

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**“DISTORSIÓN ARMÓNICA E IMPLEMENTACIÓN DE UN FILTRO  
ACTIVO DE POTENCIA EN EL ÁREA DE SORTER DEL CENTRO  
DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA SUPERMERCADOS  
PERUANO S.A.”**

**TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**AUTOR: EINSTEN VARGAS VENTURA**

**ASESOR: Dr. Ing. JUAN HERBER GRADOS GAMARRA**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**Callao, 2023**

**PERÚ**



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL POR LA MODALIDAD**  
**DE TESIS SIN CICLO DE TESIS**

A los 10 días del mes de marzo Del 2023 siendo las 11:00 Horas se reunió el Jurado Examinador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica conformado por los siguientes Docentes Ordinarios de la Universidad Nacional del Calla, (Res. Resolución DECANAL N° 031-2023-DFIEE)

<b>Dr. Ing. JACOB ASTOCONDOR VILLAR</b>	<b>Presidente</b>
<b>M. Sc. Ing. JULIO CESAR BORJAS CASTAÑEDA</b>	<b>Secretario</b>
<b>Dr. Lic. ADAN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS</b>	<b>Vocal</b>

Con el fin de dar inicio a la exposición de Tesis del señor Bachiller **VARGAS VENTURA, Einsten** quien habiendo cumplido con los requisitos para obtener el Título Profesional de Ingeniería Electrónica tal como lo señalan los Arts. N° 12 al 15 del Reglamento de Grados y Títulos, sustentarán la Tesis Titulada "**DISTORSIÓN ARMÓNICA E IMPLEMENTACIÓN DE UN FILTRO ACTIVO DE POTENCIA EN EL ÁREA DE SORTER DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA SUPERMERCADOS PERUANO S.A**", con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la exposición, considerando lo establecido en los Art. N° 14 y 17 del Reglamento de Grados y Títulos dado por Resolución N° 047-92-CU, en el Capítulo N° 06, corresponde al otorgamiento del Título Profesional con Tesis, efectuadas las deliberaciones pertinentes se acordó:

Dar por APROBADO Calificativo **MUY BUENO** nota: **18 (DIECIOCHO)** al expositor **VARGAS VENTURA, EINSTEN** con lo cual se dio por concluida la sesión, siendo las 12:00 horas del día del mes y año en curso.

Es copia fiel del folio N° 212 Del Libro de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – UNAC.

  
.....  
Dr. Ing. **JACOB ASTOCONDOR VILLAR**  
**PRESIDENTE**

  
.....  
M. Sc. Ing. **JULIO CESAR BORJAS CASTAÑEDA**  
**SECRETARIO**

  
.....  
Dr. Lic. **ADAN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS**  
**VOCAL**

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

**FACULTAD:** INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:** INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**TÍTULO:** “DISTORSIÓN ARMÓNICA E IMPLEMENTACIÓN DE UN FILTRO ACTIVO DE POTENCIA EN EL ÁREA DE SORTER DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA SUPERMERCADOS PERUANO S.A.”

**AUTOR:** EINSTEN VARGAS VENTURA

**ORCID:** 0000-0003-3326-2077

**DNI:** 70188679

**ASESOR:** JUAN HERBER GRADOS GAMARRA

**ORCID:** 0000-0003-3696-0153

**DNI:** 07317703

**LUGAR DE EJECUCIÓN:** LIMA

**UNIDAD DE ANÁLISIS:** TABLERO ELÉCTRICO DEL AREA DE SORTER

**TIPO DE INVESTIGACIÓN:** TECNOLÓGICA - APLICADA

**ENFOQUE:** CUANTITATIVO

**DISEÑO:** TRANSVERSAL DESCRIPTIVO

**TEMA OCDE:** INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

## **MIEMBROS DEL JURADO**

Dr. Ing. JACOB ASTOCONDOR VILLAR : PRESIDENTE

M.Sc. Ing. JULIO CÉSAR BORJAS CASTAÑEDA : SECRETARIO

Dr. Lic. ADAN ALMIRAR TEJADA CABANILLAS : VOCAL

ASESOR: Dr. Ing. GRADOS GAMARRA, JUAN HERBER

N° DE LIBRO : II

FOLIO : 212

FECHA DE APROBACIÓN : 10 DE MARZO 2023

RESOLUCIÓN DECANAL : N° 031-2023-DFIEE

## **DEDICATORIA**

A mi madre Nelly, por su abnegado sacrificio durante toda mi etapa académica. A la memoria de mi amada abuela Petronilla. A toda mi familia.

También quiero dedicarle este trabajo a mi hija Aria. Sin duda ella es lo mejor que me ha pasado, y ha llegado en el momento justo para darme el último empujón que me faltaba para terminar la tesis.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios.

A mi madre, por todo el sacrificio durante estos años, por darme todo lo necesario para cumplir mis metas.

A mi abuelita en el cielo, por todo su amor, por su crianza que junto con mis tíos me enseñaron a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño.

A Zoila, por su amor y por darme el mejor regalo de la vida, mi adorada hija.

A mis hermanos por estar a mi lado.

A mi asesor el Dr. Juan Grados, por su orientación al inicio de este trabajo de investigación.

**Einsten Vargas Ventura**

# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	14
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	15
RESUMEN.....	16
ABSTRACT .....	17
INTRODUCCIÓN.....	18
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1. Determinación del problema.....	19
1.2. Formulación del problema .....	20
1.2.1. Problema general.....	20
1.2.2. Problemas específicos .....	20
1.3. Objetivos .....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos .....	20
1.4. Justificación.....	21
1.4.1. Justificación teórica.....	21
1.4.2. Justificación practica.....	21
1.4.3. Justificación Metodológica .....	21

1.4.4. Justificación social .....	21
1.5. Delimitantes de la investigación .....	22
II.    MARCO TEÓRICO .....	23
2.1. Antecedentes del estudio .....	23
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	23
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	24
2.2. Bases teóricas.....	26
2.3. Marco conceptual .....	44
III.    HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	47
3.1 Hipótesis (General y específicas).....	47
Hipótesis general .....	47
Hipótesis específicas .....	47
3.1.1. Operacionalización de variables.....	47
Variable dependiente:.....	47
Variable independiente: .....	47
IV.    METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	48
4.1. Diseño metodológico .....	48
4.2. Método de investigación .....	48
4.3. Población y muestra.....	48

4.4.	Lugar de estudio .....	48
4.5.	Técnicas e instrumentos para la de recolección de datos .....	48
4.5.1.	Instrumentos para la recolección de la información.....	49
4.6.	Análisis y procesamiento de datos .....	49
V.	RESULTADOS .....	50
5.1.	Resultados descriptivos.....	50
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	62
VII.	CONCLUSIONES.....	63
VIII.	RECOMENDACIONES .....	64
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
X.	ANEXOS .....	68
	Anexo 1. Matriz de consistencia .....	68
	Anexo 2. Diagrama unifilar del tablero de distribución sorter .....	69
	Anexo 3. Especificaciones técnicas de MYeBOX 1500 .....	70
	Anexo 4. Test report certificado de fabricación MYeBOX 1500 .....	74
	Anexo 5. Informe de cumplimiento de analizador de calidad de red Circutor MYeBOX según norma IEC 61000-4-30 para equipos de Clase A.....	76
	Anexo 6. Autocertificado de calibración ENAC para Clase A, según IEC 61000-4-30 por laboratorio CIRCUTOR. ....	80
	Anexo 7. Especificaciones técnicas del Filtro activo AFQm 100 A 4 hilos	82

Anexo 8. Guía de consideraciones para la instalación de Filtros Activos .87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Descomposición de forma de onda distorsionada. ....	27
Figura 2.	Triangulo de potencias en régimen no senoidal.....	35
Figura 3.	Sistema equilibrado. ....	36
Figura 4.	Sistema desequilibrado.....	37
Figura 5.	Sistema de secuencias directa, inversa y homopolar. ....	37
Figura 6.	Sistema de medida y control de parámetros eléctricos.....	39
Figura 7.	Principio de funcionamiento filtro activo.....	41
Figura 8.	Principio de funcionamiento filtro activo AFQm.....	41
Figura 9.	Conmutación 2 niveles vs 3 niveles. ....	42
Figura 10.	Esquema por fase de un inversor con (a) 2 niveles, (b) 3 niveles, y (c) n niveles. ....	43
Figura 11.	Analizador conectado y grabando en el tablero de sorter.....	51
Figura 12.	Corriente llevado al software.....	52
Figura 13.	THDi llevado al software. ....	52
Figura 14.	THDv llevado al software. ....	53
Figura 15.	Potencia activa llevada al software.....	54
Figura 16.	Cos phi llevado al software. ....	54
Figura 17.	Ka y Kd llevado al software. ....	55
Figura 18.	Analizador conectado y grabando en el tablero del sorter, antes y durante la puesta en marcha del filtro activo. ....	57

Figura 19.	THDi antes de la puesta en marcha del filtro activo.....	57
Figura 20.	Descomposición armónica antes de la puesta en marcha del filtro activo.	58
Figura 21.	Forma de onda de la corriente antes de la puesta en marcha del filtro activo.	58
Figura 22.	Cos phi y FP antes de la puesta en marcha del filtro activo. ....	59
Figura 23.	THDi con el filtro activo en marcha. ....	59
Figura 24.	Descomposición armónica con el filtro activo en marcha. ....	60
Figura 25.	Forma de onda de corriente con el filtro activo en marcha. ....	60
Figura 26.	Cos phi y FP con el filtro activo en marcha. ....	61
Figura 27.	Corriente IRMS con el filtro activo antes y después de su marcha.....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Límites de compatibilidad: Armónicos de tensión (Un%) en redes industriales de BT según la IEC-61000-2-4.....	29
Tabla 2.	Límites de distorsión de corriente para sistemas clasificados de 120 V a 69 Kv.....	31
Tabla 3.	Límites de las tensiones armónicas individuales (Vi) y los THD para armónicas comprendidas entre la 2° y 40°, ambas inclusive.....	33
Tabla 4.	Efecto de los armónicos.....	34

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Serie de Fourier.....	27
Ecuación 2. Factor de potencia.....	35
Ecuación 3. $\cos \varphi$ .....	35
Ecuación 4. Coeficiente de desequilibrio.....	38
Ecuación 5. Coeficiente de asimetría.....	38
Ecuación 6. Principio de funcionamiento filtro activo.....	40
Ecuación 7. corriente y voltaje en el inductor. ....	42
Ecuación 8. Suma cuadrática de las corrientes a compensar.....	44
Ecuación 9. Corriente armónica por fase. ....	44
Ecuación 10. Corriente reactiva por fase. ....	44
Ecuación 11. Equilibrado de fases. ....	44
Ecuación 12. Tasa de distorsión individual. ....	45
Ecuación 13. Valor eficaz total. ....	45
Ecuación 14. Tasa de distorsión armónica.....	45
Ecuación 15. Tasa de distorsión de demanda. ....	46
Ecuación 16. Potencia reactiva a compensar. ....	55

## RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación fue compensar la distorsión armónica implementando un filtro activo de potencia en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.

La presente investigación es de tipo aplicada. El diseño de la investigación es del tipo transversal descriptivo. La población objeto de estudio estuvo conformada por el tablero eléctrico del área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruano s.a. En nuestro caso utilizamos una medición de parámetros eléctricos, con un analizador de redes portátil de alta precisión y bajo cumplimiento de las normas internacionales.

Con las mediciones obtenidas se calculó y seleccionó un filtro de 100 A para un sistema trifásico de 4 hilos a través de un correcto análisis de las mediciones realizadas con el analizador de redes.

Se logró compensar la distorsión armónica. Se pudo observar durante la puesta en marcha de filtro activo, el THDi disminuyó de un 27% a un 5%. Además, se observó la corrección de la forma de onda de corriente y la disminución de los armónicos individuales desde el orden 2° al 50°. No se aprecia desbalance de fases antes de la instalación del filtro activo, por lo tanto, no se consideró para su dimensionamiento y configuración.

Por otra parte, también se pudo apreciar una mejora del factor de potencia con respecto al cos phi, antes de la puesta en marcha, el cos phi tenía valores de 0.94 y el factor de potencia de 0.88. durante el funcionamiento del filtro activo el factor de potencia llegó a 0.97 y el cos phi a 0.98.

Finalmente, se logra apreciar una disminución de la corriente Irms total, eliminándose la componente armónica y la componente reactiva. Con eso se logra una mejor eficiencia energética ya que se reducen las pérdidas por efecto Joule.

## ABSTRACT

The general objective of this research was to compensate harmonic distortion by implementing an active power filter in the sorter area of the distribution center of the Peruvian supermarkets company.

This is applied research. The research design is of the descriptive transversal type. The population under study consisted of the electrical panel of the sorter area of the distribution center of the company supermercados peruanos S.A. In our case we used a measurement of electrical parameters, with a high precision portable network analyzer and under compliance with international standards.

With the measurements obtained, a 100 A filter was calculated and selected for a three-phase 4-wire system through a correct analysis of the measurements made with the network analyzer.

The harmonic distortion was compensated. It could be observed during the active filter commissioning, the THDi decreased from 27% to 5%. In addition, it was observed the correction of the current waveform and the decrease of individual harmonics from 2° to 50°. No phase unbalance was observed before the installation of the active filter; therefore, it was not considered for its sizing and configuration.

On the other hand, it was also possible to appreciate an improvement of the power factor with respect to the  $\cos \phi$ , before the start-up, the  $\cos \phi$  had values of 0.94 and the power factor of 0.88. During the operation of the active filter, the power factor reached 0.97 and the  $\cos \phi$  0.98.

Finally, a decrease in the total Irms current was observed, eliminating the harmonic component and the reactive component. With this, a better energy efficiency is achieved since the losses due to Joule effect are reduced.

## INTRODUCCIÓN

La agencia internacional de energía (AIE) indica que cada vez está más claro que la eficiencia energética puede traer muchos beneficios económicos y beneficios ambientales. Sin embargo, también está claro que el enorme potencial de eficiencia energética permanece sin explotar. Para conseguir el máximo beneficio es necesario que los países consumidores tengan políticas energéticas de consumo y adopten tecnologías eficientes que ayuden a una utilización racional de la energía.

Por tal motivo en la actualidad cada vez es mayor el número de empresas como los centros comerciales, edificios, hoteles, minería, industria en general, etc. que están teniendo mayor interés en su calidad de energía y en la eficiencia de sus instalaciones.

Uno de los problemas es que, en los últimos años, el crecimiento de equipos electrónicos dentro de una instalación eléctrica, como: variadores de velocidad, rectificadores, ascensores, luminarias led, ordenadores, etc. han dado origen a un nuevo problema que son los armónicos.

En este punto nos hacemos las siguientes preguntas: ¿Qué son los armónicos? ¿quién es el culpable de que existan dichos armónicos? ¿Cómo afecta la presencia de armónicos al funcionamiento de una instalación?, ¿se deterioran los equipos por el hecho de existir armónicos?, ¿Cómo podemos compensar la distorsión armónica?

En la presente tesis daremos respuesta a estas preguntas partiendo del estudio y aplicación en el área de sorter del centro de distribución de la empresa Supermercados Peruanos S.A. y mostraremos las acciones necesarias para dimensionar e implementar de forma correcta el equipo adecuado para compensar la distorsión armónica.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Determinación del problema**

En los últimos años, a nivel mundial, el crecimiento de equipos electrónicos dentro de una instalación eléctrica, han dado lugar a un cambio significativo de los tipos de cargas conectadas a un sistema eléctrico. Estos equipos como, por ejemplo: variadores de velocidad, rectificadores, Hornos de arco, equipos de soldadura, etc. Se conocen como cargas no lineales, que para su funcionamiento transforman la CA-CC y CC-CA; estos procesos de transformación de la corriente hacen que dichos equipos consuman corrientes con una forma de onda distorsionada, que conllevan a una contaminación de la instalación y con ello a un alto nivel de armónicos.

Actualmente en el Perú, las empresas en general, vienen implementando nuevas tecnologías con el objetivo de aportar beneficios en la calidad de vida de las personas y mejorar sus procesos de producción. Si bien es cierto que estas tecnologías aportan nuevas ventajas, también generan nuevas problemáticas en las redes eléctricas de una instalación. La mayor parte de los equipos nuevos instalados incorporan electrónica, la cual provoca efectos distorsionantes en las líneas eléctricas, afectando el funcionamiento de gran parte de los equipos conectados a ellas.

En el caso del centro de distribución de SPSA que está ubicado en el distrito de punta negra, han implementado un sorter (clasificador). El sorter traslada el producto a través de unos rodillos que son movidos por motores, y que a su vez son accionados por variadores de velocidad. Por su naturaleza no lineal, el sorter es el principal culpable de la inyección de armónicos al resto de la instalación. Si no colocamos una solución, esta distorsión armónica puede provocar fallas en los demás equipos, calentamiento en los cables, consumo excesivo, paradas inesperadas, sobrecarga de los transformadores, etc. Para compensar esta distorsión armónica se va implementar un filtro activo de potencia.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- **PG:** ¿En qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en la distorsión armónica en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- **PE1:** ¿En qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en el desequilibrio de fases en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.?
- **PE2:** ¿En qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en el factor de potencia en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.?
- **PE3:** ¿En qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en la eficiencia energética en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

- **OG:** Compensar la distorsión armónica implementando un filtro activo de potencia en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- **OE1:** Determinar en qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en el desequilibrio de fases en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.
- **OE2:** Determinar en qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en el factor de potencia en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.

- **OE3:** Determinar en qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en la eficiencia energética en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Justificación teórica**

La perturbación armónica que se genera en el sorter del Centro de distribución de la empresa SPSA, ha propiciado una preocupación sobre los daños que esto puede traer para el resto de su instalación eléctrica.

Resulta de especial interés conocer cuáles son los niveles de armónicos que se están generando en el sorter, y a partir de ahí, adoptar las medidas que permitan compensar estos armónicos para mejorar la eficiencia y la calidad de energía dentro de la instalación.

### **1.4.2. Justificación practica**

La presente investigación surge de la necesidad de implementar un filtro activo en el área de sorter, con el propósito de compensar la distorsión armónica que se están produciendo en dicha área, así como los pasos que se necesitan para dimensionar un filtro activo.

### **1.4.3. Justificación Metodológica**

El trabajo tiene una utilidad metodológica, ya que ayuda a la hora de recolectar los datos y analizarlos para la implementación de un filtro activo. La investigación fue viable, pues se dispuso de los recursos necesarios para llevarla a cabo.

### **1.4.4. Justificación social**

La investigación busca brindar información que será de gran utilidad para la

comunidad universitaria, ingenieros e integradores para mejorar el conocimiento sobre el alcance del problema de los armónicos en las instalaciones eléctricas y la forma de solucionarlo con un filtro activo.

