



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE
UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA
POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA
CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NESTOR CASTILLO ACARAPI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

JULIACA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA DE CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE MECÁNICA ELÉCTRICA

**OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE
UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA
POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA
CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NESTOR CASTILLO ACARAPI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

: 
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

PRIMER MIEMBRO

: 
Ing. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA

SEGUNDO MIEMBRO

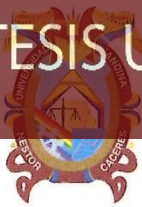
: 
Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

ASESOR DE TESIS

: 
M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA – P18

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 634-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 11 de julio del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 8347 presentado por el (la) Bachiller: **NESTOR CASTILLO ACARAPI** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **NESTOR CASTILLO ACARAPI**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ**, la misma que pertenece a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - **APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- * **1er Miembro** : Ing. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA
- * **2do Miembro** : Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **MSc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **NESTOR CASTILLO ACARAPI**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**. de acuerdo al siguiente detalle:

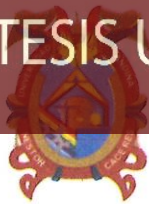
- * **FECHA** : Miercoles 17 de julio del 2024
- * **HORA** : 9:00 a.m.
- * **LUGAR** : Aula 204 - EPIME

ARTÍCULO CUARTO. - **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASEUGENIO QUISEP HUANCA
DECANO
CIP. 47790cc.
Archivo
interesado (a)

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDIRECTOR
Dr. Efraín Pozillo Rosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



RESOLUCIÓN DECANAL N° 452-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 17 de junio del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 6928 por el o (la) Bachiller: **NESTOR CASTILLO ACARAPI** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 468 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) formato N° 006 - 2024 del integrante del comité de investigación EPIME de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el o (la) Bachiller: **NESTOR CASTILLO ACARAPI**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Benjamin Chuquimamani Quinto** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 006 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ**, Correspondiente a la línea de investigación **INGENIERIA Y TECNOLOGIA ELÉCTRICA**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el o (la) Bachiller: **NESTOR CASTILLO ACARAPI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ** correspondiente a la línea de investigación **INGENIERIA Y TECNOLOGIA ELÉCTRICA**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

D. MILTON QUISPE HUANGA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

D. MARIO RAMOS HERRERA
ASESOR DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 028-2023-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca 31 de octubre del 2023

VISTO: El expediente N° 2023-CU-13281, presentado por el señor (a) **NESTOR CASTILLO ACARAPI** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 191-2023-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 003 - 2023 del integrante del comité de investigación **EPIME** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) estudiante: **NESTOR CASTILLO ACARAPI** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Benjamin Chuquimamani Quinto** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 003-2023 **aprobando** la propuesta de investigación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: **NESTOR CASTILLO ACARAPI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ** correspondiente a la línea de investigación **INGENIERIA Y TECNOLOGIA ELÉCTRICA**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

DR. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790

cc.
Archivo 2023
Interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Efraín Pajillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	1library.co Fuente de Internet	3%
3	www.ingeborda.com.ar Fuente de Internet	2%
4	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	1%
8	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%



METADATOS COMPLEMENTARIOS



TÍTULO DE LA TESIS	
OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	NESTOR CASTILLO ACARAPI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43152773
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-4603-3127
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	16660865
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-3158-198X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02393436
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02406088



Datos de investigación	
Línea de investigación	Ingeniería y Tecnología Eléctrica – P18
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Ubicación País: Perú Región: Puno Provincia: San Román Distrito: Caracoto Planta Cementera del Sur del Perú Coordenadas GMS -15.577232250477097, -70.11417115282103 Longitud: 15° 57' 7.232" S Latitud: 70° 1' 14.171" W</p> <p>URL maps https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1ha1J03ZwoTONrecGCriroBIdCygQMRU&usp=sharing</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2023 – Julio 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	<p>Ingeniería eléctrica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01</p> <p>Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00</p> <p>Sistema de Automatización https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.03</p>

UNIVERSIDAD VICERECTORADO CACERES LASQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS



Dr. Elrain Gerardo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN





DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo NESTOR CASTILLO ACARAPI, identificado con DNI Nro. 43152773 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**, **Trabajo Académico** denominada:

OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ

Asesorado por: M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

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.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca, 31 de JULIO del 2024


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía, darme fuerza en cada paso que doy y poder levantarme en cada adversidad.

A mi esposa Beatriz, por ser mi soporte y guía en este largo proceso, tu compañía, apoyo y tu presencia en mi vida hicieron todo esto posible, este logro es nuestro.

A mi linda madre, Antonia, por darme todo su apoyo, por brindarme educación, mi formación y mis ganas de seguir adelante son tus reflejos y enseñanzas, esta tesis es una forma de decir: "lo logre madre".



AGRADECIMIENTO

Agradezco eternamente a mi universidad, fueron cinco años de arduo trabajo, sacrificio y sobre todo muchas alegrías, en tus aulas me forme y prepare para un mundo competitivo, siempre recordare con alegría, mi alma mater.

Agradezco a todos mis maestros, ingenieros de gran conocimiento y experiencia quienes me ayudaron y formaron el profesional que ahora soy. No fue fácil, pero ustedes me enseñaron a sobreponerme de cualquier dificultad, mi agradecimiento siempre será eterno.



INDICE GENERAL

DEDICATORIA i

AGRADECIMIENTO ii

INDICE GENERAL iii

ÍNDICE DE TABLAS viii

ÍNDICE DE FIGURAS ix

RESUMEN xi

ABSTRACT xii

INTRODUCCIÓN xiii

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Descripción del problema 1

 1.1.1. Descripción del problema 1

1.2. Formulación del Problema 3

 1.2.1. Problema General 3

 1.2.2. Problemas Específicos 3

1.3. Justificación 4

 1.3.1. Tecnología 4

 1.3.2. Académica 4

 1.3.3. Productividad 4

1.4. Objetivos de la investigación 5

 1.4.1. Objetivo General 5

 1.4.2. Objetivos Específicos 5



- 1.5. Hipótesis5
 - 1.5.1. Hipótesis General5
 - 1.5.2. Hipótesis Específicas5
- 1.6. Línea de investigación6
- 1.7. Operacionalización de variables6
 - 1.7.1. Variable Independiente6
 - 1.7.2. Variable Dependiente6
- 1.8. Operacionalización de las variables7

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- 2.1. Bases teóricas8
 - 2.1.1 Calidad de energía8
 - 2.1.1.1. Factor de potencia9
 - 2.1.2. Análisis de factor de potencia9
 - 2.1.3. Optimización de factor de potencia9
 - 2.1.4. Tensión9
 - 2.1.5. Corriente10
 - 2.1.6. Intensidad de corriente10
 - 2.1.7. Frecuencia eléctrica10
 - 2.1.8. Valores eficaces (RMS)10
 - 2.1.9. Impedancia11
 - 2.1.10. Angulo de fase11
 - 2.1.11. Fiabilidad11



2.1.12. Disponibilidad	12
2.1.13. Perturbación	12
2.1.14. Factor de potencia.....	12
2.1.15. Análisis del factor de potencia.	12
2.1.16. Optimización de factor de potencia.....	12
2.2. Definición de términos	13
2.2.1. Calidad de energía	13
2.2.1.1. Causas de la mala calidad de energía.....	13
2.2.2. Causas del bajo factor de potencia.....	13
2.2.2.1. Iluminación.	13
2.2.2.2. Motores de inducción de pequeña y gran capacidad.	14
2.2.2.3. Motores operando en vacío	14
2.2.2.4. Motores Sobredimensionados	14
2.2.2.5. Transformadores Operando en Vacío o con Pequeñas Cargas	14
2.2.2.6. Transformadores sobredimensionados.....	15
2.2.2.7. Nivel de voltaje por encima del nominal	15
2.2.2.8. Hornos eléctricos de arco voltaico	15
2.2.2.9. Soldadoras eléctricas de corriente alterna.....	15
2.2.3. Tipos de cargas eléctricas y potencia	16
2.2.3.1. Carga lineal	16
2.2.3.2. Carga no lineal	16
2.2.3.3. Potencia activa	16
2.2.3.4. Potencia aparente	17



- 2.2.3.5. Potencia reactiva..... 17
- 2.2.4. Armónicos en las redes perturbadas 17
 - 2.2.4.1. Principales perturbaciones producidas por las corrientes y tensiones armónicas 18
 - 2.2.4.2. Límites aceptables 19
 - 2.2.4.3. Generadores de magnitudes eléctricas armónicas 20
- 2.2.5. Filtros para armónicos 23
 - 2.2.5.1. Filtros pasivos 23
 - 2.2.5.2. Filtros activos 24
- 2.2.6. Determinación de parámetros para filtros activos 26

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

- 3.1. Métodos de investigación 30
 - 3.1.1. Power Monitoring Expert 30
 - 3.1.2. PM 850..... 31
 - 3.1.3. PM 800..... 32
 - 3.1.4 FLUKE 1736 POWER LOGGER 32
- 3.2. Ámbito de investigación..... 33
 - 3.2.1. Tipo de Investigación..... 33
 - 3.2.3. Diseño 33
- 3.3. Población y muestra 34
- 3.4. Técnicas e instrumentos de recogida de información 34
 - 3.4.1. Técnicas de Investigación 34



3.4.2. Instrumentos de recogida de información35

3.5. Recogida de datos35

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Presentación36

4.2. Análisis e interpretación de resultados37

 4.2.1. Interpretación de resultados sobre la calidad de energía.....49

 4.2.2 Cálculos53

4.3. Costos estimados.....62

4.4 Discusión de resultados63

CONCLUSIONES65

RECOMENDACIONES65

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS68

ANEXOS73

APÉNDICES76

 Apéndice 1: Instrumentos.....76

 Apéndice 2: Validez de instrumentos.....79



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de Compatibilidad para las Tensiones Armónicas Individuales en una Red Pública.....	20
Tabla 2. Datos de sala eléctrica SE – 310 - I.....	39
Tabla 3. Datos de sala eléctrica SE – 310 - II.....	40
Tabla 4. Valores permisibles	40
Tabla 5. Toma de datos banco de condensadores deshabilitados - I.....	41
Tabla 6. Toma de datos banco de condensadores deshabilitados -II.....	41
Tabla 7. Datos del Factor de Potencia	43
Tabla 8. Límite de Distorsión de Voltaje	49
Tabla 9. Máxima Distorsión de Corriente Armónica.....	50
Tabla 10. Valores Obtenidos por Medición	50
Tabla 11. Valores de la Componente Fundamental	56
Tabla 12. Promedio General de la Componente Fundamental.....	56
Tabla 13. Componentes fundamentales para el cálculo	56



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Onda Deformada	18
Figura 2. Corriente Alterna Aguas Arriba de un Rectificador de Graetz que Produce una Corriente Continua Perfecta Sobre una Carga muy Inductiva	21
Figura 3. Corriente Alternas Aguas Arriba de un Rectificador en Puente de Graetz Seguido de un Condensador	21
Figura 4. Caso de uno Horno de Arco Alimentado con Corriente Alterna	22
Figura 5. Filtro Pasivo.....	24
Figura 6. Eliminación de Armónicos por Filtros Activos	25
Figura 7. Filtro Activo.....	26
Figura 8. Filtro Sintonizado.....	26
Figura 9. PM 850.....	31
Figura 10. PM 800.....	32
Figura 11. Fluke Power Logger 1736.....	33
Figura 12. Sala Eléctrica – Power Monitoring ExperT	37
Figura 13. Sala Eléctrica 310 -I.....	38
Figura 14. Sala Eléctrica 310 - II.....	38
Figura 15. Datos del Analizador de Redes – THD (V).....	42
Figura 16. Datos del Analizador de Redes – THDI (%)	42
Figura 17. Datos del Analizador de Redes – Factor de Potencia	43
Figura 18. Medición de la Corriente de Filtro	44
Figura 19. Medición de la Corriente Armónica	45
Figura 20. Medición de la Corriente Reactiva	46



Figura 21. Medición de la Potencia Reactiva a Compensar (kVAR).....	46
Figura 22. Medición del Factor de Potencia (%)	47
Figura 23. Medición de la Distorsión Armónica de Corriente.....	48
Figura 24. Medición de la Distorsión Armónica de la Tensión	48
Figura 25. Diagrama de Línea	51
Figura 26. Diagrama de Línea II	52
Figura 27. Diagrama de Conexión en Paralelo con Transformadores de Corriente en la Fuente.....	53
Figura 28. TDH Promedio por Componente.....	57
Figura 29. Diagramas de la Potencia Reactiva I	58
Figura 30. Diagramas de la Potencia Reactiva II	58



RESUMEN

La investigación tiene como objetivo principal, Optimizar la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú. Para este proyecto de tesis, el tipo de investigación en cada objetivo es cuantitativo, ya que se trabajará con datos exactos, a través de cálculos y mediciones. Esta investigación será no experimental de estudio transversal. Es no experimental, porque las variables no serán manipuladas ni controladas, tal cual se encuentren en las mediciones de los equipos se realizará el estudio. Es transversal porque se realizó con datos del año 2023 para su estudio y comprensión. Las técnicas de investigación utilizadas fue la de revisión documental, observación y medición de los valores de los equipos en cuestión.

El estudio concluye que, el actual sistema de banco de condensadores es deficiente. Esto se debe a que la medición de la corriente armónica, de filtro, corriente reactiva, potencia reactiva a compensar, factor de potencia, distorsión armónica de corriente y la distorsión armónica de tensión mostraron valores que afectan a los equipos de la planta cementera, por lo que la propuesta a través de filtros activos permitirá reemplazar el banco de capacitores que se tienen instalado, ya que, permitirá mitigar la potencia activa generada, corrientes y voltajes armónicos generados por cargas no lineales.

Palabras clave: Calidad de energía, banco de condensadores, filtros activos, planta cementera.



ABSTRACT

The main objective of the research is to design and formulate the optimization of energy quality through an active filter system for a power of 1 Megawatt in a cement plant in southern Peru. For this thesis project, the type of research in each objective is quantitative, since we will work with exact data, through calculations and measurements. This research will not be an experimental cross-sectional study. It is non-experimental, because the variables will not be manipulated or controlled, as they are found in the measurements of the equipment, the study will be carried out. It is transversal because it was carried out with data from the year 2023 for its study and understanding. The research techniques used were documentary review, observation and measurement of the values of the equipment in question.

The study concludes that the current capacitor bank system is deficient. This is because the measurement of harmonic current, filter current, reactive current, reactive power to be compensated, power factor, current harmonic distortion and voltage harmonic distortion showed values that affect the cement plant equipment, for example. What the proposal through active filters will allow to replace the bank of capacitors that have been installed, since it will allow us to mitigate the active power generated, harmonic currents and voltages generated by non-linear loads.

Keywords: Power quality, capacitor bank, active filters, cement plant.



INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las industrias hace que cada día se implementen sistemas eléctricos de mayores potencias, y con ellas el aumento de motores inductivos de potencias elevadas y equipos electrónicos, como resultado se generan armónicos de corriente y voltaje que fluyen hacia la red eléctrica, esto provoca una distorsión de las formas de onda. Por lo tanto, el uso de filtros activos para la mitigación de armónicos, ayuda a mejorar la calidad de energía de la red eléctrica, también puede corregir la frecuencia de la red para eso estos tienen que estar bien diseñados y dimensionados.

El uso de banco de capacitores es muy común para mitigar la generación de energía reactiva generada por equipos inductivos, sin embargo, el costo de mantenimiento de horas hombre y repuestos se torna elevada y con aumento de incidentes de cortocircuito y explosiones de los condensadores, esto influye para tomar otras medidas más seguras para la corrección de la energía reactiva generada y que a la vez nos ayude a mitigar corrientes y voltajes armónicas, el uso de filtros activos también ayuda a reducir las pérdidas de potencia en transformadores, y otros equipos inductivos, hasta en un 5%. En consecuencia, se logrará reducir el consumo de potencia en(MVA), lo que significa una disminución considerable en la factura eléctrica.

Es por ello, que la presente investigación titulada "Optimización de la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 megavatio en una planta cementera del sur del Perú", aborda el análisis y diseño de un sistema de filtros activos, nos permita mejorar la calidad de energía de una sala eléctrica de una potencia nominal de 1 mega vatio de potencia en la empresa cementera. Además, responde a las necesidades de la empresa, entre las principales necesidades tenemos la económica, ya que, permitirá reducir costos innecesarios por mantenimiento, penalidades, y mayor vida útil a equipos electrónicos y eléctricos. Finalmente, también permitirá un mejor control de calidad de energía sin tener los incidentes generados por banco de capacitores (cortos circuitos y explosiones).



CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Descripción del problema

1.1.1. Descripción del problema

A nivel macro, a medida que avanza la tecnología, la fabricación de equipos electrónicos ha aumentado significativamente, los mismos que ayudan a la automatización industrial, no obstante, existen algunos elementos que generan distorsión eléctrica llamada armónicos, caídas de tensión y con el aumento de uso de motores inductivos que nos generan energía reactiva. En la actualidad, el ser humano ha establecido el uso de la energía para poder realizar todas sus actividades, en especial la energía eléctrica. No obstante, las industrias presentan la misma necesidad de consumo de esta energía, ya que en diferentes sectores productivos hacen uso de la energía eléctrica para su producción. Y en estas empresas existen muchos factores que ocasionan un porcentaje considerable de pérdidas en la energía eléctrica (Factor de Potencia, Armónicos y caídas de tensión) lo que llamamos 'calidad de energía', eso hace que existan costos innecesarios de energía, los cuales se representan en gastos económicos y energéticos.

A nivel meso, las empresas nacionales presentan diversos gastos que resultan ser elevados y de este porcentaje de gastos existe un porcentaje de



perdida y por penalidades, de la cual se concentra esta investigación. Además, los costos elevados por equipos de control como filtros y capacitores repuestos hacen dificultoso el mantenimiento y la demora en traslado de materias generan pérdidas y atrasos en la industria peruana. A nivel nacional existe diversas empresas que buscan estar a un nivel competitivo nacional e incluso internacional, ya que al tener una gran competitividad en el mercado peruano se debe garantizar que la empresa tenga una reducción de costos pero que a la vez tenga un aumento considerable en su eficiencia, es por ello, que adecuar alternativas que busquen reducir el consumo eléctrico es necesario, y más aún en las empresas industriales de mediana y gran escala.

A nivel micro, actualmente existen diversos problemas en la cuestión energética de las empresas locales de pequeña y gran escala, estas características se presentan en diversas industrias, y una de estas son las industrias cementeras, en las cual existe caídas de tensión y un bajo factor de potencia y pérdidas por armónicos. No obstante, el bajo nivel de soporte y conocimiento de filtros activos hace que este dispositivo de control no sea considerado en pequeños proyectos y en pequeñas industrias lo cual ocasiona una pésima calidad de energía, lo que en consecuencia, ocasiona daños en los sistemas eléctricos teniendo como consecuencias de pérdidas de potencia, lo que produce en mayor medida pérdidas económicas debido a la mala calidad de energía, lo que genera acumulación de armónicos y la generación de energía reactiva. Actualmente, el ser humano ha creado el uso de la energía para realizar todas las actividades, especialmente la energía eléctrica. Sin embargo, dado que la electricidad se utiliza en diferentes sectores industriales, la situación no es la misma en todos los sectores. No obstante, existen muchos factores que pueden provocar que se pierda una cantidad importante de electricidad, generando costos energéticos innecesarios que se reflejan en la economía y los costos energéticos.



El proyecto contribuirá a la eficiencia de la energía en una planta de cemento en el sur de Perú, lo que tiene consecuencias económicas y ambientales favorables.

