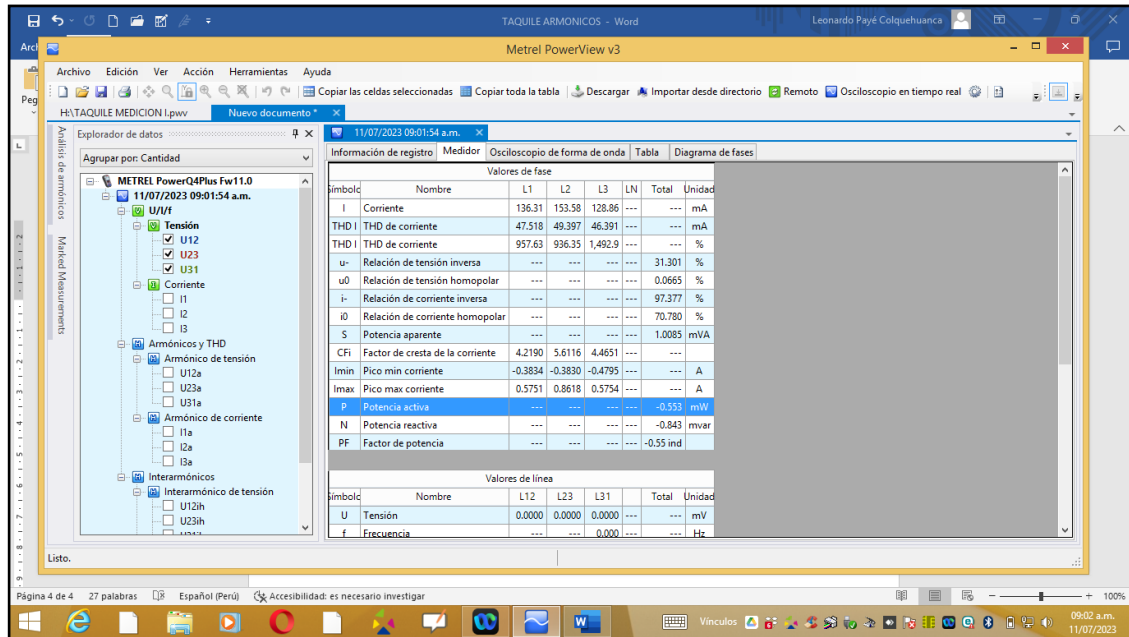
*Interarmónicos de corriente y tensión.*



Elaboración propia con la colaboración de ELPU y LIFASA.