### **1.5. Delimitantes de la investigación**

Una de las delimitantes fue la distancia hacia la instalación para la toma mediciones, esto nos acoto a ir solo 2 veces a la instalación y realizar mediciones en periodos de tiempo de 2 horas aproximadamente. Por otro lado, el tiempo que demoro la empresa en adquirir e instalar el filtro activo retraso el avance de la investigación.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del estudio**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

(ORTS GRAU, 2008) en su tesis: "Sistema de compensación mediante filtro activo de potencia con sistema de obtención de las corrientes de referencia selectivo utilizando control 3D-3B SVPWM de la etapa de potencia. Aplicación a sistemas industriales a 4 hilos". De la Universidad politécnica de Valencia. Departamento de ingeniería electrónica. Concluye: Los resultados obtenidos demuestran que este compensador es capaz de mitigar de forma independiente los fenómenos no eficientes presentes en la instalación, resultando una herramienta útil para, a las órdenes de un gestor energético, dedicar toda su potencia en la compensación de un fenómeno u otro cuando las condiciones así lo aconsejen. Se ha comprobado experimentalmente el adecuado funcionamiento del modulador 3D-3B SVPWM y del sistema de control diseñado. El seguimiento de las corrientes de referencia, el mantenimiento del bus dc en su valor de consigna y la no aparición de desequilibrios en las tensiones del bus dc, demuestran el adecuado funcionamiento de los reguladores diseñados.

(MESAS GARCÍA, 2010) en su tesis: "Estudio y caracterización de cargas no lineales". De la Universidad politécnica de Cataluña. Departamento de ingeniería eléctrica. Concluye que: Es muy probable la cancelación armónica entre los rectificadores monofásicos y trifásicos con filtro capacitivo, ya que sus intensidades pueden estar habitualmente en oposición de fases para un amplio rango de sus invariantes. Las intensidades armónicas consumidas por los rectificadores trifásicos de 6 pulsos presentan una gran diversidad en sus fases en función de su invariante pN, lo que facilita la cancelación armónica con otras cargas. No obstante, es difícil obtener dicha cancelación para dos armónicos simultáneamente, lo cual no permite lograr una distorsión armónica total excesivamente reducida. Las lámparas de

descarga también ofrecen la posibilidad de cancelación de las intensidades con las otras cargas, aunque por un lado no se pueden cancelar dos armónicos simultáneamente y por otro la magnitud de sus intensidades armónicas es mucho menor que la del resto.

(MORALES GARCÍA, y otros, 2012) en su trabajo: "Soluciones a los problemas en corrientes y voltajes armónicos en los sistemas industriales" de la Universidad nacional autónoma de México. Facultad de ingeniería. Concluyen: A pesar que la empresa suministradora de energía eléctrica, proporcione una tensión totalmente senoidal (sin distorsión), la alimentación de sistemas eléctricos con cargas no lineales o inyectan intensidades de corrientes no senoidales, causa la propagación de armónicos en todo el sistema, si no se controlan en el 15 sistema que los genera. Podemos señalar 3 tipos de consecuencias para el usuario: En instalaciones eléctricas con calentamientos en generadores, transformadores de tensión, condensadores, conductores. Los costos por reducción de vida útil son muy altos. En el funcionamiento de aplicaciones como, el disparo intempestivo de disyuntores o la dificultad de alimentar receptores sensibles a la energía con respecto a su variación de su calidad. Sobre la potencia eléctrica pues los armónicos consumen una buena parte de la corriente (hasta por el 30%). En muchas partes del mundo, no hay en el momento actual ningún concepto en las tarifas para aplicar penalidades en el uso de armónicos de intensidad de corriente. Sin embargo, la importancia del problema, son varios los países en estudio de un recargo si se sobrepasan los límites admisibles por la norma. Dichas empresas de distribución de energía, tienen existencia de armónicos de corriente la que supone un coste importante en pérdidas y en reducción derivando las instalaciones.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

(CCALLA ARELLANO, 2017). En su trabajo: "Estudio de las distorsiones armónicas producidas por variadores de frecuencia, que afectan la calidad de energía eléctrica del pabellón H de la Universidad Continental".

Concluye: Los armónicos producidos por los variadores de frecuencia, afectan la calidad de la energía eléctrica del pabellón H de la Universidad Continental; la calidad se midió mediante los indicadores de calidad de tensión y frecuencia, con respecto a la distorsión armónica total por cada fase, estos indicadores no superan las tolerancias descritas en la Norma Técnica Peruana, para todos los casos. Según los resultados de la investigación, se puede decir que el 23% de la variación de la tensión eléctrica en la fase U1 se debe a los armónicos producidos por los variadores de frecuencia; para la fase U2 el 13.6%; y para la fase U3 el 19.6%. En el caso de la frecuencia con respecto a la fase U1 se tiene que un 0.0086% de su variación es producida por los variadores, en la fase U2 el 0.0003% de su variación es producida por variadores, y, por último, en la fase U3 el 0.1174%, la diferencia del porcentaje entre fases se debe al desbalance en las cargas no lineales conectadas al sistema.

(PALOMINO NOA, y otros, 2019) En su tesis: "Análisis de las corrientes armónicas en baja tensión y su incidencia a la calidad del producto del Hospital Regional del Cusco -2018". Concluyen que: Para mejorar la calidad del producto, se han propuesto diferentes soluciones basadas unas en filtros pasivos y filtros activos. Estos filtros se pueden conectar en paralelo o en serie, dependiendo del tipo de carga a compensar. Las soluciones existentes tratan de evitar que estas corrientes se propaguen por la red, o en su defecto limitar la emisión de perturbaciones de forma que no afecte a los equipos o instalaciones conectadas a la red eléctrica.

(GONZALES RETAMOSO, 2019). En su tesis: "Evaluación y análisis de la calidad de producto bajo los efectos de las tensiones y corrientes armónicas en un punto de acoplamiento común (PAC)". Concluye que: Mediante el estudio realizado a los diferentes problemas que ocasionan una mala calidad de energía se determinó el de mayor incidencia, los denominados armónicos de tensión y corriente, dicho esto se comprobó que los armónicos de tensión son analizables mediante el equipo analizador de redes trifásicos UNILYZER

902 y que pueden ser visibles en la computadora mediante su propio programa UNIPOWER PQ, donde se pudo observar las cantidades armónicas totales THD, e individuales HDi, además se visualizó que en algunos intervalos de medición las cantidades armónicas individuales pasan lo establecido en la NTCSE, así por ejemplo, para el orden de armónico 5to presenta un valor numérico de 8.898% de distorsión armónica, sin embargo, la (NTCSE), indica un valor máximo de 6.0%, para este orden de armónico, frente a éste problema se propone como alternativa de solución, el realizar un diseño de filtro Pasivo exclusivamente el de tipo sintonizado, por la característica que presenta una impedancia baja a una frecuencia de sintonía de 300Hz que representa al 5to armónico ( $5 \times 60\text{Hz} = 300\text{Hz}$ ), se verificó también mediante la simulación en el PSCAD que la interacción del filtro en el PAC, disminuye el 5to armónico en 89% aproximadamente, además se realizó el análisis de barrido de frecuencia con la finalidad de comprobar el desempeño del filtro incluyendo la influencia del sistema interconectado, presentándose un margen de error aceptable de 3.64%.

## **2.2. Bases teóricas**

### **Distorsión armónica**

Las instalaciones eléctricas cuentan actualmente con una gran cantidad de cargas conocidas como no lineales, las cuales generan a partir de formas de ondas senoidales a la frecuencia de la red, otras ondas de diferente frecuencia produciendo el fenómeno conocido como distorsión armónica.

### **Armónicos**

Los armónicos son tensiones o corrientes senoidales que poseen frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo.

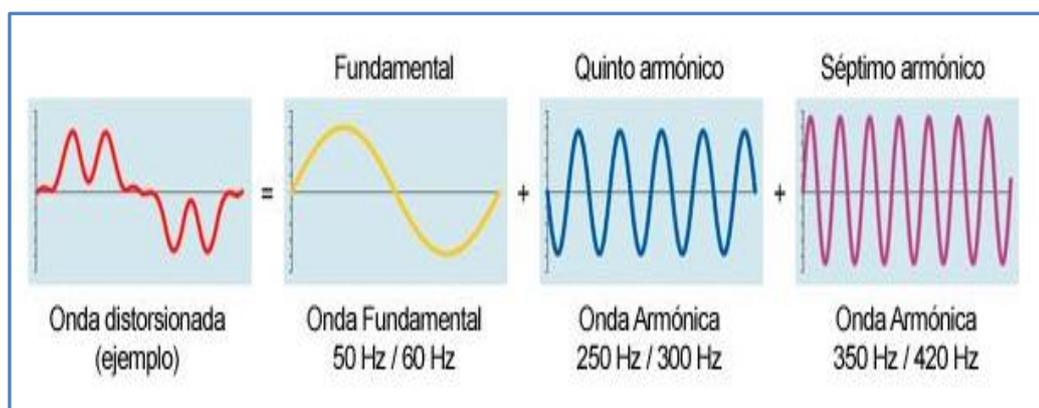
Jean Baptiste J. Fourier, demostró que cualquier función periódica acotada,  $f(t)$ , puede descomponerse en una suma de funciones seno y coseno con frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Por lo tanto, si  $f(t)$  es una función periódica de periodo  $T$ , cumple que  $f(t)=f(t+T)$ . La frecuencia fundamental se define como  $f=1/T$  y su pulsación fundamental es  $\omega=2\pi f$ . Entonces según Fourier, la función puede expresarse como:

*Ecuación 1. Serie de Fourier.*

$$f(t) = A_0 + A_1 \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi_1) + A_2 \cdot \text{seno}(2\omega t + \varphi_2) + A_3 \cdot \text{sen}(3\omega t + \varphi_3) + \dots$$

Se observa que en la descomposición aparecen los términos:

- $A_0$  es el valor promedio de la forma de onda de un ciclo completo. Si el área neta situada arriba del eje horizontal es igual al área localizada por debajo de este en un periodo completo,  $A_0 = 0$ .
- Un término de amplitud  $A_1$  y pulsación  $\omega$  (frecuencia  $f$ ), igual a la onda periódica principal, que se denomina componente fundamental.
- Una serie de términos de amplitudes  $A_2, A_3, \dots, A_n$  con frecuencia  $2f, 3f, 4f \dots nf$ , que se denominan componentes armónicas.



*Figura 1. Descomposición de forma de onda distorsionada.*

Fuente: (CIRCUTOR)

## **Carga lineal**

Una carga es lineal cuando al alimentarlo con una tensión senoidal provoca una corriente senoidal de igual frecuencia, aunque pueden estar desfasadas o no. Por ejemplo, aquí podemos encontrar:

- Cargas resistivas.
- Condensadores.
- Reactancias, motores o transformadores de potencia.

## **Carga no lineal**

Son aquellas cuya corriente no es senoidal debido a un rectificador o convertidor. Aquí podemos encontrar:

- Variadores de velocidad.
- Rectificador.
- Hornos de inducción.
- Ordenadores.
- Servidores.
- UPSs.
- Cargadores de vehículos eléctricos, etc

## **Límites de compatibilidad por armónicos**

La presencia de armónicos en la red tiene varias consecuencias. Las más importantes son las siguientes.

- Deterioro de la calidad de la onda de tensión, afectando a algunos receptores sensibles.
- Sobrecarga y posible resonancia paralelo entre la inductancia de línea y los condensadores de compensación de factor de potencia (FP).
- Empeoramiento de factor de potencia. La capacidad de la red para suministrar potencia se ve disminuida por ello, obligando a su sobredimensionamiento.

- Sobrecarga de cables y sobre todo de transformadores (aumento muy significativo de las pérdidas en el hierro).
- Problemas de disparo intempestivo de protecciones.

Para evitar estos fenómenos, las normas establecen un mínimo de calidad de suministro, que se fija limitando los niveles máximos de distorsión en la onda de tensión suministrada en el punto de acople a la red pública (PCC). Estos límites se denominan límites de compatibilidad. La imagen tabla 1 ofrece un resumen de dichos límites, por lo que se refiere a armónicos en redes industriales de BT. Las distintas clases mencionadas en dicha tabla corresponden a:

- Clase 1: Entorno industrial previsto para alimentación de equipos electrónicos sensibles.
- Clase 2: Entorno industrial normal. Límites habituales para redes públicas.
- Clase 3: Entorno industrial degradado (generalmente por la presencia de convertidores). No apto para alimentación de equipos sensibles.

*Tabla 1.* límites de compatibilidad: Armónicos de tensión (Un%) en redes industriales de BT según la IEC-61000-2-4.

Orden armónico h	Clase 1 Un %	Clase 2 Un %	Clase 3 Un %
2	2	2	3
3	3	5	6
4	1	1	1.5
5	3	6	8
6	0.5	0.5	1
7	3	5	7
8	0.5	0.5	1
9	1.5	1.5	2.5
10	0.5	0.5	1

>10 mult. de 2	0.2	0.2	1
11	3	3.5	5
13	3	3	4.5
15	0.3	0.3	2
17	2	2	4
19	1.5	1.5	4
21	0.2	0.2	1.75
>21 mult. de 3	0.2	0.2	1
23	1.5	1.5	3.5
25	15	1.5	3.5
>25 no mult. de 2 ni de 3	$0.2 + 12.5/h$	$0.2 + 12.5/h$	$5 \times \sqrt{11/h}$
THD (V)	5%	8%	10%

Fuente: (CIRCUTOR)

### **Estándar IEEE 519 (recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems)**

Esta referencia establece los límites de los niveles de distorsión de corriente, en base a los niveles de cortocircuito y la máxima corriente de carga.

Es necesario mencionar que el estándar IEEE 519 no tiene carácter normativo y solo representa una recomendación para los límites de emisión de corrientes armónicas. Por otro lado, esta recomendación es aplicable a puntos de acoplamiento común (PCC).

Para sistema de 120V a 69kV, en el PCC, los usuarios deben limitar sus corrientes armónicas de la siguiente manera:

- Las corrientes armónicas de muy corto tiempo (3 s) del percentil 99 diario deben ser menos de 2 veces los valores dados en la Tabla 2.
- Las corrientes armónicas semanales del percentil 99 de corta duración (10 min) deben ser inferiores a 1.5 veces los valores dados en la Tabla 2.
- Las corrientes armónicas semanales del percentil 95 de corta duración (10 min) deben ser menores que los valores dados en la Tabla 2.

Todos los valores deben estar en porcentaje de la máxima demanda de corriente, IL. Este valor actual se establece en el PCC y debe tomarse como la suma de las corrientes correspondientes a la máxima demanda durante cada una de los doce meses anteriores dividido por 12.

La Tabla 2 se aplica a las corrientes armónicas cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia de la red.

*Tabla 2.* Límites de distorsión de corriente para sistemas clasificados de 120 V a 69 Kv.

Distorsión de corriente armónica máxima en porcentaje de IL						
Orden armónico individual (armónicos impares) a,b						
ISC/IL	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 c	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 < 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 < 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 < 1000	12	5.5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Fuente: (IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, 2014)

a) Los armónicos pares están limitados al 25% de los límites de armónicos impares anteriores.

b) No se permiten distorsiones de corriente que resulten en una compensación de CC, por ejemplo, convertidores de media onda.

c) Todos los equipos de generación de energía están limitados a estos valores de distorsión de corriente, independientemente de I<sub>sc</sub>/IL real.

Donde:

I<sub>sc</sub> = corriente máxima de cortocircuito en el PCC

IL = máxima demanda de corriente de carga (componente de frecuencia fundamental) en el PCC en condiciones normales de funcionamiento con carga.

## **Norma Técnica de la Calidad de Los Servicios Eléctricos (NTCSE)**

En nuestro país se ha elaborado la Norma Técnica De Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) la cual fue aprobada mediante el decreto supremo No 020-97-EM el 09 de octubre de 1997 con el fin de garantizar a los usuarios un suministro eléctrico continuo, adecuado, confiable y oportuno.

La Autoridad propicia el control de todo tipo de perturbaciones. Inicialmente, sin embargo, sólo se controla el Flícker y las Tensiones Armónicas.

Para FLÍCKER: El Índice de Severidad por Flícker de corta duración (Pst) definido de acuerdo a las Normas IEC.

El valor del flicker en Pst o perceptibilidad a corto plazo indica cuando una persona normal percibirá un cambio de luminosidad en la iluminación para focos de 60 W, 120 W o 230 W.

El valor límite de Pst es 1 según la NTCSE, esto significa que, para valores mayores de 1, el fenómeno de flicker sería percibido por el ojo humano.

El periodo de medición es de siete días calendarios continuos promediados por intervalos de 10 minutos.

Para ARMÓNICAS: Las Tensiones Armónicas Individuales ( $V_i$ ) y el Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD).

El período de medición es de siete días calendarios continuos promediados por intervalos de 10 minutos.

*Tabla 3.* Límites de las tensiones armónicas individuales ( $V_i$ ) y los THD para armónicas comprendidas entre la 2° y 40°, ambas inclusive.

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA ó THD	TOLERANCIA   $V_i$ '  o  THD'  (% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Alta y Muy Alta Tensión	Media y Baja Tensión
(Armónicas Impares no múltiplos de 3)		
5	2	6
7	2	5
11	1.5	3.5
13	1.5	3
17	1	2
19	1	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
mayores de 25	$0.1 + 2.5/n$	$0.2 + 12.5/n$
(Armónicas impares múltiplos de 3)		
3	1.5	5
9	1	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
(Pares)		
2	1.5	2
4	1	1
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores de 12	0.2	0.2
THD	3	8

Fuente: (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, 1997)

## ¿Qué efectos producen los armónicos?

Los armónicos producen, en los componentes o elementos, los siguientes efectos que muestra la tabla 4.

Tabla 4. Efecto de los armónicos.

Componente / Elemento	Problema	Efecto
Conductor	Aumento de la corriente. Aumento de la resistencia. Aumento de pérdidas térmicas (efecto Joule). Efecto "Skin".	Calentamiento de cables. Disparo de protecciones.
Conductor de neutro	Circulación de armónicos múltiplos de 3. Retorno por el conductor de neutro.	Sobreintensidad de la corriente circulando por el neutro. Calentamiento en el neutro. Degradación prematura del conductor de neutro. Tensión neutro-tierra. Disparo de protecciones.
Condensadores	Resonancia paralelo con el sistema. Amplificación de los armónicos.	Calentamiento. Envejecimiento prematuro de condensadores. Destrucción de condensadores.
Maquinas Eléctricas	Circulación de corrientes armónicas por los devanados	Sobrecalentamiento y pérdida de aislamiento térmico (efecto Joule). Aumento pérdidas magnéticas (por Histéresis y Foucault). Desclasificación (Transformador). Vibraciones en el eje, desgaste mecánico en rodamientos y excentricidades (motores).
Grupo electrógeno	Sistema blando, con mayor impedancia que la red. Tensión distorsionada.	Dificultad de sincronización automática y posterior conmutación.

Equipos de medida y control	Medidas no validas. Errores en procesos de control.	Error en equipos que toman como referencia el paso por cero de la onda. Saturación de transformadores de medida y/o protección. Valores de magnitudes incorrectas.
-----------------------------	---	--

Fuente: (CIRCUTOR)

### Triangulo de potencias y factor de potencia en redes con armónicos

En instalaciones donde hay presencia de distorsión armónicos el FP y el  $\text{Cos}\varphi$  ya no coinciden.