En esta empresa cementera ubicada en el sur del país, se tiene una sala eléctrica de una capacidad nominal de 1 mega vatio, este alimenta de energía eléctrica a la sala 310 y se tiene instalado un banco de capacitores de 504 KVAR, que compensa la energía reactiva de esa sala eléctrica, aun se tiene problemas con caídas de tensión producidas por los motores inductivos de potencia elevada y generación de armónicos producidos por variadores de velocidad instalados para poder reducir la velocidad de motores de capacidad elevada, a la vez se tiene problemas con los banco de capacitores estos son muy peligroso se tuvo problema de explosión en los condensadores y el costo de mantenimiento es elevado y riesgoso, es necesario que estos sean reemplazados por un dispositivo que cumpla con esa función y que sea más seguro y a las vez que pueda mitigar los armónicos y caída de tensión y a si tener una calidad de energía optima.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera se podrá optimizar la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú?

1.2.2. Problemas Específicos

1. ¿En qué se basará la optimización de la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú?
2. ¿Cuáles son los datos para determinar la calidad de energía para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú?



3. ¿Cuál es el costo que demandará la optimización de la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú?

1.3. Justificación

1.3.1. Tecnología

Con el avance de la tecnología se viene implementando equipos eléctricos y electrónicos que permiten mejor desarrollo en el trabajo industrial, pero a la vez producen problemas como la aparición de armónicos y caídas de tensión y sumados a la generación de energía reactiva producen daños a los equipos, perdidas y pago de penalidades por energía reactiva.

1.3.2. Académica

Este estudio permitirá profundizar en temas de interés de diversos investigadores que busquen optimizar la calidad de energía de las plantas industrias en nuestro país. Y más aún de nuestra carrera profesional, que tengan interés en generar propuestas de mejora con respecto a la calidad de energía. Con el pasar del tiempo, el desarrollo de la industria peruana y en especial la industria del sur del Perú, requiere de un uso eficiente de sus recursos, y más aún de la energía eléctrica ya que, al disponer de una gran cantidad de equipos electrónicos no lineales, motores eléctricos que tienen en la operación de las industrias cementera, resulta ser necesario para aumentar su competitividad.

1.3.3. Productividad

El conocer en qué situación y/o estado se encuentra un sistema eléctrico de una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera, se podrá determinar e implementar un sistema de filtro activo que ayudara con los problemas de bajo factor de potencia, armónicos y caídas de tensión, esto con un solo equipo y



dejaremos de lado los bancos de capacitores que son peligrosos y costosos en mantenimiento.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Optimizar la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Analizar el estado actual de la calidad de energía para su optimización mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú.
2. Describir las mediciones de la calidad de energía de una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú.
3. Determinar el costo que demandara la propuesta para la optimización de la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1Megavatio en una planta cementera del sur del Perú.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

Si se implementa un sistema de filtros activos entonces se podrá optimizar la calidad de energía en una planta cementera del sur del Perú.

1.5.2. Hipótesis Específicas

1. Si se realiza el análisis de calidad de energía entonces se podrá plantear un método que permita la optimización de calidad de energía mediante un sistema de filtros activos en una planta cementera del sur del Perú.
2. Las mediciones sobre la calidad de energía resultan ser mayores a los valores permisibles resultando ser perjudiciales, lo que genera daños a los equipos y pérdidas económicas en una planta cementera del sur del Perú.



3. Al determinar el costo que demandará el diseño de un sistema de filtros activos para la optimización de la calidad de energía en una planta cementera del sur del Perú, se establecerá que es viable la propuesta.

1.6. Línea de investigación

De acuerdo a la resolución vigente de las líneas de investigación de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, en la facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica e Informática, en la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, la línea de investigación que se encuentra relacionada a esta escuela es la línea de investigación Ingeniería y Tecnología Eléctrica, ya que estas son una de las trece líneas de investigación de la UANCV.

1.7. Operacionalización de variables

1.7.1. *Variable Independiente*

Filtro activo

1.7.2. *Variable Dependiente*

Calidad de energía

1.8. Operacionalización de las variables

Tipo	Variables	Dimensiones	Definición Conceptual	Indicador	Subindicador	Fuente	
INDEPENDIENTE	Filtro activo	Factor de potencia	Es la relación entre la potencia aparente y la potencia activa. Intentando siempre mantener la potencia activa lo más cerca posible de la potencia aparente.	Control de factor de potencia	Potencia activa	Mediciones en la sala eléctrica de una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú	
					Potencia reactiva		
				Potencia del Filtro	Optimización del filtro activo		
		Consumo	Es el consumo total de energía eléctrica de un área específica	Especificaciones de corriente	Corriente total eficaz		
					Corriente total fundamental		
					Corriente reactiva		
		Armónicos	Los armónicos eléctricos son perturbaciones en la frecuencia real de la señal eléctrica que se originan dentro de las propias instalaciones. IEEE 519 (1992)	Consumo de energía	Total de consumo de energía en sala eléctrica		
					Armónicos		Armónicos más significativos en la tensión
							Armónicos más significativos en la corriente
					DEPENDIENTE		Calidad de energía
Subidas de tensión							
Desbalance de voltaje							
Bajo factor de potencia							
Ondas armónicas	Nivel de distorsión de los armónicos THD						
Deformación de voltaje	Distorsión armónica de la corriente THDI						
Deformación de corriente	Distorsión armónica del voltaje (THDV)						
Pérdidas	Las pérdidas energéticas provocada por la distorsión eléctrica derivada de los armónicos que introducen estas cargas no lineales. Maeswell (2008)	Pérdidas	Nivel de pérdidas de energía				
Costos	Es el valor de los recursos consumidos para producir un producto o prestar un servicio.	Costos	Total de costos				



CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Bases teóricas

2.1.1 Calidad de energía

El resultado de una mala calidad de energía, como el bajo factor de potencia y la generación de los armónicos, no solo afecta directamente a la red eléctrica debido a las variaciones en la frecuencia por el uso de equipos electrónicos no lineales, también podría provocar paradas inesperadas en el proceso por falla en los equipos y también penalidades en las facturas eléctricas.

Estos problemas son originados indirectamente debido que son muy necesarios el uso de equipos no lineales como variadores, arrancadores de estado sólido entre otros. También podemos identificar otras causas:

- Puesta a tierra inadecuada con materiales inadecuados y sin mantenimiento.
- Equipos inductivos sobredimensionados.
- Mala corrección de factor de energía, con banco de condensadores inadecuados y mal dimensionados.
- Deterioro del cableado por estar expuesto al ambiente climatológico y mal dimensionados.



- Mala planificación para el mantenimiento preventivo de equipos, falta de cambio de materiales eléctricos por fatiga o por no tomar en cuenta horas de servicio.

Factor de potencia

El factor de potencia es la relación que existe entre la potencia aparente y la potencia activa, lo ideal sería que ambos estén muy cercanos. Es decir: cuanto mayor es la potencia activa, menor es la potencia reactiva, en este caso lo ideal sería lo más próximo a 1.

2.1.2. Análisis de factor de potencia

Podríamos definir al análisis de factor de potencia como el examen minucioso de parámetros eléctricos; voltaje, corriente, potencia real (KW), potencia reactiva (Kvar), Potencia Activa (Kva), fasores de V y I, esto por promedio de cada una de las fases y el promedio de las 3 fases.

2.1.3. Optimización de factor de potencia

Al optimizar el factor de potencia se tendrá reducción en la corriente principal y se reducirá las pérdidas en los cables, se tendrá aumento de potencia en los transformadores por que se reducirán las pérdidas, se limitará las caídas de tensión por lo que se tendrá tensión más estable. Por lo tanto, podríamos definir a la optimización de factor de potencia como la mejora considerable de la eficiencia de la energía mediante la reducción en los armónicos.

2.1.4. Tensión

Según (Ramos & Riveros, 2018), consideran a la tensión o también llamada diferencial de potencial se establece entre dos puntos de un campo eléctrico, en ese sentido, la tensión es el trabajo necesario para mover la unidad de carga eléctrica positiva de un punto al otro en contra, y se mide en voltios con el símbolo V.



2.1.5. Corriente

La corriente eléctrica puede ser definida según lo que mencionan los investigadores (Ramos & Riveros, 2018), la definen como un movimiento ordenado y constante de partículas que se encuentran en un estado cargado en un conductor bajo la influencia de un campo eléctrico, este fenómeno presenta un campo eléctrico que se encuentra rodeado de cargas, de las cuales pueden ser atraídas o repelidas.

2.1.6. Intensidad de corriente

Se puede definir como la cantidad de carga que fluye por un conductor, por la unidad de tiempo en segundos, siendo su unidad el Amperio y su símbolo es A. Se podría entender de la siguiente expresión: Intensidad de corriente = Cantidad de carga/ Tiempo de circulación.

2.1.7. Frecuencia eléctrica.

La frecuencia eléctrica es una magnitud muy importante, ya que a través de la corriente alterna logra repetirse cíclicamente un número determinado de veces durante un segundo de tiempo, la unidad de la frecuencia eléctrica son los Hertz y su símbolo es Hz. Se podría entender de la siguiente expresión: Frecuencia = número de ciclos/ tiempo transcurrido.

2.1.8. Valores eficaces (RMS)

Según (Muller, 1980), se puede definir gracias al valor eficaz de la corriente alterna, ya que este valor tendría una corriente continua que produce la misma potencia en corriente alterna.

$$Y_{Eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y(t)^2 dt}$$

Cuando la señal es sinusoidal se establece la siguiente formula:



$$Y_{Eftcaz} = \frac{Y_{medio}}{\sqrt{2}}$$

2.1.9. Impedancia

Se define a la impedancia, como la oposición del paso de la corriente de un circuito de corriente alterna, esta dependerá de su estado compuesto vectorial tanto de la resistencia (R) como la reactancia inductiva (XL) o reactancia capacitiva (XC).

Se puede expresar de la siguiente manera:

$$IZ^2 = R^2 + (X_C - X_L)^2$$

Cuando se encuentre en su forma compleja puede ser expresado de la siguiente manera:

$$Z = R \pm jX$$

Polar:

$$Z = Z \angle \varphi$$

2.1.10. Angulo de fase

Según (Portocarrero & Mendoza, 2014), definen al ángulo de fase como el desplazamiento relativo entre la tensión y la corriente, en ese sentido, este ángulo nos indica si las señales de tensión y corriente se encontrarían en fase.

2.1.11. Fiabilidad

Se puede definir a la fiabilidad como la probabilidad de que un dispositivo desarrolle una determinada función, esta se debe encontrar en determinadas condiciones y durante un periodo de tiempo determinado.



2.1.12. Disponibilidad

Respecto a la disponibilidad se define como el suministro interrumpido de energía o dentro de los niveles aceptables de interrupciones.

2.1.13. Perturbación

(Ministerio de Energía y Minas, 2013) nos indica, con respecto a los sistemas eléctricos, la perturbación es el evento que altera el balance de potencia activa o reactiva del sistema.

2.1.14. Factor de potencia

(Risoul, 2021), define al factor de potencia como la relación que existe entre la potencia aparente y la potencia activa, para que exista un factor de potencia ideal, es necesario que la potencia activa se acerque lo más posible a la potencia aparente. Por lo tanto, la teoría nos indicaría, que a mayor potencia activa y menor la potencia reactiva, tendrá como resulta un factor de potencia que se encuentra más cercano a 1, el cual sería el valor más ideal.

2.1.15. Análisis del factor de potencia.

(Bricos, 2021), considera que, para poder establecer un análisis de factor de potencia, es necesario ser bastante minucioso a los parámetros eléctricos principales, como el voltaje, la potencia real (KW), corriente, potencia reactiva (Kvar), fasores de V y I Potencia Activa (Kva), estos valores se deben hallar por un promedio de cada una de las fases y el promedio de las 3 fases.

2.1.16. Optimización de factor de potencia.

Considerar la idea principal de SASadmin es acertada con respecto a la optimización de factor de potencia, el cual considera que, al lograr optimizarlo, se podrá asegurar un ahorro de energía a través de todo el sistema eléctrico, el cual hará que la eficiencia mejor significativamente, de igual forma la reducción del consumo de energía global.



2.2. Definición de términos

2.2.1. Calidad de energía

Se entiende como calidad de energía al estándar que permite determinar la calidad que debe tener el suministro de corriente alterna en las instalaciones eléctricas, como es el caso de la tensión, frecuencia constante y también de la forma de onda sinusoidal.

2.2.1.1. Causas de la mala calidad de energía

Se establece la generación de corrientes armónicas, fugas de corriente en la red de tierra y en las variaciones de voltaje, estas tres principales causas generan una mala calidad de energía, la eliminación o el control de estas causas ayudan considerablemente a mejorar la eficiencia de la energía.

2.2.2. Causas del bajo factor de potencia

Existen diversas causas que ocasionan que se dé un bajo factor de potencia, un investigador que plantea las causas principales es (LLumiquinga F., 2012), el cual considera que esto se debe parcialmente a la carga de los motores de inducción, ya que el uso de este motor presente de manera frecuente un exceso de este bajo factor de potencia. Lluquiminga considera que algunas causas por las cuales se presenta este problema son las siguientes:

2.2.2.1. Iluminación.

Con respecto a la iluminación, existen equipo como las lámparas de vapor, lámparas fluorescentes entre otros que para su correcto funcionamiento hacen uso de una inductancia o de un transformador, generando así energía reactiva que producen un pésimo factor de potencia.



2.2.2.2. Motores de inducción de pequeña y gran capacidad.

Los motores de inducción de pequeña y gran capacidad son numerosos en las diversas industrias, además la fabricación de estos motores por su naturaleza de construcción necesita una potencia magnetizante, ya que están conformado por bobinas que al magnetizarse permiten el movimiento del rotor del motor.

2.2.2.3. Motores operando en vacío

Otra causa son los motores que operan en vacío, ya que utilizan casi la misma cantidad de potencia reactiva, la cual tiene que ser necesaria para generar su campo electromagnético, este caso se mantiene a pesar de que opera en vacío o con carga. Un dato relevante que se debe considerar es la de que la energía activa, el cual funciona de manera contraria, ya que cuando se consuma menor la carga, menor será la energía activa consumida.

2.2.2.4. Motores sobredimensionados

Esta causa, representa más una falla humana, ya que al ser sobredimensionados por fallas de cálculos presentan una gran consumo de energía, esto suele darse con mayor presencia, en casos de mantenimiento, donde muchas veces se sustituye por otro motor de mayor potencia, obviando que un sobredimensionamiento ge un bajo factor de potencia.

2.2.2.5. Transformadores operando en vacío o con pequeñas cargas

Además de los motores, los transformadores también presentan una operación en vacío o tanto con pequeñas cargas, consumirán una cantidad de energía reactiva significativamente grande, lo que también conduce un bajo factor de potencia.



2.2.2.6. Transformadores sobredimensionados

De manera similar con los motores, los transformadores presentan una capacidad determinada de trabajo, si esta es sobredimensionada también presentará un menor factor de potencia.

2.2.2.7. Nivel de voltaje por encima del nominal

Cuando establece un caso donde la tensión es superior a la nominal, y en especial en la aplicación de motores de inducción, esta tendrá un consumo de energía reactiva, en ese sentido, tendrá un menor factor de potencia.

2.2.2.8. Hornos eléctricos de arco voltaico

Para el funcionamiento de hornos eléctricos, estos presentan una característica cuando están en operación, ya que su factor de potencia varia en un amplio margen, este suele oscilar entre los valores de 0.5 y 0.85, en el caso de los hornos, presentan un bajo factor de potencia debido a que, en primera instancia, el arco al comienzo del ciclo tiene menor conductividad, por lo que, la corriente está detrás del voltaje. En segunda instancia, cuando el arco está en cortocircuito, se hace una limitación de intensidad de corriente, a un valor que sea más seguro, gracias a la reactancia, y esta reactancia ocasiona un nivel bajo del factor de potencia.

2.2.2.9. Soldadoras eléctricas de corriente alterna

La naturaleza del funcionamiento de estas máquinas presenta un menor factor de potencia, ya que presentan una reactancia interna, para limitar las corrientes de cortocircuito en el momento que se logra producir el arco.



2.2.3. Tipos de cargas eléctricas y potencia

2.2.3.1. Carga lineal

(Ríos, 2014), plantea que la carga lineal se considera cuando la tensión y corriente se encuentran relacionadas por un factor que está en un estado constante, por lo tanto, la forma de onda de la corriente tiende a tener un valor similar a la forma de onda de la tensión, en especial en los casos que suelen aplicar voltajes senoidales, donde al tener una relación directa con cargas de resistencias, inductancias, capacitores o en una combinación de ellos logra producir una corriente senoidal.

2.2.3.2. Carga no lineal

Con respecto a la carga no lineal, el investigador (Ríos, 2014), establece que la carga no lineal, se encuentra relacionada a la tensión/corriente, sin embargo, esta no es una constante, ya que la impedancia puntual no genera ningún cambio, con respecto, a la forma de onda de la corriente esta es totalmente diferente a la forma de onda de la tensión. Esto debido a que la curva característica de la corriente y tensión de la carga se logran definir si es o no lineal. Además, Ríos añade que no se debe confundir que todos los equipos tienen semiconductores ya que por definición no son lineales.

2.2.3.3. Potencia activa

La potencia activa, es entendida como la potencia útil, es decir, es la que se logra transformar íntegramente en energía, y esta energía se establece en el trabajo y calor, resultando la energía mecánica y pérdidas respectivamente, a esta potencia se le reconoce con la letra P, su unidad es el Watt y el símbolo de esta unidad es W.



2.2.3.4. Potencia aparente

Con respecto a la potencia aparente, los investigadores (Portocarrero & Mendoza, 2014), establecen que esta potencia en un circuito eléctrico de corriente alterna, resulta ser la suma de la energía que se disipa en dicho circuito, este fenómeno se da en un cierto tiempo y se transforma en calor o trabajo, por otro lado, la energía también es utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes. Además, esta potencia en su totalidad no es realmente consumida, solo en el caso que se establece el FDP ($\cos \phi$) que resulta ser la unidad, en este caso, nos señalaría que la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los componentes que presentan una resistencia, además de que, se debe añadir las que serán suministradas por bobinas y condensadores. A esta potencia se le designa la letra S, siendo su unidad el VoltAmperio, y el símbolo de la unidad es V A.

2.2.3.5. Potencia reactiva

La potencia reactiva no se logra convertir en trabajo útil, ya que suele aumentar la potencia total que transporta y distribuye por las diversas compañías suministradoras de energía, por lo tanto, existen pérdidas en la distribución de energía. Esta potencia es usada para ciertos equipos y/o máquinas que crean campos eléctricos y magnéticos como son los casos de reactancias, motores, transformadores entre otros. Finalmente, a esta potencia se denota con la letra Q, su unidad es el Voltamperio reactivo y su símbolo es el VAR.