**Figura 45**

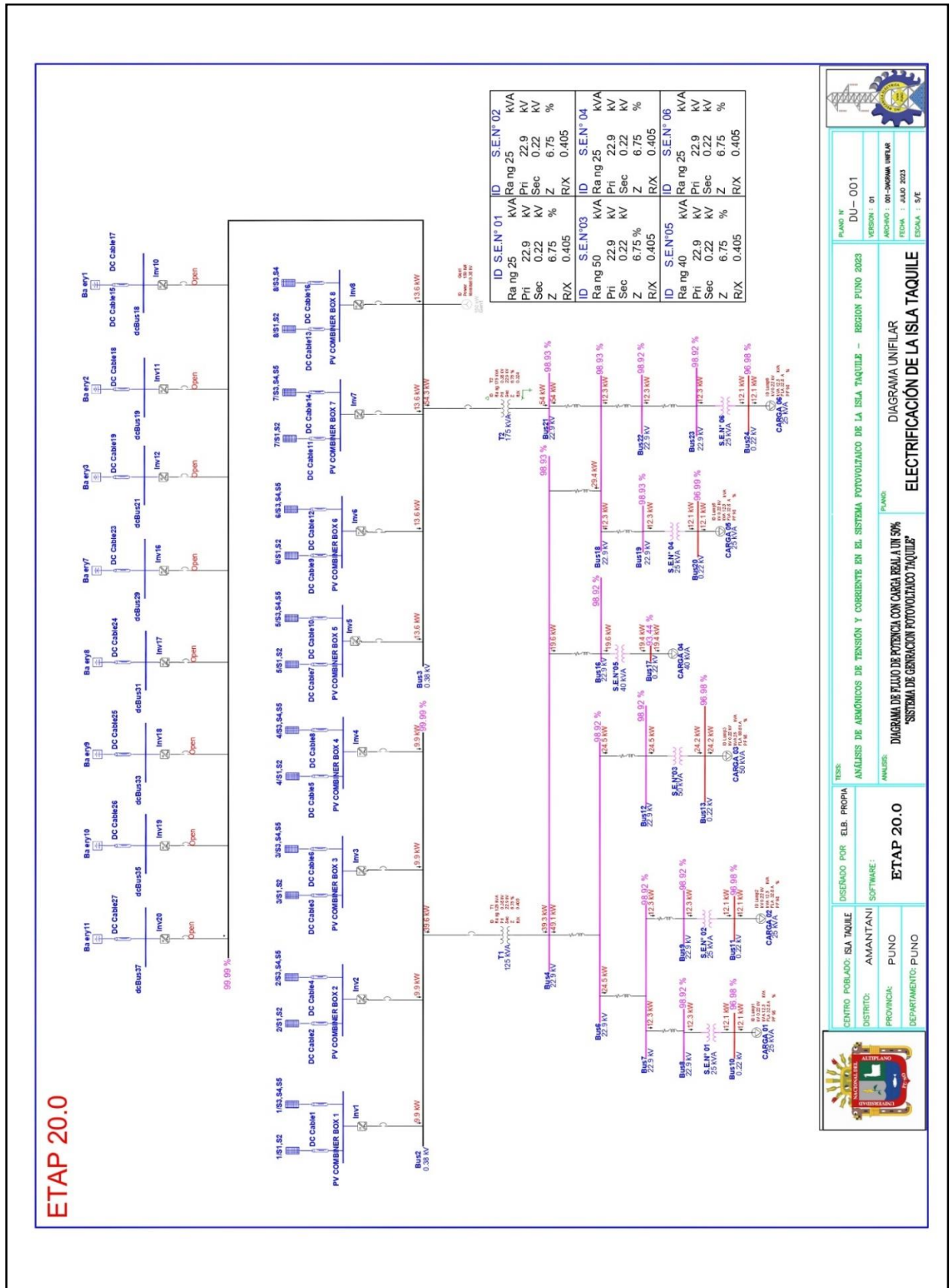
*Factor de potencia (0.55 inductivo).*



Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.

Figura 46

Diagrama de flujo de potencia con carga real a un 50%.