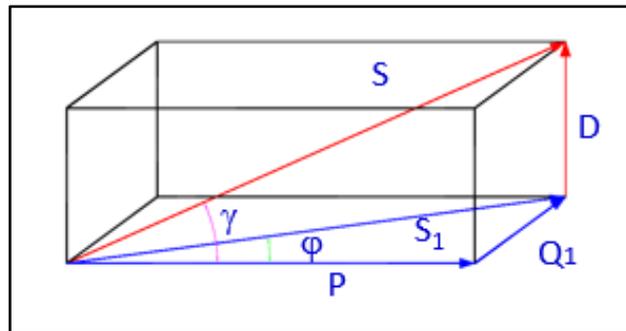


Figura 2. Triangulo de potencias en régimen no senoidal.

Fuente: (CIRCUTOR)

Las relaciones en tal caso son las siguientes:

Ecuación 2. Factor de potencia.

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2 + D^2}} = \text{cos}\gamma$$

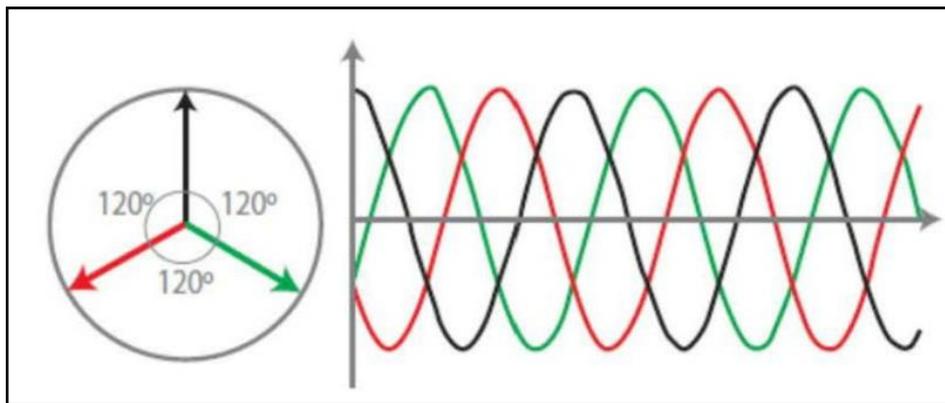
Ecuación 3.  $\text{Cos}\varphi$

$$\text{Cos}\varphi = \frac{P}{S_1} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}}$$

Al comparar las ecuaciones 2 y 3 se observa que el factor de potencia total es siempre menor que el  $\cos\phi$  o factor de potencia de la componente fundamental. Esto significa que, para transmitir la misma potencia activa en vatios, en un circuito con armónicos, necesitamos dimensionar la instalación para una potencia aparente (en kVA) mayor.

### **Sistemas trifásicos equilibrados y desequilibrados**

Los sistemas trifásicos en general de tres o cuatro hilos, es decir con neutro y sin neutro son equilibrados cuando las tensiones de fase son iguales o prácticamente iguales. Es decir, tienen igual modulo y están desfasadas  $120^\circ$ . Si las cargas son también equilibradas, esto daría lugar a un sistema de tres corrientes, también desfasadas  $120^\circ$ .



*Figura 3. Sistema equilibrado.*

Fuente: (CIRCUTOR)

En principio, las tensiones del sistema de alimentación trifásico pueden considerarse equilibradas, pero debido a un reparto desigual de cargas en las distintas fases (impedancias desequilibradas), se generan corrientes desequilibradas y debido a las caídas de tensión en el sistema de distribución, se originan desequilibrios en las tensiones del punto de recepción. Al hacer la representación vectorial de un sistema desequilibrado de tensiones o de corrientes, encontraremos tres fasores que pueden tener módulos distintos y desfases distintos de  $120^\circ$ .

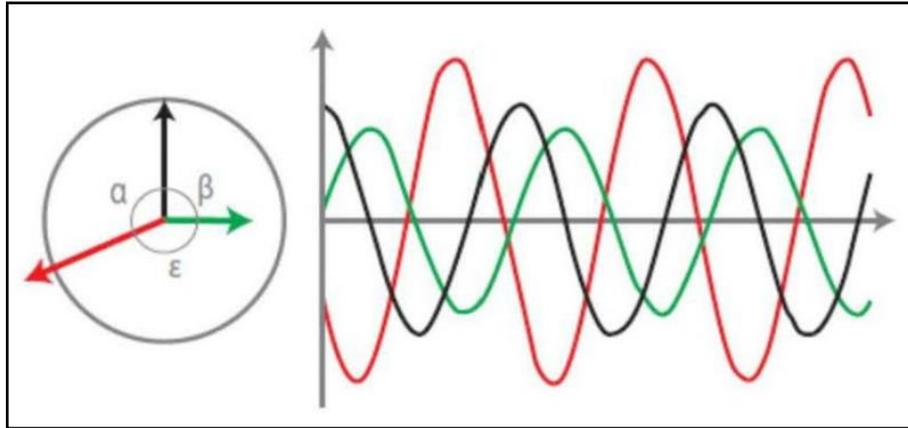


Figura 4. Sistema desequilibrado.

Fuente: (CIRCUTOR)

Para el análisis de sistemas desequilibrados, Fortecue y Stokvis, idearon el método de las componentes simétricas. Este método indica que cualquier sistema trifásico desequilibrado puede ser descompuesto en la suma de tres sistemas:

- Uno de secuencia directa.
- Otro de secuencia inversa y
- De secuencia cero (homopolar).

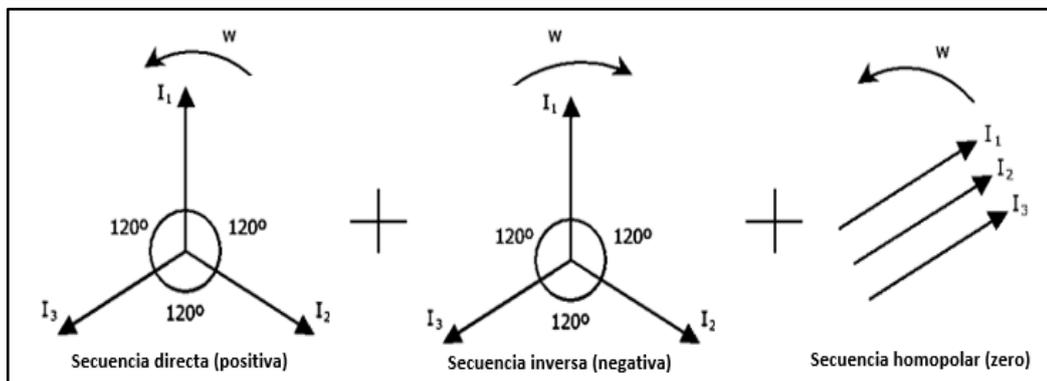


Figura 5. Sistema de secuencias directa, inversa y homopolar.

Fuente: (CIRCUTOR)

Para indicar el grado de desequilibrio de un sistema se usan 2 coeficientes:

- Coeficiente de desequilibrio,  $K_d$ : relación entre la componente inversa y la componente directa de un sistema desequilibrado.

*Ecuación 4. Coeficiente de desequilibrio.*

$$K_d \% = \frac{|U_i|}{|U_d|} \times 100$$

- Coeficiente de asimetría, Ka: relación entre la componente homopolar y la componente directa de un sistema desequilibrado.

*Ecuación 5. Coeficiente de asimetría.*

$$K_a \% = \frac{|U_0|}{|U_d|} \times 100$$

las redes de distribución en MT son generalmente de tres hilos (sin neutro), por tal motivo la componente homopolar siempre es nula. Es por ello que la simetría de la red de distribución se mide solo con el coeficiente de desequilibrio (Kd). según la norma EN 50160 el coeficiente de desequilibrio debe ser menor al 2%. (BALCELLS, y otros, 2016).

### **Medida y registro de magnitudes eléctricas**

Un aspecto esencial para poder estudiar cualquier red eléctrica es el de disponer de instrumentos capaces de medir y registrar los principales parámetros de la misma. La medida es necesaria para conocer el estado del sistema eléctrico de una instalación, para poder controlar la calidad del suministro, para cuantificar la energía consumida, para controlar las puntas de consumo, etc.

En la actualidad, la gama de analizadores va desde los clásicos indicadores de aguja, pasando por los indicadores digitales hasta llegar a los analizadores más sofisticados que permiten no solo medir, sino registrar datos de tensión, corriente, consumo y capturar determinadas perturbaciones. La posibilidad de registrar y capturar determinados eventos es esencial para poder disponer de datos a la hora de diagnosticar un

problema.

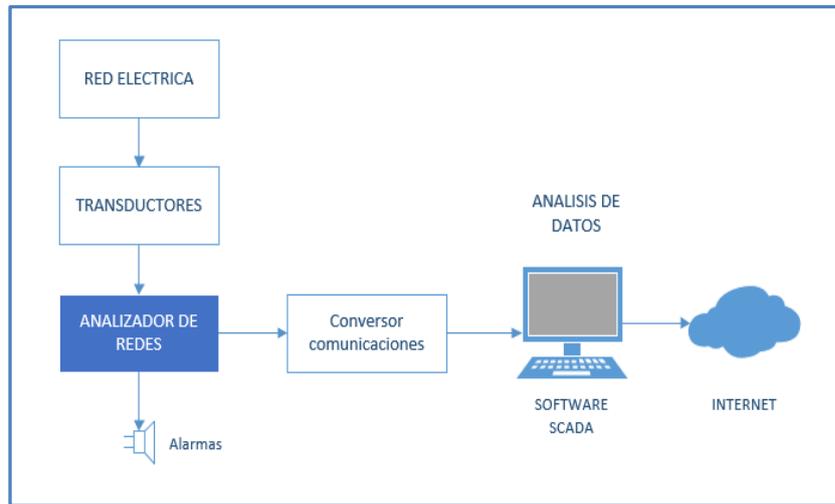


Figura 6. Sistema de medida y control de parámetros eléctricos.

Fuente: Elaboración propia. (BALCELLS, y otros, 2016)

### Diagrama de bloques estudio de la instalación



## Filtros Activos de potencia

Esta estrategia de mitigación de armónicos aprovecha la energía almacenada en un condensador o en una bobina, para compensar las perturbaciones que se originan como consecuencia de la presencia de cargas no lineales conectadas a la red eléctrica, o provenientes de otras características no lineales de cargas como transformadores y maquinas rotativas. Gracias al hecho de contar en su configuración con un elemento almacenador de energía los filtros activos logran compensar otras perturbaciones y corrigen el factor de potencia.

Los filtros activos son equipos basados en convertidores de potencia conmutados, con modulación de ancho de pulso PWM. Pueden distinguirse dos tipos: Filtros serie y filtros paralelo. Habitualmente para cumplir con las normas IEC-61000-3.4 y IEEE-519 se emplean filtros paralelos, cuyo principio de funcionamiento consiste en la inyección a la red, en contrafase, de los armónicos consumidos por la carga, mediante un ondulator. Esto permite que, aguas arriba del punto de conexión del filtro, la señal no presente prácticamente distorsión armónica.

Los filtros activos se basan en el siguiente principio:

*Ecuación 6. Principio de funcionamiento filtro activo*

$$I_{Filtro} = I_{Red} - I_{Carga}$$

Donde:

- I Red: Onda senoidal deseada.
- I Carga: Señal deformada por efecto de los armónicos.
- I Filtro: Diferencia existente entre ambas ondas.

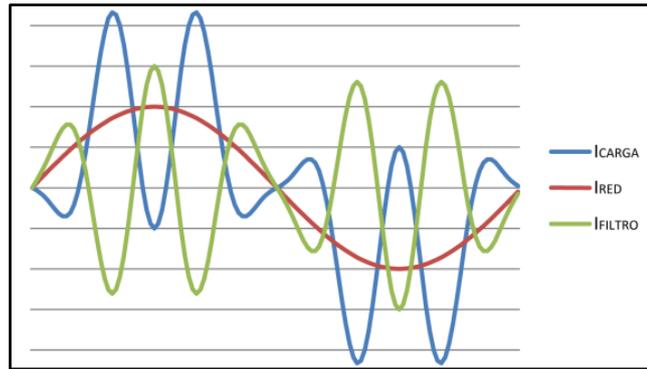


Figura 7. Principio de funcionamiento filtro activo.

Fuente: (CIRCUTOR)

### Filtro Activo AFQm

Los filtros activos con tecnología multinivel AFQm constituyen la solución más completa para resolver los problemas de calidad causados, tanto en instalaciones trifásicas industriales como comerciales o de servicios, no únicamente por los armónicos, sino también por el consumo de potencia reactiva (de tipo inductivo y capacitivo) y equilibrado de fases.

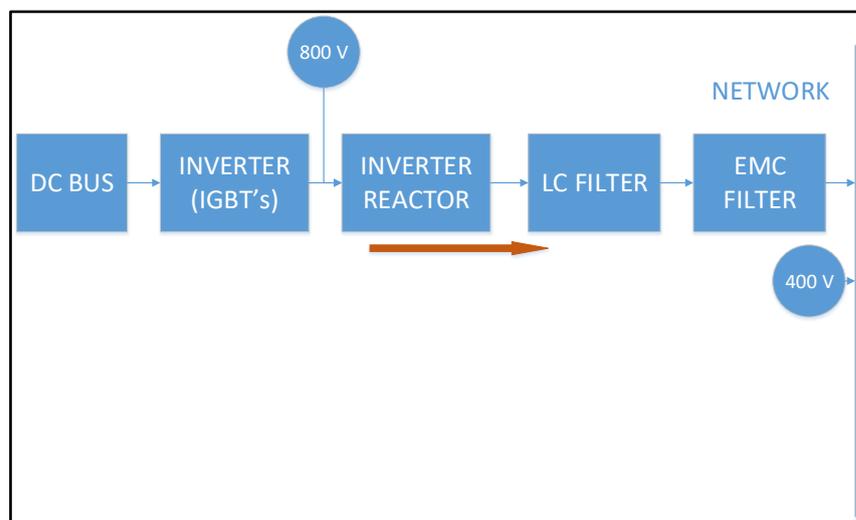


Figura 8. Principio de funcionamiento filtro activo AFQm

Fuente: (CIRCUTOR)

Supongamos una red de 400 V, el filtro activo está midiendo en cada instante la

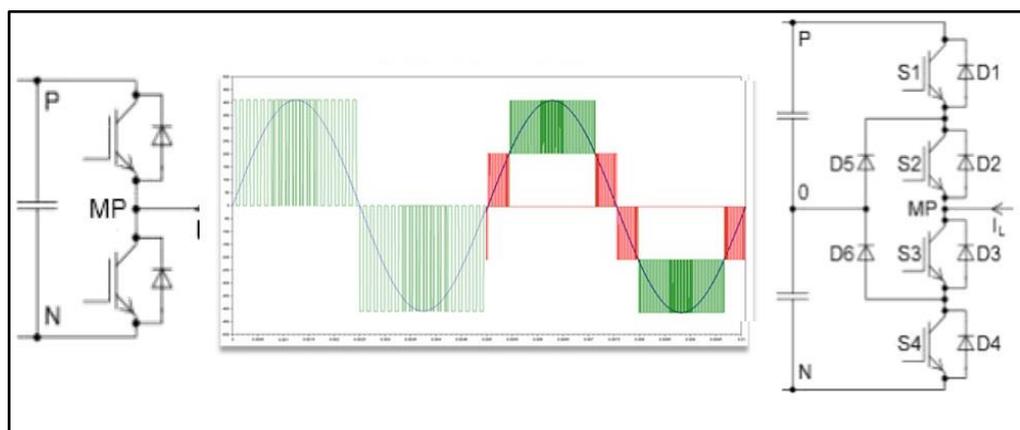
tensión y la corriente a filtrar y conoce el valor de impedancia (Z) de la inductancia del inversor (inverter reactor). Para que el filtro inyecte una corriente contra armónica hacia la red, el inversor deberá de generar una tensión para provocar una diferencia de potencial respecto a la red y gracias a la inductancia circulará la corriente correspondiente a la frecuencia necesaria. El inversor será el encargado de generar dicha diferencia tensión inversor conmutando de forma que con la energía de los condensadores del BUS pueda construir la onda de tensión necesaria para que circule la corriente requerida.

*Ecuación 7. corriente y voltaje en el inductor.*

$$I_{arm} = \frac{\Delta V}{Z} = \frac{800 - 400}{Z}$$

la tecnología multinivel o también conocida como trinivel (tres niveles de tensión: tensión máxima, la mitad de tensión o sin tensión). Este consta de 4 IGBT's por fase, y para poder construir la onda de tensión va aplicando pulsos de tensión de la capacidad total o de la mitad de los condensadores.

En la figura 9. se puede apreciar la diferencia entre una conmutación de 2 niveles (dos niveles de tensión: máximo de tensión o nada de tensión) vs la conmutación multinivel.



*Figura 9. Conmutación 2 niveles vs 3 niveles.*

Fuente: (CIRCUTOR)

Con la tecnología multinivel se consigue que la reproducción de la onda sea mucho más aproximada a las necesidades sin tanto rizado como en el caso de 2 niveles, y la tensión que se le aplican a la gran mayoría de elementos es menor. Esta reducción en tensión permite que todos los elementos sean más pequeños y que disipen menos calor.

La Figura 10 muestra algunos diagramas esquemáticos de inversores con diferente número de niveles, en los cuales, la acción del semiconductor está representada por un interruptor ideal con distintas posiciones.

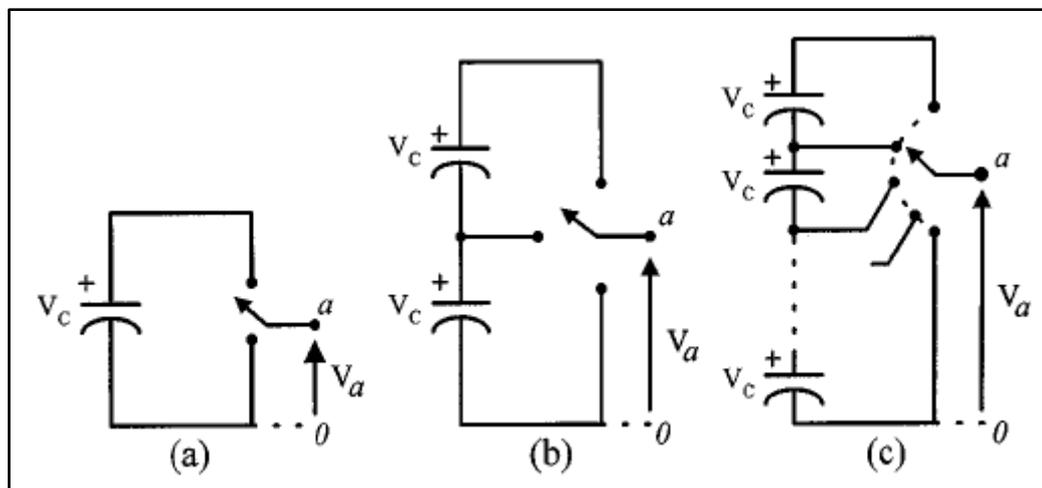


Figura 10. Esquema por fase de un inversor con (a) 2 niveles, (b) 3 niveles, y (c) n niveles.

Fuente: (Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications, 2002)

- (a) Salida de voltaje con dos valores (niveles) distintos,  $V_c$  y Cero, con respecto al terminal negativo de la fuente ("0").
- (b) Tres voltajes distintos a la salida ( $2 \cdot V_c$ ,  $V_c$  y Cero)
- (c) n niveles.