2.2.4. Armónicos en las redes perturbadas

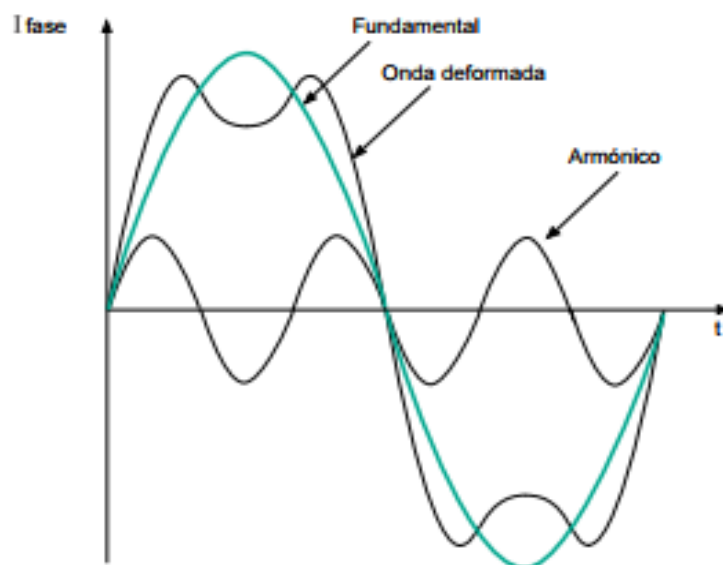
(Collombet C & Lupin J & Schonek, 2000) consideran que la energía eléctrica se distribuye en tres fases, y dentro de estas tres fases, los parámetros del sistema deben ser lo más parecido posible a una senoide. De ahí su

importancia en las industrias buscan una mayor eficiencia, ya que, es necesario corregir esta forma de onda para que logre parecerse a la forma antes mencionada, estos armónicos surgen debido a las distintas fuentes de perturbación como hornos de arco, convertidores estáticos de potencia o incluso ciertos tipos de alumbrados entre otros.

Los autores consideran que las magnitudes armónicas son la variación de una magnitud física que tiene una frecuencia múltiplo de la componente fundamental, y es la amplitud del armónico es generalmente un porcentaje de la fundamental como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Onda Deformada



Nota. (Magnitudes de los armónicos, 2000)

2.2.4.1. Principales perturbaciones producidas por las corrientes y tensiones armónicas

(Collombet C & Lupin J & Schonek, 2000) plantean que existen dos efectos, los efectos instantáneos y los retardados. En el caso de los efectos instantáneos suelen perturbar a los dispositivos de regulación, influyen las



condiciones de conmutación de los tiristores cuando desplazan el paso por cero de la tensión, ocasionan vibraciones y ruidos acústicos en los aparatos electromagnéticos y finalmente, generan perturbaciones inducidas sobre las líneas de pequeñas corrientes como los teléfonos, telemandos entre otros. Para los efectos retardados, los investigadores determinaron que es el calentamiento de los condensadores, el calentamiento debido a las pérdidas suplementarias de las máquinas y los transformadores, y el calentamiento de los cables y de los equipos. Estas perturbaciones se pueden dar con mucha probabilidad en las plantas que no tengan las medidas preventivas, como lo son los filtros activos.

2.2.4.2. Límites aceptables

Existen diversos límites que resultan ser permisibles de acuerdo a varias normas nacionales e internacionales. En este caso, para una máquina síncrona se considera una distorsión en corriente estatórica admisible de 1,3 a 1,4%, para una máquina asíncrona se limita una distorsión en corriente estatórica admisible de 1,5 a 3,5%, para los cables se considera una tensión conductor-pantalla del 2010, para los condensadores de potencia, se considera una distorsión en corriente de 83% en esta aplicación la sobrecarga en tensión puede alcanzar el 10%. (Collombet C & Lupin J & Schonek, 2000).

Considerando los límites normalizados que plantean los investigadores (Collombet C & Lupin J & Schonek, 2000), plantean que la norma de compatibilidad electromagnética CEI 61000 define los límites de emisión de corriente armónica por los aparatos que consumen menos de 16A por fase se aplica CEI 61000-3-2, en el caso de que se mayor de 16A se considera el CEI 61000-3-4. En el caso de los límites del CEI 61000-2-2 define los niveles de compatibilidad de tensiones armónica en las redes

públicas BT. También se hace uso del CEI 61000-2-4 que define los niveles de compatibilidad en las redes de las instalaciones industriales de los cuales se puede observar en la figura 14.

Tabla 1

Niveles de Compatibilidad para las Tensiones Armónicas Individuales en una Red Pública

Rango armónico n	Tensión armónico %	Rango armónico n	Tensión armónico %	Rango armónico n	Tensión armónico %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	> 21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			> 12	0,2
>25	$0,2 + 0,5 \times 25 / n$				

Nota. (Niveles de compatibilidad. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento, 2000).

2.2.4.3. Generadores de magnitudes eléctricas armónicas

Como se ha mencionado anteriormente, en el ámbito industrial existen varios generadores de armónicos, entre ellos están los convertidores estáticos, los hornos de arco, alumbrado, inductancias saturables y máquinas rotativas.

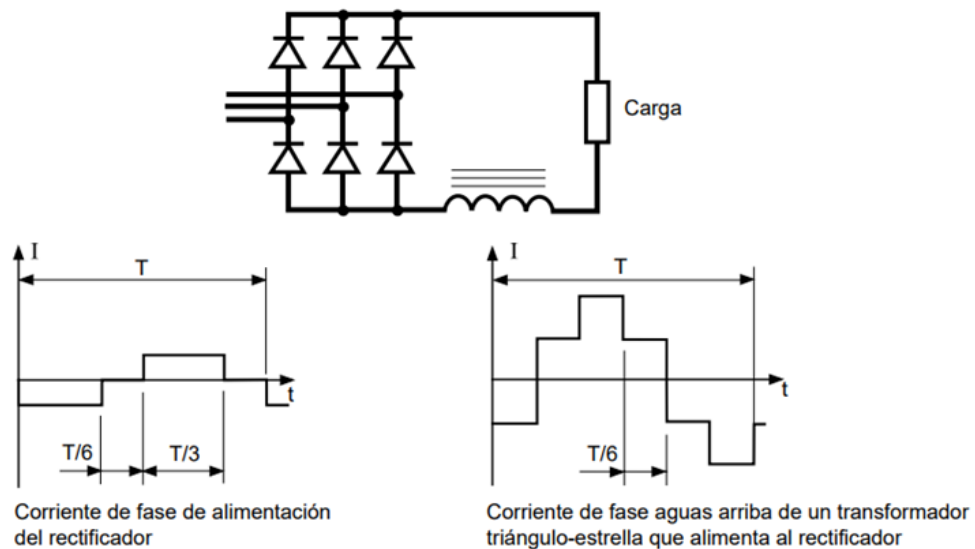
A. Convertidores estáticos en la red trifásica

En este punto, se considera que los puentes rectificadores y un tanto los convertidores estáticos que son los diodos y tiristores son generadores de corriente armónica. En ese sentido, el puente de Graetz establece que la corriente continua consumida hace aparecer una corriente no senoidal, que cuando presenta una carga inductiva presenta una forma escalonada como se observa en la figura 2, o también cuando tiene picos en los

puentes de diodo como se observa en la figura 3. En ambos casos presentan componentes armónicos son de orden impar.

Figura 2

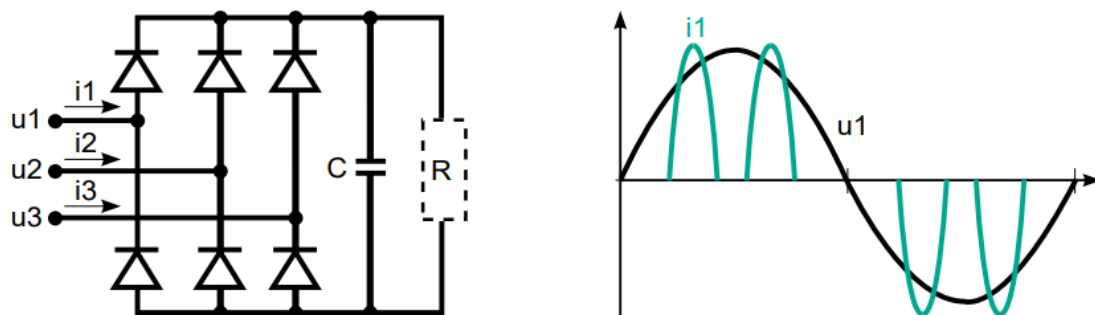
Corriente Alterna Aguas Arriba de un Rectificador de Graetz que Produce una Corriente Continua Perfecta Sobre una Carga muy Inductiva



Nota. (Corriente alterna aguas arriba con carga inductiva. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento, 2000)

Figura 3

Corriente Alternas Aguas Arriba de un Rectificador en Puente de Graetz Seguido de un Condensador



Nota. (Corriente alterna con rectificador de puente Graetz. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento., 2000)

B. Alumbrado

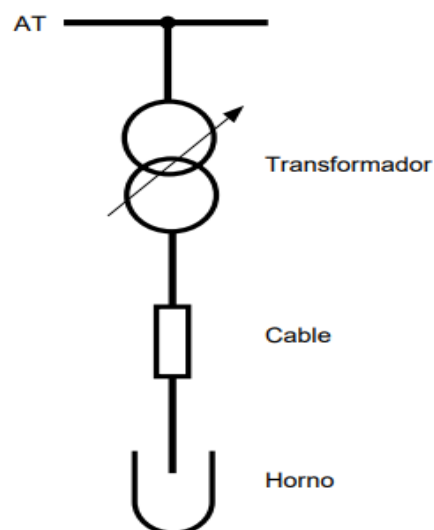
Toda industria hace uso del alumbrado, y este a través de lámparas de descarga y tubos fluorescentes generan corrientes armónicas, por lo que es necesario establecer un adecuado cálculo de la sección del neutro y su protección que transporta la suma de las corrientes armónicas de tercer rango de las tres fases, lo que implicaría un riesgo de calentamiento

C. Hornos de arco

Otro generador de armónicos son los hornos de arco, los cuales son usados con corriente alterna, tendrán un arco no lineal, asimétrico e inestable, por lo cual, induce espectros que contienen bandas impares, pares y una componente continua. Es necesario establecer que los investigadores (Collombet C & Lupin J & Schonek, 2000) mencionan que sólo la medida experimental permite determinar el espectro de manera precisa como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Caso de uno Horno de Arco Alimentado con Corriente Alterna



Nota. (Horno de arco alimentado con corriente alterna. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento., 2000)

D. Inductancias saturables

La amplitud de la corriente que atraviesa la impedancia de estas inductancias provoca deformaciones importantes en esta corriente. Por lo tanto, los transformadores en vacío estarán sometidos a una sobretensión constante.

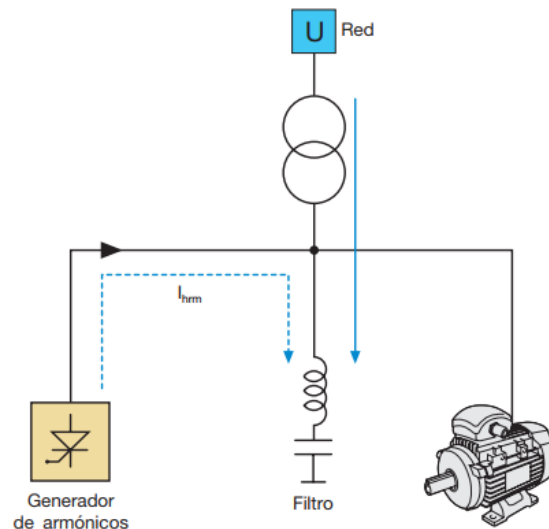
E. Máquinas rotativas

Las máquinas rotativas también generan armónicos de rango elevado y de amplitud normalmente despreciable. Los motores síncronos son generadores de tercer orden y estas pueden generar calentamiento permanente en los cableados de puesta a tierra.

2.2.5. Filtros para armónicos

2.2.5.1. Filtros pasivos

De acuerdo a (ABB, 2023), en el cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 se establece que, para evitar efectos negativos como la resonancia, es necesario insertar un inductor en serie a un condensador, no obstante, se debe aclarar que eso dependerá del dimensionamiento que se le dé, y será destinado de acuerdo al orden del armónico de corriente que se desea eliminar. Este filtro debe estar compuesto por un condensador conectado en serie a un inductor y su función es la de igualar la frecuencia de resonancia total a la frecuencia del armónico que se planea eliminar y este se puede observar en la figura 5, esta forma resulta ser económica y más sencilla de poner en funcionamiento

Figura 5*Filtro Pasivo*

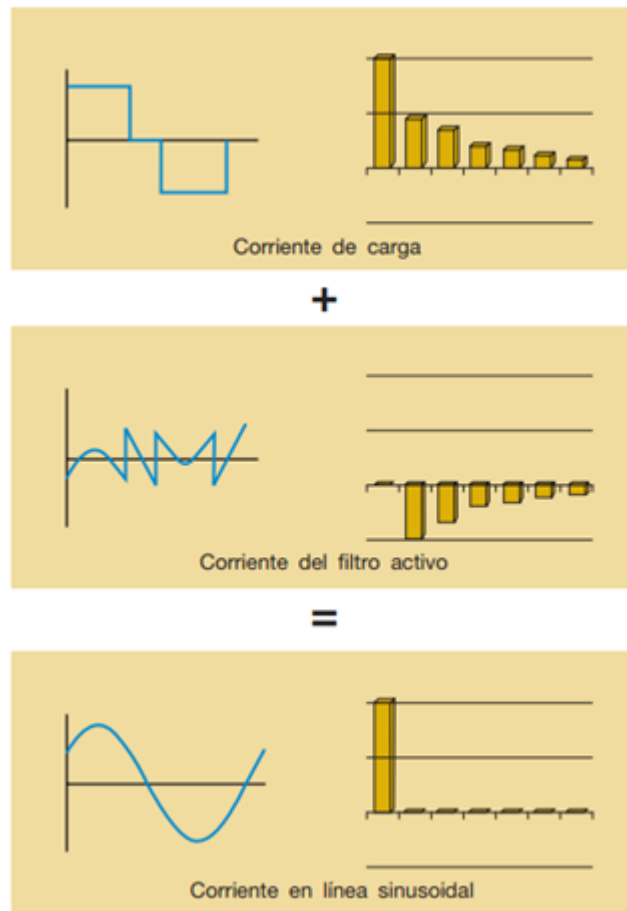
Nota. (Conexión de un filtro pasivo, 2023).

2.2.5.2. Filtros activos

De acuerdo a (ABB, 2023), se determina que un filtro activo presenta una capacidad de eliminar de forma automática los armónicos de corriente presentes en la red y que esta red presente una amplia gama de frecuencias. Debido a la gran tecnología que posee permite generar un sistema de armónicos capaz de anular los armónicos presentes en la red, esto se puede visualizar en la figura 6 y en la figura 7 se observa la conexión representada del filtro activo.

Figura 6

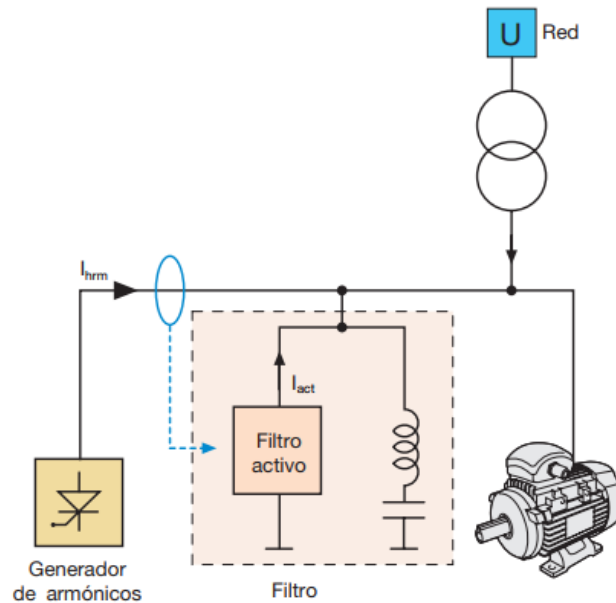
Eliminación de Armónicos por Filtros Activos



Nota. (Eliminación de armónicos por un filtro activo, 2023)

Figura 7

Filtro Activo



Nota. (Conexión de un filtro activo, 2023).

2.2.6. Determinación de parámetros para filtros activos

Para ello se requiere filtros sintonizados, donde el circuito de serie se compone de una inductancia en serie a una resistencia de bajo valor.

Figura 8

Filtro Sintonizado



Nota. (Conexión de un filtro sintonizado, 2012).



La impedancia de este filtro para la frecuencia se calcula con la siguiente formula:

$$Z_n = R + j(n * Xl - \frac{Xc}{n}) \tag{1}$$

Cuando la frecuencia de sintonía a la que ocurre el valor mínimo de impedancia coincide con la frecuencia de resonancia del filtro:

$$hn = \sqrt{\frac{Xc}{Xl}} \tag{2}$$

Seguidamente, determinar la potencia reactiva nominal del condensador se realizará a través de la sección de Xc y Xl:

$$Xc = \frac{Vn^2}{Qcn} \tag{3}$$

La reactancia del inductor se establece con la siguiente formula:

$$Xl = \frac{Xc}{hn^2} \tag{4}$$

La función de estos filtros se emplea para eliminar armónicos de orden bajo con un factor de calidad alto (Q =20-50 que se define de la siguiente manera:

$$Q = hn * \frac{Xl}{R} = \frac{Xc}{(jn * R)} \tag{5}$$

Una vez conocida la variable Xl, la resistencia se calcula mediante:

$$R = hn * \frac{Xl}{Q} \tag{6}$$

La impedancia del filtro debe estar establecida de acuerdo a la frecuencia fundamental se calcula mediante:

$$Z_1 = R + j(Xl - Xc) \tag{7}$$

En el caso de la potencia reactiva se calcula con la siguiente formula:

$$Q1 = \frac{Vn^2}{Xc - Xl} = \frac{Vn^2}{Xc(1 - \frac{1}{hn^2})} = Qcn \frac{hn^2}{hn^2 - 1} \tag{8}$$



La fórmula que nos permite determinar la potencia reactiva del filtro es:

$$Q_{Filtro} = Q_c * \frac{hn^2}{(hn^2 - 1)} \quad (9)$$

Seguidamente, X_c se calcularía aproximadamente a partir de Q_1 con la siguiente formula:

$$X_c = \frac{Vn^2}{Qcn} \approx \frac{Vn^2}{Q_1} \frac{hn^2}{hn^2 - 1} \quad (10)$$

En ese caso se debe determinar la reactancia del capacitor de la siguiente manera:

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (11)$$

Para la capacitancia por fase, está dado por:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (12)$$

En el caso de la reactancia característica viene dado por:

$$X_n = \frac{X_c}{hn} \quad (13)$$

Por lo tanto, la resistencia intrínseca se calcula mediante:

$$R = \frac{X_n}{Q} \quad (14)$$

La inductancia por pase está sujeta a la siguiente formula:

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (15)$$

Entendiendo que:

Q_c : Potencia reactiva necesaria



Hn : El Factor de de-sintonía necesario

Q : Factor de calidad a frecuencia de-sintonía

V : Tensión nominal

F : Frecuencia nominal

Además, se tiene la ecuación para poder determinar el total de la distorsión de la corriente armónica como se muestra a continuación:

$$THD_c = Total\ Harmonic\ Current\ Distorsion = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} * 100\% \quad (16)$$



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos de investigación

Para la realización de esta investigación, fue necesario el uso de técnicas como la medición a través de los siguientes instrumentos necesarios para la obtención de datos reales y exactos:

3.1.1. Power Monitoring Expert

Es un software de análisis de energía que fue desarrollado por la marca Schneider Electric, este permite maximizar la confiabilidad del sistema de distribución y el tiempo de disponibilidad de energía, lo que permite la optimización de la eficiencia operativa y mejorar la rentabilidad de cualquier industria que haga uso de esta tecnología.

De acuerdo a la propia empresa (Schneider Electric, 2023), Indica que este software presenta las siguientes características:

- Admite varios idiomas.
- Monitoreo en tiempo real.
- Informes de análisis de consumo.
- Soporte integral con informes y visualizaciones en tiempo real

- Administrar alertas predefinidas o personalizadas
- Registra datos sobre Microsoft SQL.
- Compatible con la tecnología ION
- Admite migración de las versiones de ION Enterprise y System Manager Software.