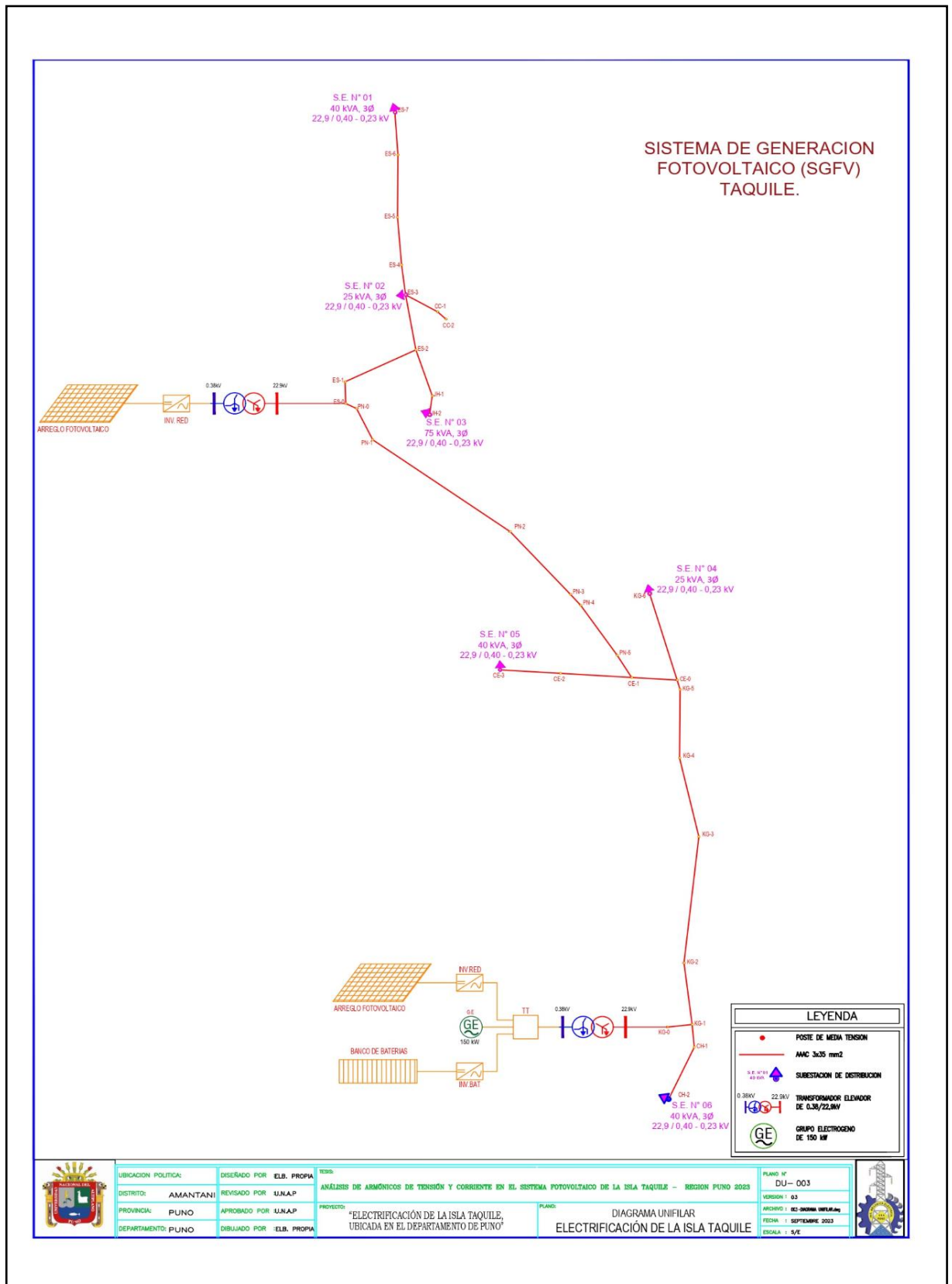
Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.





**Figura 48**

*Diagrama Unifilar del sistema fotovoltaico de la Isla Taquile.*



Elaboración propia con la colaboración de ELPY y LIFASA.





#### 4.4 DETERMINACIÓN DEL FILTRO:

$$F_{sis} = 60 \text{ Hz}$$

$$kV = 0.23 \text{ kV}$$

Base al análisis del flujo, se calcula la potencia del banco.

$$Q_c = 0.171 \text{ MVar}$$

Determinamos  $X_c$  utilizando la potencia del banco como referencia.

$$X_c = \frac{kV^2}{Q_c} = 0.309356725 \text{ Ohm}$$

Seleccionamos la frecuencia de la armónica.

$$h = 5$$

Determinamos el valor de la reactancia basándonos en la orden del armónico.

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} = 0.012374269 \text{ Ohm}$$

Definimos

$$X_h = \sqrt{X_L X_c} = 0.061871345$$

El factor de calidad es un valor que se encuentra en un rango entre  $30 \leq QF \leq 100$  “El factor de calidad es la habilidad del filtro de disipar la energía adsorbida a la frecuencia  $h$ ”

Seleccionamos

$$QF = 100$$

$$A = \frac{X_h}{QF} = 0.000618713 \text{ Ohm}$$

La potencia del filtro será:

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

$$Q_{Filtro} = 0.18$$

**Tabla 21**

*Evaluación económica*

<b>COSTO FILTRO DE 10 Kvar</b>	<b>CONSUMO ENERGIA REACTIVA</b>	<b>COSTO ENERGIA REACTIVA</b>	<b>TIEMPO DE RECUPERACION</b>
<b>(Soles)</b>	<b>Kvar-hr.</b>	<b>(Soles)</b>	<b>(Meses)</b>
7,266.27	43,945.95	2,765.62	6

Elaboración propia.