### Funciones de un AFQm

El filtro activo AFQm puede filtrar los armónicos desde el orden 2° al 50°, compensar la potencia reactiva tanto en consumo como en generación, de corrientes atrasadas (inductiva) como adelantadas (capacitiva). 0,7 inductiva

...0,7 capacitiva y puede corregir el desequilibrio de corrientes, mejorando el consumo entre fases de la instalación.

### ¿Como dimensionar un AFQm?

Para saber qué filtro activo elegir es necesario calcular la corriente nominal del mismo. Para ello es necesario calcular la corriente residual armónica del sistema. Además, si también queremos que el filtro compense la reactiva y equilibre las fases, se tiene que realizar la suma cuadrática de las corrientes según las siguientes formulas:

*Ecuación 8. Suma cuadrática de las corrientes a compensar.*

$$I_{\text{Filtro Activo}} = \sqrt{I_{\text{Armónicos}}^2 + I_{\text{pot.reactiva.}}^2 + I_{\text{equilibrado de fases}}^2} \left[ \frac{A}{\text{phase}} \right]$$

*Ecuación 9. Corriente armónica por fase.*

$$I_{\text{Armonicos}_{\text{fase1}}} = I_{\text{RMS}_{\text{phase1}}} \cdot \sqrt{\frac{\text{THD}_{I_{\text{fase1}}}^2}{100^2 + \text{THD}_{I_{\text{fase1}}}^2}} \cdot \left( 1 + \frac{\text{THD}_{V_{\text{fase1}}}}{10} \right) \left[ \frac{A}{\text{phase}} \right]$$

*Ecuación 10. Corriente reactiva por fase.*

$$I_{\text{pot. reactiva.}_{\text{fase1}}} = \frac{Q_{\text{fase1}}}{V_{\text{fase1}}}$$

*Ecuación 11. Equilibrado de fases.*

$$I_{\text{equilibrado de fases}} = \text{Valor mas grande de ambas ecuaciones} \left[ \frac{I_{\text{media}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{media}}} \right]$$

### 2.3. Marco conceptual

- **Frecuencia fundamenta (F1):** Frecuencia de la onda original (50/60 Hz).
- **Orden de un armónico (n):** Número entero dado por la relación de la

frecuencia de un armónico a la frecuencia fundamental. Con el orden se determina la frecuencia del armónico (Ejemplo: 5º armónico → 5x60 Hz: 300 Hz).

- **Componente fundamental ( $U_1$  o  $I_1$ ):** Componente sinusoidal de orden 1 del desarrollo en serie de Fourier de frecuencia igual a la onda periódica original.
- **Componente armónica ( $U_n$  o  $I_n$ ):** Componente sinusoidal de orden superior a 1 del desarrollo en serie de Fourier de frecuencia múltiplo entero de la frecuencia origen.
- **Tasa de distorsión individual ( $U_n\%$  o  $I_n\%$ ):** Relación en % entre el valor eficaz de la tensión o corriente armónica ( $U_n$  o  $I_n$ ) y el valor eficaz de la componente fundamental ( $U_1$  o  $I_1$ ).

*Ecuación 12. Tasa de distorsión individual.*

$$U_n\% = \frac{U_n}{U_1} \times 100 \quad I_n\% = \frac{I_n}{I_1} \times 100$$

- **Valor eficaz total (TRMS):** Es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de todos los componentes que forman la onda.

*Ecuación 13. Valor eficaz total.*

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_5^2 + \dots} \quad I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots}$$

- **Residuo armónico:** Diferencia entre la tensión o corriente total y el correspondiente valor fundamental.
- **Tasa de distorsión armónica (THD):** Relación entre el valor eficaz del residuo armónico de la tensión y/o corriente y el valor de la componente fundamental.

*Ecuación 14. Tasa de distorsión armónica.*

$$THD(U)\% = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_5^2 + \dots}}{U_1} \quad THD(I)\% = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots}}{I_1}$$

- **Tasa de distorsión de demanda (TDD):** Relación entre el valor eficaz del residuo armónico de corriente y el valor de la corriente máxima demanda.

*Ecuación 15. Tasa de distorsión de demanda.*

$$TDD(I)\% = \frac{\sqrt{I_2^2 + 3I_3^2 + 5I_5^2 + \dots}}{I_L}$$

Donde definimos  $I_L$ , como el promedio de las corrientes de máxima demanda de los últimos 12 meses, medidas mes a mes. En caso de no disponer de dicho valor, se puede utilizar la corriente nominal de la línea.

**IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor):** Transistor bipolar de puerta aislada. es un dispositivo semiconductor que se aplica como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia por sus grandes manejos de corriente y el pequeñísimo voltaje de saturación.

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1 Hipótesis (General y específicas)

##### Hipótesis general

- **Hipótesis alternativa (HI):** La implementación de un filtro activo mejorará la distorsión armónica en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.
- **Hipótesis nula (HO):** La implementación de un filtro activo, no mejorará la distorsión armónica en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.

##### Hipótesis específicas

- **HE1:** La implementación de un filtro activo mejorará el desequilibrio de fases en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.
- **HE2:** La implementación de un filtro activo mejorará el factor de potencia en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.
- **HE3:** La implementación de un filtro activo mejorará la eficiencia energética en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.

##### 3.1.1. Operacionalización de variables

###### Variable dependiente:

Distorsión armónica.

###### Variable independiente:

Filtro activo.

## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **4.1. Diseño metodológico**

La presente investigación es de tipo aplicada, pues “se concentra en la solución de un problema inmediato, ofrece elementos para aplicaciones tecnológicas o para toma de decisiones”. (Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa, 2007)

En el presente trabajo se implementó un filtro activo para reducir la distorsión armónica en la zona de sorter de la empresa supermercados peruano s.a.

### **4.2. Método de investigación**

El método de la investigación es del tipo transversal descriptivo, debido a que se trata a cada variable individualmente sin manipularlas y tiene como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan. Además, cada variable fue medida en una sola oportunidad y en un tiempo único.

### **4.3. Población y muestra**

La población objeto de estudio estuvo conformada por el tablero eléctrico del área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruano s.a.

### **4.4. Lugar de estudio**

Instalaciones del centro de distribución de la empresa supermercados peruano s.a.

### **4.5. Técnicas e instrumentos para la de recolección de datos**

Según (TEJADA FERNANDEZ, 1997), “es necesario considerar tres variables en la recogida de la información: lugar, tiempo y procedimiento”. En nuestro caso. Para empezar, se coordinó con en el Ing. de Mantenimiento; el lugar fue en las instalaciones del almacén supermercados S.A. en el tablero eléctrico del sorter; el tiempo fue entre 2 horas aproximadamente en donde no solo se realizó las

mediciones con el analizador sino también se observó físicamente la infraestructura en cuanto al tablero eléctrico del sorter.

#### **4.6. Instrumentos para la recolección de la información**

(HERNÁNDEZ SAMPIERI, y otros, 2014) define el instrumento como aquel que registra datos observables que representan verdaderamente a los conceptos o variables que el investigador tiene en mente. Se infiere que, el instrumento debe acercar más al investigador a la realidad de los sujetos; es decir, aporta la mayor posibilidad a la representación fiel de las variables a estudiar.

En nuestro caso utilizamos una medición de parámetros eléctricos, con un analizador de redes portátil de alta precisión y bajo cumplimiento de las normas internacionales.

Para tal fin, se plantearon tres actividades vinculadas entre sí:

- El seleccionar un instrumento de medición.
- Obtener las informaciones de las variables que son de interés
- Preparar las mediciones obtenidas para que puedan ser objeto de análisis.

#### **4.7. Análisis y procesamiento de datos**

Tal como lo expresa (HERNÁNDEZ SAMPIERI, y otros, 2014) “En la actualidad, el análisis cuantitativo de los datos se lleva a cabo por computadora u ordenador. Ya casi nadie lo hace de forma manual ni aplicando fórmulas, en especial si hay un volumen considerable de datos”. En nuestro caso la información que se recogió se analizó con el software PowerVision Plus.

## **V. RESULTADOS**

### **5.1. Resultados descriptivos**

Se analizó 1 medición de parámetros eléctricos para calcular el valor del Filtro activo y se realizó el análisis de una segunda medición luego de realizar la puesta en marcha del filtro activo.

#### **Análisis de medición para el cálculo del filtro activo**

Los primeros pasos para realizar esta medición fueron las coordinaciones con el Ing. De Mantenimiento.

Se tomó en cuenta ciertas condiciones para el ingreso a las instalaciones:

- Realizar la inducción de seguridad y salud en el trabajo (SST).
- SCTR.
- Realizar el llenado del Análisis de Trabajo Seguro (ATS).
- EPPs completos (casco, zapatos de seguridad, chaleco).

Se tomó en cuenta ciertas condiciones en campo:

- Instalar el analizador de redes.
- Prender el analizador de redes.
- Proceder con la configuración del analizador y empezar la grabación por un periodo de 2 horas.
- Descargar la información recabada en campo.

Las mediciones fueron realizadas con el analizador de redes MYeBOX 1500 de marca Circutor, N° de serie 083218310008.

#### **MYeBOX 1500**

- MYeBOX-1500 Analizador de redes portátil trifásico con registro de transitorios con forma de onda y los parámetros de calidad de red según la norma EN 50160.

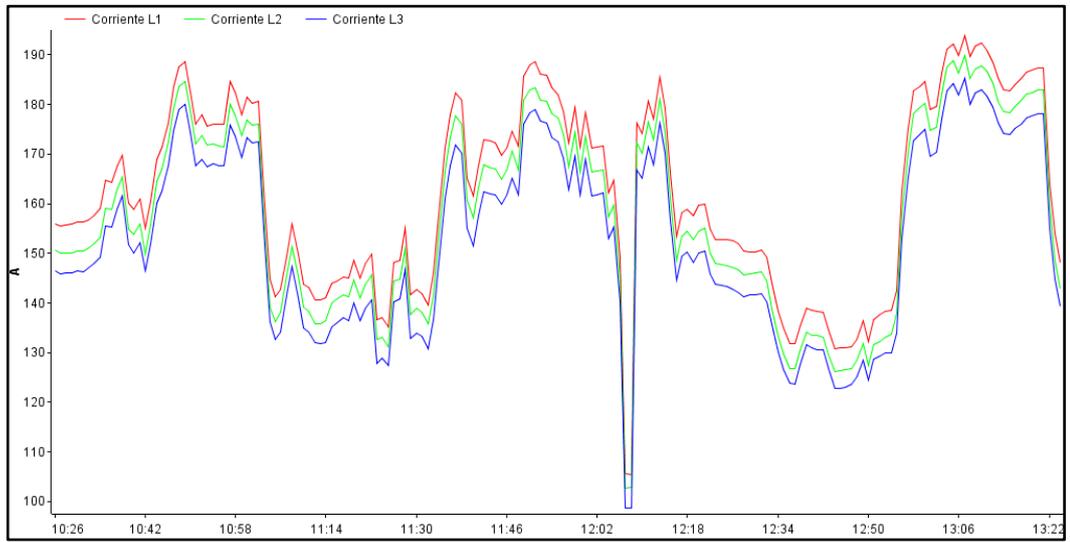
- Configuración desde su APP vía Wifi.
- Comunicaciones: Wifi y 3G.
- Registro de eventos de calidad en tensión según EN 61000-4-30
- Número de entradas de medida de tensión: 5.
- Canales de medida de corriente: 5.
- Clase A.



*Figura 11. Analizador conectado y grabando en el tablero de sorter.*

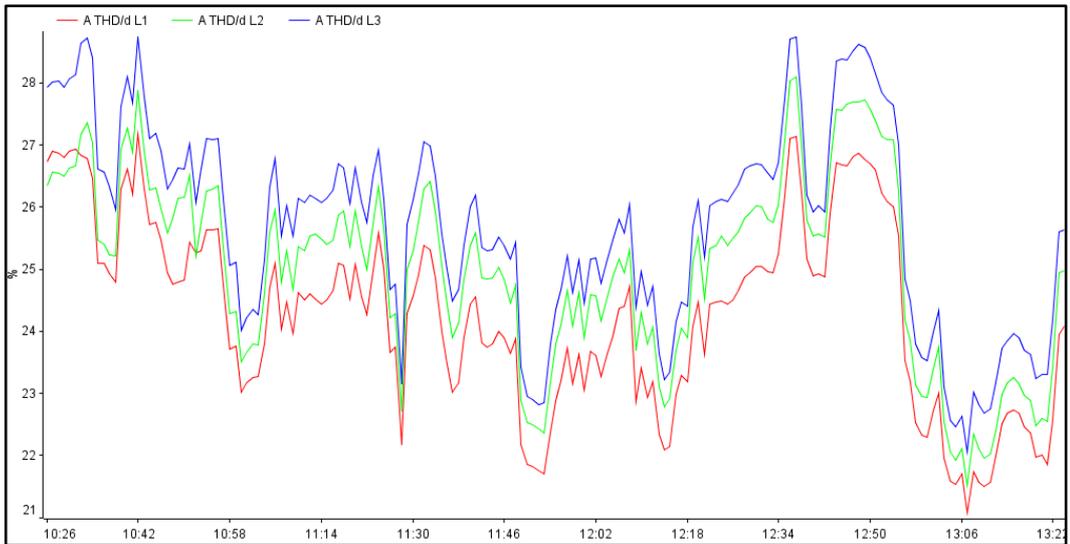
Fuente: Elaboración propia

Calculamos la corriente armónica que se necesita filtrar, para esto analizamos los valores de corriente IRMs, THDi y THDv registrados por el analizador.



*Figura 12. Corriente llevado al software.*

Fuente: Elaboración propia



*Figura 13. THDi llevado al software.*

Fuente: Elaboración propia

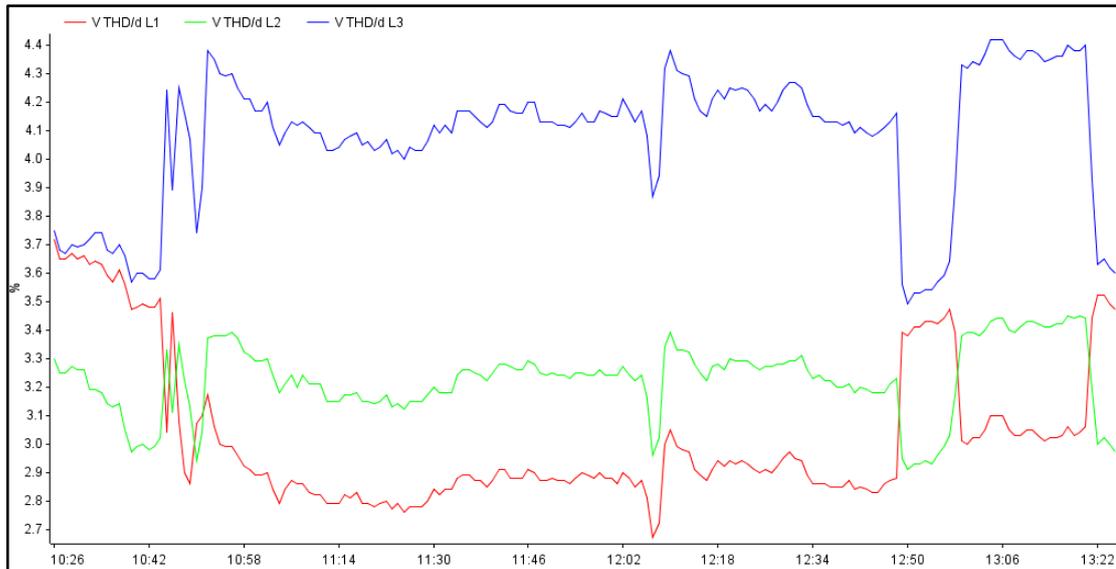


Figura 14. THDv llevado al software.

Fuente: Elaboración propia.

De las gráficas obtenidas podemos observar durante los mayores consumos:

- El valor de corriente IRMs es de unos 188 A en promedio aproximadamente.
- El valor de THDi es de 27% en promedio aproximadamente.
- El valor de THDv es de 4% en promedio aproximadamente.

Con estos valores se calcula la corriente armónica a filtrar:

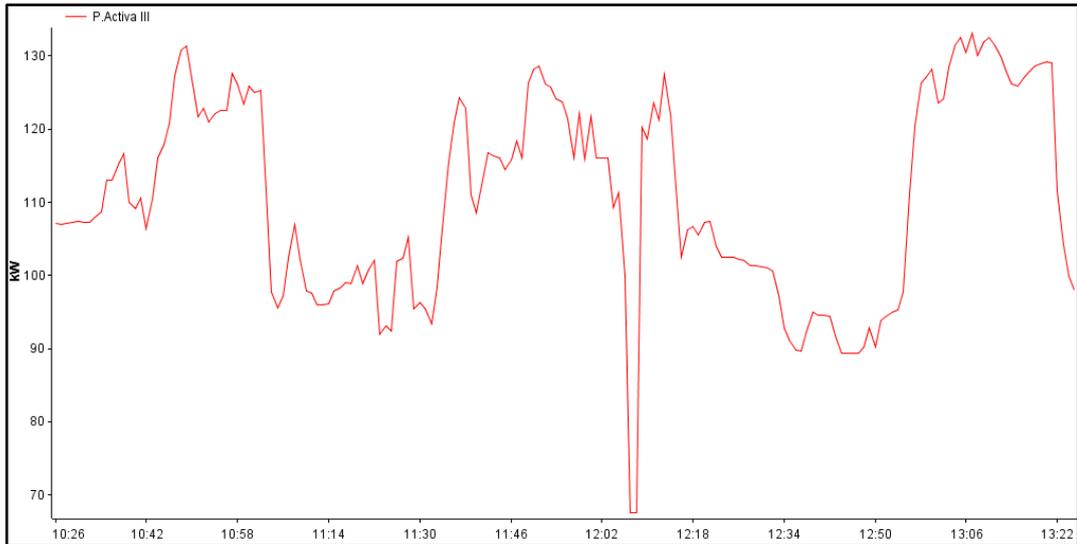
$$I_{armónicos_{fase1}} = I_{RMS_{fase1}} \times \sqrt{\frac{THD_{I_{fase1}}^2}{100^2 + THD_{I_{fase1}}^2} \times \left(1 + \frac{THD_{V_{fase1}}}{10}\right)} \left[\frac{A}{fase}\right]$$

$$I_{armónicos_{fase1}} = 188 \sqrt{\frac{27^2}{100^2 + 27^2} \times \left(1 + \frac{4}{10}\right)} = 188 \times 0.26 \times 1.4$$

$$= \boxed{68 \text{ A}}$$

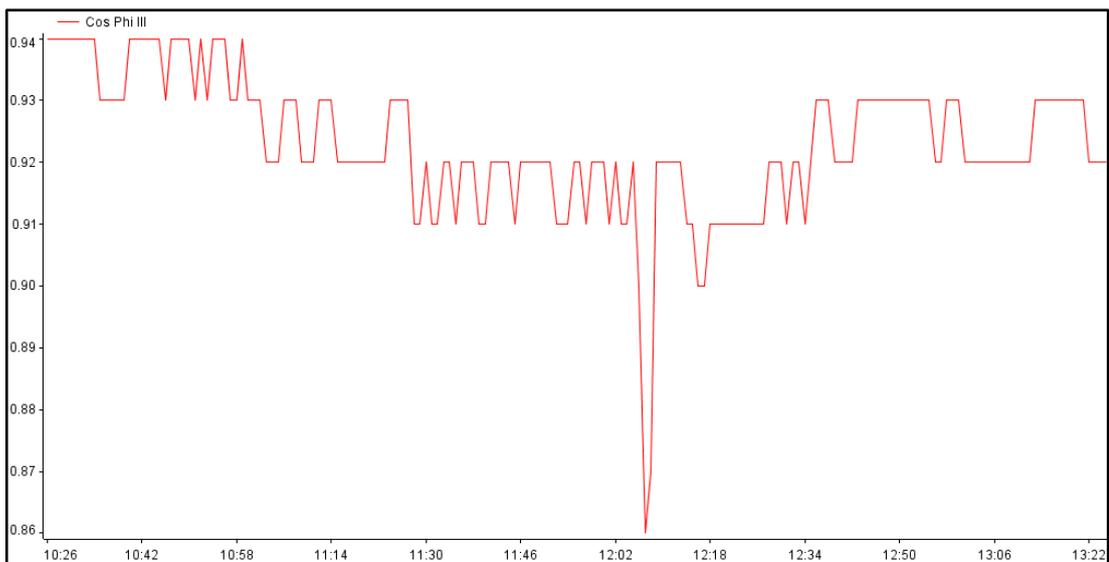
**I armónica = 68 A.**

Calculamos la corriente reactiva que se necesita compensar, para esto analizamos los valores de potencia activa y cos phi.