3.1.2. PM 850

Este potenciómetro de la serie PM 800 ofrece diversas funciones que permiten realizar la medición de las instalaciones eléctrica, logrando supervisar continuamente todas las medidas, su pantalla permite visualizar las tres fases y el neutro. Cuenta con comunicación RS-485, lo que permite visualizar sus mediciones de forma remota, cuenta con entrada digital y salida digital y alarmas. Es parte de la familia de los PM820 y PM 850, los cuales permiten analizar la calidad de energía hasta el armónico 63, los tipos de medición que tiene son la corriente, el voltaje, la frecuencia, el factor de potencia total, potencia aparente total, potencia activa total, potencia reactiva total, potencia activa por fase, potencia reactiva por fase, energía y factor de potencia por fase. Esta serie es descontinuada, no obstante, la empresa cuenta aún con estos medidores en sus instalaciones, los cuales sirvieron para poder realizar las mediciones respectivas.

Figura 9

PM 850



Nota. (PM 850, 2023)

3.1.3. PM 800

Es un central de medida que puede analizar la calidad de energía hasta el armónico 63, los tipos de medición que tiene son la corriente, el voltaje, la frecuencia, el factor de potencia total, potencia aparente total, potencia activa total, potencia reactiva total, potencia activa por fase, potencia reactiva por fase, energía y factor de potencia por fase. Este dispositivo se encuentra discontinuado en el 2016, es decir, que ya no se fabrica. No obstante, la empresa cuenta aún con estos medidores en sus instalaciones, los cuales sirvieron para poder realizar las mediciones respectivas.

Figura 10

PM 800



Nota. (PM 800, 2023).

3.1.4 FLUKE 1736 POWER LOGGER

Los analizadores de calidad eléctrica 1736 y 1738 de Fluke son instrumentos multifuncionales para realizar estudios de consumo de energía eléctrica, cargas y calidad de energía.

Principales medidas: Captura y registra automáticamente los valores de voltaje, intensidad, potencia, armónicos y calidad de energía asociada, y captura caídas y subidas de tensión. (FLUKE, POWER LOGGER 1736, 2024)

Figura 11

Fluke Power Logger 1736



Nota. (FLUKE, POWER LOGGER 1736, 2024)

3.2. **Ámbito de investigación**

3.2.1. **Tipo de Investigación**

Para este proyecto de tesis, el tipo de investigación en cada objetivo es cuantitativo, ya que se trabajará con datos exactos, a través de cálculos y mediciones.

3.2.3. **Diseño**

Esta investigación será no experimental de estudio transversal. Es no experimental, porque las variables no serán manipuladas ni controladas, tal cual se encuentren en las mediciones de los equipos se realizará el estudio. Es



transversal porque se realizará con datos del año 2023 para su estudio y comprensión.

3.3. Población y muestra

La población de este estudio es en el distrito de Caracoto, provincia de San Román y región Puno. La muestra es de la sala eléctrica 310 de 1 megavatio de potencia nominal donde se realizará las mediciones.

3.4. Técnicas e instrumentos de recogida de información

3.4.1. Técnicas de Investigación

A. Revisión documental

Esta técnica permitirá recopilar, revisar, analizar, seleccionar y extraer información de diversas fuentes, para lograr obtener una mayor comprensión profunda sobre el tema de investigación que se va a realizar. Esta técnica consistirá en revisión de documentos, informes sobre el tema en cuestión con la finalidad de obtener información pertinente que aporte al objetivo de esta investigación.

B. Observación

La observación científica permite establecer una investigación científica, ya que se logra caracterizar porque existe un estricto método, objetivos concretos y no cae en subjetividades. Es por ello, que la observación permite establecer un proceso empírico básico, donde a través de las mediciones se establecerá la precisión cuantitativa y sin cambiar deliberadamente los valores de ciertas variables, ya que la investigación busca observar toda la información pertinente y de utilidad para alcanzar los objetivos de esta tesis.

C. Medición

La medición será realizada mediante instrumentos industriales, que permitan brindar datos exactos y en tiempo real, para poder recoger los datos de todos



los equipos en cuestión, ya que, al ser instrumentos certificados e industriales, permiten un grado relativo de exactitud, ya que son los mismos equipos que usan en la planta cementera, además de diversos especialistas en la medición de estos valores.

3.4.2. Instrumentos de recogida de información

Los instrumentos a utilizar para esta investigación fueron: para el caso de revisión documental, las fichas fueron el instrumento utilizado, para la observación, fue una escala de estimación, y para la medición los instrumentos a utilizar fueron los softwares Power Monitoring Experte, el PM5560, multímetros, pinza amperimétrica y el fluke 1736.

3.5. Recogida de datos

Primeramente, se acumuló toda la información primaria para después analizar los datos obtenidos y poder plantearlos de forma cuantitativa. Y es a partir, de estos datos teóricos, que se establecerá el siguiente paso, el cual será la obtención de datos mediante la medición de los medidores PM5560 y del software de Power Monitoring Expert, donde mostraran los datos en tiempo real y con exactitud, en la cual a través de un registro propio de estos equipos y de forma externa se contrastó los valores, se colocará una base de datos los resultados obtenidos de ambas fuentes. Para finalmente analizar los datos, discutir e interpretar los resultados a fin de establecer una propuesta de mejora y poder elaborar conclusiones y recomendaciones.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Presentación

Se realizó el análisis de calidad de energía una sala eléctrica de 1 megavatio de potencia nominal, los datos obtenidos se relazaron con los medidores de energía PM800 Y PM850 de la marca Schneider Electric. Con software Power Monitoring Expert y con el analizador de redes POWER LOGGER FLUKE 1736 los cuales nos ayudaron obtener datos más exactos.

Los datos obtenidos fueron a la vez calculados de forma matemática con fines académicos, el uso de software y instrumentos de medición estos facilitan la toma de datos y aseguran la fidelidad de estos datos.

Las mediciones sobre la calidad de energía resultan ser mayores a los valores permisibles resultando ser perjudiciales, lo que genera daños a los equipos y pérdidas económicas según lo establece uno de nuestra hipótesis.

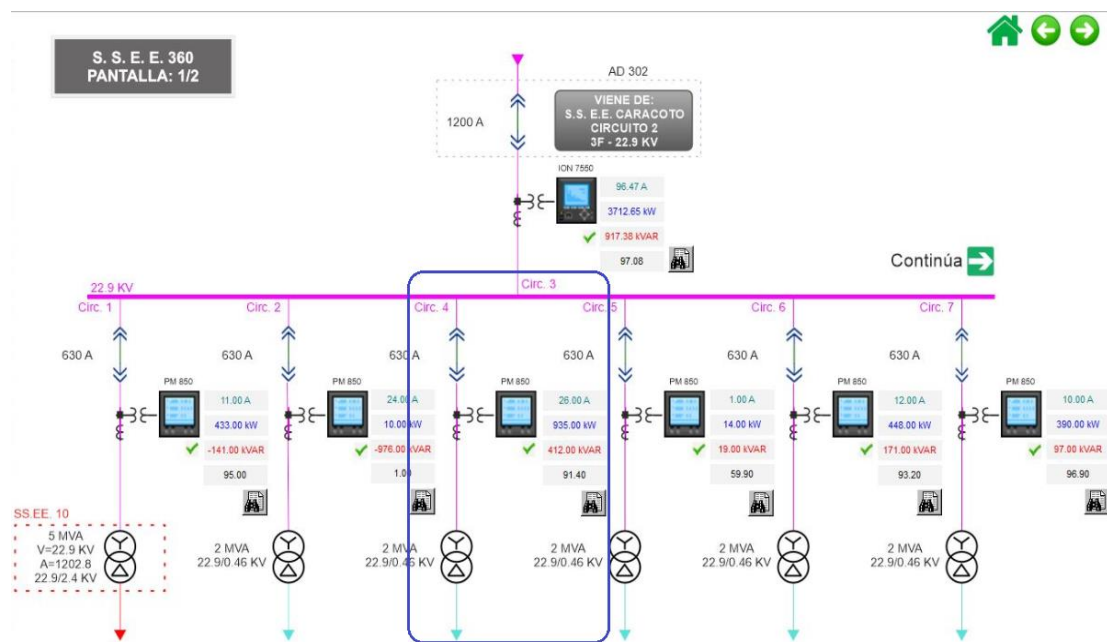
Se está determinando un costo aproximado de un sistema de filtros activos el cual será analizado para determinar si estos son viables para esta propuesta de optimización de calidad de energía para una potencia de 1 mega vatio en una planta cementera del sur del Perú

4.2. Análisis e interpretación de resultados

Dentro de los resultados que se encontraron en el estado actual, se encontró la calidad de energía haciendo uso del software Power Monitoring Expert, ya que permitieron visualizar todos los datos, como corriente, tensión, frecuencia, factor de potencia, energía y potencia activa y reactiva. En este software se puede visualizar el tiempo real algunas lecturas en tiempo real, de las cuales Molienda e Hidratación serán las salas eléctricas donde se realizará las lecturas para su posterior análisis y propuesta.

Figura 12

Sala Eléctrica – Power Monitoring Expert



Nota. Elaboración propia

A. Medición de la corriente de filtro

En el análisis que se ejecutó en las instalaciones de la planta cementera del sur peruano, se tiene una alimentación de 22.9 KV, a la subestación de planta, dentro de ellos tenemos la sala eléctrica, celda AD310 que alimenta un transformador de potencia de 2 MAV 22.9/0.46 KV.

En la sala eléctrica 310 de 1 megavatio de potencia, tenemos las siguientes cargas:

Figura 13

Sala Eléctrica 310 - I

Nota. Elaboración propia

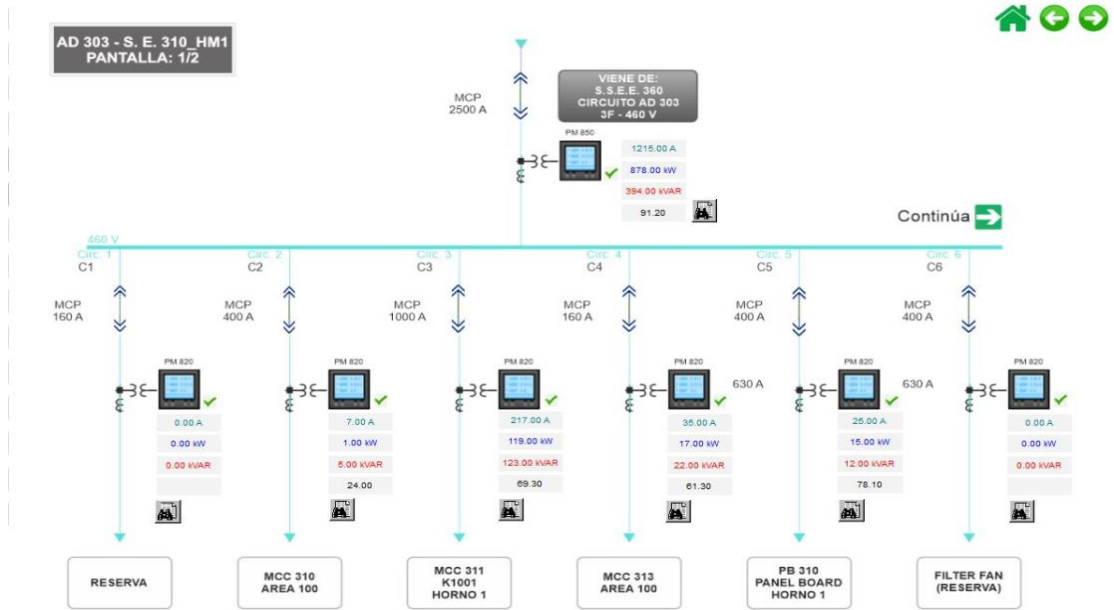
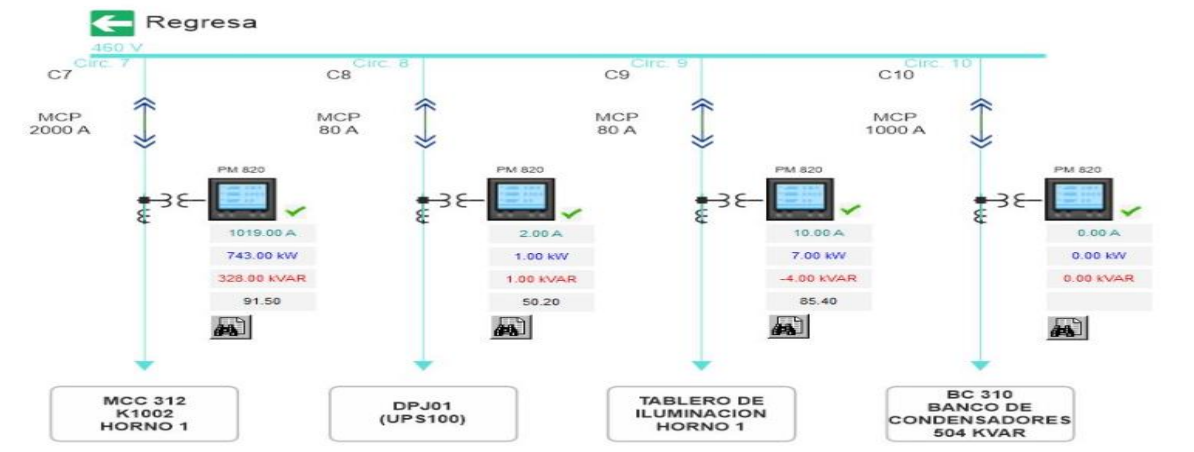


Figura 14

Sala Eléctrica 310 - II



Nota. Elaboración propia

Se utilizó un PowerLogic de la serie PM850, este proporciona una capacidad de medición de alto rendimiento, necesarias para monitorear una instalación eléctrica.

B. Análisis de calidad de energía en media tensión

Tenemos el análisis de calidad de energía desde la SSEE principal con el medidor de energía PM850 y analizador de redes Fluke para la sala eléctrica SE-310, estos datos fueron obtenidos con un banco de condensadores instalados de 504 KVAR-460V-60HZ-3F. Esto ayuda a mitigar solo la energía reactiva generada por motores inductivos, los datos tomados son un promedio de datos tomados por un mes, los cuales se pueden observar en la tabla.

Tabla 2

Datos de sala eléctrica SE – 310 - I

		Intensidad	Tensión	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Factor de potencia	THD intensidad	THD Voltage
Fecha y hora	Nodo	(I)	(V)	(W)	(VAR)	(VA)	(FP)	(%)	(%)
6/02/2024 07:00	SSEE_SALA_310	22,978	22,690	923,131	341,864	924,711	93,782	30,606	4,652
6/02/2024 08:00	SSEE_SALA_310	24,112	22,727	904,736	333,359	969,543	93,85	30,656	4,663
6/02/2024 09:00	SSEE_SALA_310	25,336	22762.348	924,311	344,2	1,012,516	93,726	30,131	4,764
6/02/2024 10:00	SSEE_SALA_310	24,532	22764.151	903,168	338,254	987,84	93,667	30,16	4,741
6/02/2024 11:00	SSEE_SALA_310	23,849	22749.649	901,764	336,338	952,963	93,705	29,919	4,687
6/02/2024 12:00	SSEE_SALA_310	23,113	22832.844	896,937	332,934	926,268	93,764	30,711	4,721
6/02/2024 13:00	SSEE_SALA_310	23,399	22855.487	906,178	340,419	945,55	93,617	30,231	4,504
6/02/2024 14:00	SSEE_SALA_310	24,103	22881.784	905,33	336,234	970,284	93,761	30,707	4,751
6/02/2024 15:00	SSEE_SALA_310	25,366	22836.134	923,7	346,592	1,019,099	93,633	29,85	4,846
6/02/2024 16:00	SSEE_SALA_310	24,196	22866.714	897,607	332,449	974,773	93,788	30,435	4,729
6/02/2024 17:00	SSEE_SALA_310	23,571	22877.539	899,781	334,293	953,108	93,744	29,675	4,787
6/02/2024 18:00	SSEE_SALA_310	22,837	22890.111	905,287	333,779	929,19	93,845	30,916	4,837
6/02/2024 19:00	SSEE_SALA_310	23,909	22946.408	915,959	342,308	963,652	93,695	29,601	4,878
6/02/2024 20:00	SSEE_SALA_310	24,752	22979.08	917,881	341,304	1001,91	93,766	30,38	5,04
6/02/2024 21:00	SSEE_SALA_310	24,848	23036.977	917,981	343,021	1006,84	93,689	30,066	4,776
6/02/2024 22:00	SSEE_SALA_310	24,609	23049.879	921,219	346,226	994,789	93,631,	30,035	4,902
6/02/2024 23:00	SSEE_SALA_310	23,387	23064.887	902,371	334,98	950,91	93,767	30,508	4,9
7/02/2024 00:00	SSEE_SALA_310	23,261	23018.932	915,031	342,341	940,279	93,665	30,486	4,902

Nota. Elaboración propia

En la siguiente tabla tenemos datos medidos sin el banco de capacitores este fue deshabilitado para tomar datos de la influencia de la energía reactiva en los datos tomados.

Tabla 3

Datos de sala eléctrica SE – 310 - II

		Intensidad	Tensión	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Factor de potencia	THD intensidad	THD Voltage
Fecha y hora	Nodo	(I)	(V)	(W)	(VAR)	(VA)	(FP)	(%)	(%)
7/02/2024 07:00	SSEE_SALA_310	25,867	22,785	938,456	404,097	1,028	93,782	25,217	4,684
7/02/2024 08:00	SSEE_SALA_310	25,464	22,731	907,364	411,687	1,019	93,85	21,982	4,364
7/02/2024 09:00	SSEE_SALA_310	25,466	22863,779	907,018	419,052	1,023	93,726	22,135	4,129
7/02/2024 10:00	SSEE_SALA_310	25,303	22860,164	913,734	421,716	1012,03	93,667	22,25	3,996
7/02/2024 11:00	SSEE_SALA_310	24,429	22883,587	901,336	415,892	966,05	93,705	22,618	4,077
7/02/2024 12:00	SSEE_SALA_310	24,007	22952,601	896,072	409,572	960,862	93,764	22,792	4,296
7/02/2024 13:00	SSEE_SALA_310	24,167	22919,94	878,741	400,039	974,199	93,617	29,47	4,596
7/02/2024 14:00	SSEE_SALA_310	22,251	22888,942	794,333	283,958	893,403	93,761	22,282	4,774
7/02/2024 15:00	SSEE_SALA_310	11,521	22965,512	447,234	79,111	461,516	93,633	48,772	4,15
7/02/2024 16:00	SSEE_SALA_310	17,194	22878,964	581,636	118,558	693,989	93,788	41,438	4,311
7/02/2024 17:00	SSEE_SALA_310	22,801	22982,973	884,909	412,952	926,512	93,744	22,564	4,295
7/02/2024 18:00	SSEE_SALA_310	24,523	22928,832	898,909	419,08	983,829	93,845	22,046	4,166
7/02/2024 19:00	SSEE_SALA_310	24,554	23010,566	875,05	406,711	990,083	93,695	22,541	4,176
7/02/2024 20:00	SSEE_SALA_310	24,652	22979,501	881,5	389,196	989,148	93,766	23,493	4,271
7/02/2024 21:00	SSEE_SALA_310	23,463	22885,573	871,834	321,508	943,933	93,689	29,665	4,468
7/02/2024 22:00	SSEE_SALA_310	22,658	22916,022	868,911	318,306	918,492	93,631,	30,295	4,559
7/02/2024 23:00	SSEE_SALA_310	22,529	22911,474	881,452	325,453	908,103	93,767	29,485	4,439
8/02/2024 00:00	SSEE_SALA_310	22,658	22918,125	876,365	326,254	945,825	93,665	26,658	4,462

Nota. Elaboración propia

Primeramente, comenzaremos analizando los valores de las tasas de distorsión armónica total de corriente y tensión, con los cuales podremos determinar de manera rápida si es que existen problemas ocasionados por armónicos en las instalaciones eléctricas de dicha sala.