#### **4.5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

El factor de potencia medida fue de 0.55 en atraso, los cual es muy inconveniente para el sistema fotovoltaico de Taquile, el mismo se mejoró a 0.95 en atraso, esto resulta en un ahorro mensual que, en el caso específico del Centro Poblado de Taquile, genera una reducción muy significativa en sus costos mensuales.

Según los resultados, las penalizaciones por el consumo de energía reactiva son eliminadas.

- Se realiza una optimización en todo el sistema eléctrico para suministrar la corriente reactiva  $I_r$  en el mismo lugar donde se consume, lo cual ayuda a reducir la carga en el centro de transformación. Además, los cálculos efectuados muestran que el valor del filtro es de 0.171 Mvar y de acuerdo con el software Etap 20.0 de flujos de carga, se sugiere llevar a cabo una compensación global en todo el sistema con el fin de mejorar la potencia reactiva en comparación con los valores obtenidos sin aplicar la compensación de potencia reactiva (caso base).



- El sistema ajusta su potencia aparente de acuerdo con las demandas reales de la instalación en el Centro Poblado de Taquile, evitando así el derroche innecesario de energía. De manera similar, la batería de condensadores se enlaza al cuadro de distribución principal de baja tensión y permanece activa durante el periodo de carga normal. En el método de compensación central, las cargas en las líneas de suministro no se ven impactadas, manteniendo los mismos niveles que antes de aplicar la compensación de potencia reactiva. Esto conduce a una recuperación de la inversión a medio plazo, específicamente en 6 meses, y continúa generando ahorros económicos a lo largo de su funcionamiento.



## V. CONCLUSIONES

- Considerando lo mencionado anteriormente, se logró mitigar los armónicos de tensión que estaban en 10.81 %, fundamentalmente el tercero y quinto armónicos; así como también los Inter armónico de tensión y corriente que estuvieron en 14.38 %, con la utilización del filtro pasivo de dio como resultado una mejor regulación de tensión del sistema fotovoltaico del Centro Poblado de Taquile.
- La utilización de los bancos también contribuye a reducir las pérdidas por efecto Joule, como se evidencia en el análisis del flujo de potencia. Al mejorar el factor de potencia de 0.55 a 0.95, las pérdidas se reducen en un 40.62%, lo que conlleva a una disminución significativa en la corriente eléctrica.
- La conclusión es que el factor de potencia presentaba un retraso de 0,55, pero se logró mejorarlo hasta un retraso de 0,95. Esta mejora en el factor de potencia también conlleva una mejora en la potencia reactiva de 43,33 Kvar. La compensación de potencia reactiva es crucial para mejorar la eficiencia y estabilidad del sistema eléctrico, y asegurar un suministro de energía de calidad.