*Figura 15. Potencia activa llevada al software.*

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 16. Cos phi llevado al software.*

Fuente: Elaboración propia.

De las gráficas se aprecia que:

- La potencia activa promedio es de 125 Kw.
- El cos phi promedio es de 0.94.

La tensión de la instalación es de 380V y el cos phi objetivo es de 0.98

Con estos valores se calcula la potencia reactiva a compensar:

*Ecuación 16. Potencia reactiva a compensar.*

$$Q = P(\tan(\arccos(\cos \phi_1)) - \tan(\arccos(\cos \phi_2)))$$

Por lo tanto, tenemos que:

$$Q = 125(\tan(\arccos(0.94)) - \tan(\arccos(0.98)))$$

$$Q = 19.99 \text{ Kar}$$

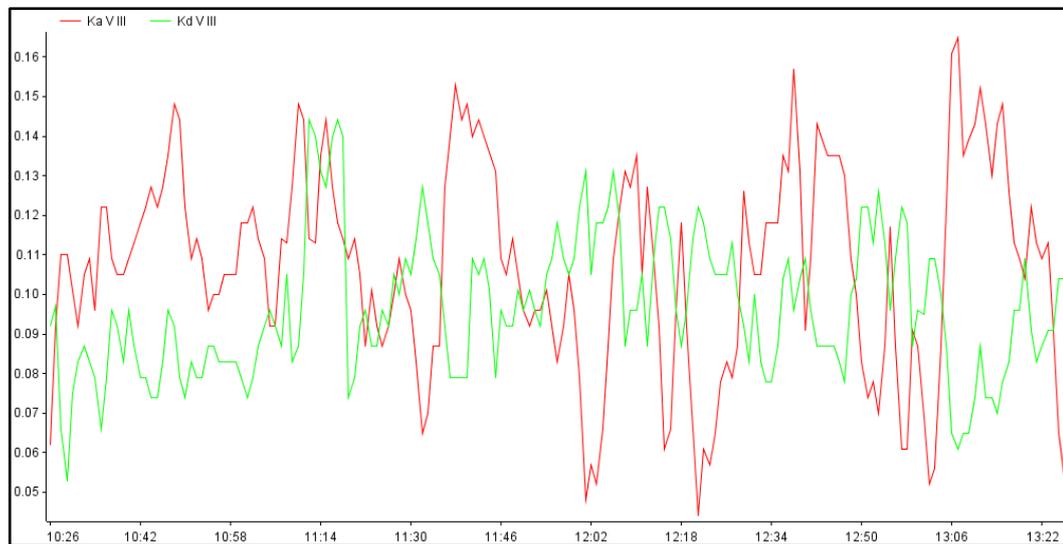
Con este valor de potencia reactiva ahora se calcula la corriente reactiva a compensar:

$$I_{\text{Reactiva}} = \frac{Q}{\bar{V}} \quad I_{\text{Reactiva}} = \frac{19990}{380 \times 1.73}$$

$$I_{\text{Reactiva}} = 30.37 \text{ A}$$

**I reactiva = 30.37 A.**

Analizamos el desbalance de fases en base a los coeficientes de desequilibrio Kd y Ka.



*Figura 17. Ka y Kd llevado al software.*

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que los coeficientes Kd y Ka de la figura 17. están por debajo del 2% según la norma EN 50160, lo cual indica que el circuito esta

equilibrado. Por lo tanto, no se incluirá el cálculo de la ecuación de desequilibrio para el dimensionamiento de la capacidad del filtro activo.

Entonces la corriente del filtro activo tiene que ser de:

$$I_{\text{filtro}} = \sqrt{I_{\text{armónica}}^2 + I_{\text{reactiva}}^2}$$
$$I_{\text{filtro}} = \sqrt{68^2 + 30.37^2}$$
$$I_{\text{filtro}} = 74.47 \text{ A}$$

Por lo tanto, la capacidad del filtro activo de acuerdo al modelo comercial de la marca Circutor es un AFQm tipo gabinete montaje en suelo de 100 A para un sistema trifásico de 4 hilos (3 fases + neutro).

Modelo: AFQm-4WF-100C-400.

### **Análisis de medición con el filtro activo en marcha**

La instalación del filtro activo estuvo a cargo de la propia empresa supermercados peruanos s.a. Luego de esto se coordinó con el Ing. De mantenimiento para realizar la puesta en marcha del filtro y a la vez realizar las mediciones con el analizador para poder mostrar los resultados obtenidos.

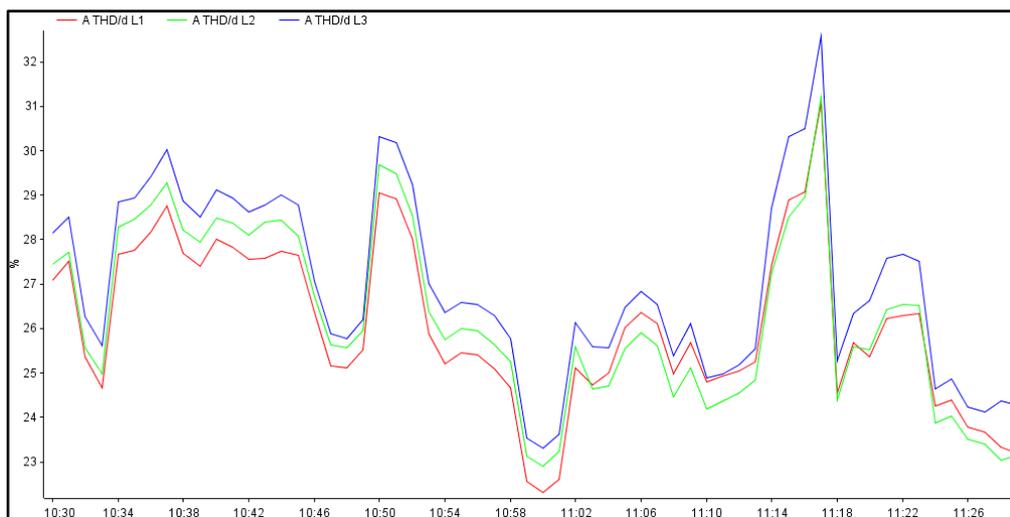
Luego de cumplir con todos los requisitos para el ingreso a las instalaciones de la empresa, procedimos con la instalación de nuestro analizador previo a realizar la puesta en marcha del filtro, con la finalidad de poder obtener los valores a analizar antes y después de su funcionamiento.



**Figura 18.** *Analizador conectado y grabando en el tablero del sorter, antes y durante la puesta en marcha del filtro activo.*

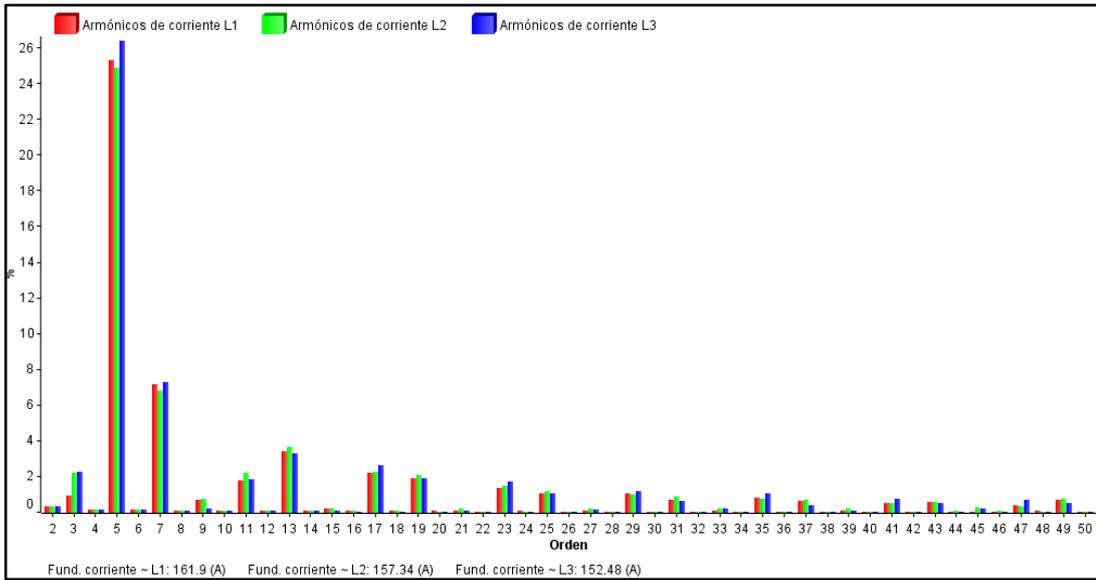
Fuente: Elaboración propia

Durante 1 hora de grabación antes de la puesta en marcha del filtro activo obtuvimos los siguientes gráficos respecto a la distorsión armónica, cos phi y factor de potencia.



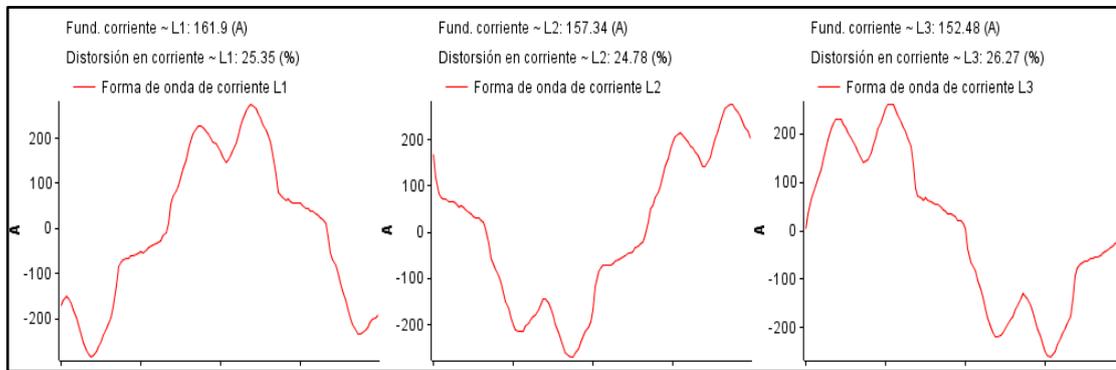
**Figura 19.** *THDi antes de la puesta en marcha del filtro activo.*

Fuente: Elaboración propia.



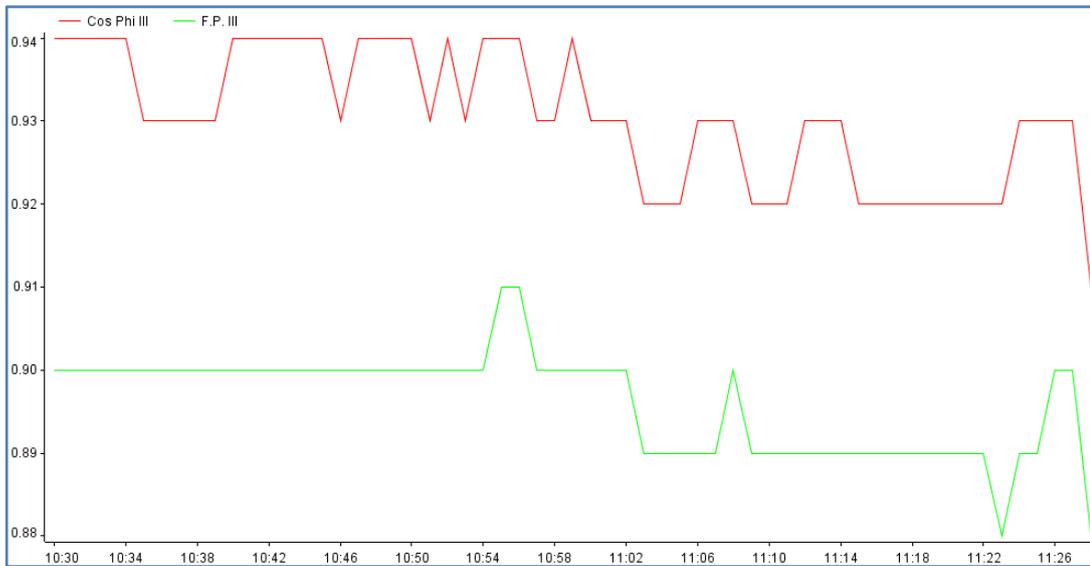
**Figura 20.** *Descomposición armónica antes de la puesta en marcha del filtro activo.*

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 21.** *Forma de onda de la corriente antes de la puesta en marcha del filtro activo.*

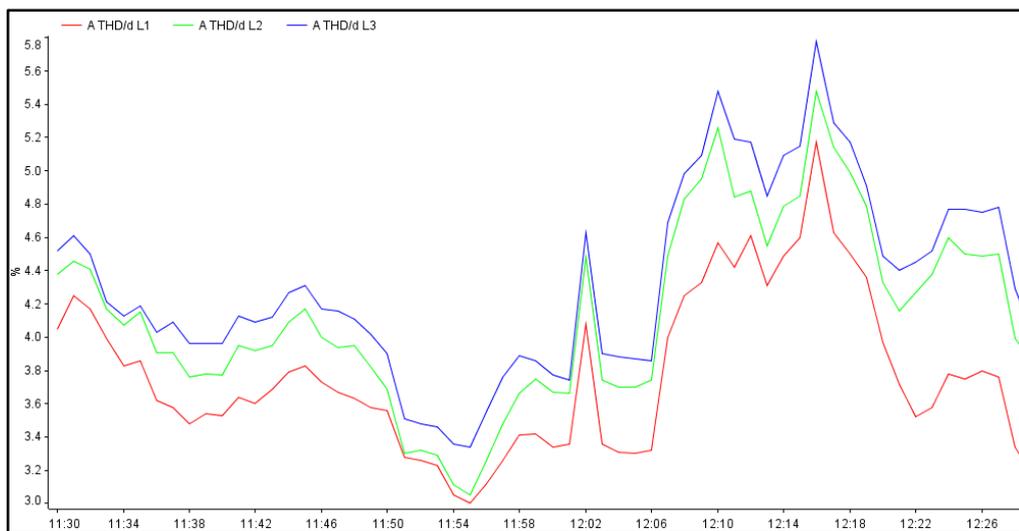
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 22.** *Cos phi y FP antes de la puesta en marcha del filtro activo.*

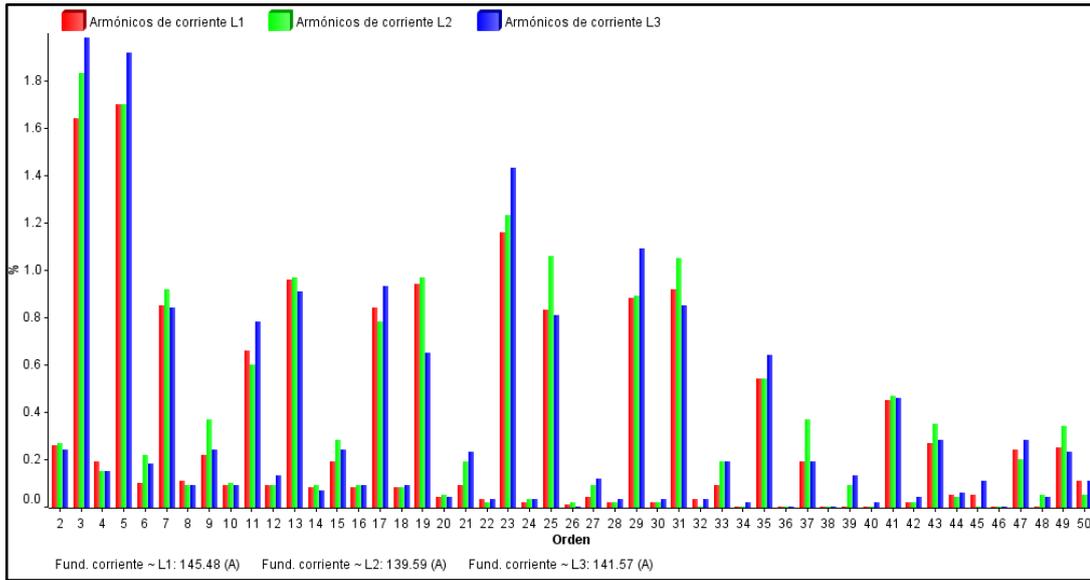
Fuente: Elaboración propia.

Durante la siguiente hora de grabación con el filtro activo en marcha obtuvimos los siguientes gráficos respecto a la distorsión armónica, cos phi y factor de potencia.



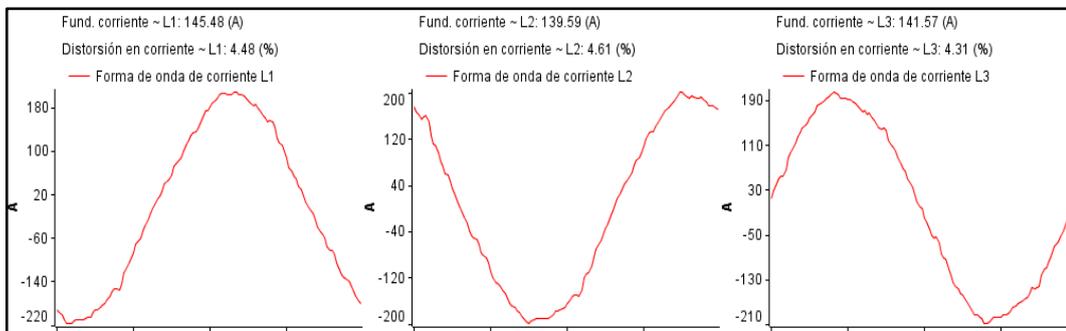
**Figura 23.** *THDi con el filtro activo en marcha.*

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 24. Descomposición armónica con el filtro activo en marcha.*

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 25. Forma de onda de corriente con el filtro activo en marcha.*

Fuente: Elaboración propia.