En la tabla 3 se puede observar gráficamente la variación de estos parámetros eléctricos en el tiempo, el valor de THD(v) está dentro de lo estipulado por el CNE, sin embargo, el valor del THD(i) no está dentro del límite permitido por el IEEE 519-2014.

Tabla 4

Valores permisibles

Descripción	Valor Medido(%)	Valor Permissible(%)
THD(v)	4,8	8
THD(i)	42,5	20

Nota. Elaboración propia

Ahora tenemos las tablas tomadas en el medidor PM850 En la misma sala eléctrica SE_310

Tabla 5

Toma de datos banco de condensadores deshabilitados - I

		Intensidad	Tensión	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Factor de potencia	THD intensidad	THD Voltage
Fecha y hora	Nodo	(I)	(V)	(W)	(VAR)	(VA)	(FP)	(%)	(%)
4/02/2024 07:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1,014	461.778	769.212	328.916	836.65	90.895	26.054	8.932
4/02/2024 08:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1,031	462.801	783.502	335.542	852.18	90.297	26.7	9.015
4/02/2024 09:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1,026	462.85	778.57	335.516	847.933	90.198	26.695	9.062
4/02/2024 10:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	975	463.937	738.162	324.987	806.627	90.116	27.178	8.65
4/02/2024 11:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	964	459.74	726.074	315.25	791.507	90.182	27.256	8.604
4/02/2024 12:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1,032	459.136	777.831	330.973	845.202	89.917	26.365	9.068
4/02/2024 13:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1033.846	459.129	778.688	332.757	846.691	89.918	26.406	9.174
4/02/2024 14:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1039.869	458.269	782.38	333.44	850.312	90.076	26.184	9.139
4/02/2024 15:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1019.923	457.868	766.231	329.679	833.769	90.167	26.557	8.954
4/02/2024 16:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	972.533	458.211	731.567	314.616	796.434	89.909	27.007	8.556
4/02/2024 17:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	980.8	458.053	737.617	316.774	802.65	89.417	26.975	8.751
4/02/2024 18:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1027.201	457.099	771.363	329.869	838.823	85.611	26.438	9.212
4/02/2024 19:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1037.184	456.401	779.091	328.223	845.492	89.292	26.084	9.212
4/02/2024 20:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1029.113	456.668	772.434	327.299	839.241	89.771	26.528	9.128
4/02/2024 21:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1007.009	456.799	755.723	323.358	822.15	90.287	26.514	9.037
4/02/2024 22:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	975.197	456.267	728.628	312.079	792.466	91.642	26.833	8.892
4/02/2024 23:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1001.268	456.366	751.354	321.862	817.359	87.436	26.885	9.004
5/02/2024 00:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	1074.614	456.527	804.246	338.722	872.677	91.87	25.904	9.484

Nota. Elaboración propia

En la siguiente tabla se deshabilito los bancos de condensadores para tomar los datos.

Tabla 6

Toma de datos banco de condensadores deshabilitados -II

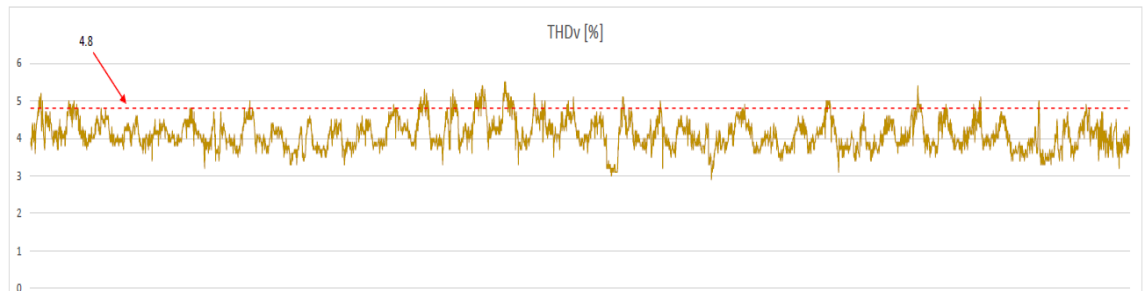
		Intensidad	Tensión	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Factor de potencia	THD intensidad	THD Voltage
Fecha y hora	Nodo	(I)	(V)	(W)	(VAR)	(VA)	(FP)	(%)	(%)
1/02/2024 09:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	930.502	460.296	687.232	313.518	755.193	90.895	31.465	9.069
1/02/2024 10:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	965.132	457.134	707.457	336.691	783.219	90.297	25.634	7.9
1/02/2024 11:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	974.558	456.411	713.29	341.401	791.144	90.198	26.047	8.035
1/02/2024 12:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	964.498	457.053	708.321	340.431	786.047	90.116	26.068	8.088
1/02/2024 13:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	944.908	456.599	693.542	332.268	769.05	90.182	26.137	7.866
1/02/2024 14:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	931.836	456.18	682.559	328.697	757.859	89.917	26.046	7.689
1/02/2024 15:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	931.107	456.749	682.723	328.807	757.874	89.918	26.078	7.712
1/02/2024 16:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	950.677	456.332	694.232	334.61	771.003	90.076	25.938	7.827
1/02/2024 17:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	977.782	456.927	716.929	343.719	795.262	90.167	26.138	7.728
1/02/2024 18:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	991.317	456.277	722.412	351.417	803.432	89.909	27.088	7.588
1/02/2024 19:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	954.128	458.87	697.772	347.014	779.42	89.417	27.554	7.538
1/02/2024 20:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	563.649	462.876	403.301	236.444	467.991	85.611	35.1	5.681
1/02/2024 21:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	906.907	461.728	668.369	332.407	746.908	89.292	26.867	7.694
1/02/2024 22:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	928.106	462.794	685.76	333.851	762.964	89.771	25.991	7.769
1/02/2024 23:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	955.197	463.511	706.884	336.473	782.913	90.287	24.732	7.964
2/02/2024 00:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	759.878	467.883	578.387	252.658	631.296	91.642	34.682	8.557
2/02/2024 01:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	345.644	466.06	250.861	103.849	284.396	87.436	45.562	5.683
2/02/2024 02:00	SE013.INTERRUPTOR_GENERAL	827.059	462.652	624.287	268.524	679.436	91.87	34.643	9.479

Nota. Elaboración propia

Tenemos la figura 15 que muestra en el analizador de redes la variación de y distorsión armónica en el voltaje THD(v)

Figura 15

Datos del Analizador de Redes – THD (V)

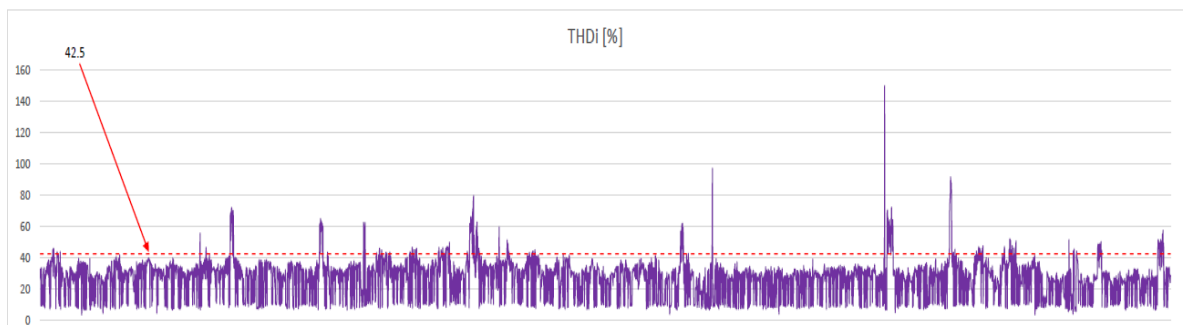


Nota. Elaboración propia

Tenemos la figura 16 que tomada por el analizador de redes fluke la distorsión armónica en la corriente THD(i)

Figura 16

Datos del Analizador de Redes – THDI (%)



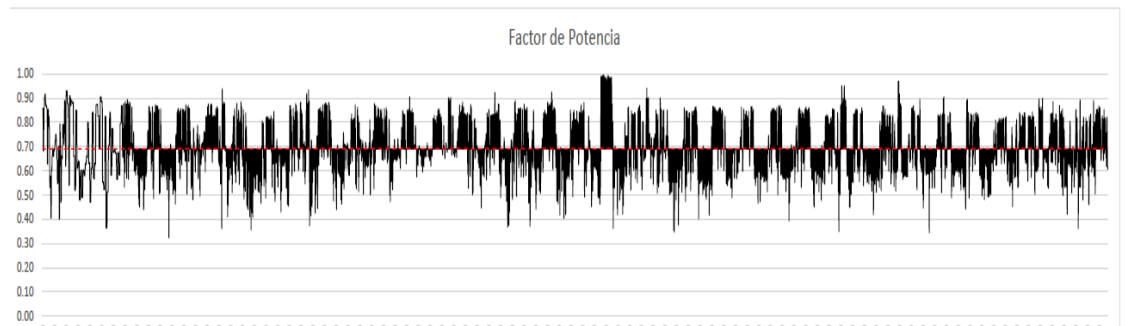
Nota. Elaboración propia

Los valores tomados por el medidor de energía PM850 son datos tomados por hora y los datos tomados por hora y los datos tomados por el analizador de redes FLUKE son datos en tiempo real y que configurado se registró en el valor pico significativo y promedio.

Tenemos la gráfica tomada para el factor de potencia con el analizador de redes fluke

Figura 17

Datos del Analizador de Redes – Factor de Potencia



Nota. Elaboración propia

Estos datos tomados son sin el banco de capacitores se tiene una clara caída y generación de potencia reactiva

Tabla 7

Datos del Factor de Potencia

Descripción	Valor Medido	Valor Permisible
factor de potencia	0,88	0,95-9,8

Nota. Elaboración propia

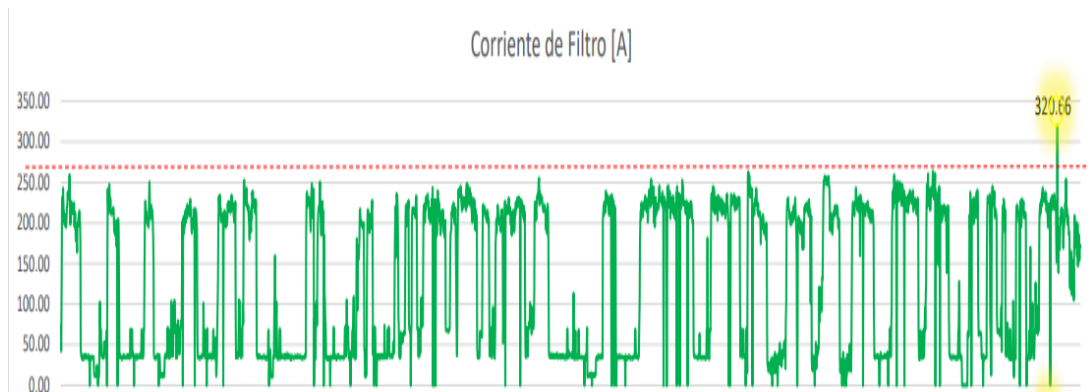
Ahora demostraremos matemáticamente los valores obtenidos y con los valores tomados por los medidores de energía PM850.

Además, se realizaron las mediciones mediante el mismo software, de acuerdo a los datos obtenidos en un tiempo de un mes aproximadamente en la corriente del filtro se observó un pico en la gráfica, y este pico fue de 320.66 A. El filtro activo actual que cuenta la empresa está diseñado para trabajar a 1000 m.s.n.m, y la planta industrial se encuentra aproximadamente a una altura de 3825 m.s.n.m., es por ello que se debe aplicar el derrateo por altura, ya que el actual filtro es de 262.49A y este como se observa en el gráfico se supera el valor por el cual fue diseñado. Para ello se observa que el pico de corriente es debido a un incremento de la corriente armónica (Ih) al conectar la carga. Para

ello se calcula que el valor del derrateo por altura representa el 28.25%, estableciendo que el filtro activo por altura debe ser de una capacidad de 365.25A.

Figura 18

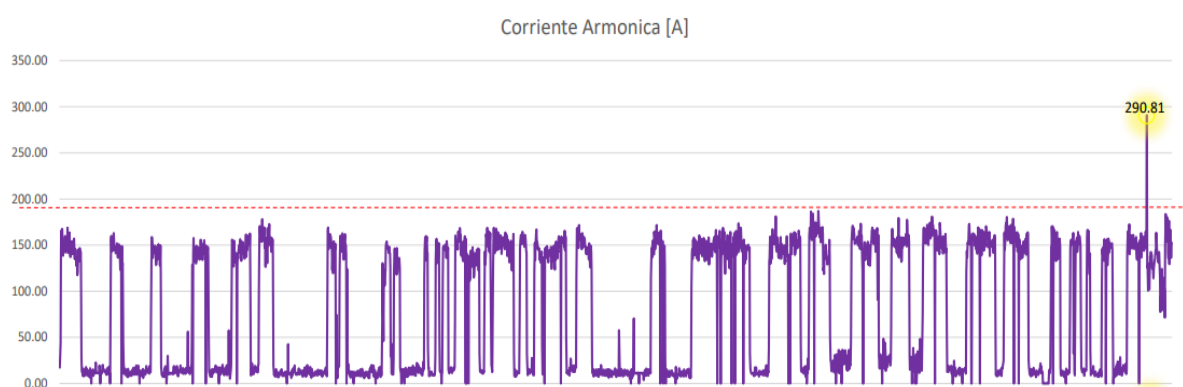
Medición de la Corriente de Filtro



Nota. Elaboración propia

C. Medición de corriente armónica

Seguidamente se realizó la medición de la corriente armónica, el software nos arrojó los siguientes resultados en una medición de treinta días aproximadamente, donde el pico fue de 290.81A, se observa, como al introducir de igual forma la conexión de una carga, se obtiene este pico en la corriente armónica.

Figura 19*Medición de la Corriente Armónica*

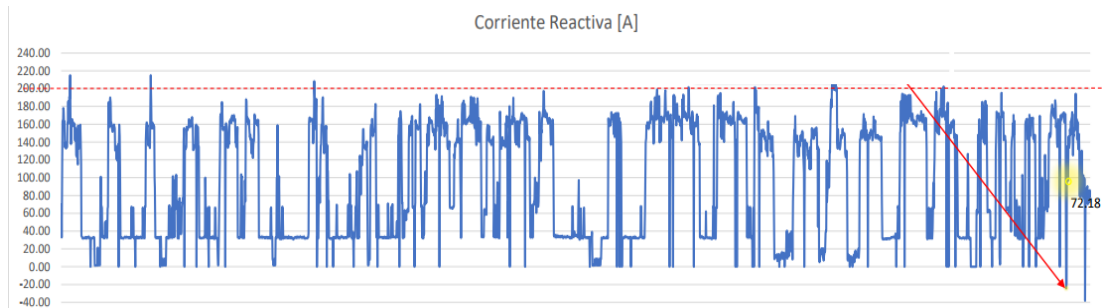
Nota. Elaboración propia

D. Corriente reactiva

Además, se realizó la medición de la corriente reactiva y se observó que existe una disminución en la gráfica en la cual se observa un rango de treinta días, que viene trabajando de esta forma debido a la presencia de un banco de condensadores que se encuentra en la misma línea. Se observa, que la corriente reactiva aumenta debido a la conexión de una carga, haciendo que el banco no sea suficiente para compensar esta diferencia. La corriente reactiva se incrementa a un valor de 200A, y este disminuye considerablemente si desconectamos la carga con la que probamos todas estas mediciones.

Figura 20

Medición de la Corriente Reactiva



Nota. Elaboración propia

E. Potencia reactiva a compensar

Con respecto a la potencia reactiva, como mostramos en la figura, existe una disminución considerable, esta gráfica tiene un rango también de treinta días, en donde se observa que en las últimas mediciones, donde se ha colocado la carga, el banco de condensadores no es suficiente para la potencia, eso se observa que en la potencia reactiva a compensar se eleva, y al desconectar la carga esta se disminuye hasta en -30KVAR, lo que nos indica que el banco de condensadores instalado es insuficiente.

Figura 21

Medición de la Potencia Reactiva a Compensar (kVAR)



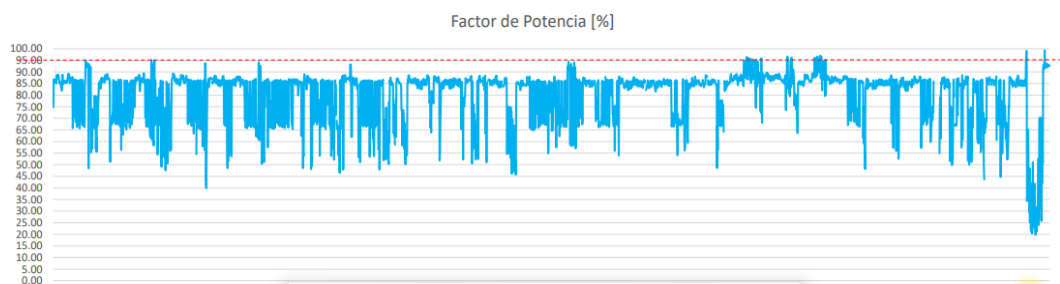
Nota. Elaboración propia

F. Factor de potencia

Al colocar la carga, el factor de potencia también sufre una variación considerable, ya que se ve afectado por esta carga, según la Figura 16 se encuentra en una disminución del 20%, esto nos indica que es un grave problema, ya que igual que la potencia reactiva, se observa que el banco de condensadores no se abastece para elevar el valor de factor de potencia. Ya que al observar en los últimos datos se observa, que, al desconectar la carga, el factor de potencia regresa a un valor menor al 95%, lo cual es un valor bajo, ya que debemos considerar que el valor ideal y objetivo es del 98%.

Figura 22

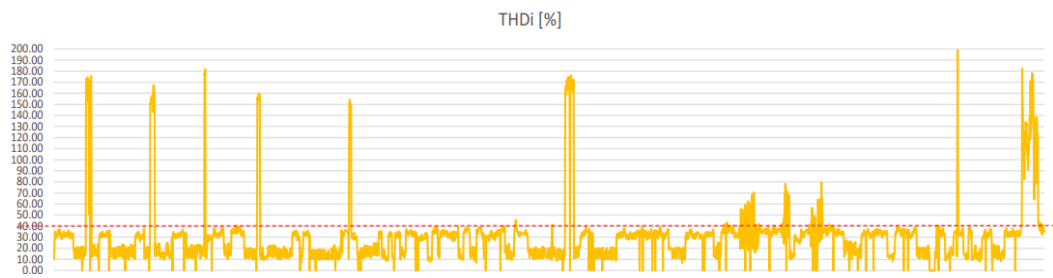
Medición del Factor de Potencia (%)



Nota. Elaboración propia

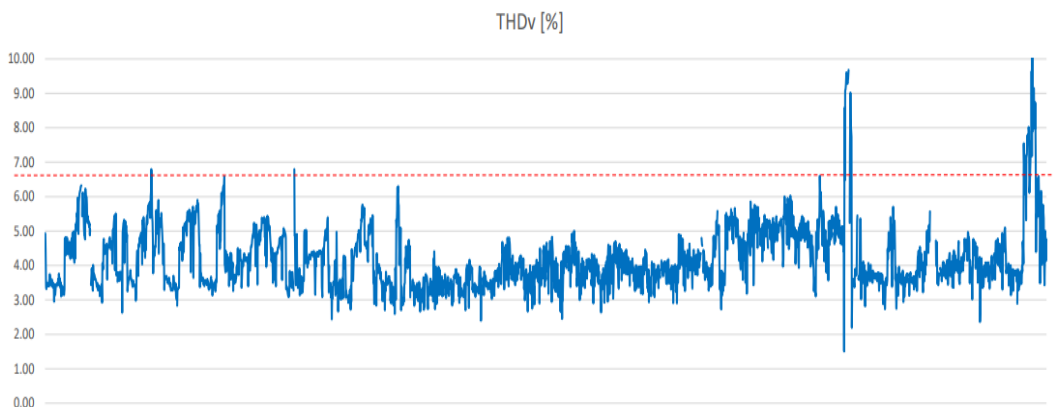
G. Distorsión armónica de corriente

Con respecto a la distorsión armónica de la corriente, se observa que existe un incremento considerable, esto es debido a que los armónicos son amplificados por el banco de condensadores y producidos por la carga conectada. De acuerdo a la teoría, el valor adecuado para trabajar considerando esta distorsión es del 10%, pero observamos en la figura, que, al desconectar la carga, el banco de condensadores sigue amplificando los armónicos hasta un 40%, lo cual resulta ser alarmante para el sistema eléctrico de esta planta cementera.

Figura 23*Medición de la Distorsión Armónica de Corriente**Nota.* Elaboración propia

H. Distorsión armónica de Tensión

En el caso de la distorsión armónica de tensión, se observa que existe un incremento considerable al conectar la carga, esto es debido a que la distorsión armónica de la tensión es amplificada por el banco de condensadores y la carga conectada. De acuerdo a la teoría, podemos establecer que el valor objetivo de esta distorsión es del 5%, pero se observa en la figura que, aunque se desconecte la carga, el banco de condensadores sigue amplificando los armónicos produciendo un valor de distorsión armónica de tensión del 7%, lo cual nos indica que existe un problema al respecto en el sistema eléctrico.

Figura 24*Medición de la Distorsión Armónica de la Tensión**Nota.* Elaboración propia

Se debe considerar que los valores trabajados en esta investigación resultan ser relevantes, ya que, al inicio de estas mediciones, no existen datos registrados por diversos problemas, como la desconexión del servidor de los analizadores de energía, es por ello que resulta crucial este análisis, considerando un rango de aproximadamente un mes.

Los valores tanto de la distorsión armónica de la corriente y de la tensión superan los valores permisibles, ya que en el caso de la corriente sobrepasa el 10% y el de la tensión está por encima del 5%.

4.2.1. Interpretación de resultados sobre la calidad de energía

De acuerdo a las mediciones realizadas en el software Power Monitoring Expert, se puede observar que, al simular una carga, este presenta valores que no se encuentran en los rangos permisibles y, por lo tanto, generarían daños a los equipos.

De acuerdo a la norma IEEE-159, estos valores obtenidos superan los valores límites proporcionados por esta norma, y esto significa un grave problema para este sistema eléctrico. Visualizando las tablas 8 y 9, podemos determinar que sobrepasa los valores limitados que se proporcionan en esta norma.

Tabla 8

Límite de Distorsión de Voltaje

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
1 kV $< V \leq 69$ kV	3.0	5.0
69 kV $< V \leq 161$ kV	1.5	2.5
161 kV $< V$	1.0	1.5 ^a

Nota. Tabla de valores de la norma IEEE-519

Tabla 9

Máxima Distorsión de Corriente Armónica

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Nota. Tabla de valores de la norma IEEE-519

Los valores obtenidos se reflejan que los valores de TDHi sobrepasan el 10% permisible y el TDHv está muy por encima del 5% permisible. Además, se observó que el banco de condensadores se encuentra conectado y estas han influenciado en la disminución de la potencia reactiva a compensar como se observa en la Tabla 10, no obstante, al observar las demás tablas, las dimensiones del filtro utilizado son de los datos máximos, ya que, el filtro activo funcionará con el banco desconectado, para así evitar el efecto de resonancia. Se ha obtenido los siguientes valores

Tabla 10

Valores Obtenidos por Medición

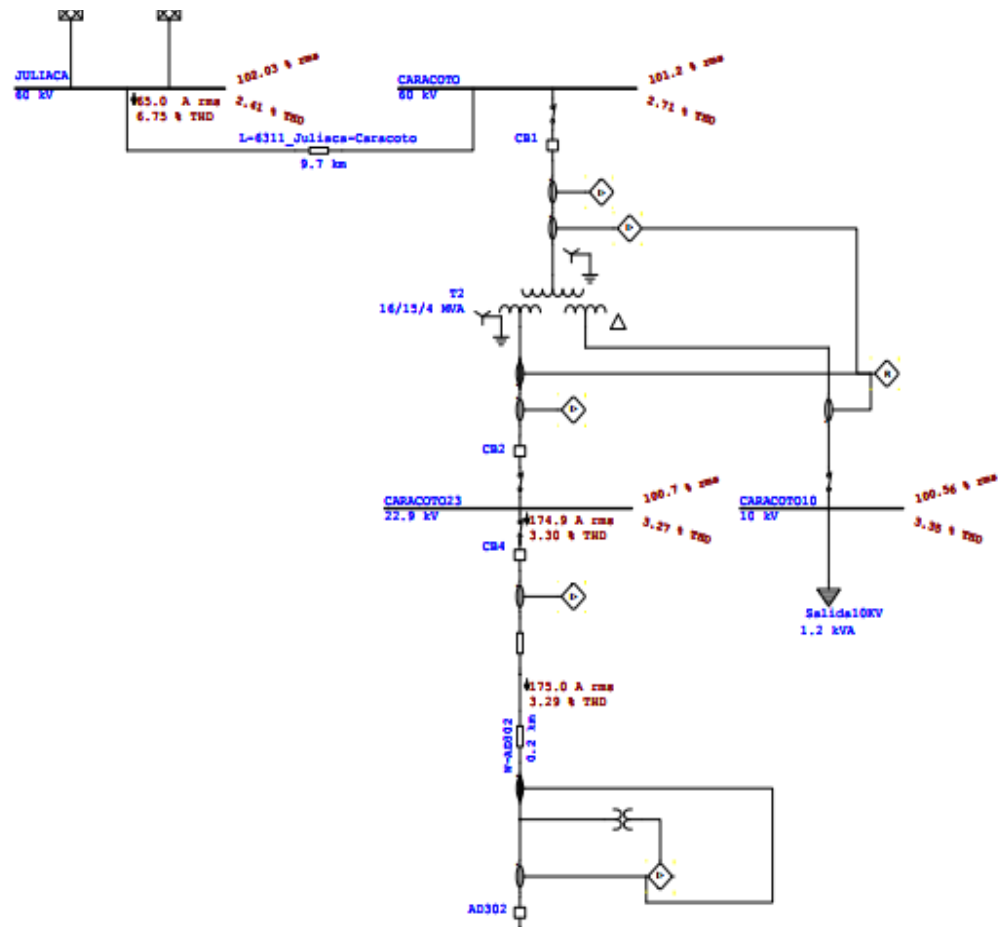
Corriente Armónica	180A
Corriente reactiva	200A
Potencia reactiva a compensar	170 KVAR
Factor de potencia actual	94%
Factor de potencia objetivo	98%

Nota. Elaboración propia

Por otra parte, de acuerdo al diagrama de línea, se observa que la central eléctrica del distrito le llega 60KV, y la plana trabaja con 22.9KV en todas sus líneas, como se muestra en la Figura 33. Además, en la Figura 34 se observa la línea de la sala eléctrica de hidratación y molienda de Cal donde se efectuará la propuesta para la optimización de energía.

Figura 25

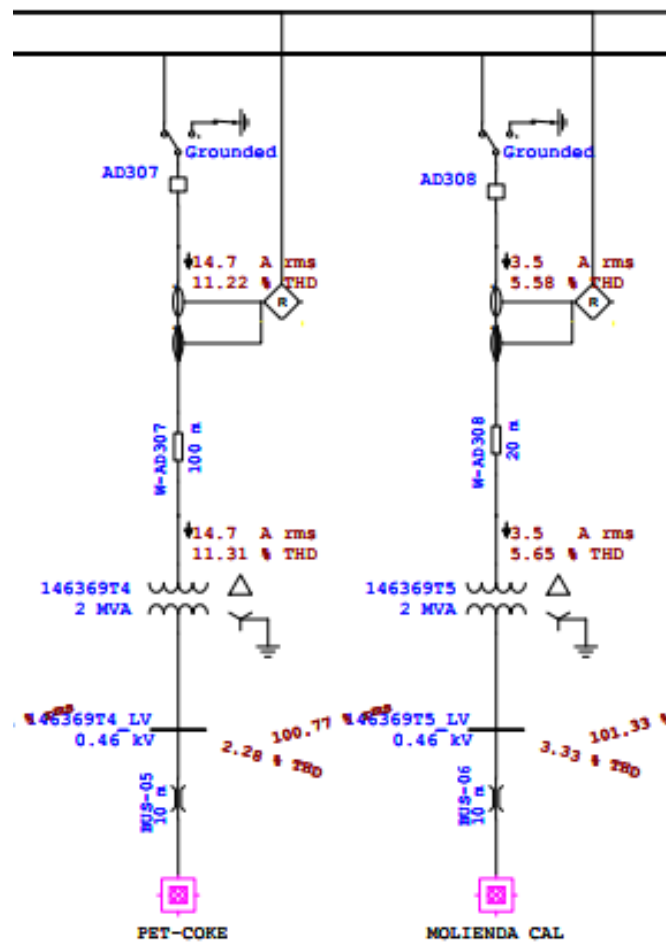
Diagrama de Línea



Nota. Elaboración propia

Figura 26

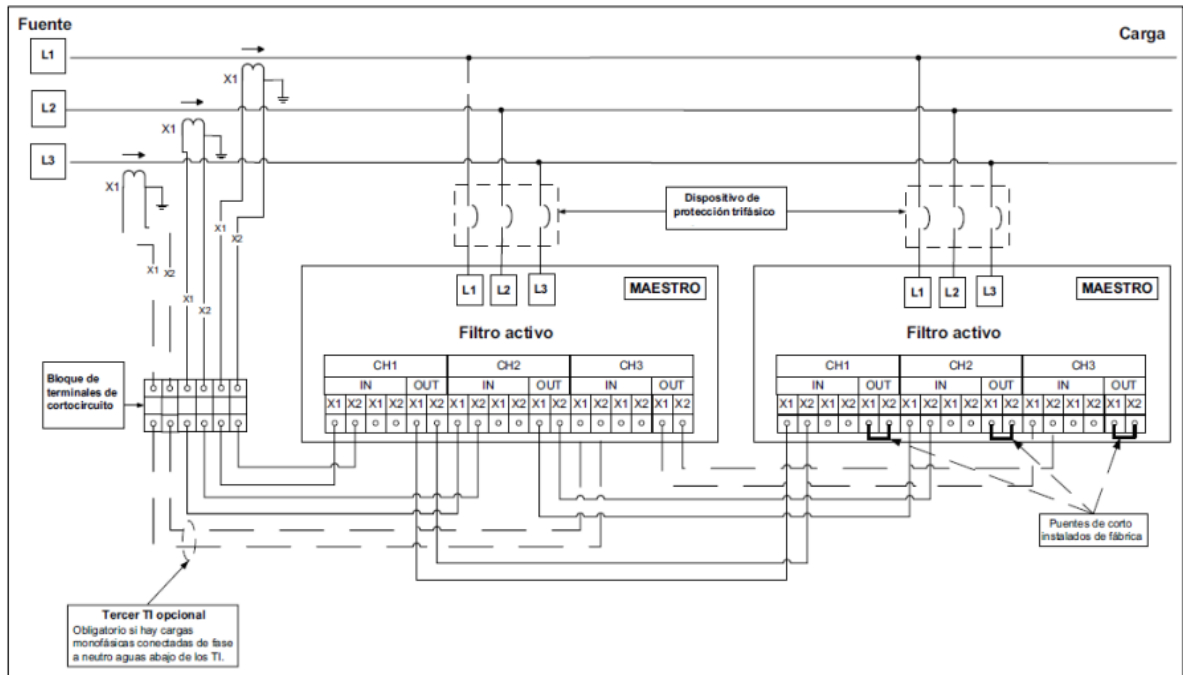
Diagrama de Línea II



Nota. Elaboración propia

Figura 27

Diagrama de Conexión en Paralelo con Transformadores de Corriente en la Fuente



Nota. Elaboración propia

4.2.2 Cálculos

4.2.1. Parámetros para el cálculo

Para los cálculos, haremos uso de las ecuaciones que fueron planteadas en el marco teórico, de las cuales representan de acuerdo al número de la ecuación, en este primer caso, se aplicará la ecuación (1).

Calculamos:

$$Q_{Filtro} = Q_{cn} * \frac{hn^2}{hn^2 - 1}$$

$$Q_{Filtro} = 1000 * \frac{4.20^2}{4.20^2 - 1}$$

$$Q_{Filtro} = 1,06 \text{ KVAR}$$

Procedemos a determinar la reactancia del capacitador a utilizar, para ello se utilizará la ecuación (4):



$$X_c = \frac{Vn^2}{Qcn}$$

$$X_c = \frac{22.9 * 4.2^2}{1.06}$$

$$X_c = 524.41 \text{ Ohm}$$

Continuamos con determinar la capacitancia por fase:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * 60 * 524.4}$$

$$C = 5.058 \mu F$$

Determinamos la reactancia del inductor, para ello utilizamos la ecuación (4):

$$X_c = \frac{V^2}{Qc}$$

$$X_c = \frac{V22.9^2}{Qc80}$$

$$X_c = 29.73 \text{ Ohm}$$

Determinamos la inductancia por fase, para ello utilizamos la ecuación (8):

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

$$L = \frac{29.73}{2 * \pi * 60}$$

$$L = 78.86 \text{ mH}$$

Determinamos la reactancia característica, para ello utilizamos la ecuación (6):

$$X_n = \frac{X_c}{hn}$$



$$X_n = \frac{29.73}{4.20}$$

$$X_n = 124.86 \text{ mH}$$

Determinamos la resistencia intrínseca, para ello utilizamos la ecuación (7):

$$R = \frac{X_n}{Q}$$

$$R = \frac{124.9}{Q80}$$

$$R = 1.561 \text{ Ohm}$$

Estos resultados nos indican que el equipo a instalar de acuerdo a los filtros, es el filtro L-C el cual permite compensar los reactivos de la celda principal AD311, para ello es necesario establecer también tener en cuenta los parámetros eléctricos, en el caso de la capacitancia, este es un valor de $5.058\mu F$ / Fase (en este caso se consideran 2 capacitores de $2.529\mu F$ / fase. En la inductancia se establece un valor de 78.857 mH/fase, el orden de-sintonía es de 4.2 y la conexión se considera adecuado una conexión estrella sin aterrizar.

Se debe añadir también que estos resultados son obtenidos a partir de los datos recopilados a través de los diversos instrumentos de medición como se observa en la tabla 11, donde se ha realizado el cálculo respectivo en un conjunto promedio de las mediciones dentro de un rango de cada 15 minutos de 4 meses, los cuales respaldan que es necesario la incorporación de filtros activos. Además, los resultados finales se pueden visualizar en los anexos de esta investigación

Tabla 11

Valores de la Componente Fundamental

COMPONENTE FUNDAMENTAL												
h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	TDH %
59.885	144.395	54.028	200.080	41.850	83.699	6.458	28.879	6.458	27.397	11.185	18.265	33.478
70.473	169.926	63.581	235.457	49.249	98.499	7.599	33.985	7.599	32.241	13.162	21.494	28.447
70.106	169.041	63.250	234.231	48.993	97.986	7.560	33.808	7.560	32.073	13.094	21.382	28.596
67.130	161.864	60.564	224.286	46.913	93.825	7.239	32.373	7.239	30.712	12.538	20.474	29.864
73.109	176.281	65.958	244.262	51.091	102.182	7.884	35.256	7.884	33.447	13.655	22.298	27.422
69.335	167.183	62.554	231.655	48.454	96.908	7.477	33.437	7.477	31.721	12.950	21.147	28.914
70.747	170.587	63.828	236.373	49.441	98.882	7.629	34.117	7.629	32.367	13.214	21.578	28.337
70.412	169.779	63.526	235.253	49.207	98.413	7.593	33.956	7.593	32.213	13.151	21.476	28.472
72.162	173.997	65.104	241.097	50.429	100.858	7.781	34.799	7.781	33.014	13.478	22.009	27.782
71.383	172.119	64.401	238.495	49.885	99.770	7.697	34.424	7.697	32.657	13.332	21.772	28.085
74.073	178.606	66.828	247.483	51.765	103.530	7.987	35.721	7.987	33.888	13.835	22.592	27.065
73.432	177.059	66.250	245.341	51.317	102.633	7.918	35.412	7.918	33.595	13.715	22.396	27.301
73.432	177.059	66.250	245.341	51.317	102.633	7.918	35.412	7.918	33.595	13.715	22.396	27.301
72.696	175.285	65.586	242.883	50.803	101.605	7.839	35.057	7.839	33.258	13.578	22.172	27.578
74.392	179.374	67.116	248.548	51.987	103.975	8.022	35.875	8.022	34.034	13.894	22.689	26.949
73.256	176.635	66.091	244.753	51.194	102.387	7.899	35.327	7.899	33.514	13.682	22.343	27.367
72.102	173.853	65.050	240.898	50.387	100.775	7.775	34.771	7.775	32.986	13.467	21.991	27.805
73.344	176.847	66.170	245.047	51.255	102.510	7.909	35.369	7.909	33.554	13.699	22.370	27.334
73.782	177.904	66.566	246.512	51.562	103.123	7.956	35.581	7.956	33.755	13.780	22.503	27.172
72.962	175.926	65.826	243.770	50.988	101.976	7.868	35.185	7.868	33.380	13.627	22.253	27.477
75.539	182.140	68.151	252.381	52.789	105.578	8.146	36.428	8.146	34.559	14.109	23.039	26.540
73.928	178.255	66.697	246.998	51.663	103.327	7.972	35.651	7.972	33.822	13.808	22.548	27.118
74.392	179.374	67.116	248.548	51.987	103.975	8.022	35.875	8.022	34.034	13.894	22.689	26.949
72.962	175.926	65.826	243.770	50.988	101.976	7.868	35.185	7.868	33.380	13.627	22.253	27.477
75.482	182.003	68.099	252.190	52.749	105.499	8.139	36.401	8.139	34.533	14.098	23.022	26.560
74.218	178.955	66.959	247.968	51.866	103.732	8.003	35.791	8.003	33.954	13.862	22.636	27.012
73.724	177.764	66.513	246.317	51.521	103.042	7.950	35.553	7.950	33.728	13.770	22.486	27.193
72.340	174.428	65.265	241.694	50.554	101.108	7.801	34.886	7.801	33.095	13.511	22.064	27.713
68.681	165.605	61.964	229.469	47.997	95.994	7.406	33.121	7.406	31.421	12.828	20.948	29.190
60.064	144.827	54.189	200.679	41.975	83.950	6.477	28.965	6.477	27.479	11.218	18.319	33.378
72.429	174.642	65.345	241.992	50.616	101.232	7.810	34.928	7.810	33.136	13.528	22.091	27.679

Nota. Elaboración propia

Tabla 12

Promedio General de la Componente Fundamental

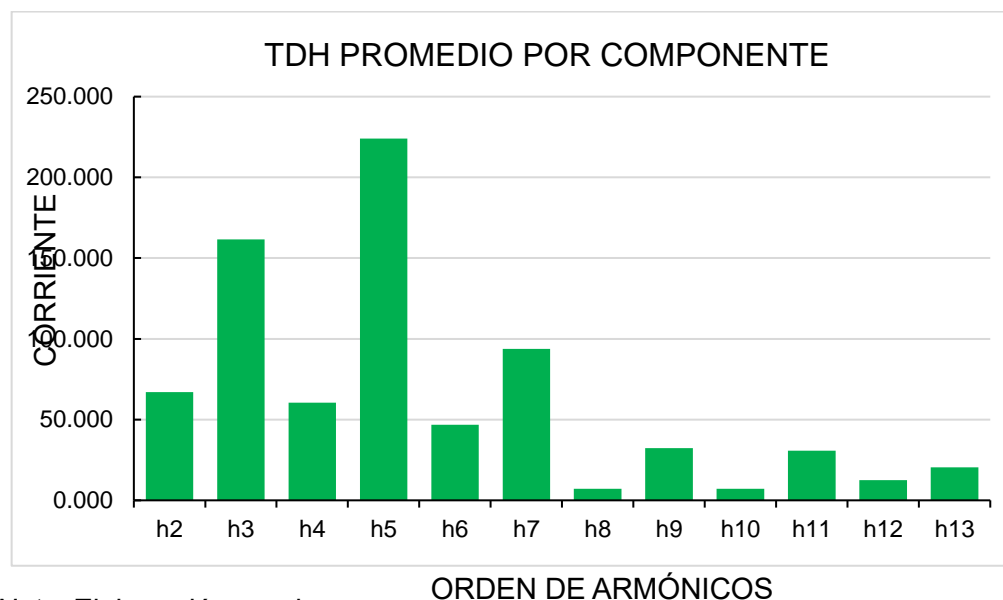
COMPONENTE FUNDAMENTAL (promedio general)												TDH %
h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	
67.052	161.676	60.494	224.025	46.858	93.716	7.230	32.335	7.230	30.676	12.523	20.451	30.945

Nota. Elaboración propia

Para los cálculos de los promedios de cada componente fundamental, se ha utilizado la ecuación 16, que nos permite establecer el promedio exacto como se muestra en la figura 28, los resultados muestran que el promedio de cada componente no es el adecuado de acuerdo a los valores permisibles, ya que el TDH% es extremadamente alto, lo cual demanda una urgente intervención, por lo que esta propuesta se ajusta a esta necesidad de proteger los equipos y reducir los costos por pérdidas de energía.

Figura 28

TDH Promedio por Componente



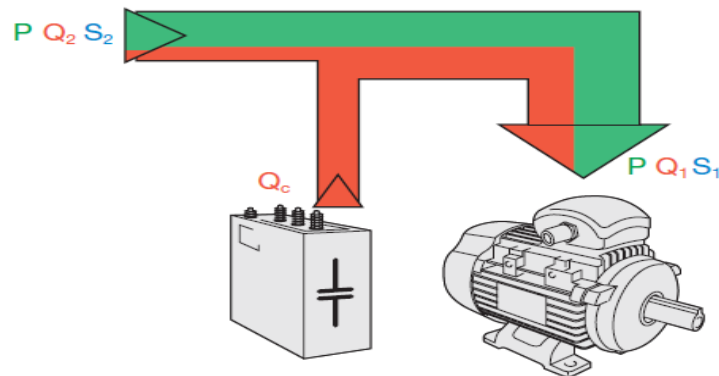
Nota. Elaboración propia

Para poder determinar la potencia reactiva necesaria para mejorar el factor de potencia de la planta. Después de los análisis realizados si banco de capacitores determinaremos la potencia reactiva generada para poder.

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P * (tg \phi_1 - tg \phi_2)$$

Figura 29

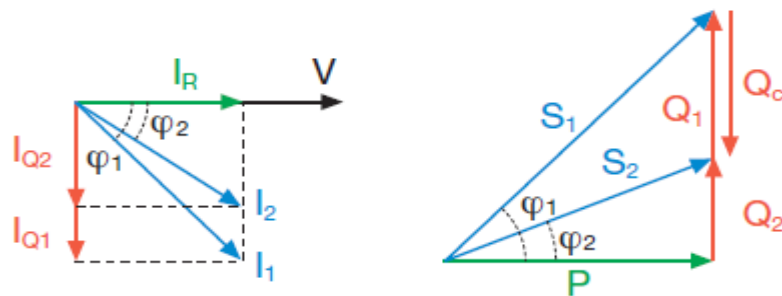
Diagramas de la Potencia Reactiva I



Nota. Cuaderno técnico N° 8 – ABB (2023)

Figura 30

Diagramas de la Potencia Reactiva II



Nota. Cuaderno técnico N° 8 – ABB (2023)

Donde:

- P es potencia activa;
- Q_1, φ_1 son la potencia reactiva y El ángulo de desfase antes de la corrección;
- Q_2, φ_2 son la potencia reactiva y el ángulo de desfase tras la corrección;
- Q_c es la potencia reactiva de corrección.



$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi_1} = \frac{900 * 10^3}{\sqrt{3} * 460 * 0.8} = 1411 A$$

Aplicando la formula obtenemos la potencia reactiva Q:

$$Q_c = P * (tg \varphi_1 - tg \varphi_2) = 900 * (0.75 - 0.39) = 324 k \text{ var}$$

Entonces:

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi_2} = \frac{900 * 10^3}{\sqrt{3} * 460 * 0.93} = 1214 A$$

Se reduce en 15% aprox.

Con ellos asumimos lo siguiente:

- Uso óptimo de las maquinas eléctricas
- Uso óptimo de líneas eléctricas
- Reducir las perdidas
- Reducir las caídas de tensión.

Por lo tanto, se determina el factor de potencia, mediante un cosfímetro.

Y se calcula de la siguiente forma:

$$\cos \varphi = \cos \left(\operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{E_{Qf} - E_{Qi}}{E_{Pf} - E_{Pi}} \right) \right)$$

Donde:

E_{Pi} y E_{Qi} son valores de energía activa y reactiva.

Para determinar la distorsión armónica se uso de la ecuación 16 para establecer los resultados, estos datos van acompañados con la teoría que se plasma en el cuaderno técnico N°8 de ABB (2023)

$$THD_c = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_n^2}}{I_1} * 100\%$$

Donde:

I_n : Corriente armonica individual.

I_1 : Corriente Fundamenal.

I_2 : Distorcion de corriente del segundo armonico.

Tabla 13

Componentes fundamentales para el cálculo

COMPONENTE FUNDAMENTAL													
I_1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	THD %
834	59,885	144,395	54,028	200,080	41,850	83,699	6,458	28,879	6,458	27,397	11,185	18,265	33,478
1155	70,473	169,926	63,581	235,457	49,249	98,499	7,599	33,985	7,599	32,241	13,162	21,494	28,447
1143	70,106	169,041	63,250	234,231	48,993	97,986	7,560	33,808	7,560	32,073	13,094	21,382	28,596
1048	67,130	161,864	60,564	224,286	46,913	93,825	7,239	32,373	7,239	30,712	12,538	20,474	29,864
665	53,474	128,938	48,244	178,662	37,370	74,740	5,766	25,788	5,766	24,464	9,987	16,310	37,492

$$THD_c = \frac{\sqrt{59,8^2 + 144,4^2 + 54,0^2 + 200,1^2 + 41,8^2 + 83,7^2 + 6,4^2 + 28,8^2 + 6,4^2 + 27,4^2 + 11,2^2 + 18,3^2}}{834} * 100 = 33,478\%$$

$$THD_c = \frac{\sqrt{70,5^2 + 169,9^2 + 63,5^2 + 235,5^2 + 49,3^2 + 98,5^2 + 7,6^2 + 33,9^2 + 7,6^2 + 32,2^2 + 13,2^2 + 21,5^2}}{1155} * 100 = 28,447\%$$



$$THD_c = \frac{\sqrt{70,1_2^2 + 169,0_3^2 + 63,2_4^2 + 234,2_5^2 + 48,9_6^2 + 97,9_7^2 + 7,5_8^2 + 33,8_9^2 + 7,5_{10}^2 + 32,1_{11}^2 + 13,1_{12}^2 + 21,4_{13}^2}}{1143} * 100 = 28,596\%$$

$$THD_c = \frac{\sqrt{67,1_2^2 + 161,8_3^2 + 60,5_4^2 + 224,3_5^2 + 46,9_6^2 + 93,8_7^2 + 7,2_8^2 + 32,3_9^2 + 7,2_{10}^2 + 30,7_{11}^2 + 12,5_{12}^2 + 20,5_{13}^2}}{1048} * 100 = 29,864\%$$

$$THD_c = \frac{\sqrt{53,5_2^2 + 128,9_3^2 + 48,2_4^2 + 178,6_5^2 + 37,3_6^2 + 74,7_7^2 + 5,7_8^2 + 27,8_9^2 + 5,7_{10}^2 + 24,4_{11}^2 + 9,9_{12}^2 + 16,3_{13}^2}}{665} * 100 = 37,492\%$$



4.3. Costos estimados

Los costos estimados para el filtro activo en cuestión han sido considerados de acuerdo a las investigaciones en la página web de varias empresas que ofrecen estos servicios, por lo cual se ha tomado como referencia las distintas proformas que existen en el mercado actual, siendo esta la opción que más se adecua a los resultados de esta investigación, y que cumple con los cálculos y mediciones realizadas

ITEM	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
1	Suministro de equipos	Filtro activo AccuSine + IP00, 300A 380 a 480VAC (+10% /-15%)	1	\$ 169,582.00
		Transformador de corriente de Núcleo Partido 1500/5A	1	
2	Suministro y montaje de tablero móviles	Tableros eléctricos auto soportados móviles	3	\$ 11,324.00
		Montaje de tablero	1	
		Interruptores automáticos 400A (01 por cada tablero)	3	
		Cable N2XOH 3x1 240mm2 (20M por cada tablero)	60	
3	Mano de obra	Dimensionamiento de filtros activos	1	\$ 3,241.00
		Montaje de filtros activos en tableros móviles transportables	1	
		Comisionamiento y puesta en servicio de filtros activos	1	
		Ingeniero especialista en Filtros Activos	2	
		Técnicos electricistas	2	
4	Gastos generales y administrativos	Examen Médico para personal	3	\$ 2,257.00
		Equipos de protección personal general y específicos	3	
		Transporte de equipos	1	
		Alimentación y hospedaje	3	
		viáticos y gastos para el personal	3	
SUB TOTAL				\$ 186,456.00
DIRECCIÓN TÉCNICA				\$ 8,250.00
TOTAL				\$ 194,706.00



4.4 Discusión de resultados

Considerando los resultados de esta investigación, se establece que los resultados tienen una ligera similitud con las conclusiones de la investigación de (Ramirez V, 2021) respecto a que los filtros activos han resultado generar un impacto positivo en la calidad de energía como se muestra en los resultados presentados anteriormente, ya que, los valores obtenidos, superan los valores límites proporcionados por la norma IEEE-159, lo cual revela la gravedad de la ineficiencia en la calidad energética de la sala eléctrica, los datos presentan una similitud con respecto a la investigación presentada como primer antecedente realizado por (Ramirez V, 2021) titulado "Cálculo y simulación de un sistema de protección con filtros de onda para reducir las interrupciones por sobretensiones de la línea primaria de 22,9KV", Mazocruz Challapalca. La finalidad de dicha tesis fue la de calcular y simular un sistema de protección compuesto por filtros de onda para reducir las interrupciones por sobretensiones atmosféricas de la línea primaria en 22,9KV.

Los resultados con respecto al precio del equipo de filtros activos resulta ser una inversión adecuada para cualquier industria que busque mejorar la calidad de energía, de acuerdo a ello se relaciona a los resultados que se tienen como Segundo antecedente, presentada por (Ramos & Riveros, 2018) titulada análisis de la eficiencia energética y calidad de la energía eléctrica en la planta industrial de procesamiento de alimentos agroindustrias CIRNMA S.R.L. en la región de Puno.

Los resultados finales nos indican que la eficiencia energética es necesaria para cualquier industria, es por ello que las mediciones constantes son claves para poder detectar cualquier falla o ineficiencia en la calidad de energía, por ello consideró que los resultados de esta investigación presentan una fuerte relación con el TERCER antecedente presentado por (Machaca R., 2019)



titulada estudio de eficiencia energética eléctrica en la operación minera lagunas norte de minera Barrick Misquichilca S.A. La finalidad de dicha tesis fue la de formular las mejores opciones de inversión con el estudio de eficiencia energética, para reducir el gasto final en la factura de energía eléctrica de la mina Lagunas Norte, las mejores opciones se seleccionarán con un criterio de payback menor a 3 años, esta investigación tiene un diseño experimental.

Finalmente, los resultados de medición, nos indican que los filtros activos deben tener valores permisibles dentro de la norma IEEE-159, esto debido a que se debe reducir considerablemente mitigar los armónicos, para garantizar la calidad de energía, no obstante de acuerdo a la investigación de (Leiva A., 2020), se debe considerar que los datos que se proporcionan en las mediciones deben ser exactos para poder mejorar los resultados. En ese sentido, se comparte la investigación presentada por (Leiva A., 2020) titulada diseño y simulación de un filtro activo de potencia para mitigar señales armónicas de corriente en una red de distribución de 2kVA. La finalidad de dicha tesis fue la de establecer un diseño del filtro activo de potencia de corriente, en esta propuesta de diseño se realizó el uso de condensadores. Esta investigación tiene un diseño experimental. Dentro de los resultados más importantes de esta investigación, se tiene que se confirmó la eficiencia de la modulación por ancho de pulso vector espacial, logrando así mitigar las señales armónicas que presentan las cargas no lineales.



CONCLUSIONES

1. Según los datos Analizados es recomendable la instalación de 3 filtros activos Accusine PCS+ de 300A para la optimización de la calidad de energía para una potencia de 1 megavatio de potencia en una planta cementera del sur del país. Se ha analizado el estado actual de la calidad de energía de la planta cementera, el actual filtro por banco de condensadores presento una corriente de un valor de 365.25A representó un 28% más de su valor nominal, para la corriente armónica, el pico más alto fue de 290.81A, en la corriente activa fue de 200A con carga, y sin carga se redujo considerablemente, la potencia reactiva a compensar indica que no abastece ya que al desconectar la carga disminuye hasta en 30KVAR, el factor de potencia se encuentra en un valor menor al 95% y este debe estar al menos en el 98%, la distorsión armónica de corriente el valor adecuado es de 10% pero este llega a un 40%, la distorsión armónica de tensión el porcentaje de trabajo adecuado es de 5% pero este se encuentra en una distorsión del 7%, de acuerdo a la norma IEEE 519-2014, los valores medidos superan los límites permitidos.
2. Se ha identificado que la metodología que ayudo a establecer una correcta medición y comparación para su posterior simulación. Esta constó primeramente en realizar la medición tal cual se establecía en la planta cementera, la segunda fue de realizar simulaciones de flujos de armónicos, para verificar la performance de los bancos de condensadores, la cual demostró tener resultados que perjudicaban a los equipos y finalmente establecer los cálculos para acompañar con un sustento matemático los valores adecuados para la propuesta.
3. Los costos demandados para la instalación de los filtros activos son viables para su implementación teniendo en cuenta que se corregirá el factor de potencia y la mitigación armónica, se reducida los costos por mantenimiento y cambio de



condensadores, penalidades por baja calidad de energía y sobre todo los riesgos al personal eléctrico por cortes producidas por los condensadores.

Se ha determinado la potencia reactiva necesaria para mejorar el factor de potencia de la planta cementera, las mediciones obtenidas confirman que es necesario instalar un filtro L-C para compensar los reactivos, el equipo a instalarse debe disponer de los siguientes parámetros eléctricos: Capacitancia: 5.058 uF / fase esta puede establecerse también como dos capacitores de 2.529 uF / fase, en el caso de la inductancia este debe tener un valor de 78.857 mH / fase y en el orden de sintonía se debe establecer el 4.2 en el caso de la conexión esta tiene que ser estrella sin aterrizar



RECOMENDACIONES

1. Los bancos de condensadores deberán apagarse una vez los filtros activos sean instalados ya que estos pueden sufrir daños producto de la resonancia que se pueda ocasionar al funcionar ambos equipos a la vez
2. Los resultados que se obtuvieron a las mediciones en la presente investigación me permiten recomendar a la empresa, que es necesario el cambio por un filtro activo, para mejorar el filtrado de armónicos que resultan superar todos los valores permitidos de acuerdo a la norma IEEE 519-2014, por lo tanto, se debe reemplazar los bancos de condensadores ya que en vez de evitar los armónicos los están amplificando.
3. Si bien los equipos de filtros activos resultan ser costoso, estos tendrán un impacto positivo y significativo para todos los equipos que trabajan en la planta cementera, es necesario entender que esta siempre debe ser desarrollada lo más pronto posible, ya que las mediciones nos indican que es urgente el cambio.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB. (2023). *Cuaderno de aplicaciones técnicas n°8 Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas*. ABB. Barcelona.
- Amperímetro de tenaza digital. (2023). Obtenido de <https://diartek.cl/amperimetro-de-tenaza-digital-600vac-1000a>
- Bergas J. & Sudirá A. (2006). *Filtros Activos de Potencia para la compensación instantánea de armónicos y energía reactiva*. Universidad Politécnica de Catalunya., Barcelona., España.
- Bricos. (2021). Obtenido de <https://bricos.com/servicios/analisis-factor-potencial/>
- Collana E. (2020). *Diseño de un filtro activo de potencia tipo shunt inversor de tres niveles basado en el método de detección de corriente de referencia síncrona y un controlador multinivel de histéresis de corriente para la compensación de corrientes armónicas*. Universidad Católica Santa María, Perú.
- Collombet C & Lupin J & Schonek. (2000).). *Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento. Cuaderno Técnico N° 152*. Francia: Schneider Electric.
- Conexión de un filtro activo. (2023). *Conexión de un filtro activo. Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8* .
- Conexión de un filtro pasivo. (2023). *Conexión de un filtro pasivo. Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 (2023)*.
- Conexión de un filtro sintonizado. (2012). *Conexión de un filtro sintonizado. Pérez Abril, 2012*.
- Corriente alterna aguas arriba con carga inductiva. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento*. (2000).
- Corriente alterna con rectificador de puente Graetz. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento*. (2000).
- Duncan, & Sarma. (2003). *Sistemas de potencia Análisis y Diseño* .



- Edminister y Navhi. (1997). *Cargas Capacitivas*.
- Eléctricos Generales Import Export S.R.L. (2023). *Voltímetro Analógico*. Obtenido de <https://www.electricosgenerales.com.pe/product/voltmetro-analogico-dc-eo-vd9696/>
- Eliminación de armónicos por un filtro activo. (2023). *Eliminación de armónicos por un filtro activo. Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8*.
- Física RU. (2012). 12/05/2023, *Instrumentos de medición. Recuperado*. Obtenido de <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Frecuenciómetro rango 45-65Hz. (2023). Obtenido de <https://store.grupocoinp.com/shop/product/np96-hz-45-65hz-220v-frecuencimetro-96mm-96mm-rango-45-65hz-4019#attr=>
- Gómez E. (2016). *Análisis técnico y económico de corrección del factor de potencia del sistema eléctrico trifásico en 220V, del hospital IV Víctor Lazarte Echegaray – Trujillo. UCV. Perú.* UCV, Trujillo, Perú. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/9565/g>
- Hernández C. (2016). *Control de un filtro activo paralelo basado en un conversor fuente de voltaje de 4-piernas aplicado a sistemas de distribución de 4-hilos.* Universidad de Chile., Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/141033/Control-de-un-filtro-activo-paralelo-basado-en-un-conversor-fuente-de-voltaje-de-4-piernas-aplicado-a-sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Horno de arco alimentado con corriente alterna. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento.* (2000).
- Leiva A. (2020). *Diseño y simulación de un filtro activo de potencia para mitigar señales armónicas de corriente en una red de distribución de 2 kVA. Recuperado 11/04/2023.* PUCP, Perú. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404>



- LLumiquinga F. (2012). *Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa BANCHISFOOD S.A.* Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Ecuador., Quito, Ecuador.
- Machaca R. (2019). *Estudio de eficiencia energética eléctrica en la operación minera lagunas norte de minera Barrick Misquichilca S.A.* Universidad Nacional del Altiplano., Puno, Perú.
- Magnitudes de los armónicos. (2000). *Magnitudes de los armónicos. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento.*
- Ministerio de Energía y Minas. (2013). *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.* MINEN. Perú.
- MOTORTICO. (2014). *CATTEL NcKeen James (1860-1944).* Obtenido de [http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2014_MAY - Factor de Potencia.pdf](http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2014_MAY_Factor_de_Potencia.pdf)
- Muller, W. (1980). *Electrotecnia de Potencias Curso Superior-GTZ. Niveles de compatibilidad. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento.* (2000). Obtenido de Niveles de compatibilidad. Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento (2000).
- Ocaña A. & Ortiz I. (2022). *Estudio y simulación del uso de un filtro activo para la mitigación de armónicos de corriente en sistemas eléctricos.* Universidad de Piura., Perú. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5807/IME_2217.pdf?sequence=1&is
- Pacher J. (2022). *Convertidores multiniveles en aplicaciones de filtros activos para la mejora del factor de potencia en sistemas eléctricos trifásicos.* Universidad Nacional de Asunción., Paraguay. Obtenido de https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis_doc_JPacher_final_0.pdf



- Paja R. (2023). *Diseño de Filtros activos para el control y eliminación de armónicos en usuarios de baja tensión*. Universidad Católica Santa María., Perú.
- PM 800. (2023). Obtenido de <https://www.se.com/es/es/product-range/918-pm800-series/#overview>)
- PM 850. (2023). Obtenido de <https://emacstores.com/tienda/marcas-fabricantes-industriales/schneider-electric/pm850-schneider-electric/>
- Portocarrero, & Mendoza. (2014). *Estudio de Eficiencia Eléctrica para el Ahorro de Energía Eléctrica en la Empresa ANNIC S.A.*
- Ramirez V. (2021). *Cálculo y simulación de un sistema de protección con filtros de onda para reducir las interrupciones por sobretensiones de la línea primaria de 22,9KV, Mazocruz Challapalca*. Juliaca .
- Ramos, & Riveros. (2018). Análisis de la eficiencia energética y calidad de la energía eléctrica en la planta industrial de procesamiento de alimentos agroindustriales CIRMA S.R.L en la región de Puno. Universidad Nacional del Altiplano. Perú. (TESIS). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Reyes. (1996). *Cargas Inductivas*.
- Ríos. (2014). *Incidencias de Cargas no Lineales en Transformadores de Distribución, Paraguay*. Obtenido de https://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-87522014000100005
- Risoul. (2021). Obtenido de [https://www.risoul.com.mx/blog/que-es-el-factor-de-potencia-y-en-que-me-beneficia#:~:text=%E2%80%9Cpotencia%20reactiva%E2%80%9D,-,El%20factor%20de%20potencia%20es%20la%20relaci%C3%B3n%20existent,e%20entre%20la,a%201%20\(el%20ideal\).](https://www.risoul.com.mx/blog/que-es-el-factor-de-potencia-y-en-que-me-beneficia#:~:text=%E2%80%9Cpotencia%20reactiva%E2%80%9D,-,El%20factor%20de%20potencia%20es%20la%20relaci%C3%B3n%20existent,e%20entre%20la,a%201%20(el%20ideal).)
- Schenider Electric. (2023). *Schenider Electric* .



- UCO. (2012). *Medida de Potencia en corriente alterna*. Obtenido de <http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/practicas/electrotecnia/etprat-5.pdf>
- UNAM. (2010). *Equipos de medición*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/655/A7.pdf?sequence=7>
- Varímetro EV96/144. (2023). Obtenido de <https://es.kron.com.br/produto/ev96-144-varimetro/>
- Varschavsky A. (2008). *Diseño e implementación de un filtro activo híbrido-serie multietapa de 9 niveles*. . Pontificia Universidad Católica de Chile., Chile.
- Velasquez. (2010). *Frecuencímetro Digital*. Obtenido de <http://www.velasquez.com.co/acrobat/Frecuencimetro Digital.pdf>
- Zaiger. (2011). *Varímetro*. Obtenido de <http://www.celsaspain.com/fileadmin/dateien/zaiger/Analogicos/AC/DAQ.pdf>



ANEXOS



MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ

PROBLEMÁTICA	PROBLEMAS	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES	DISEÑO METODOLÓGICO		
<p>Dificultad: La principal dificultad y motivación del tema es la caída de Factor de Potencia y la distorsión armónica en la planta cementera lo cual conlleva a una mala calidad de energía</p> <p>Síntomas: Se tiene bastante variación de factor de potencia y la presencia de distorsión armónica esto por los equipos no lineales instalados en la sala eléctrica lo cual genera pérdidas de potencia, aumento de corriente y disminución de vida útil de los equipos.</p> <p>Causas: El uso de motores eléctricos de gran potencia y el uso de equipos no lineales como variadores de velocidad de potencia elevada.</p> <p>Consecuencias: Las consecuencias son: costos elevados en pagos por penalidad por generación de energía reactiva y la mala calidad de energía por la distorsión armónica</p>	<p>Problema General: PG: ¿De qué manera se podrá optimizar la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú?</p> <p>Problemas Específicos: PE1: ¿En qué se basará la optimización de la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú? PE2: ¿Cuáles son los datos para determinar la calidad de energía para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú? PE3: ¿Cuál es el costo que demandara la optimización de la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una</p>	<p>Objetivo General: OG: Optimizar la calidad de energía mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú.</p> <p>Objetivos Específicos: OE 1: Analizar el estado actual de la calidad de energía para su optimización mediante un sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú. OE2: Describir las mediciones de la calidad de energía de una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú. OE3: Determinar el costo que demandara la propuesta para la optimización de la calidad de energía mediante un</p>	<p>Con el avance de la tecnología se viene implementando equipos eléctricos y electrónicos que permiten mejor desarrollo en el trabajo industrial, pero a la vez producen problemas como la aparición de armónicos y caídas de tensión y sumados a la generación de energía reactiva producen daños a los equipos, pérdidas y pago de penalidades por energía reactiva. Este estudio permitirá profundizar en temas de interés de diversos investigadores que busquen mejorar la calidad de energía de las plantas industrias de nuestro país. Y más aún de la carrera profesional de ingeniería mecánica eléctrica que tengan interés en generar propuestas de mejora con respecto a la calidad de energía. Con el pasar del tiempo, el desarrollo de la industria peruana y en especial la industria del sur del Perú, requiere de un uso eficiente de sus recursos, y más aún de la energía</p>	<p>Hipótesis General: HG: Si se implementa un sistema de filtros activos entonces se podrá optimizar la calidad de energía en una planta cementera del sur del Perú.</p> <p>Hipótesis Específicas: HE1: Si se realiza el análisis de calidad de energía entonces se podrá plantear un método que permita la optimización de calidad de energía mediante un sistema de filtros activos en una planta cementera del sur del Perú. HE2: Las mediciones sobre la calidad de energía resultan ser mayores a los valores permisibles resultando ser perjudiciales, lo que genera daños a los equipos y pérdidas económicas en una planta cementera del sur del Perú. HE3: Al determinar el costo que demandará el diseño de un sistema de filtros activos para la</p>	<p>Variables Independientes: Filtro activo</p> <p>Dimensiones: Factor de Potencia Consumo Armónicos</p> <p>Variables Dependientes: Calidad de energía</p> <p>Dimensiones: Eficiencia Pérdidas Costos</p>	<p>Tipo y nivel de investigación: El tipo de investigación es cuantitativa, porque se hará toma de datos, procesamiento, análisis de la información para llegar a un resultado.</p> <p>Técnicas e instrumentos de colecta de datos: Se utilizarán medidores de energía PM700 y PM800 .</p> <p>ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Plazo de presentación de trabajo: Sera de cuatro meses, según indicaciones del Reglamento de Grados y Títulos.</p> <p>Presupuesto estimando:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>PRESUPUESTO TOTAL</td> </tr> <tr> <td>S/. 11 292.00</td> </tr> </table>	PRESUPUESTO TOTAL	S/. 11 292.00
PRESUPUESTO TOTAL								
S/. 11 292.00								

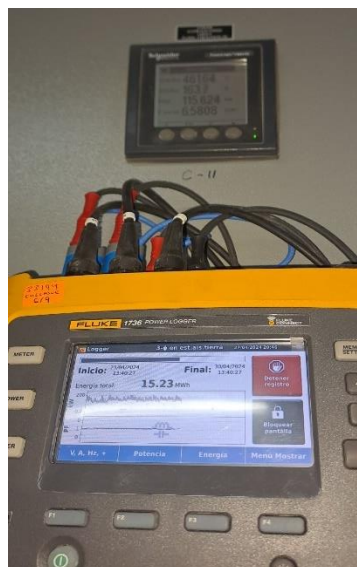


<p>que se tienen en la sala eléctrica.</p> <p>Prognosis: Donde se utilicen equipos inductivos se tendrá problemas de FP y donde se utilicen equipos no lineales se tendrá distorsión armónica en pequeños talleres hasta en grandes empresas muchas veces manejado fácilmente y en algunas ocasiones con dificultades</p>	<p>potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú?</p>	<p>sistema de filtros activos para una potencia de 1 Megavatio en una planta cementera del sur del Perú.</p>	<p>eléctrica. Ya que al disponer de una gran cantidad de equipos que tiene la operación de industria cementera resulta ser necesario para aumentar su competitividad.</p>	<p>optimización de la calidad de energía en una planta cementera del sur del Perú, se establecerá que es viable la propuesta.</p>		<p>Financiamiento:</p> <p>Financiamiento propio</p>
--	--	--	---	---	--	--

APÉNDICES

Apéndice 1: Instrumentos

Mediciones de la sala eléctrica (I)



Nota. Registro fotográfico propio de la investigación

Mediciones de la sala eléctrica (II)



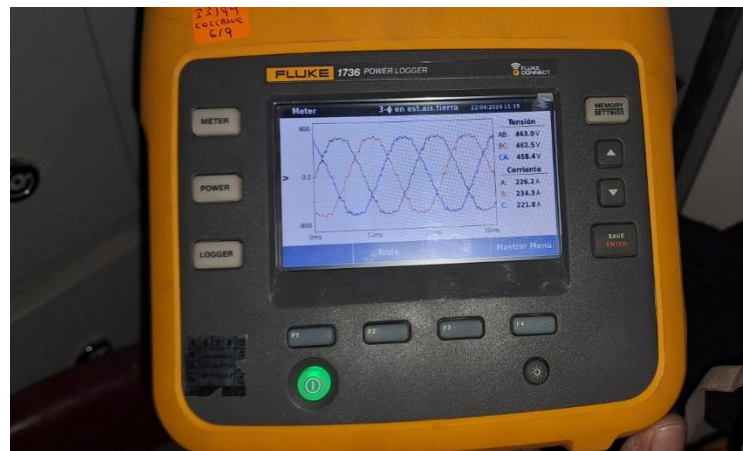
Nota. Registro fotográfico propio de la investigación

Mediciones de la sala eléctrica (III)



Nota. Registro fotográfico propio de la investigación
Puertos de conexión del Fluke 1736 (IV)

Mediciones de la sala eléctrica (IV)



Nota. Registro fotográfico propio de la investigación

Mediciones de la sala eléctrica (V)



Nota. Registro fotográfico propio de la investigación

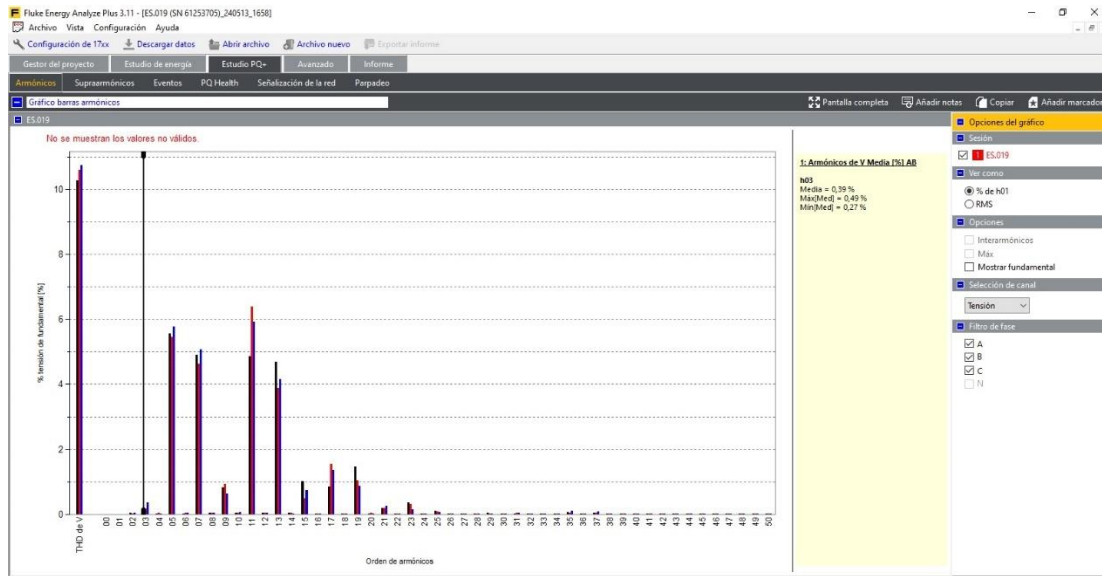
Mediciones de la sala eléctrica (VI)



Nota. Registro fotográfico propio de la investigación

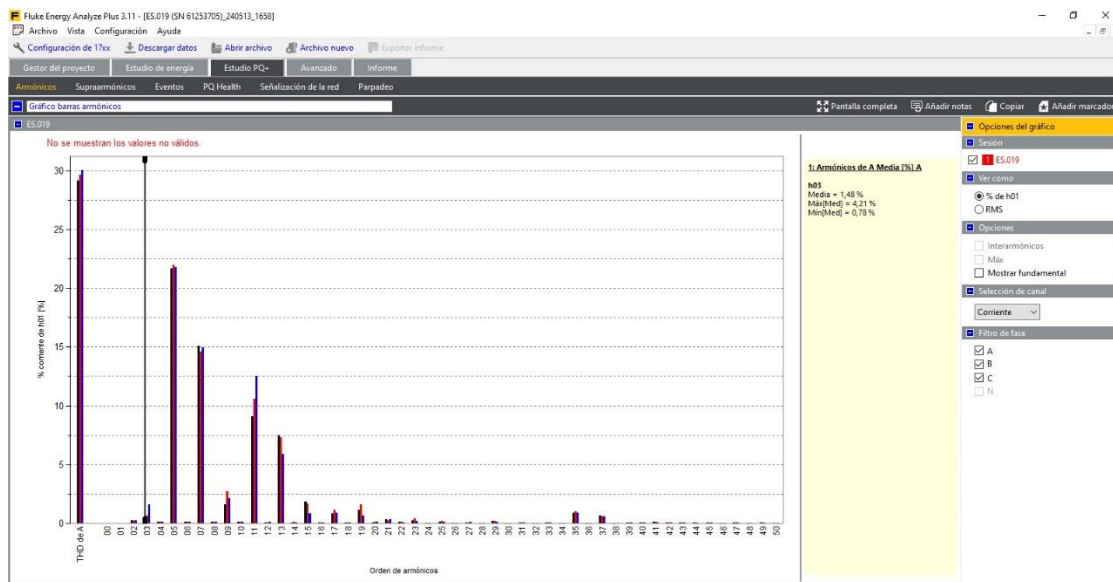
Apéndice 2: Validez de instrumentos

Mediciones del equipo Fluke 1736 (I)



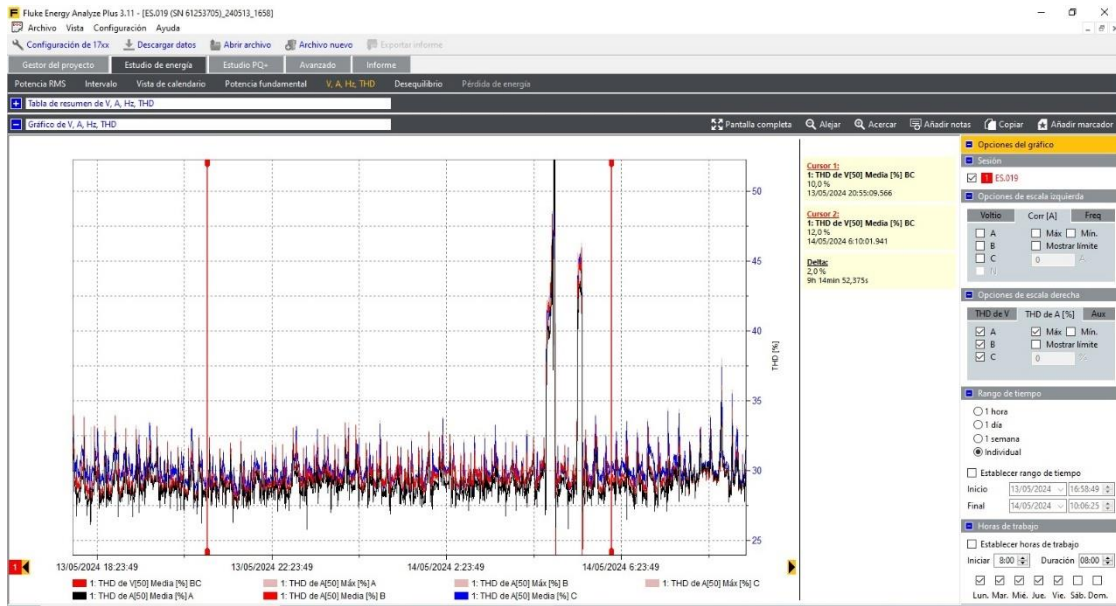
Nota. Registro propio de la investigación

Mediciones del equipo Fluke 1736 (II)



Nota. Registro propio de la investigación

Mediciones del equipo Fluke 1736 (III)



Nota. Registro propio de la investigación

Mediciones del equipo Fluke 1736 (IV)



Nota. Registro propio de la investigación



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 31-07-24

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: NESTOR CASTILLO ACARAPI

Dirección: Jr. DOS DE MAYO #1185

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 43152773

Teléfono: 990181010 email: 77ncastillo@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Asesor: M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: _____

OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA DE FILTROS ACTIVOS PARA UNA POTENCIA DE 1 MEGAVATIO EN UNA PLANTA CEMENTERA DEL SUR DEL PERÚ

Palabras claves, (3 a 5 términos): CALIDAD DE ENERGÍA, BANCO DE CONDENSADORES, FILTROS ACTIVOS, PLANTA CEMENTERA

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA


Firma de Autor



huella digital

31- JULIO - 2024
Fecha