## VI. RECOMENDACIONES

- Es recomendable llevar a cabo una evaluación detallado de los diversos tipos de cargas en las distintas subestaciones de distribución eléctrica del sistema fotovoltaico de Taquile, debido a que el comportamiento de consumo por sub estaciones es diferente, por los tipos de cargas que se tienen.
- Es esencial realizar un análisis detallado de los diversos factores que influyen en los bancos de capacitores y los fenómenos que pueden surgir al conectarlos a la red eléctrica. Esto implica examinar el comportamiento de las armónicas y los fenómenos transitorios que ocurren al conectar los bancos de capacitores. Para llevar a cabo esta evaluación, se utiliza el software ETAP 20.00, que se emplea específicamente para simular transitorios en el sistema.
- Es imperativo examinar otros elementos que inciden en la calidad de la energía, tales como parpadeo de flikler, frecuencia, oscilaciones y control de la tensión.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, C., & Alonso, M. (2015). *Sistemas fotovoltaicos* *Sistemas Fotovoltaicos* *Sistemas fotovoltaicos Contenido*.
- Acevedo J. (2012). *Capítulo 1 Introducción*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70310/fichero/05\_Capitulo\_1.pdf
- Anthony, O., & Alejandria, C. (2021). *Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5069/IME\_2111.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cañazaca N, R. B. (2020). *UNIVERSIDAD PERUANA UNION FACULTA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA*. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3320/Nelly\_Trabajo\_Bachiller\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cevallos B, & Rojas D. (2019). *“LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.”* https://eumed.net/ce/2019/1/energia-fotovoltaica.html
- Dariel Arcila, J. (2010). *IEB S*. http://www.ieb.com.co
- García J, Sellschopp F, & Vargas R. (2016). *CID 05. Impacto de Sags de Tensión en Transformadores Trifásicos  $\Delta$ -Y ante Diferentes Tipos de Cargas Trifásicas Balanceadas*. 1–6.
- IEEE Power and Energy Society. (2014). *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems Sponsored by the Transmission and Distribution Committee IEEE Power and Energy Society*.
- METREL. (2011). *PowerQ4 y PowerQ4 Plus MI 2592 y MI 2792 Manual de funcionamiento*. http://www.metrel.si



- Montes, C. E. (2014). *Metodología de investigación tecnológica Pensando en sistemas*.
- Moreno C, & Pabón E. (2021). *ARMÓNICOS GENERADOS POR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO SEDE ADMINISTRATIVA ESSA PARNASO*.  
<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/7025>
- Naula Y, & Revelo D. (2018). *ANÁLISIS DE LA RESPUESTA NATURAL DE CIRCUITOS RC, RL, RLC*.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16907/1/UPS-GT002496.pdf>
- Nedelcu S. (2009). *Suministro de energía eléctrica a una vivienda rural aislada mediante fuentes de energía renovables*.  
<http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1430pub.pdf>
- Osinermin. (2019). *ENERGÍAS RENOVABLES EXPERIENCIA Y PERSPECTIVAS EN LA RUTA DEL PERÚ HACIA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA*.  
[https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinermin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf](https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinermin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf)
- Pérez R. (2008). “*CALIDAD DE LA ENERGIA REQUERIDA PARA EL CAMPUS UNIVERSITARIO EN EL SIGLO XXI*.” 1–264.  
[https://repositorio.unam.mx/contenidos/calidad-de-la-energia-requerida-para-el-campus-universitario-en-el-siglo-xxi-3466053?c=BOONNB&d=false&q=\\*&i=3&v=1&t=search\\_0&as=2](https://repositorio.unam.mx/contenidos/calidad-de-la-energia-requerida-para-el-campus-universitario-en-el-siglo-xxi-3466053?c=BOONNB&d=false&q=*&i=3&v=1&t=search_0&as=2)
- Rodriguez. (2021). *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ*.  
[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6622/T010\\_20061955\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6622/T010_20061955_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tejada. (2018). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial*.



<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7374/tfm-tej-car.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tejada, A., & Llamas, A. (2021). *EFFECTOS DE LAS ARMÓNICAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS*.

Téllez E. (2008). *PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA*.