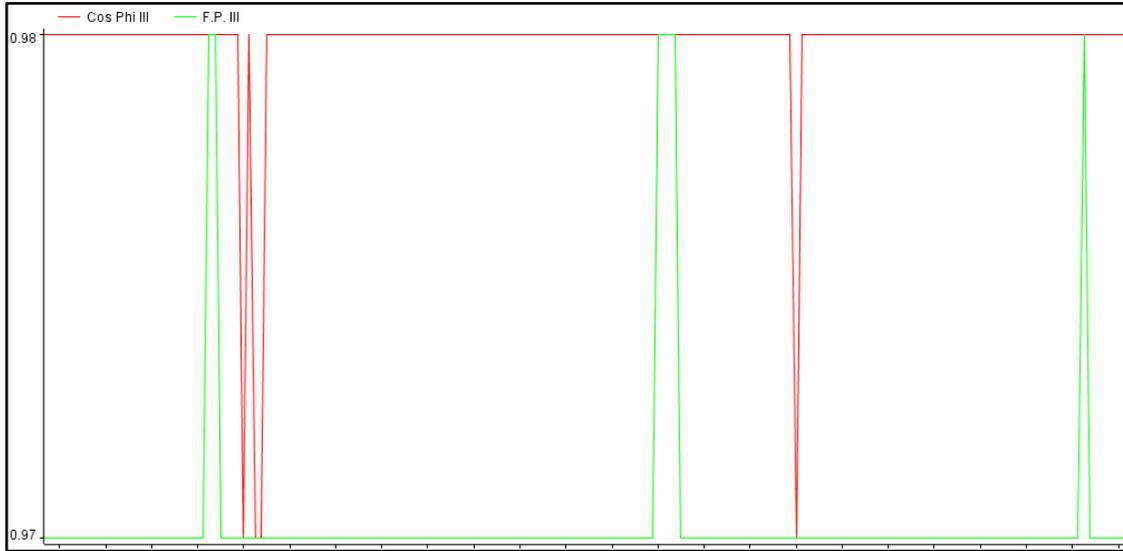


Figura 26. Cos phi y FP con el filtro activo en marcha.  
Fuente: Elaboración propia.

Por último, analizamos la corriente IRMS antes y después de la puesta en marcha del filtro activo.

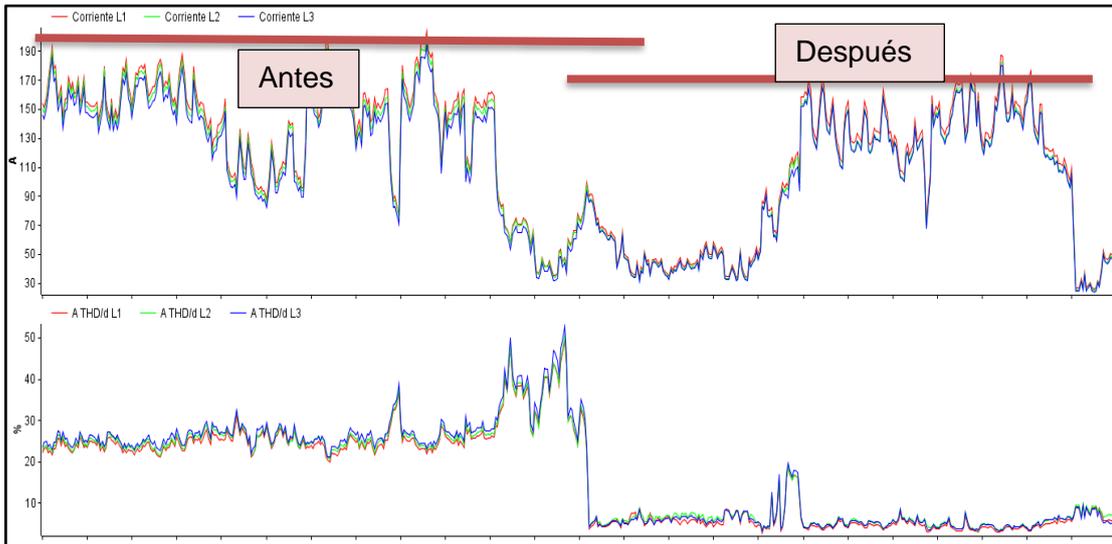


Figura 27. Corriente IRMS con el filtro activo antes y después de su marcha.  
Fuente: Elaboración propia.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se obtuvo los resultados respecto a ambas variables, en el caso de la variable independiente, Filtro activo, se calculó y seleccionó un filtro de 100 A para un sistema trifásico de 4 hilos a través de un correcto análisis de las mediciones realizadas con el analizador de redes.

Con respecto a la variable independiente, distorsión armónica, se pudo observar que el THDi disminuyó de un 27% a un 5% cuando se puso en marcha el filtro activo. Además, se observó la corrección de la forma de onda de corriente y la disminución de los armónicos individuales desde el orden 2° al 50°.

En las mediciones antes de la puesta en marcha del filtro activo, no se aprecia desbalance en las fases, por lo tanto, no se configuró la función de balanceo de cargas en el filtro activo, así pues, cuando el filtro activo empezó su funcionamiento mantuvo las condiciones iniciales.

También se pudo apreciar una mejora del factor de potencia con respecto al  $\cos \phi$ , antes de la puesta en marcha, el  $\cos \phi$  tenía valores de 0.94 y el factor de potencia de 0.88. Durante el funcionamiento del filtro activo el factor de potencia llegó a 0.97 y el  $\cos \phi$  a 0.98, además, con estos valores del  $\cos \phi$  se ha evidenciado que se está compensando la potencia reactiva inductiva en dicha área.

Finalmente, se logra apreciar una disminución de la corriente Irms total, eliminándose la componente armónica y la componente reactiva. Con eso se logra una mejor eficiencia energética ya que se reducen las pérdidas por efecto Joule.

## **VII. CONCLUSIONES**

- Se logró compensar la distorsión armónica implementando un filtro activo de potencia en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.
- Al no existir desequilibrio de fases en el área de sorter, el filtro activo no se dimensionó para esta función y tampoco se configuró dicha opción al momento de la puesta en marcha.
- El filtro activo pudo mejorar el factor de potencia y también el  $\cos \phi$  en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.
- Con la implementación del filtro activo se pudo mejorar la eficiencia energética en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- Debido a la polución del lugar, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo al filtro activo cada 6 meses para garantizar su funcionamiento continuo.
- El filtro activo se puede monitorear en tiempo real a través de un sistema SCADA, se recomienda implementar un sistema a de gestión para poder tener un análisis continuo de su funcionamiento.
- Se debe verificar periódicamente la actualización del firmware del filtro activo para disponer de mejoras de funcionamiento y compatibilidad.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**BALCELLS, Josep, y otros. 2016.** *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica*. s.l. : Alfaomega grupo editor s.a, 2016. 9789587781257.

**CCALLA ARELLANO, José Luis. 2017.** Repositorio Istitucional Continental. [En línea] 6 de 12 de 2017. [Citado el: 12 de 11 de 2022.] <https://hdl.handle.net/20.500.12394/3999>.

**CIRCUTOR.** [En línea] [Citado el: 12 de 11 de 2022.] <https://docs.circutor.com/docs/M217B01-01.pdf>.

—.CIRCUTOR.[En línea] <https://circutor.com/soporte/formacion/notebooks/armonicos-electricos/>.

—. Conoce y resuelve los problemas causados por los armónicos. s.l. : Presentacion PPT.

**GONZALES RETAMOSO, Cirilo. 2019.** Repositorio Institucional de la UTP . [En línea] 2019. [Citado el: 12 de 11 de 2022.] <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2969>.

**HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar. 2014.** *Metodología de la investigación*. México D.F. : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014. 9781456223960.

*IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE 519-2014. 2014.* s.l. : IEEE Std 519-2014, 11 de 06 de 2014. 9780738190051.

**MESAS GARCÍA, Juan José. 2010.** upcommons.upc.edu. [En línea] 27 de 01 de 2010. [Citado el: 12 de 11 de 2022.] <http://hdl.handle.net/2117/94449>. 9788469472880.

**MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. 1997.** Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos. *D.S N° 020-97-EM.* s.l. : MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, 1997.

**MORALES GARCÍA, Enrique Olaf y RODRÍGUEZ GONZÁLES, Jorge Luis. 2012.** Repositorio Universidad Nacional Autónoma de México. [En línea] 2012. [Citado el: 12 de 11 de 2022.] <https://repositorio.unam.mx/contenidos/385992>.

*Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications.* **RODRIGUEZ, J., LAI, Jih-Sheng y FANG ZHENG, Peng. 2002.** 4, 8 de 2002, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 49, págs. 724-738.

**ORTS GRAU, Salvador. 2008.** Repositorio Institucional de la Universitat Politècnica de València. *RiuNet.* [En línea] 02 de 12 de 2008. [Citado el: 12 de 11 de 2022.] <http://hdl.handle.net/10251/3797>.

**PALOMINO NOA, Williams y MENDOZA BOZA, Víctor Raúl. 2019.** Repositorio Institucional - UNSAAC. [En línea] 2019. [Citado el: 12 de 11 de 2022.] <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4632>.

**TEJADA FERNANDEZ, Jose. 1997.** *El Proceso de Investigación Científica.* Barcelona : FUND. CAIXA DE PENSIONS, 1997. 9788476645741.

*Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa.* **MÜGGENBURG RODRÍGUEZ V., María Cristina y PÉREZ CABRERA, Iñiga. 2007.** 1, Distrito Federal, México : Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, Vol. 4. 1665-7063.

# ANEXOS

## X. ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

TÍTULO	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES - INDICADORES	
	Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	VARIABLES	INDICADORES
DISTORSIÓN ARMÓNICA E IMPLEMENTACIÓN DE UN FILTRO ACTIVO DE POTENCIA EN EL ÁREA DE SORTER DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA SUPERMERCADOS PERUANOS S.A.	¿En qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en la distorsión armónica en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.?	Compensar la distorsión armónica implementando un filtro activo de potencia en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.	La implementación de un filtro activo de potencia mejorará la distorsión armónica en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.	<b>VI: Filtro activo</b>	Potencia. Sistema de conexión.
	<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>		
	¿En qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en el desequilibrio de fases en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.?	Determinar en qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en el desequilibrio de fases en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.	La implementación de un filtro activo de potencia mejorará el desequilibrio de fases en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.	<b>VD: Distorsión armónica</b>	THD. Factor de potencia. Desequilibrio de fases.
	¿En qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en el factor de potencia en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.?	Determinar en qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en el factor de potencia en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.	La implementación de un filtro activo de potencia mejorará el factor de potencia en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.		
¿En qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en la eficiencia energética en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.?	Determinar en qué medida la implementación de un filtro activo de potencia incide en la eficiencia energética en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.	La implementación de un filtro activo de potencia mejorará la eficiencia energética en el área de sorter del centro de distribución de la empresa supermercados peruanos S.A.			



## Anexo 3. Especificaciones técnicas de MYeBOX 1500

# MYeBOX



Analizadores de redes portátiles 

### Analizador portátil de redes eléctricas

**Descripción**

MYeBOX es una gama de analizadores portátiles configurables desde una app que realiza el análisis de los parámetros eléctricos accesibles de forma remota. MYeBOX realiza la medida y registro de parámetros eléctricos en instalaciones monofásicas, bifásicas o trifásicas (con y sin neutro).

La app se conecta al dispositivo para visualizar los datos medidos en tiempo real, configurar completamente el equipo, iniciar o detener el registro de datos, enviar los datos registrados a MYeBOX Cloud e incluso acceder a los datos de la memoria para visualizarlos de forma gráfica o en tablas. La conectividad remota permite hacer un análisis de los datos medidos sin necesidad de desplazamientos. También es posible enviarse los datos registrados a un repositorio de datos para analizarlos posteriormente en PowerVision Plus. El equipo se puede configurar localmente mediante teclado capacitivo y opciones de menú por pantalla.

El modelo más avanzado, MYeBOX 1500, realiza la medida de corriente de fugas de forma simultánea, medida de parámetros de calidad de red según la norma **EN 50160** y registro de transitorios.

**MYeBOX 150** dispone de las siguientes características y funciones:

- 4 entradas de medida de tensión ( $U_1, U_2, U_3, U_n$ )
- 4 entradas de medida de corriente ( $I_1, I_2, I_3, I_n$ )
- Medida de los principales parámetros eléctricos.
- Energía consumida y generada.
- Medida de parámetros de calidad de red.
- Medida en verdadero valor eficaz (TRMS)
- Medida en consumo y generación (4Q)
- Registro de eventos de calidad en tensión según **EN 61000-4-30**
- Registro de transitorios
- Registro de forma de onda asociada a los eventos de calidad y transitorios
- Medida según **EN 61000-4-30**
- Alimentación independiente a la medida
- Registro de forma de onda cada periodo de registro
- Pantalla LCD
- Teclado capacitivo
- Puerto microUSB para descarga de datos
- Detección automática de pinzas.
- Identificación de fases con colores
- Compatible con pinzas con EEPROM
- Registro de eventos del sistema (EVA)
- Sincronización NTP
- Envío de alarmas por e-mail
- Comunicación Wi-Fi (punto de acceso/terminal)

Además de estas características y funciones **MYeBOX 1500** dispone también de:

- 1 entrada de medida de tensión  $U_{ref}$
- 1 entradas de medida de corriente de fugas
- 2 entradas transistor para centralizar impulsos
- 2 salidas transistor para alarmas
- Comunicación 3G

**Aplicaciones**

MYeBOX se puede usar para:

- Realizar estudios completos de una instalación eléctrica.
- Realizar un análisis de consumos, de curvas de carga, de perturbaciones de tensión de la instalación, visualización de las formas de onda, estudio de armónicos o medida de flicker entre otras opciones.
- Realizar auditorías y análisis remotos.



66

**MYeBOX**

## Analizador portátil de redes eléctricas

**Características técnicas**

	<b>Entrada</b>	<b>MYeBOX 150</b>	<b>MYeBOX 1500</b>
<b>Fuente alimentación</b> (adaptador de alimentación CA)	Tensión nominal	100...250 Vc.a.*	100...250 Vc.a.*
	Frecuencia	47...63 Hz	47...63 Hz
	Consumo	22...28 VA	25...31 VA
	Categoría instalación	CAT II 300 V	CAT II 300 V
<b>Circuito de medida de tensión</b>	<b>Salida</b>	<b>MYeBOX 150</b>	<b>MYeBOX 1500</b>
	Tensión nominal	9 Vc.c.	9 Vc.c.
	Consumo	18 W	20 W
	Margen de medida de tensión	10...600 Vc.a.	
<b>Circuito medida de corriente</b>	Margen de medida de frecuencia	40...65 Hz	
	Impedancia de entrada	2,4 MΩ	
	Tensión mínima de medida $V_{min}$	10 Vc.a.	
	Consumo máximo entrada de tensión	0,15 VA	
	Categoría de la instalación	CAT III 600 V	
	Medida de corriente de Fase y Neutro	Pinzas: CPG-5, CPG-100, CPRG-500, CPRG-1000, CPG-200/2000, Pinzas con salida mV/kA, Transformadores con salida 250 mA o 333 mV	
	Medida de la corriente de fugas (Modelo MYeBOX-1500)	CFG-5, CFG-10, transformadores WGC	
	Corriente nominal $I_n$	Según pinza	
	Margen de medida de corriente	1...200 $I_n$ %	
	Corriente máxima, Impulso < 1 s	3 x $I_n$ A	
	Corriente mínima de medida $I_{min}$	Según pinza	
	Consumo máximo entrada de corriente	0,0004 VA	
	Categoría de la instalación	CAT III 600 V	
<b>Precisión</b> (según IEC 61557-12 para PMD SD/SS)  <i>Precisión indicada para canal de medida de corriente de 2 Vc.a. (sin pinzas)</i>	Medida tensión de fase	Clase 0,2 (10...600 Vc.a.)	
	Medida corriente de fase	Clase 0,2 - 1%...200% $I_n$	
	Medida potencia activa y aparente ( $V_n$ 230/110 Vc.a.)	Clase 0,5 ±1 dígito	
	Medida de potencia reactiva ( $V_n$ 230/110 Vc.a.)	Clase 1 ±1 dígito	
	Medida energía activa (IEC 62053-22)	Clase 0,5S	
	Medida energía reactiva (IEC 62053-23)	Clase 1	
	Medida de frecuencia	Clase 0,1 (40...65 Hz)	
	Medida de factor de potencia	Clase 0,5	
	Medida del THD de tensión	Clase 1 (IEC 61000-4-7)	
	Armónicos de tensión (hasta 50 <sup>o</sup> )	Clase 1 (IEC 61000-4-7)	
	Medida del THD de corriente	Clase 1 (IEC 61000-4-7)	
	Armónicos de corriente (hasta 50 <sup>o</sup> )	Clase 1 (IEC 61000-4-7)	
	<b>Salidas digitales de transistor</b> (MYeBOX 1500)	Número salidas	2
Tipo		Transistor	
Tensión máxima		48 V	
Corriente máxima		90 mA	
Frecuencia máxima		1 kHz	
Anchura de impulso		1 ms	
Duración de impulso ( $T_{on} / T_{off}$ )		0,3 ms / 0,7 ms	
<b>Entradas digitales</b> (MYeBOX 1500)	Número entradas	2	
	Tipo	Contacto libre potencial	
	Aislamiento	5 kV	
	Corriente máxima en cortocircuito	5 mA	
	Tensión máxima en circuito abierto	4...9 Vc.c.	
<b>Comunicaciones WI-FI</b>	Banda	2,4 GHz	
	Estándares	IEEE 802.11 b / g / n	
<b>Comunicaciones 3G</b> (MYeBOX 1500)	Redes	UMTS/HSPA: 850/900/1900/2100 MHz GSM/GPRS/EDGE: 850/900/1800/1900 MHz	
	Máxima potencia de salida	UMTS/3G (Potencia Clase 3): 24 dBm GSM850/900 (Potencia Clase 4): 33 dBm GSM1800/1900 (Potencia Clase 1): 30 dBm	
	Alfanumérico de 20 caracteres x 2 líneas		
<b>Interfaz usuario</b>	Teclado	5 teclas, 2 botones	
	LED	MYeBOX 150: 14 LED MYeBOX 1500: 21 LED	
	Conectividad	microUSB	
<b>Pila interna</b>	Tipo	Litio	
	Tensión	3 V	
	Capacidad	220 mAh	
	Vida	10 años	

\* Posibilidad de alimentación a 480 Vca

## MYeBOX

## Analizador portátil de redes eléctricas

## Características técnicas

Batería	Tipo	Litio
	Tensión	3,7 V
	Capacidad	3700 mAh
	Tiempo de carga	6 horas
	Temperatura de carga	0...45 °C
Memoria microSD	Autonomía	2 horas
	Formato	FAT 32
	Capacidad	16 GB
Características ambientales	Período de registro	1 s, 1 min, 5 min, 15 min, 1 h, 1 día
	Temperatura de trabajo	-10...+50 °C
	Temperatura almacenamiento	-20 °C...+60 °C
	Humedad relativa (sin condensación)	5...95%
Características constructivas	Altitud máxima	2000 m
	Dimensiones	165,96 x 255,68 x 40 mm
	Peso	MYeBOX 150: 950 gr MYeBOX 1500: 975 gr
	Grado protección	IP 30
	Envolvente	Plástico V0 autoextinguible
Normas	IEC 61010:2010, EN 61326-1:2013, UL/IEC 61010-1 3ª Edición	

## Referencias

Tipo	Código	Entradas tensión / corriente	Comunicación	Entradas / Salidas transistor
kit MYeBOX-150	M84023	4 / 4	WIFI	- / -
kit MYeBOX-1500	M84033	5 / 5	WIFI + 3G	2 / 2

Analizador con almacenamiento en memoria SD y Cloud  
Incluye cables de tensión, pinzas cocodrilos, cable USB, correa sujeción, soporte magnético, batería, alimentador y bolsa transporte

Tipo	Código	Descripción
MYeBOX-150-3FLEX45	M8404B	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 3 FLEX-R45
MYeBOX 1500-3FLEX45	M8405B	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 3 FLEX-R45
MYeBOX-150-4FLEXR45	M8404C	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 4 FLEX-R45
MYeBOX-1500-4FLEXR45	M8405C	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 4 FLEX-R45
MYeBOX-150-3FLEXR80	M8404D	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 3 FLEX-R80
MYeBOX-1500-3FLEXR80	M8405D	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 3 FLEX-R80
MYeBOX-150-4FLEXR80	M8404E	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 4 FLEX-R80
MYeBOX-1500-4FLEXR80	M8405E	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 4 FLEX-R80
MYeBOX 150-3CPG100	M84043	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 3 CPG 100
MYeBOX 1500-3CPG100	M84053	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 3 CPG 100
MYeBOX 150-3CPRG500	M84045	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 3 CPRG 500
MYeBOX 1500-3CPRG500	M84055	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 3 CPRG 500

\* Disponibles otras longitudes y kits. Disponibles kits con pinzas CPRG-1000, CPG-200/2000.

## Referencias CLASE A

Tipo	Código	Entradas tensión / corriente	Comunicación	Entradas / Salidas transistor
kit MYeBOX-150	M840230000A00	4 / 4	WIFI	- / -
kit MYeBOX-1500	M840330000A00	5 / 5	WIFI + 3G	2 / 2

Analizador con certificado de calibración Clase A (IEC 61000-4-30 Ed. 2) con almacenamiento en memoria SD y Cloud. Incluye cables de tensión, pinzas cocodrilos, cable USB, correa sujeción, soporte magnético, batería, alimentador y bolsa transporte

Tipo	Código	Descripción
MYeBOX-150-3FLEX45	M8404B0000A00	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 3 FLEX-R45
MYeBOX 1500-3FLEX45	M8405B0000A00	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 3 FLEX-R45
MYeBOX-150-4FLEXR45	M8404C0000A00	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 4 FLEX-R45
MYeBOX-1500-4FLEXR45	M8405C0000A00	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 4 FLEX-R45
MYeBOX-150-3FLEXR80	M8404D0000A00	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 3 FLEX-R80
MYeBOX-1500-3FLEXR80	M8405D0000A00	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 3 FLEX-R80
MYeBOX-150-4FLEXR80	M8404E0000A00	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 4 FLEX-R80
MYeBOX-1500-4FLEXR80	M8405E0000A00	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 4 FLEX-R80
MYeBOX 150-3CPG100	M840430000A00	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 3 CPG 100
MYeBOX 1500-3CPG100	M840530000A00	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 3 CPG 100
MYeBOX 150-3CPRG500	M840450000A00	Incluye kit MYeBOX-150 (M84023) + 3 CPRG 500
MYeBOX 1500-3CPRG500	M840550000A00	Incluye kit MYeBOX-1500 (M84033) + 3 CPRG 500

\* Disponibles otras longitudes y kits. Disponibles kits con pinzas CPRG-1000, CPG-200/2000.

## MYeBOX

## Analizador portátil de redes eléctricas

## Referencias CPG, Sensores de corriente rígidos

Tipo	$I_{min}$ - Rango medida	Nº sensores	Código	Nº sensores	Código	Nº sensores	Código
CPG-5	0,05 / 0,5...5 A	1	M810B1	3	M810C1	4	M810D1
CPG-100	1 / 10...100 A	1	M810B2	3	M810C2	4	M810D2
CPRG-500	1 / 50...500 A	1	M810B3	3	M810C3	4	M810D3
CPRG-1000	1 / 20...1000 A	1	M810B4	3	M810C4	4	M810D4
CPG-2000/200	1 / 10...200 A - 10 / 150...2000 A	1	M810B5	3	M810C5	4	M810D5
CFG							

## Referencias FLEX-R, Sensores de corriente flexible

Tipo	$I_{min}$ - Rango medida	Longitud	Nº sensores	Código	Nº sensores	Código	Nº sensores	Código
FLEX-R45	1 / 10 / 50 - 10...100 /	45 cm	1	M81611	3	M81631	4	M81641
FLEX-R80	100...1000 / 1000...10000 A	80 cm	1	M81612	3	M81632	4	M81642
FLEX-R120		120 cm	1	M81613	3	M81633	4	M81643

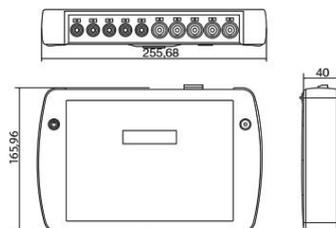
## Referencias FLEX-RMG, Sensores de corriente flexibles

Tipo	$I_{min}$ - Rango medida	Longitud	Nº sensores	Código	Nº sensores	Código	Nº sensores	Código
FLEX-RMG70	1 / 10 / 50 - 10...100 /	22 cm	1	M81911	3	M81931	4	M81941
FLEX-RMG120	100...1000 / 1000...10000 A	38 cm	1	M81912	3	M81932	4	M81942

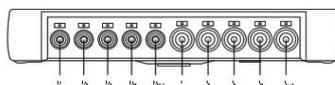
## Accesorios

Tipo	Código	Descripción
MYeBOX	M84011	Batería para MYeBOX
POWER SUPPLY MYeBOX	M84012	Alimentador para MYeBOX
480V PSU ADAPTER MYeBOX	M8401A	Alimentador para MYeBOX a 480 Vca
MARKER MYeBOX 9 COLOURS	M84014	Marcadores
MYeBOX-CARRYING BAG	M84015	Bolsa de transporte
MYeBOX Belt	M84016	Correa para MYeBOX
MYeBOX Mag. Support	M84017	Soporte magnético para MYeBOX
MAV-7x4	M8990E	4 x Adaptador magnético de tensión

## Dimensiones



## Conexiones



## Anexo 4. Test report certificado de fabricación MYeBOX 1500

TEST REPORT					
CERTIFICATE OF MANUFACTURE					
UUT Data					3869681
	Product: M84030. Description: MYeBOX 1500 / CONJUNTO BASICO v3				
Firmware		Manufacture Order		Test Workstation	Serial Number
1.0.1.218		340683		PC-155-216	083218310008
Test Version		Manufacture Date		Worker	
2.08		30/07/2018		388	
Unom=280; 5A/2V; PF=0,7					
<b>Test Point</b>	<b>Applied Value</b>	<b>Error (%)</b>	<b>Margin Error(%)</b>	<b>Functions</b>	<b>Test Result</b>
Vph-N L1	280	-0,0107	+0.50	TEST_PINZAS	OK
Vph-N L2	280	-0,0036	+0.50	WIFI	OK
Vph-N L3	280	-0,0107	+0.50	INs / OUTs	OK
Vph-N LN	280	-0,0107	+0.50	SD_s	OK
VL1-L2	280	0,0063	+0.50	KEYBOARD	OK
VL2-L3	280	-0,0236	+0.50	USB	OK
VL3-L1	280	0,0146	+0.50	DISPLAY	OK
I_L1	2000	0	+0.50	LEDs	OK
I_L2	2000	0	+0.50	BATTERY	OK
I_L3	2000	-0,02	+0.50	CLOCK	OK
I_LN	2000	0	+0.50	3G	OK
I_LK	2000	0	+0.50	TEST DIELECTRICO	OK
KW_L1	990	-0,0454	+1		
KW_L2	990	-0,0959	+1		
KW_L3	990	0,0051	+1		
kVAR_L1	990	0,0051	+1		
kVAR_L2	990	0,0051	+1		
kVAR_L3	990	-0,0959	+1		
50A / 333mV					
<b>Test Point</b>	<b>Applied Value</b>	<b>Error (%)</b>	<b>Margin Error(%)</b>		
I_L1	333	0	+1		
I_L2	333	0	+1		
I_L3	333	0,008	+1		
I_LN	333	0	+1		
100A / 7,6mV					
<b>Test Point</b>	<b>Applied Value</b>	<b>Error (%)</b>	<b>Margin Error(%)</b>		
I_L1	7,6	-0,017	+1		
I_L2	7,6	0,0055	+1		
I_L3	7,6	0,0225	+1		
I_LN	7,6	-0,0235	+1		
1000A / 76mV					
<b>Test Point</b>	<b>Applied Value</b>	<b>Error (%)</b>	<b>Margin Error(%)</b>		
I_L1	76	0,0295	+1		
I_L2	76	0,0287	+1		
I_L3	76	0,0304	+1		
I_LN	76	0,0334	+1		
10000A / 760mV					
<b>Test Point</b>	<b>Applied Value</b>	<b>Error (%)</b>	<b>Margin Error(%)</b>		
I_L1	760	0,0128	+1		
I_L2	760	0,0009	+1		
I_L3	760	0,0066	+1		
I_LN	760	0,0102	+1		
50A / 250mA					
<b>Test Point</b>	<b>Applied Value</b>	<b>Error (%)</b>	<b>Margin Error(%)</b>		
I_L1	250	0,075	+1		
I_L2	250	0,074	+1		
I_L3	250	0,069	+1		
4A / 8mA					
<b>Test Point</b>	<b>Applied Value</b>	<b>Error (%)</b>	<b>Margin Error(%)</b>		

**TEST REPORT**  
CERTIFICATE OF MANUFACTURE



UUT Data

3869681

	<b>Product:</b> M84030.
	<b>Description:</b> MYeBOX 1500 / CONJUNTO BASICO v3

<b>Firmware</b> 1.0.1.218	<b>Manufacture Order</b> 340683	<b>Test Workstation</b> PC-155-216	<b>Serial Number</b> 083218310008
------------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------

<b>Test Version</b> 2.08	<b>Manufacture Date</b> 30/07/2018	<b>Worker</b> 388	
-----------------------------	---------------------------------------	----------------------	--

I_LK	8	0,0125	+1	
------	---	--------	----	--

MANUFACTURING PROCESS TEST

OK

08/02/2023

Reduced Test Report



CIRCUTOR, SAU - Vial Sant Jordi, s/n  
08232 Viladecavalls (Barcelona) España  
t. (+34) 937452900 - f. (+34) 937452914  
central@circuitur.com

## Anexo 5. Informe de cumplimiento de analizador de calidad de red Circutor MYeBOX según norma IEC 61000-4-30 para equipos de Clase A



Edificio CIRCE  
Campus Río Ebro - Universidad de Zaragoza  
Mariano Esquillor Gómez, 15 - 50018 Zaragoza  
Tel.: 976 761 863 Fax: 976 732 078  
www.f.circe.es

### Informe de cumplimiento de analizador de calidad de red Circutor MYeBOX según norma IEC 61000-4-30 para equipos de Clase A

Jorge Bruna Romero / Juan José Pérez Aragüés  
Área RYS  
Proyecto PC-17/0348  
05/06/2018



	Documento:	Informe de cumplimiento de analizador Circutor MYeBOX 1500 según norma IEC 61000-4-30 para equipos de Clase A	Versión:	0
	Proyecto:	PC-17/0348	Autor:	JPA
			Fecha:	5/6/18

## 1 Objeto

El presente documento muestra los resultados de verificación del analizador Circutor MYeBOX 1500 conforme a la edición de la norma IEC 61000-4-30 actualmente en vigor para equipos de Clase A. Esta verificación se ha realizado para garantizar el cumplimiento de los requisitos de precisión del analizador en las siguientes condiciones eléctricas:

- Tensión nominal: 230 V ( $U_{din}$ )
- Frecuencia nominal: 50 Hz / 60 Hz

Para verificar el cumplimiento del referido analizador se han tenido en cuenta los resultados de calibración del equipo de número de serie 083217190026 con versión de firmware **001.002.000**, obtenidos por dos laboratorios acreditados por ENAC:

- Certificado número 18792, emitido por CIRCUTOR
- Certificado número 4367, emitido por LME-CIRCE

En el siguiente apartado se incluye la declaración realizada por el fabricante del analizador respecto al control de versiones de firmware instalada en el equipo.

### 1.1 Control de versiones

Por la presente, CIRCUTOR S.A, especifica que el control de versiones del analizador de redes portátil MYeBOX se realiza de la siguiente manera:

La versión en el MYeBOX consta de 3 grupos de 3 caracteres:

XXX.YYY.ZZZ

Siendo:

XXX - Modelo hardware y periféricos asociados

YYY - Versión de los algoritmos de medida

ZZZ - Versión correspondiente al firmware relativo a la interface con usuario: comunicaciones internas y externas, control del display y entrega de datos a APP, cloud y ficheros

Esta versión se puede consultar tanto desde el display del MYeBOX como desde la APP.

En la cabecera de los ficheros veremos únicamente los dos últimos grupos de caracteres  
YYY.ZZZ.

Viladecavalls, a 09/04/2018

	Documento:	Informe de cumplimiento de analizador Circutor MYeBOX 1500 según norma IEC 61000-4-30 para equipos de Clase A	Versión:	0
	Proyecto:	PC-17/0348	Autor:	JPA
			Fecha:	5/6/18

## 1.2 Certificado del fabricante relativo al modelo MYeBOX 150

En este apartado se incluye el certificado emitido por el fabricante del analizador relativo al hecho de que el presente modelo MYeBOX 1500 comparte estructura, método de medida, hardware y firmware con el modelo MYeBOX 150.



VIAL SANT JORDI, S/N  
08232 VILADECAVALLS (BARCELONA)  
ESPAÑA / SPAIN



Web: [www.circutor.com](http://www.circutor.com)  
E-mail: [central@circutor.com](mailto:central@circutor.com)  
Tel: (+34) 93 742 29 00  
Fax: (+34) 93 742 29 14

### CERTIFICADO CERTIFICATE

Mediante este documento CIRCUTOR, S.A. garantiza que el modelo de analizador portátil MYeBOX 1500 comparte la misma estructura, método de medida, hardware y firmware que el modelo MYeBOX 150.

CIRCUTOR certifica que las únicas diferencias entre estos modelos son la entrada del canal de corriente de fugas, la entrada del canal de la tensión de referencia, las entradas/salidas transistor y las comunicaciones 3G.

No hay ninguna otra diferencia que afecte a la medida y cálculo de variables eléctricas.

*Through this document CIRCUTOR, S.A. guarantees that the MYeBOX 1500 portable analyzer model has the same structure, measurement method, hardware and firmware as MYeBOX 150 model.*

*CIRCUTOR certifies that the only differences between these models are the input of the leakage current channel, the channel input of the reference voltage, the transistor inputs / outputs and the 3G communications.*

*There is no other difference that affects the measurement and calculation of electrical variables.*

**Carlos Córcoles**  
Responsable de Producto - División Gestión Energética  
Product Manager - Energy Management Division

CIRCUTOR, SA



	Documento:	Informe de cumplimiento de analizador Circutor MyeBOX 1500 según norma IEC 61000-4-30 para equipos de Clase A	Versión:	0
	Proyecto:	PC-17/0348	Autor:	JPA
			Fecha:	5/6/18

## 2 Resultados

Las siguientes tablas muestran el grado de cumplimiento del analizador objeto de calibración por parte de CIRCUTOR y LME-CIRCE, cuyos resultados están contenidos en los certificados número 18792 y 4367, frente a los valores máximos de error permitidos por la edición de la norma IEC 61000-4-30 actualmente en vigor para equipos de Clase A.

En todos los casos, la declaración de cumplimiento está basada en una probabilidad de cobertura del 95 % para la incertidumbre expandida de los resultados de medida en los que se basa la decisión de cumplimiento.

Magnitud	Rango	Límite	Cumplim.
Frecuencia	42,5 Hz – 57,5 Hz 51 Hz – 69 Hz	10 mHz	Sí
Tensión alterna (50 Hz / 60 Hz)	11 V – 345 V	0,1 % · U <sub>din</sub>	Sí
Flicker (230 V a 50 Hz / 60 Hz)	Pst 0,2 – 10	5 % o 0,05 (el mayor)	Sí
Huecos de tensión, interrupciones y sobretensiones (230 V a 50 Hz / 60 Hz)	5 % – 110 % 0,1 s – 10 s	0,2 % · U <sub>din</sub> 20 ms / 16 ms	Sí <sup>1</sup>
Armónicos de tensión (230 V a 50 Hz / 60 Hz)	Orden 2 <sup>º</sup> – 50 <sup>º</sup> 100 %, 10 %, 200 %	5 % si ≥ 1 % resto 0,05 % · U <sub>din</sub>	Sí
Desequilibrios de tensión Coef. secuencia inversa (u <sub>2</sub> )	0,161 % – 6,927 %	0,15 %	Sí

<sup>1</sup> Se considera únicamente la desviación con respecto al patrón de referencia. No es posible determinar su cumplimiento para probabilidad de cobertura del 95 % de la incertidumbre expandida si bien el resultado de la medición se encuentra dentro del límite.

### 2.1 Conclusiones

A la vista de los resultados anteriores, puede concluirse que el analizador objeto de la calibración cumple los requisitos de la norma IEC 61000-4-30:2015 para equipos de clase A teniendo en cuenta las condiciones expresadas en el apartado 2 “Resultados”.

<b>Firmado: Jorge Bruna Romero</b> <b>Responsable de Ensayos Eléctricos</b>	<b>Firmado: Juan José Pérez Aragüés</b> <b>Experto Técnico</b>
 Firmado digitalmente por Jorge Bruna Romero Nombre de reconocimiento (DN): cn=Jorge Bruna Romero, o=LME, ou=CIRCE- LME, email=jbruna@circe.es, c=ES Fecha: 2018.06.05 09:00:52 +02'00'	 Firmado digitalmente por PEREZ ARAGUES JUAN JOSE - 25176323V Fecha: 2018.06.05 08:41:52 +02'00'

**Anexo 6. Autocertificado de calibración ENAC para Clase A, según IEC 61000-4-30 por laboratorio CIRCUTOR.**



Dpto. Laboratorio Calibración y Ensayos

Vial Sant Jordi s/n (08232 -Viladecavalls)

Tel: (+34)937452900  
laboratorio@circutor.com  
www.circutor.com

**Certificado de Calibración para la evaluación  
IEC 61000-4-30 Clase A**

Analizador de Red Portátil MYeBOX 150 & 1500

**IEC 61000-4-30**  
230V~, 50/60Hz, L-N

Sección 61000-4-30	Parámetro Calidad de Red	Conforme Clase A	Conforme Clase S
5.1	Frecuencia Industrial	PASA	PASA
5.2	Amplitud de la tensión de suministro	PASA	PASA
5.3	Flicker	PASA	PASA
5.4	Huecos de tensión y sobretensión	PASA	PASA
5.5	Interrupciones de la tensión de suministro	PASA	PASA
5.7	Desequilibrio de la tensión de suministro	PASA	PASA
5.8	Armónicos de tensión	PASA	PASA
4.6	Incertidumbre del reloj de tiempo	PASA	PASA

Viladecavalls, 23 de Mayo 2018

Pedro Barcelona Ureña  
Responsable de Laboratorio

Carlos Córcoles Brualla  
Responsable de producto



Calibration and Testing Laboratory Department

Vial Sant Jordi s/n (08232 - Viladecavalls)

Phone: (+34) 937452900  
laboratorio@circutor.com  
www.circutor.com

## Certificate of Calibration for IEC 61000-4-30 Class A assessment

MYeBOX 150 & 1500 Portable Power Analyzer

**IEC 61000-4-30**  
230V~, 50/60Hz, Ph-N

61000-4-30 Section	Power Quality Parameter	Class A Compliance	Class S Compliance
5.1	Power frequency	PASS	PASS
5.2	Magnitude of the supply voltage	PASS	PASS
5.3	Flicker	PASS	PASS
5.4	Supply voltage dips and swells	PASS	PASS
5.5	Voltage interruptions	PASS	PASS
5.7	Supply voltage unbalance	PASS	PASS
5.8	Voltage harmonics	PASS	PASS
4.6	Time-clock uncertainty	PASS	PASS

Viladecavalls, May 23th 2018

Pedro Barcelona Ureña  
Laboratory Manager

Carlos Córcoles Brualla  
Product Manager

## Anexo 7. Especificaciones técnicas del Filtro activo AFQm 100 A 4 hilos

**Circuitor** Filtro activo multinivel, 50 / 60 Hz Página 1 de 5

---



### AFQm-3WF-100C-480

AFQm-3WF-100C-480, Filtro activo multifunción, 3 hilos

Código: R7MF2F.

- > Sistema: 3 hilos, 230 - 480 V
- > Corriente de fase: 100
- > Corriente de cresta: 200
- > Fijación: En suelo

#### Descripción

Los filtros activos con tecnología multinivel **AFQm** de instalación en pared, constituyen la solución más completa para resolver los problemas de calidad causados, tanto en instalaciones trifásicas industriales como comerciales o de servicios, no únicamente por los armónicos, sino también por el consumo de potencia reactiva. Las características y funciones implementadas son las siguientes:

- o Capacidad unitaria de filtrado para corrientes de 30 A, 60 A y 100 A.
- o Pequeño armario que se instala en pared. Facilidad en instalación por dimensiones.
- o Gama para instalaciones de 3 hilos (modelo 3W) o 4 hilos (modelo 4W).
- o Multirango de tensión y frecuencia (50/60 Hz)
- o Reducción de las corrientes armónicas hasta el orden de 50º armónico.
- o Frecuencias armónicas a filtrar seleccionables para lograr la máxima eficacia del filtro.
- o Compensación de potencia reactiva (inductiva/capacitiva).
- o Equilibrado de las corrientes de fase, mejora de consumo en el neutro (modelo 4W)

Si se requieren mayores capacidades de filtrado, hasta un máximo de 100 filtros pueden conectarse en paralelo (los filtros deben ser el mismo modelo de 3 ó 4 hilos).

#### Aplicación

Solución ideal para instalaciones, con gran cantidad de cargas monofásicas y trifásicas que sean generadoras de armónicos tales como ordenadores, SAI, luminarias, aparatos elevadores, aires acondicionados con variador, etc. También para instalaciones que requieren una buena calidad de suministro con vistas a aumentar la eficiencia de la producción o a mejorar la continuidad de suministro del sistema.

---

**Circuitor** Fecha creación: 08/02/2023 - CIRCUITOR, S.A.U se reserva el derecho de realizar cambios técnicos o modificar el contenido/imágenes de este documento sin previo aviso, para mejorar su fiabilidad, funcionalidad, diseño o por otros motivos.  
No acepta responsabilidad alguna por los posibles errores, inexactitud o la posible falta de información en el mismo. Página 1 de 5



## AFQm-3WF-100C-480

Código: R7MF2F.

### Especificaciones

#### Alimentación en alterna

Categoría de la instalación	4 kV, CAT III Clase 1
Consumo	2070 W
Frecuencia	50 / 60 Hz ( $\pm 5\%$ )
Tensión nominal	208 ... 480 V~ F-F ( $\pm 10\%$ )

#### Características mecánicas

Tamaño (mm) ancho x alto x fondo	608 x 1890 x 812 (mm)
Tornillo tipo	Red: M10 8.8
Envolvente	Armario autoportante de chapa de acero, para instalación en interior sin partes desmontables
Par de apriete	Red y Neutro: 45 Nm / Tierra: 10 Nm
Ruido	< 60 dBA
Sección de cable en bornes alimentación	Neutro y Tierra: $\varnothing 12$ mm
Tipo de conexión	Red: pletina 30x3, Tierra: Terminal anillo 8 mm, Corriente: resorte 2,5 mm 2, Neutro: pletina 50x10, Ethernet: RJ-45
Peso Neto (kg)	190

#### Características ambientales

Grado de protección	IP 20 / IK10 (IP 41 / IP 54 bajo demanda)
Humedad relativa (sin condensación)	0 ... 95 %
Temperatura de almacenamiento	-20 ... +50 °C
Temperatura de trabajo	-10 ... +45 °C

#### Características Eléctricas

Corriente de cortocircuito condicional (Icc)	40 kA
Corriente de cresta Ipk	84 kA
Factor cresta (corriente)	2.1
Corriente máxima (fase)	100 A (RMS)
Corriente máxima (neutro)	300 A (RMS)
Factor de Simultaneidad (RDF)	1
Sistema de tierras:	TN, TT

#### Circuito de medida de corriente

Relación de transformación	5 ... 5000 / 5A
----------------------------	-----------------

#### Comunicaciones

Bus de campo (ModBus)	RS-485
Bits Stop (ModBus)	1
Paridad	sin
Protocolo	Modbus RTU / Ethernet: TCP/IP, Modbus TCP



## AFQm-3WF-100C-480

Código: R7MF2F.

Velocidad	9600
-----------	------

### Normas

Seguridad eléctrica, Altitud máx. (m)	2000
Normas	IEC 61000-6-4, UNE-EN 55011, IEC 61000-6-2, IEC 62477-1, IEC 61439-1

### Interface usuario

Tipo display	TFT color, táctil de 3,5"
--------------	---------------------------

### Precisión de medidas

Armónicos de tensión (THD)	25 % (máx)
----------------------------	------------

### Prestaciones

Compensación de fases	Seleccionable
Compensación de potencia reactiva (Kvar)	Seleccionable
Filtrado / tiempo de respuesta	2° ... 50° armónico (seleccionable) / < 100 µs
Montaje en paralelo	"Hasta 100 unidades de diferente calibre Conexión de los transformadores solo en unidad Master"
Programación de prioridades	Seleccionable

### Salida de fuente de alimentación

Potencia	76300 VA
----------	----------



## AFQm-3WF-100C-480

Código: R7MF2F.

AFQm  
Filtro activo multinivel, 50 / 60 Hz

CÓDIGO	TIPO	Sistema	Corriente de fase	Corriente de cresta	Fijación	Corriente máx. neutro
R7MM0F.	AFQm-3WF-030M-480	3 hilos, 230...480 V	30	60	Mural	
R7MM1F.	AFQm-3WF-060M-480	3 hilos, 230...480 V	60	120	Mural	
R7MM2F.	AFQm-3WF-100M-480	3 hilos, 230...480 V	100	200	Mural	
R7RM0F.	AFQm-4WF-030M-400	4 hilos, 230...400 V	30	60	Mural	90
R7RM1F.	AFQm-4WF-060M-400	4 hilos, 230...400 V	60	120	Mural	180
R7RM2F.	AFQm-4WF-100M-400	4 hilos, 230...400 V	100	200	Mural	300
R7MF2F.	AFQm-3WF-100C-480	3 hilos, 230...480 V	100	200	En suelo	
R7MF3F.	AFQm-3WF-200C-480	3 hilos, 230...480 V	200	400	En suelo	
R7MF4F.	AFQm-3WF-300C-480	3 hilos, 230...480 V	300	600	En suelo	
R7MF5F.	AFQm-3WF-400C-480	3 hilos, 230...480 V	400	800	En suelo	
R7J6F.	AFQm-3WF-070C-690	3 hilos, 690 V	70	140	En suelo	210
R7J7F.	AFQm-3WF-140C-690	3 hilos, 690 V	140	280	En suelo	420
R7J8F.	AFQm-3WF-210C-690	3 hilos, 690 V	210	420	En suelo	630
R7J9F.	AFQm-3WF-280C-690	3 hilos, 690 V	280	560	En suelo	840
R7RF2F.	AFQm-4WF-100C-400	4 hilos, 230...400 V	100	200	En suelo	300
R7RF3F.	AFQm-4WF-200C-400	4 hilos, 230...400 V	200	400	En suelo	600
R7RF4F.	AFQm-4WF-300C-400	4 hilos, 230...400 V	300	600	En suelo	900
R7RF5F.	AFQm-4WF-400C-400	4 hilos, 230...400 V	400	800	En suelo	1200
R7NF6F.	AFQm-4WF-070C-550	4 hilos, 550 V	70	140	En suelo	210
R7NF7F.	AFQm-4WF-140C-550	4 hilos, 550 V	140	280	En suelo	420
R7NF8F.	AFQm-4WF-210C-550	4 hilos, 550 V	210	420	En suelo	630
R7NF9F.	AFQm-4WF-280C-550	4 hilos, 550 V	280	560	En suelo	840
R7JRGF.	AFQm-3WF-070R-690	3 hilos, 690 V	70	140	Rack	210
R7NR6F.	AFQm-4WF-070R-550	4 hilos, 550 V	70	140	Rack	210
R7MR2F.	AFQm-3WF-100R-480	3 hilos, 230...480 V	100	200	Rack	
R7RR2F.	AFQm-4WF-100R-400	4 hilos, 230...400 V	100	200	Rack	300

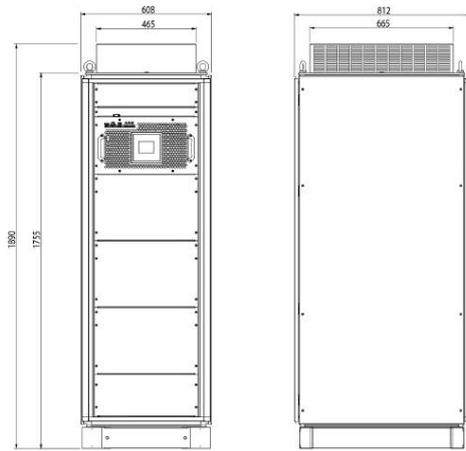
Para redes con alto nivel de THD(V) consultar dpto. técnico  
Todos los equipos disponen de filtros EMI incorporado



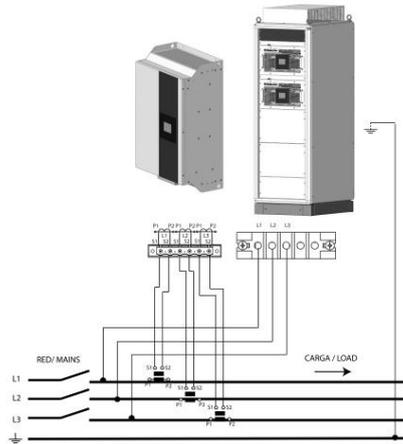
## AFQm-3WF-100C-480

Código: R7MF2F.

### Dimensiones



### Conexiones



## Anexo 8. Guía de consideraciones para la instalación de Filtros Activos

Filtros Activos: AFQevo, AFQm

Circuitor

### 2.- CONSIDERACIONES DE INSTALACIÓN

#### 2.1.- Ubicación del filtro en la instalación:

- ✓ No instalar filtros en serie. (Un filtro aguas abajo de otro filtro).

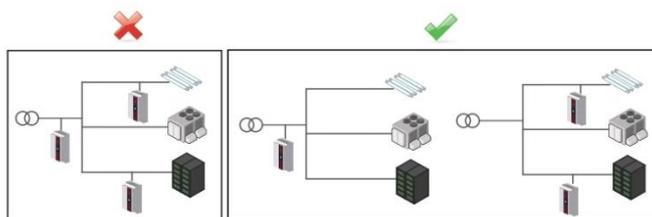


Figura 4: Instalación correcta vs incorrecta.

- ✓ No instalar filtros activos a la salida de una UPS, excepto para compensación de reactiva y/o equilibrado de fases.

- ✓ No instalar filtros activos en una instalación con batería de condensadores sin inductancias de rechazo.

En caso de tener inductancias, la mejor configuración de conexionado para evitar posibles resonancias se muestra en la Figura 5.

Si la batería de condensadores es con inductancias de rechazo al 5º armónico o superior, **NO** seleccionar el 3er armónico a filtrar en la configuración del equipo.

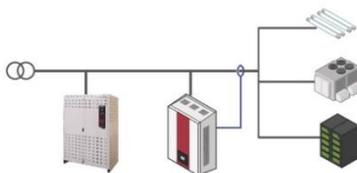


Figura 5: Filtros Activos con batería de condensadores.

**Nota:** Si se toma la medida aguas arriba de la batería de condensadores puede funcionar perfectamente, pero habrá más probabilidades de posibles resonancias.

2.2.- Modelos AFQevo de 100A (AFQe-xxx-100C) y 200A (AFQe-xxx-200C), y AFQm tipo armario (AFQm-3WF-xxxC-480, AFQm-3WF-xxxC-690, AFQm-4WF-xxxC-400 y AFQm-4WF-xxxC-550):

✓ Voltrear el sombrero del equipo, situando la parte sin perforar en el lado frontal.

*Nota : El sombrero del equipo viene dado la vuelta para facilitar el transporte.*

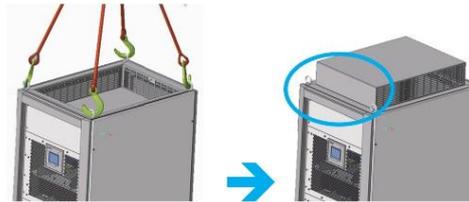


Figura 6: Voltrear el sombrero del equipo.

✓ Realizar todas las conexiones, tanto de potencia como de medida, en el módulo de conexiones habilitado en el armario.

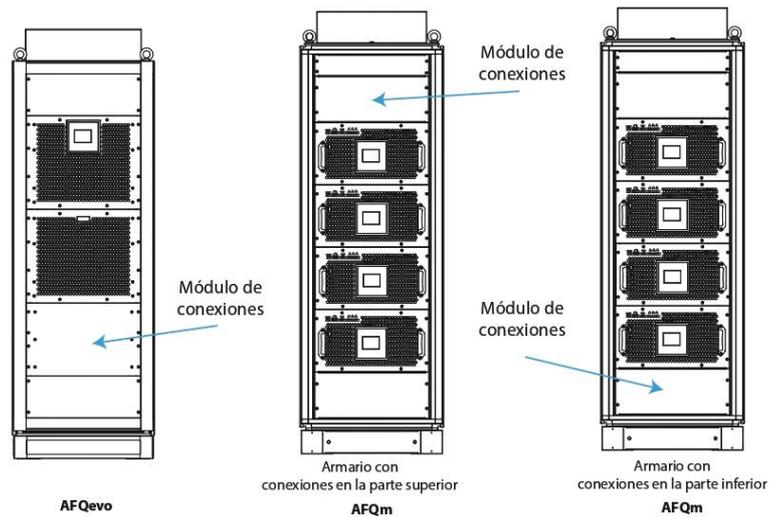


Figura 7: Modelos.

### 3.- CONSIDERACIONES DE CONEXIONADO DEL EQUIPO

3.1.- Asegurar la conexión del neutro en equipos de 4 hilos (4W), de no hacerlo el equipo no funcionará.

3.2.- Se proporcionan puentes integrados en las borneras de conexión de los TC's para ser utilizados cuando se tengan que desconectar los conductores de los TC's del equipo.

3.3.- Asegurarse que el TC que se instala en la L1 se conectan en los bornes de L1 del equipo. Y de igual forma para el caso de L2 y L3. De no hacerlo, el equipo no funcionará correctamente. Asegurarse también que los conductores de potencia siguen la misma secuencia de fases, L1 con L1 etc.

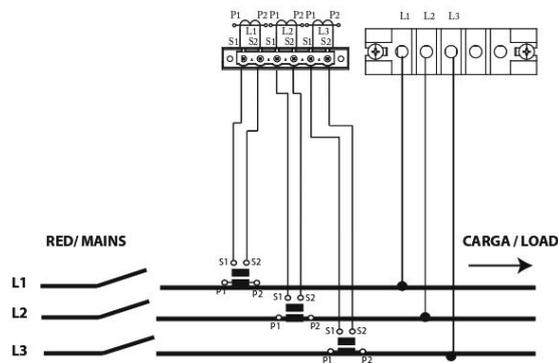


Figura 8: Conexión de los TC.

**4.- CONSIDERACIONES DE CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA**

4.1.- Seleccionar únicamente aquellos armónicos de mayor magnitud que se requieran filtrar.

*Nota: Seleccionar todos los armónicos puede provocar resonancias debido a las impedancias de la red.*

4.2.- Cuando se haya instalado un único filtro activo/módulo en la instalación, el equipo se debe seleccionar como "Único", no como "Máster". La opción "Máster" únicamente se utiliza cuando se instalan múltiples equipos.

4.3.- Consideraciones para la puesta en marcha del AFQ:

1.- Utilizar el documento: "Puesta en marcha de filtros Activos" (M217E0101-01-xxx), proporcionado por CIRCUTOR, para realizar el seguimiento de la puesta en marcha.

2.- Verificar que la sección de los cables y el cableado son los adecuados.

3.- Verificar que el par de apriete es correcto en todos los terminales.

4.- Siempre que sea posible, clarificar mediante Inspección Visual si los TC´s están posicionados en lado red o lado carga.

5.- Una vez el AFQ está alimentado, verificar que el proceso de arranque se lleva a cabo sin alarmas y que la carga del Bus DC se ha completado, pasando el AFQ a modo STOP/PARADO.

6.- Con el filtro Parado, chequear si los valores de Tensión, Corriente,  $\cos \varphi$  y Potencias son los esperados.

7.- Verificar mediante el valor de  $\cos \varphi$  (entre 0,7 inductivo y - 0,95 capacitivo) o bien mediante la representación fasorial, que la conexión del equipo es correcta.

8.- Verificar si hay corriente suficiente para que los TC´s midan dentro de clase/precisión exigida (>10% del fondo de escala).

9.- Verificar que órdenes de frecuencia interesa filtrar (como regla: aquellas frecuencias que superen un valor de 12% en THD de Corriente). En caso de necesitar el filtro AFQ para compensar reactiva o equilibrar fases, estimar si la potencia del AFQ es la adecuada.

10.- En caso de tener varios filtros conectados en paralelo, verificar a través del equipo Maestro, que todas los números ID de los equipos Esclavos, son identificados.

11.- Parametrizar el filtro AFQ en función a lo valorado en los puntos 4, 8 y 9.

12.- Con el filtro en Marcha, verificar a través de las diferentes pantallas de visualización, si el valor de filtrado, compensación de reactiva o equilibrado de fases, disminuye en los valores esperados en el lado RED.