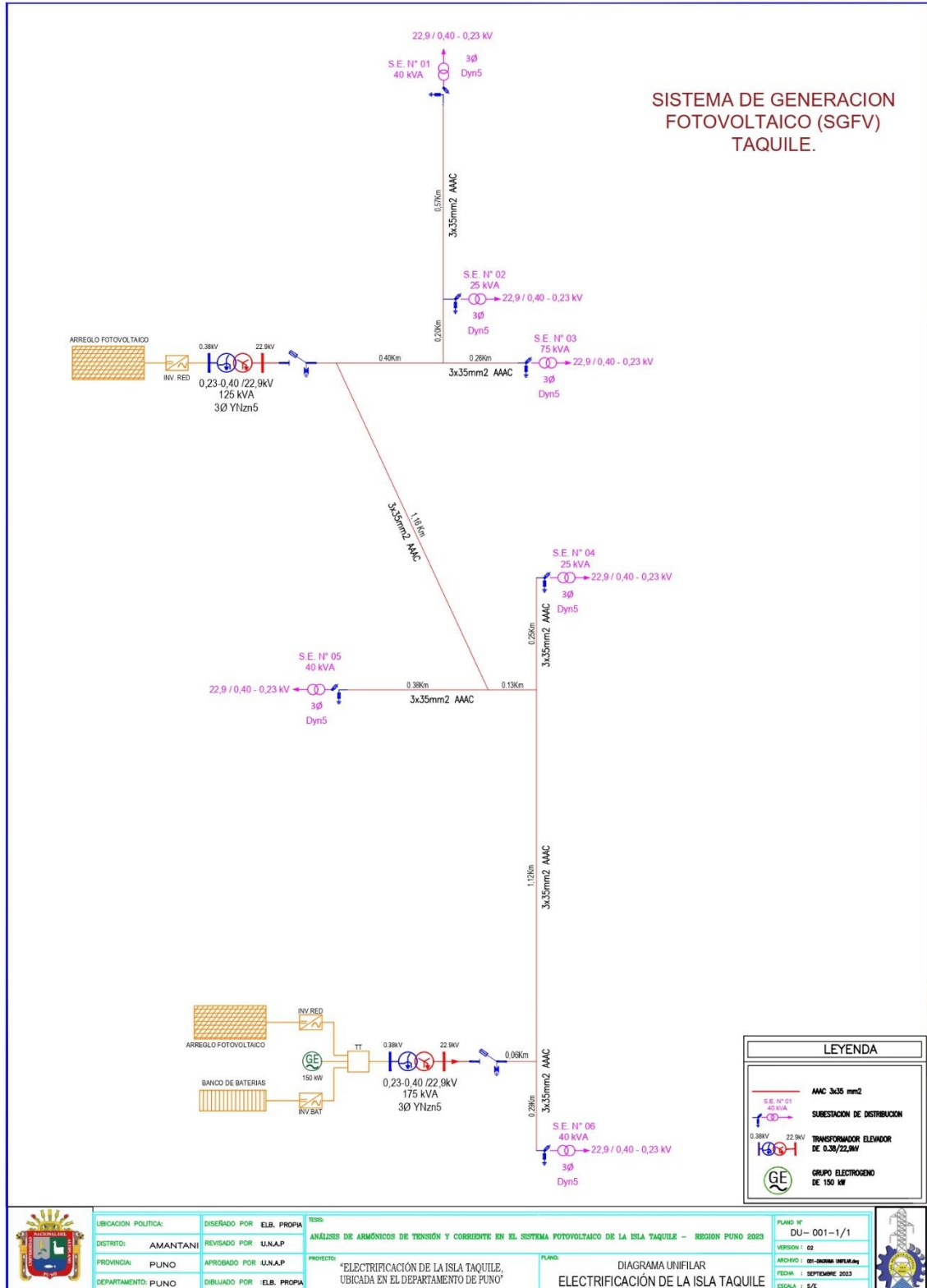
Vizcaíno R. (2017). *ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ZONA CULTURAL UNIVERSITARIA DE LA UNAM UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA*.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14279/Tesis.pdf?sequence=3>

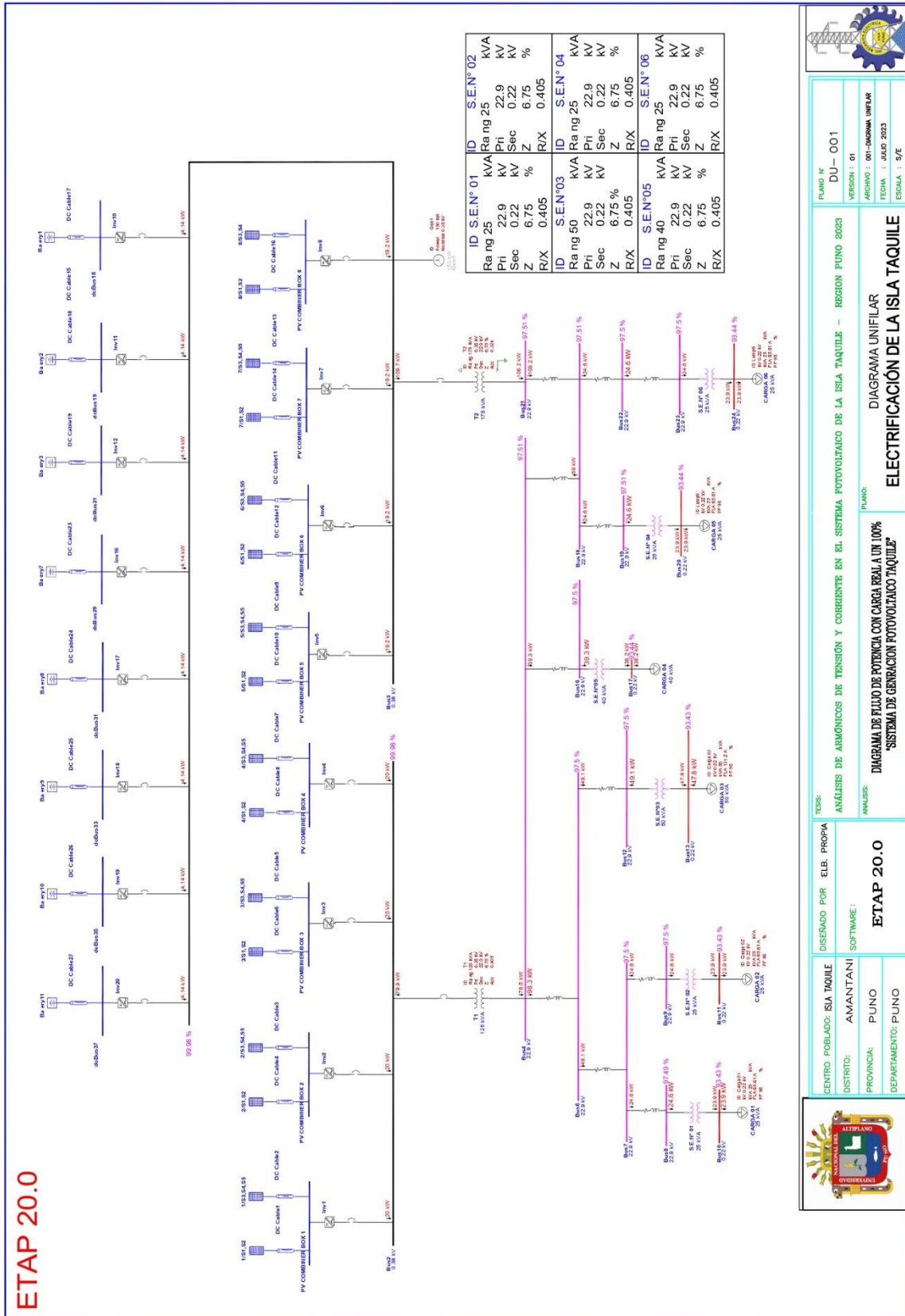


## ANEXOS

### ANEXO 1: Diagrama unifilar general – SFV Taquile



## ANEXO 2: Cálculo de flujo de potencia





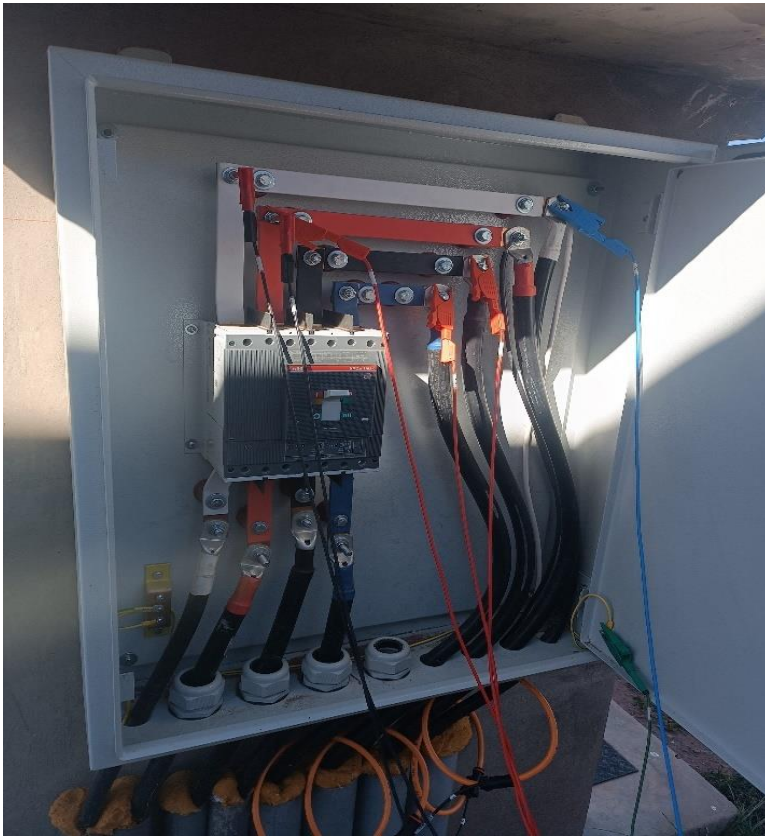
### ANEXO 3: Sistema Fotovoltaico Taquile







**ANEXO 4:** Trabajo de campo (instalación del analizador de redes).





### ANEXO 5: Grupo electrógeno Potencia de generación 150 kW





## ANEXO 6: Autorización para instalación de Analizador de redes

"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

Juliaca, 2023 junio 07

SEÑORES:

ELECTROPUNO S.A.A.

ING. HERNAN MAMANI LUQUE

GERENTE GENERAL

Atte. Ing Edwin Coarite

ASUNTO: SOLICITO AUTORIZACIÓN PARA INSTALACIÓN DE EQUIPO DE ANALIZADOR DE REDES EN SFV TAQUILE.

ELECTROPUNO S.A.A.  
MESA DE PARTES  
**RECEPCIÓN**  
**07 JUN 2023**

Reg. \_\_\_\_\_ Hora: 12:24 Min: 02

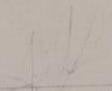
La recepción del presente documento no significa la conformidad del presente.

Yo, ALBINO CAMPOS MANGO PUMALEQUE, con DNI N° 70238110, con domicilio Jr. José Carlos Mariátegui N°124, Barrio Ezequiel Urbiola, Distrito Azángaro, Provincia de Azángaro, Departamento Puno, ante usted con el debido respeto me presento y expongo:

Recurso dignamente a Ud., que por motivos de realizar mi Proyecto De Tesis "ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN Y CORRIENTE EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA ISLA TAQUILE - REGIÓN PUNO 2023" solicito **AUTORIZACIÓN PARA INSTALACIÓN DE EQUIPO DE ANALIZADOR DE REDES EN EL SFV TAQUILE**, para el día 08 de junio del presente año, por lo cual agradezco su atención a la presente petición, adjunto.

- Copia de DNI

Atentamente,

  
ALBINO CAMPOS MANGO PUMALEQUE  
DNI 70238110



## ANEXO 7: Declaración jurada de autenticidad de tesis.



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



VRI  
Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Albino Campos Mango Pumaleque, identificado con DNI 70238110 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN Y CORRIENTE EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA ISLA TAQUILE – REGION PUNO 2023”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 22 de diciembre del 20 23

  
FIRMA (obligatoria)



Huella





## ANEXO 8: Autorización para el depósito de tesis o trabajo de investigación en el repositorio institucional.



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Albino Campos Mango Pumaleque, identificado con DNI 70238110 en mi condición de egresado de:

**Escuela Profesional**,  **Programa de Segunda Especialidad**,  **Programa de Maestría o Doctorado**

Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la  **Tesis** o  **Trabajo de Investigación** denominada:

“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN Y CORRIENTE EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA ISLA TAQUILE – REGION PUNO 2023”

para la obtención de  **Grado**,  **Título Profesional** o  **Segunda Especialidad**.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 22 de Diciembre del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella