



## PROYECTO FINAL DE GRADO

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo**

**Alexis Duarte Román**

**Tutor:** Prof. Ing. Pedro Pastor González

**CORONEL OVIEDO, MARZO DE 2024**



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electricista aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

Calificación final: \_\_\_\_ (Números)

\_\_\_\_\_ (Letras)

-----  
 Prof. Ing.

-----  
 Prof. Ing.

-----  
 Prof. Ing.

Acta Nro:.....  
 Fecha:.....  
 Calificación:.....



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ**  
Sede Coronel Oviedo  
*Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.*  
**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**  
Coronel Oviedo – Paraguay



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Juan Duarte Contrera y Fidelina Román Jara, por su inquebrantable apoyo y aliento en la búsqueda de mis metas. Ellos han sido pilares fundamentales en mi camino hacia el éxito académico.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ**  
Sede Coronel Oviedo  
*Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.*  
**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**  
Coronel Oviedo – Paraguay



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Pedro Pastor González por su invaluable colaboración como tutor, su generosa contribución de conocimientos y su apoyo desinteresado en la elaboración de este proyecto.

También quiero extender mi gratitud a todos los distinguidos docentes de la Facultad de Ciencias y Tecnologías, quienes me han guiado y proporcionado los conocimientos esenciales para concluir con éxito mi carrera universitaria.

Finalmente, al Ingeniero Luis Duarte y Gerardo Santacruz quienes me extendieron la mano para la realización de este proyecto y quienes me supervisaron en todo el tiempo de mi pasantía con gentileza y amabilidad.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## RESUMEN

La calidad de la energía eléctrica es uno de los factores más importantes en cualquier sector eléctrico, principalmente en el sector industrial. La presencia de armónicos, que distorsionan las formas de onda de la tensión y corriente, tiene un impacto negativo en la calidad de la energía eléctrica, afectando a múltiples componentes de la red eléctrica.

La empresa Cooperativa Chortitzer es una de las principales empresas que produce lácteos en Paraguay y en sus procesos industriales implican el uso de electrónica de potencia, clasificadas como cargas no lineales. Esto ha contribuido al incremento de los niveles de armónicos en su instalación eléctrica.

El objetivo de este trabajo es analizar estos niveles de armónicos y proponer medidas de atenuación de los mismos. Inicialmente, se llevó a cabo un análisis en el tablero eléctrico principal de la planta de producción empleando un analizador de redes. Posteriormente, se procesaron y compararon los datos obtenidos con normas internacionales. Se determinó que los armónicos de tensión se mantienen dentro de los límites establecidos. Sin embargo, se observó que los armónicos de corriente, en particular los de orden 5, 7 y 11, exceden los límites establecidos en dicha norma.

A raíz de esto, se evaluaron dos alternativas para reducir estos niveles de armónicos, concluyendo que la alternativa que mejor cumplía con los criterios técnicos y económicos fue la implementación de un filtro activo. Se procedió al dimensionamiento de esta alternativa y se realizó una evaluación económica, lo que resultó en una solución técnica y económicamente viable para su implementación.

**Palabras clave:** Calidad de la energía eléctrica, cargas no lineales, distorsión armónica, filtros de armónicos.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## **ABSTRACT**

The quality of electrical energy is one of the most important factors in any electrical sector, mainly in the industrial sector. The presence of harmonics, which distort the voltage and current waveforms, has a negative impact on the quality of electrical energy, affecting multiple components of the electrical network.

The Cooperativa Chortitzer company is one of the main companies that produces dairy products in Paraguay and its industrial processes involve the use of power electronics, classified as non-linear loads. This has contributed to the increase in harmonic levels in your electrical installation.

The objective of this work is to analyze these harmonic levels and propose measures to attenuate them. Initially, an analysis was carried out on the main electrical panel of the production plant using a network analyzer. Subsequently, the data obtained were processed and compared with international standards. It was determined that the voltage harmonics remain within the established limits. However, it was observed that the current harmonics, particularly those of order 5, 7 and 11, exceed the limits established by said standard.

As a result of this, two alternatives were evaluated to reduce these harmonic levels, concluding that the alternative that best met the technical and economic criteria was the implementation of an active filter. This alternative was dimensioned and an economic evaluation was carried out, which resulted in a technically and economically viable solution for its implementation.

**Keywords:** Electrical power quality, nonlinear loads, harmonic distortion, harmonic filters.



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE

CAPÍTULO I .....	1
<b>1- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1- OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1- Objetivos Generales .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2- Objetivos Específicos .....</b>	<b>4</b>
CAPÍTULO II .....	5
<b>2- MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1- Calidad de la energía eléctrica.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2- Definición de armónicos .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3- Origen de los armónicos .....</b>	<b>6</b>
<b>2.4- Principales fuentes de armónicos.....</b>	<b>7</b>
<b>2.5- Clasificación de los armónicos .....</b>	<b>9</b>
<b>2.6- Efectos de los armónicos.....</b>	<b>10</b>
<b>2.7- Índices para la medición de armónicos .....</b>	<b>12</b>
<b>2.7-1. Distorsión armónica total.....</b>	<b>12</b>
<b>2.7-2. Distorsión total de demanda.....</b>	<b>13</b>
<b>2.8- Técnicas de reducción de armónicos.....</b>	<b>14</b>
<b>2.8.1- Filtros pasivos .....</b>	<b>14</b>
<b>2.9- Selección de Filtros Pasivos.....</b>	<b>16</b>
<b>2.10- Ubicación de los Filtros Pasivos .....</b>	<b>17</b>
<b>2.11- Filtro Activo.....</b>	<b>17</b>
<b>2.12- Filtros híbridos .....</b>	<b>19</b>
<b>2.12-1. Filtro activo en serie con la línea.....</b>	<b>19</b>
<b>2.12-2. Filtro activo en serie con el filtro pasivo .....</b>	<b>20</b>
<b>2.12-3. Filtro activo en paralelo con el filtro pasivo .....</b>	<b>21</b>
<b>2.12-4. Filtro activo en serie con la línea y con el filtro pasivo.....</b>	<b>21</b>
CAPÍTULO III .....	22
<b>3- METODOLOGÍA .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1- Relevamiento de datos .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.1- Ubicación de la empresa .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2- Cargas no lineales utilizadas en la empresa.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3- Norma de referencia .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4- Medición de armónicos .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.1- Equipo utilizado.....</b>	<b>25</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ**  
 Sede Coronel Oviedo  
*Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.*  
**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**  
 Coronel Oviedo – Paraguay



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

3.4.2-	Parámetros a medir .....	26
3.4.3-	Ubicación del instrumento de medición .....	27
3.5-	Límites de distorsión armónica .....	28
3.5.1-	Límites de distorsión armónica de tensión .....	28
3.5.2-	Límites de distorsión armónica de corriente .....	29
CAPÍTULO IV .....		30
4-	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	30
4.1-	Medición de Armónicos de Tensión y Corriente, análisis de datos .....	30
4.1.1-	Distorsión Armónica Total de tensión (THDv) .....	30
4.1.2-	Distorsión Armónica Total de corriente THDi de las 3 fases .....	31
4.2-	Análisis de alternativas para mejorar niveles de armónicos .....	34
4.2.1-	Filtros activos .....	35
4.2.2-	Filtros pasivos .....	38
4.2.3-	Tabla comparativa de criterios técnicos .....	42
4.2.4-	Criterios económicos .....	43
4.2.5-	Dimensionamiento de la alternativa seleccionada .....	44
CAPÍTULO V .....		45
5-	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	45
5.1-	Beneficios .....	45
5.1.1-	Ahorro por multa de aumento de potencia contratada .....	45
5.1.2-	Ahorro por avería de componentes electrónicos .....	45
5.2-	Costos .....	45
5.3-	Evaluación económica .....	45
5.3.1-	Determinación del flujo de caja proyectada .....	45
5.3.2-	Determinación de la tasa interna de retorno (TIR) .....	46
5.3.3-	Determinación del valor presente neto (VPN) .....	46
5.3.4-	Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI) .....	46
CAPÍTULO VI .....		48
6-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	48
6.1-	Conclusiones .....	48
6.2-	Recomendaciones .....	49
7-	APÉNDICE .....	50
APÉNDICE A: MEDIDAS DE DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN .....		50
Apéndice A.1: Medidas de distorsión de tensión (V1) .....		50
Apéndice A.2: Medidas de distorsión de tensión (V2) .....		50



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

<b>Apéndice A.3: Medidas de distorsión de tensión (V3)</b> .....	50
<b>APÉNDICE B: MEDIDAS DE CORRIENTES DE LÍNEA Y DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE</b> .....	52
<b>Apéndice B.1: Corriente de las tres fases juntas</b> .....	52
<b>Apéndice B.2: Medidas de distorsión de corriente (Fase 1)</b> .....	52
<b>Apéndice B.3: Medidas de distorsión de corriente (Fase 2)</b> .....	52
<b>Apéndice B.4: Medidas de distorsión de corriente (Fase 3)</b> .....	53
<b>APÉNDICE C: TDD CALCULADO DE CADA FASE CON BASE EN LAS MEDIDAS OBTENIDAS</b> .....	54
<b>Apéndice C.1: TDD1 calculado a partir de mediciones obtenidas</b> .....	54
<b>Apéndice C.2: TDD2 calculado a partir de mediciones obtenidas</b> .....	54
<b>Apéndice C.3: TDD3 calculado a partir de mediciones obtenidas</b> .....	55
<b>APÉNDICE D: ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE</b> .....	56
<b>Apéndice D.1: Armónicos individuales de corriente (Fase 1)</b> .....	56
<b>Apéndice D.2: Armónicos individuales de corriente (Fase 2)</b> .....	56
<b>Apéndice D.3: Armónicos individuales de corriente (Fase 3)</b> .....	57
<b>APÉNDICE E: DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA</b> .....	59
<b>APÉNDICE F: ANÁLISIS ECONÓMICO</b> .....	60
<b>Apéndice F.1: Ahorro por multa de aumento de potencia contratada</b> .....	60
<b>Apéndice F.2: Ahorro por avería de componentes electrónicos</b> .....	60
<b>Apéndice F.3- Detalle de costos del proyecto</b> .....	60
<b>Apéndice F.4: Determinación del flujo de caja proyectada</b> .....	61
<b>Apéndice F.5: Tasa interna de rendimiento (TIR)</b> .....	62
<b>Apéndice F.6: Valor actual neto (VAN)</b> .....	62
<b>Apéndice G: Mediciones realizadas</b> .....	63
<b>8- BIBLIOGRAFÍA</b> .....	65



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo II

Figura 2. 1: Onda sin contenido armónico.....	5
Figura 2. 2: Onda de tensión con contenido armónico.....	6
Figura 2. 3: Circuito de un Rectificador de 6 pulsos.....	8
Figura 2. 4: Corriente absorbida por un rectificador de 6 pulsos.....	9
Figura 2. 5: Filtro pasivo serie.....	14
Figura 2. 6: (a) Circuito del Filtro Sintonizado Simple (b) Comportamiento en frecuencia.....	15
Figura 2. 7: (a) Circuito del Filtro Sintonizado Simple (b) Comportamiento en frecuencia.....	16
Figura 2. 8: Principio de compensación de las componentes de armónicas mediante el filtro activo paralelo.....	18
Figura 2. 9: Filtro activo (a) Paralelo (b) Serie.....	18
Figura 2. 10: Estructura del principio de funcionamiento del filtro activo paralelo ....	19
Figura 2. 11: Filtro activo en serie con la línea.....	20
Figura 2. 12: Filtro activo en serie con el filtro pasivo.....	20
Figura 2. 13: Filtro activo en paralelo con el filtro pasivo.....	21

### Capítulo III

Figura 3. 1: Ubicación de la empresa.....	22
Figura 3. 2: Banco de capacitores con controlador electrónico.....	23
Figura 3. 3: Analizador de calidad de energía eléctrica Extech Instruments PQ3350.....	26
Figura 3. 4: Diagrama unifilar y ubicación del PCC.....	27

### Capítulo IV

Figura 4. 1: Distorsión armónica total de tensión THDv de las 3 fases juntas.....	30
Figura 4. 2: Armónicos individuales de tensión.....	30



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Figura 4. 3: (a) Distorsión Armónica Total de corriente THDi (b) Formas de onda de las corrientes.....31

Figura 4. 4: Conexión del filtro activo.....36

Figura 4. 5: Conexión de filtro pasivo .....40

**Capítulo V**

Figura 5. 1: Flujo de caja proyectada.....46

Figura 5. 2: Período de recuperación de la inversión .....46

**Apéndice B**

Figura B. 1: Corriente de las tres fases juntas ..... 52

**Apéndice C**

Figura C. 1: TDD1 calculado a partir de mediciones obtenidas ..... 54

Figura C. 2: TDD2 calculado a partir de mediciones obtenidas ..... 55

Figura C. 3: TDD3 calculado a partir de mediciones obtenidas ..... 55

**Apéndice D**

Figura D. 1: Armónicos individuales de corriente (Fase 1) ..... 56

Figura D. 2: Armónicos individuales de corriente (Fase 2) ..... 57

Figura D. 3: Armónicos individuales de corriente (Fase 3) ..... 58

**Apéndice G**

Figura G. 1- Tablero General de la parte de producción ..... 63

Figuras G. 2- Conexión y monitoreo del analizador de redes ..... 64



**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo II

Tabla 2. 1: Clasificación de los armónicos .....9

Tabla 2. 2: Clasificación de armónicos impares .....9

### Capítulo III

Tabla 3. 1: Resumen de cargas no lineales utilizadas en la empresa.....23

Tabla 3. 2: Límites de distorsión de voltaje .....28

Tabla 3. 3: Límites de distorsión armónica de corriente para sistemas clasificados de 120 V a 69 kV .....29

### Capítulo IV

Tabla 4. 1: TDD calculado de cada fase .....33

Tabla 4. 2: Distorsión armónica individual de corriente.....34

Tabla 4. 3: Mantenimientos del filtro activo. ....37

Tabla 4. 4: Mantenimientos del filtro pasivo.....41

Tabla 4. 5: Criterios técnicos de las alternativas .....42

Tabla 4. 6: Comparación de precios de las alternativas .....43

Tabla 4. 7: Especificación final del filtro activo .....44

### Apéndice A

Tabla A. 1: Medidas de distorsión de tensión (V1) ..... 50

Tabla A. 2: Medidas de distorsión de tensión (V2) ..... 50

Tabla A. 3: Medidas de distorsión de tensión (V2) ..... 51

### Apéndice B

Tabla B. 1: Medidas de distorsión de corriente (Fase 1) ..... 52

Tabla B. 2: Medidas de distorsión de corriente (Fase 2) ..... 53

Tabla B. 3: Medidas de distorsión de corriente (Fase 3) ..... 53

### Apéndice F

Tabla F. 1: Ahorro por multa de aumento de potencia contratada ..... 60

Tabla F. 2: Ahorro por avería de componentes electrónicos ..... 60

Tabla F. 3: Detalle de costos del proyecto ..... 61

Tabla F. 4: Flujo de caja proyectada ..... 62

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

## **CAPÍTULO I**

### **1- INTRODUCCIÓN**

La calidad de la energía eléctrica es un elemento esencial en la competitividad de todos los sectores industriales y de servicios en la actualidad. La creciente incorporación de elementos no lineales en los sistemas eléctricos, en particular equipos electrónicos y, en gran medida, variadores de velocidad, que son ampliamente utilizados en el sector industrial, ha contribuido al aumento de formas de ondas no senoidales en el suministro eléctrico, lo que impacta negativamente en su calidad, lo que puede tener consecuencias perjudiciales tanto en los equipos eléctricos como en la red eléctrica misma. Uno de los fenómenos más relevantes relacionados con la calidad de la energía eléctrica es la presencia de armónicos, que son distorsiones de las ondas senoidales de tensión y corriente en los sistemas eléctricos, y que son causadas por el uso de las cargas mencionadas.

Por lo tanto, es fundamental comprender los armónicos y buscar formas de atenuar su impacto en la red eléctrica y en los equipos, dado que ejercen una influencia significativa en la calidad de la energía eléctrica.

La empresa Cooperativa Chortitzer, es una de las empresas líder en la producción de lácteos en todo el Paraguay, la misma cuenta con una sucursal en Coronel Oviedo. En su proceso de producción, utiliza máquinas cuyos componentes principales están equipados con electrónica de potencia, lo que los clasifica como cargas del tipo no lineal.

La utilización de equipos de electrónica de potencia conlleva ventajas significativas en este tipo de industrias, ya que estos equipos ofrecen ahorro energético, facilidad de regulación, mejora en la capacidad de control de la velocidad de motores, mayor confiabilidad de funcionamiento y respuesta más rápida. Sin embargo, el uso de estos equipos también puede resultar en una menor calidad de las ondas de corriente y tensión, generando corrientes armónicas y frecuencias elevadas.

La calidad de la energía eléctrica es uno de los factores más importantes en este tipo de industrias, ya que de eso depende el correcto funcionamiento de las máquinas y la cantidad de materia prima producida.

# **Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

De acuerdo con la información recolectada, la instalación eléctrica de la planta enfrenta problemas de sobrecalentamiento en el conductor neutro, lo que disminuye su vida útil. Además, se observa un aumento en la potencia contratada, a pesar de que la carga en la instalación eléctrica no experimentó un aumento.

Con base en lo expuesto, se propuso llevar a cabo un análisis exhaustivo del sistema eléctrico. Este análisis implicó la medición y registro de parámetros eléctricos relevantes, el procesamiento de los datos obtenidos y la realización de un diagnóstico preciso. El objetivo fue determinar cualquier presencia de armónicos que puedan distorsionar la onda senoidal de corriente y tensión que definen la calidad de la energía eléctrica, conforme a normas específicas.

De acuerdo con los autores Edgar Arnaldo Galeano Ríos y Gabriel Ramón Serván Romero [1] en su trabajo de grado titulado “Dimensionamiento de Filtros de Armónicos para una Industria Minera de Criptomonedas”, realizado en Paraguay en el año 2023, se llegó a los siguientes resultados: La estrategia de compensación mediante filtros pasivos paralelos sintonizados simples se revela como una solución efectiva para mitigar la distorsión armónica de corriente, especialmente en situaciones en las que el Índice de Distorsión Armónica Total (THDi) excede su nivel debido a ciertos armónicos que presentan niveles más elevados que otros. Además, a través del dimensionamiento y simulación de los filtros de armónicos utilizando el software ETAP, se logró una notoria reducción de las distorsiones armónicas de corriente, cumpliendo con los estándares establecidos en la norma IEEE std.519- 2014.

De acuerdo con el autor Víctor Miltos [2] en su trabajo de grado titulado “Análisis de los niveles de armónicos en la red de distribución de baja tensión de la ciudad de Coronel Oviedo y propuesta de medidas de atenuación de los mismos”, realizado en Paraguay en el año 2023, se llegó a los siguientes resultados: Se seleccionaron exitosamente tres puntos de medición en la ciudad de Coronel Oviedo, cada uno con diferentes perfiles de consumo residencial. Además, se logró llevar a cabo mediciones precisas de los parámetros eléctricos en los puntos designados y se analizaron los datos obtenidos mediante representaciones gráficas, lo que permitió comprender el comportamiento de este fenómeno. Finalmente, se exploraron posibles soluciones a esta problemática, concluyendo que la aplicación de filtros activos resultó ser la alternativa con mejor costo.

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

Mediante la ejecución de este trabajo, se ha establecido un marco normativo para abordar la problemática de la contaminación armónica en una instalación eléctrica en una planta industrial. El enfoque consistió en analizar la calidad de la energía eléctrica en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo. El objetivo principal fue el análisis y la propuesta de reducción de los niveles de armónicos presentes en dicha instalación, proponiendo la alternativa técnica y económica más adecuada para alcanzar este objetivo. Como resultado, la empresa Cooperativa Chortitzer, específicamente su sucursal en Coronel Oviedo, es la principal beneficiada con la realización de este proyecto, que contribuye a mejorar la calidad y eficiencia de su suministro eléctrico.

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

## **1.1- OBJETIVOS**

### **1.1.1- Objetivos Generales**

Analizar los niveles de armónicos y proponer medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

### **1.1.2- Objetivos Específicos**

- Realizar el relevamiento del tipo de cargas utilizadas en la instalación eléctrica.
- Revisar normativas vigentes sobre los límites establecidos de los niveles de armónicos permitidos en instalaciones eléctricas.
- Analizar los niveles de armónicos en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo.
- Evaluar las posibles soluciones para atenuar los efectos de los niveles de armónicos.
- Seleccionar la mejor alternativa técnica y económica para atenuar los niveles de armónicos en la instalación eléctrica.

## CAPÍTULO II

### 2-MARCO TEÓRICO

#### 2.1- Calidad de la energía eléctrica

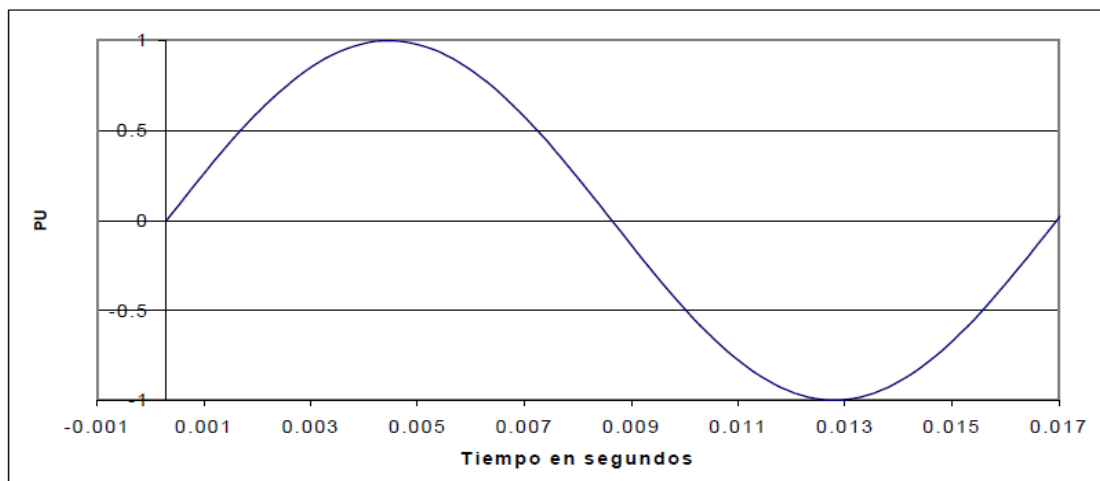
La calidad de la energía se refiere a la entrega de energía eléctrica a equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas para que puedan funcionar de manera continua sin que su rendimiento se vea afectado ni se produzcan fallas en sus componentes. Esto implica mantener la estabilidad del voltaje, la frecuencia y la continuidad del suministro eléctrico. Además, la calidad de la energía eléctrica se traduce en la ausencia de interrupciones, sobretensiones y distorsiones causadas por perturbaciones armónicas en la red y fluctuaciones en el voltaje. Esto también está relacionado con la estabilidad del voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico [1].

#### 2.2- Definición de armónicos

Los Armónicos son voltaje o corrientes sinusoidales con frecuencia que son múltiplos enteros de la frecuencia nominal del sistema (denominada frecuencia fundamental, por lo general 50 o 60Hz). Las ondas distorsionadas pueden ser descompuestas en una sumatoria de la frecuencia fundamental y los armónicos [3].

La figura 2.1 representa la forma de la onda sin contenido de armónicos, con una frecuencia constante de 60 Hz y una amplitud constante de 1 pu.

*Figura 2. 1: Onda sin contenido armónico*

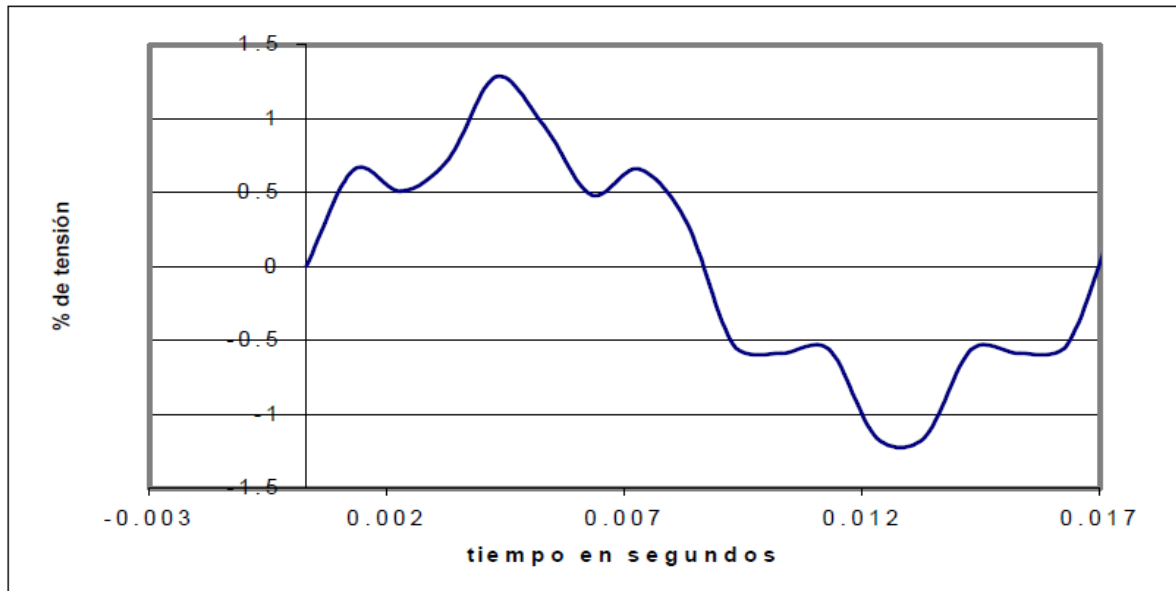


# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

La Figura 2.2 muestra una onda de tensión con un contenido del 30% del 5º armónico.

Figura 2. 2: Onda de tensión con contenido armónico.



Como se puede notar, el contenido armónico de esta onda ha experimentado un incremento del 30% en su valor pico [4].

## 2.3- Origen de los armónicos

En general, los armónicos son generados por cargas no lineales, lo que significa que su impedancia varía con la frecuencia. Estas cargas no lineales, a pesar de recibir una señal de entrada senoidal, devuelven una señal de salida que no sigue una forma de onda senoidal a través del neutro. En este proceso, se pueden considerar como fuentes de corriente que introducen armónicos en la red eléctrica. Es importante destacar que, en la mayoría de los casos, los armónicos son perturbaciones que se mantienen en estado constante, por lo que no deben confundirse con fenómenos transitorios

Los tipos de cargas se dividen en dos:

- Las cargas lineales están conformadas por dispositivos resistivos, inductivos y/o capacitivos que mantienen una relación proporcional entre la tensión y la corriente. En consecuencia, cuando se aplica una tensión, la forma de onda de

# **Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

la corriente permanece sinusoidal y se mantiene un desfase angular con respecto a la onda de tensión.

- Por otro lado, las cargas no lineales exhiben formas de onda de corriente y tensión distorsionadas, con pulsos abruptos en lugar de una forma sinusoidal. Este fenómeno se origina debido a la conmutación de dispositivos de electrónica de potencia, como puentes rectificadores y tiristores, entre otros equipos. Estos dispositivos son los responsables de la generación de contenido armónico en las instalaciones eléctricas.

En resumen, las cargas no lineales representan una de las principales fuentes de distorsión armónica, lo que resulta en efectos perjudiciales tanto para la red eléctrica como para los equipos conectados, en especial cuando estos últimos son sensibles a tales distorsiones. Un ejemplo destacado de cargas no lineales en las instalaciones industriales son los variadores de frecuencia. Estos dispositivos desempeñan un papel fundamental en el arranque y control de la velocidad de los motores eléctricos, contribuyendo a la reducción del consumo de energía. Sin embargo, su operación conlleva la generación de armónicos de orden  $6n-1$  que pueden tener impactos significativos en la calidad de la energía y el funcionamiento de otros equipos [5].

## **2.4- Principales fuentes de armónicos**

Las cargas no lineales pueden clasificarse en tres categorías:

- a- Basadas en arcos y descargas eléctricas:
  - Lámparas de descarga (fluorescentes, ahorradoras de energía, neón, vapores de sodio y mercurio, etc.)
  - Soldadores de arco.
  - Hornos de arco Eléctrico.
- b- Basadas en inductancias saturables
  - Transformadores
  - Motores.
  - Reactancias para limitar los arcos de descarga.
- c- Electrónicas

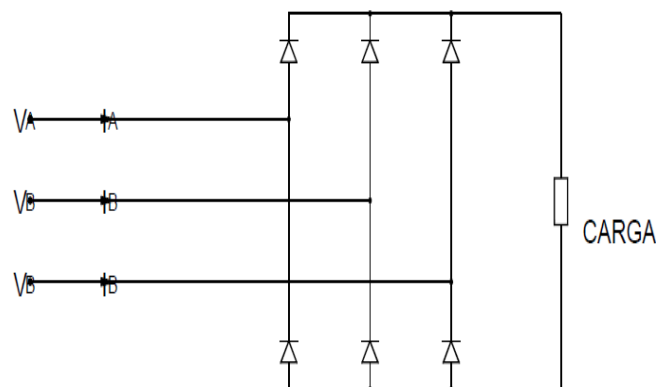
# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

- Rectificadores para cargas resistivas e inductivas.
  - Fuentes de alimentación (aparatos electrónicos domésticos y de oficina, variadores de frecuencia, sistemas de alimentación ininterrumpida, lámparas electrónicas, etc.)
  - Reguladores y recortadores (variación de velocidad de pequeños motores, ahorradores de energía para motores, reguladores de luz, compensadores estáticos de energía reactiva (SVC, TCR), reguladores para dispositivos de caldeo, etc.)
  - Cargadores de baterías
  - Convertidor continuo-alterno sobre la red (energía solar, accionamientos con recuperación de energía, transmisión de energía en corriente continua, etc.)
- [6].

La Figura 2.3 muestra el circuito correspondiente a un rectificador de 6 pulsos, el cual es prácticamente la carga generadora de armónicos más utilizada en las industrias.

*Figura 2. 3: Circuito de un Rectificador de 6 pulsos*

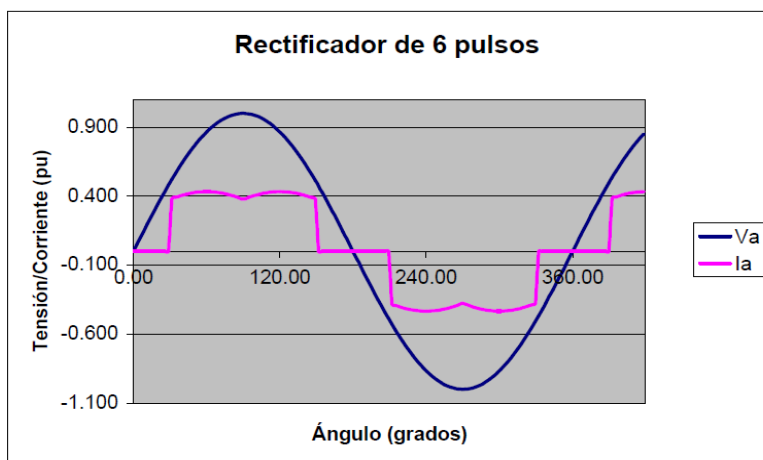


En la Figura 2.4 se muestra la corriente que absorbe el rectificador de 6 pulsos para el caso en el cual su carga es resistiva y la tensión de la red es sinusoidal.

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

Figura 2. 4: Corriente absorbida por un rectificador de 6 pulsos



## 2.5- Clasificación de los armónicos

Las corrientes armónicas en sistemas balanceados pueden ser de secuencia positiva, negativa o cero como se observa en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1: Clasificación de los armónicos

Nombre	Fundamental	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Frecuencia	60	120	180	240	300	360	420
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+

Por lo general, las ondas que fluyen a través de la red eléctrica tienden a ser simétricas, lo que significa que tienen componentes positivas y negativas iguales, lo que evita la aparición de armónicos de orden par.

Entonces, es común encontrarse con:

Tabla 2. 2: Clasificación de armónicos impares

Nombre	Fundamental	3°	5°	7°	9°	11°	13°
Frecuencia	60	180	300	420	540	660	780
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+

# **Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

La secuencia se refiere al sentido de rotación de los fasores en relación con la frecuencia fundamental. En otras palabras, indica la dirección en la que giraría el rotor de un motor si se excitara con esa señal. La secuencia positiva (+) implica un giro en sentido horario, mientras que la secuencia negativa (-) indica un giro en sentido antihorario. La secuencia cero (0) significa que no hay rotación.

En sistemas de distribución trifásica con tres conductores en estado estacionario, no se generan corrientes armónicas de secuencia cero, ya que no existe un camino monofásico para que circulen.

Dependiendo de su secuencia y rotación, los armónicos presentan diferentes efectos:

- Secuencia (+): Rotación Directa, puede producir calentamiento de conductores, rotura de circuitos, etc.
- Secuencia (-): Rotación Inversa, produce un freno en el motor, además calentamiento de conductores y pueden quemar los motores de inducción trifásicos.
- Secuencia (0): Los armónicos de secuencia cero (llamados normalmente triplens) se suman al neutro de la red (si ésta es de cuatro hilos) y son los causantes de sobrecalentamientos [6].

## **2.6- Efectos de los armónicos**

Dado el empleo de diversas cargas no lineales en entornos industriales, como transformadores, motores, equipos de control electrónico y variadores de frecuencia, es esencial comprender los impactos de un elevado contenido armónico en la red. A continuación, se detallan algunos de los problemas más significativos que los armónicos pueden generar con relación al funcionamiento de los equipos eléctricos clave en el sistema eléctrico industrial:

- a- Transformadores
  - Sobrecalentamiento de los devanados
  - Pérdida del aislamiento térmico por calentamiento
  - Disminución del rendimiento
  - Sobredimensionamiento del transformador
  - Saturación del transformador (crea mayor distorsión)

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

- Ruido audible
- Aumento de temperatura de operación.
- Aumento de la temperatura en partes estructurales
- Pérdida del aislamiento por aumento de temperatura.
- Disminución del rendimiento
- b- Conductor
  - Aumento de pérdidas térmicas por efecto Joule ( $I^2R$ ).
  - Falla del aislamiento debido a la presencia de resonancia.
  - Calentamiento adicional debido al efecto piel
  - Disparo de protecciones termomagnéticas.
  - Aumento de la corriente que circula por neutro ( $I_n$ ).
  - Degradación prematura
- c- Condensadores
  - Calentamiento
  - Envejecimiento prematuro
  - Destrucción de condensadores
- d- Motores
  - Sobrecalentamiento de los devanados
  - Incremento de las pérdidas en el cobre (pfe) y en el hierro (pcu).
  - Disminución de la eficiencia.
  - Reducción del par.
  - Ruido audible mayor en comparación con el emitido con la excitación sinusoidal.
  - Mayor deslizamiento.
  - Calentamiento del rotor.
  - Pérdida de la vida útil.
  - Pérdida del aislamiento.
  - Desgaste mecánico en rodamientos y vibraciones en el eje.
- e- Equipos de medida y 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

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

- Mal funcionamiento debido a resonancias en el sistema.
- Medidas erróneas.
- f- Equipos electrónicos
  - Fallas en el funcionamiento
  - Los instrumentos pueden ser afectados dando una información errónea [5].

## **2.7- Índices para la medición de armónicos**

Para evaluar los efectos causados por los armónicos, se suelen emplear índices que cuantifican el grado de contaminación armónica en las ondas eléctricas. En el análisis, estos índices se comparan con los valores límites establecidos por las normativas o con los valores de tolerancia de los equipos. A continuación, se proporcionan las definiciones de los índices más comúnmente utilizados.

### **2.7-1. Distorsión armónica total.**

THD corresponde a Distorsión Total del Armónico. La Distorsión Total del Armónico es utilizada para definir la importancia del contenido armónico de una señal. Para una señal  $Y(t)$ , la Distorsión Total del Armónico está definida por la ecuación:

$$THD = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}{y_1} * 100\% \quad (3.1)$$

Cuando se trata con armónicos de tensión, la expresión se convierte en:

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} * 100\% \quad (3.2)$$

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

Cuando se trata con armónicos de intensidad, la expresión se convierte en:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} * 100\% \quad (3.3)$$

Esta ecuación es equivalente a la mostrada a continuación, la cual es más directa y fácil de utilizar cuando se conoce el valor eficaz total:

$$THD_I = \sqrt{\left(\frac{I_{RMS}}{I_1}\right)^2 - 1} * 100\% \quad (3.4)$$

Para armónicos individuales:

$$IHD_n = \frac{V_n}{V_1} * 100\% \quad (3.5)$$

## **2.7-2. Distorsión total de demanda.**

Es la relación entre la corriente armónica y la demanda máxima de la corriente de carga.

$$TDD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_{Dem\ max}} * 100\% \quad (3.6)$$

Cuando se realizan mediciones relacionadas con armónicos en sistemas eléctricos, es habitual encontrar niveles elevados de THD (Distorsión Armónica Total) en situaciones de baja carga. Estos niveles elevados generalmente no afectan el funcionamiento de los equipos, ya que la cantidad de energía distorsionante que fluye es también baja. Para evaluar apropiadamente estas condiciones, se introduce el TDD (Distorsión Armónica Total de Demanda), que se convierte en el parámetro de

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

referencia para establecer los límites aceptables de distorsión en corriente según la norma IEEE 519 – 2014 [6].

## 2.8- Técnicas de reducción de armónicos

Las técnicas más empleadas se describen a continuación:

### 2.8.1- Filtros pasivos

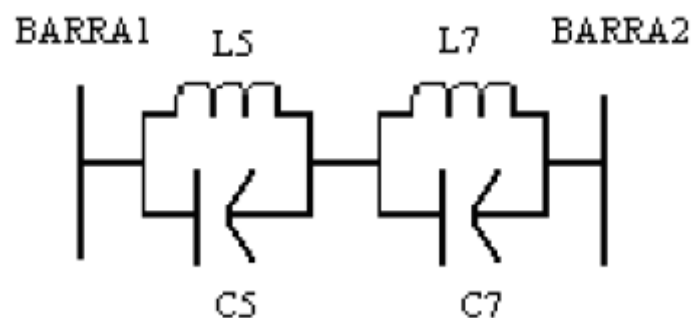
Los filtros pasivos ayudan a corregir los problemas producidos por la contaminación armónica, son circuitos resonantes que usan combinaciones de elementos RLC para obtener una respuesta a la frecuencia deseada. La utilización de los filtros pasivos tiene dos objetivos: impedir la entrada de corriente y tensiones armónicas y proveer al sistema toda o parte de la potencia reactiva que requiere. Los filtros de armónicos pasivos pueden ser, según el propósito particular que se persigue, de dos tipos:

- Filtro Serie.
- Filtro Paralelo.

#### 2.8.1.1- Los filtros series

Los filtros serie tienen como objetivo bloquear una componente de frecuencia específica, impidiendo que esta se propague desde una fuente de contaminación hacia alguna parte de la planta o sistema de energía. Logran este propósito al introducir una alta impedancia en serie a la frecuencia deseada. Estos filtros constan de un inductor y un capacitor conectados en serie con la sección de la red que se pretende proteger [1].

Figura 2. 5: Filtro pasivo serie



# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

## 2.8.1.2- Filtros “shunt” o paralelos

Los filtros "Shunt" o paralelos ofrecen una vía alternativa de muy baja impedancia para las frecuencias armónicas. Estos filtros consisten en una rama resonante serie compuesta por elementos RLC, que se conectan en paralelo con el sistema de alimentación, entre otros componentes.

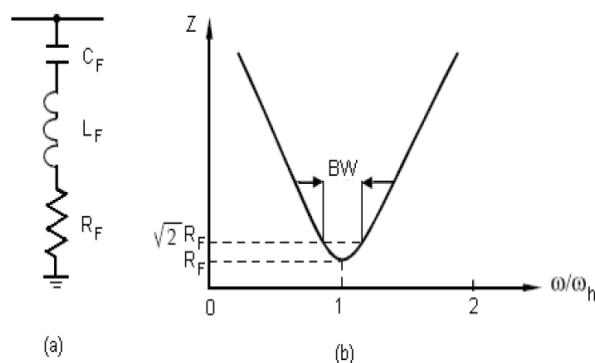
Los filtros paralelos presentan ventajas significativas en comparación con los filtros serie, ya que son más económicos, transportan solo las corrientes armónicas para las que han sido sintonizados y proporcionan una parte de la potencia reactiva al sistema.

Dentro de la amplia gama de configuraciones de filtros, las más comunes son los Filtros Sintonizados Simples y los Pasa Altos. Estos filtros desempeñan un papel fundamental en el control y mitigación de los armónicos en sistemas eléctricos.

### a- Filtro Sintonizado Simple

El filtro sintonizado está diseñado específicamente para eliminar un armónico particular. Consiste en un banco de capacitores conectados en serie con un inductor, como se muestra en la Figura 2.6 [1]. Estos filtros se emplean para suprimir armónicos de órdenes bajos y actúan como un "sumidero" para la componente armónica específica para la cual han sido diseñados.

Figura 2. 6: (a) Circuito del Filtro Sintonizado Simple (b) Comportamiento en frecuencia



### b- Filtro Pasa Alto

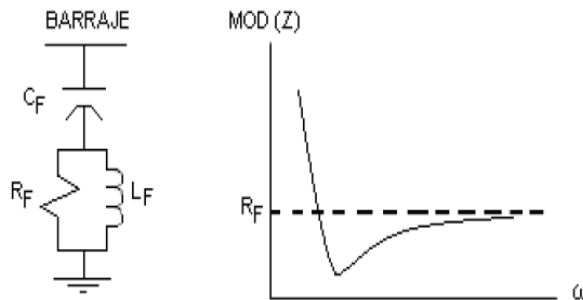
Estos filtros, que presentan un Q (factor de calidad) reducido, generalmente en el rango de 0.5 a 5, son utilizados para eliminar un amplio espectro de frecuencias. Se

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

emplean cuando las armónicas no tienen una frecuencia fija [1]. Estos filtros se caracterizan por tener impedancias bajas a lo largo de un amplio ancho de banda. La figura 2.7 muestra este filtro, junto con su respuesta en frecuencia.

Figura 2. 7: (a) Circuito del Filtro Sintonizado Simple (b) Comportamiento en frecuencia



Este filtro, al igual que el filtro sintonizado simple, se ajusta para operar a una frecuencia específica. Sin embargo, se diferencia en que incorpora una característica relacionada con la resistencia en paralelo con la inductancia. Como resultado, este filtro muestra una baja impedancia a la frecuencia de sintonía y a frecuencias superiores a esta [1].

Cuando la impedancia de la red experimenta fluctuaciones significativas, no se recomienda utilizar filtros de alto factor de calidad. En cambio, es aconsejable optar por filtros de paso de banda, que proporcionan una mayor atenuación. Sin embargo, estos filtros presentan la desventaja de incrementar las pérdidas a la frecuencia fundamental del sistema eléctrico.

## 2.9- Selección de Filtros Pasivos

Para la elección del filtro como solución al problema de armónicas, se deberá realizar un análisis detallado de la respuesta en frecuencia al sistema.

A continuación, se tienen en cuenta los criterios siguientes:

- Dependiendo del número de armónicas existentes en el sistema, se puede determinar la cantidad de filtros que se podrían ubicar para obtener una atenuación de las componentes armónicas.
- Debe estar acorde con los límites establecidos por las normativas vigentes.

# **Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

- Los requerimientos del filtro deseado (Reducción de la distorsión armónica, compensación de reactivos, regulación de tensión), cada requerimiento del filtro implica un diseño en específico, de manera a cumplir con el objetivo.
- La energía de cada armónica, las pérdidas que ocasionan las componentes armónicas del sistema están directamente relacionada con la magnitud de cada armónica.

## **2.10- Ubicación de los Filtros Pasivos**

Para la ubicación del filtro pasivo de armónicas se tienen dos opciones:

- En el alimentador de media tensión, con el propósito de disminuir las pérdidas del sistema.
- Cerca de la carga no lineal (Baja tensión), con el fin de evitar la inyección de las componentes armónicas de corriente al sistema por parte de la carga.

Los criterios de la ubicación de los filtros pasivos son:

- La existencia de cargas excesivamente contaminantes. Se debe ubicar el filtro en el lado de Baja tensión, de manera que el transformador de potencia sirva de amortiguador para las corrientes armónicas provenientes de otras cargas y de las corrientes armónicas generadas por la carga, logrando así aislar el problema.
- La existencia de cargas armónicas distribuidas. La ubicación del filtro debe ser en media tensión y en lugares estratégicos de manera que sean óptimos, y también evitar la excesiva circulación de corrientes armónicas por el sistema [1].

## **2.11- Filtro Activo**

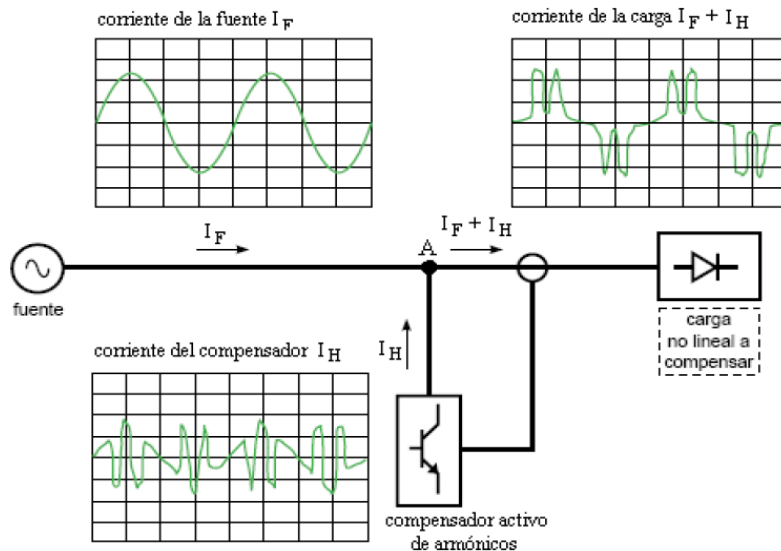
Los filtros activos operan mediante la electrónica de potencia y emplean semiconductores IGBT para eliminar las corrientes armónicas. Utilizan transformadores de corriente para medir la corriente de secuencia negativa en el sistema y, de esta manera, determinar la presencia de armónicos en la red eléctrica. Luego, inyectan una corriente de secuencia negativa inversa para equilibrar la corriente aguas arriba en la red, lo que contribuye a la mitigación de los armónicos. Además, estos filtros activos tienen la capacidad de corregir el factor de potencia, lo

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

que mejora la eficiencia del sistema eléctrico y ayuda a cumplir con los requisitos de calidad de energía eléctrica [5].

Figura 2. 8: Principio de compensación de las componentes de armónicas mediante el filtro activo paralelo



La topología más comúnmente utilizada es la representada en la Figura 2.9(a), que se clasifica como una topología "shunt" o paralela. El compensador activo de tipo serie, como se muestra en la Figura 2.9(b), se mencionará brevemente, ya que su uso es bastante limitado. Su función principal es permitir la conexión de cargas sensibles a una red eléctrica con perturbaciones, con el propósito de bloquear las fuentes de tensiones armónicas que provienen de las fuentes de alimentación aguas arriba.

Figura 2. 9: Filtro activo (a) Paralelo (b) Serie



La estructura del FAP (Filtro Activo de Potencia) se divide en dos subconjuntos, como se ilustra en la Figura 2.10:

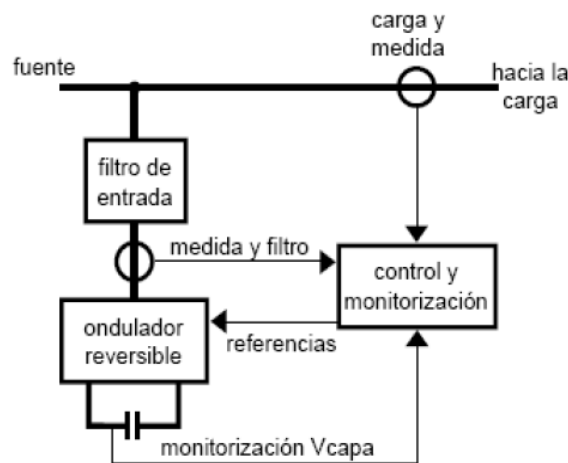
# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

- El subconjunto de potencia comprende el filtro de entrada, el inversor reversible y los elementos de almacenamiento de energía.
- El subconjunto de control incluye la generación de referencias, la regulación de tensión y corriente, y el control del seguimiento del convertidor.

Estas dos partes trabajan en conjunto para gestionar y controlar la compensación de potencia reactiva, la eliminación de armónicos y la mejora del factor de potencia en sistemas eléctricos.

Figura 2. 10: Estructura del principio de funcionamiento del filtro activo paralelo



## 2.12- Filtros híbridos

El filtrado híbrido consiste en un sistema de filtrado pasivo convencional que se complementa con un filtro activo ubicado en diversas posiciones con relación al filtro pasivo. Esta combinación optimiza la capacidad de cancelación del filtro pasivo, evitando problemas de resonancia entre los componentes del filtro pasivo y la impedancia de la línea, al mismo tiempo que permite alcanzar altas capacidades de filtrado a un costo menor que el filtrado activo exclusivo [1].

### 2.12-1. Filtro activo en serie con la línea

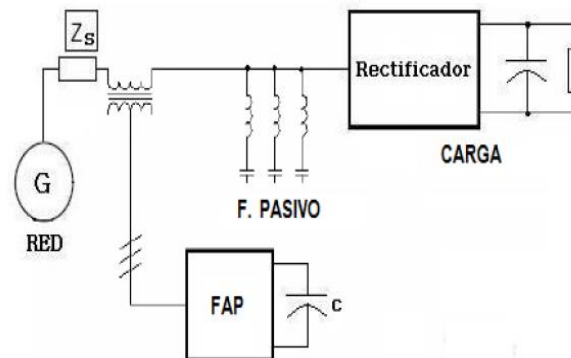
El filtro activo opera como una impedancia variable que se coloca entre la línea eléctrica y la carga. Esta impedancia es nula para la componente fundamental de la frecuencia, presentando un carácter resistivo, y es significativamente alta para los armónicos. En esencia, el filtro activo funciona como un aislante de armónicos. Dado que la sección del filtro activo se instala en serie con la red eléctrica y bloquea el paso

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

de armónicos hacia y desde la red, los armónicos generados en la carga necesariamente circularán a través del filtro pasivo. Esto da como resultado que la tensión en el lado de la línea eléctrica, después del filtro activo en serie, teóricamente sea igual a la frecuencia fundamental [1].

Figura 2. 11: Filtro activo en serie con la línea.



El filtro activo, como se muestra en la Figura 2.11, consta de un convertidor PWM de tensión conectado en serie con la línea eléctrica a través de un transformador. El secundario de este transformador se dimensiona para transportar la corriente nominal total de la carga, a pesar de que debe soportar tensiones generadas por las componentes armónicas, pero no por la componente fundamental. La ventaja de este sistema radica en que la mayor parte de la cancelación de armónicos es llevada a cabo por el filtro pasivo, y el filtro activo se dimensiona para una potencia que representa tan solo el 2% al 5% de la carga en volt-amperios (VA). Esto lo convierte en una opción más económica en comparación con un filtro activo puro, que debe manejar la totalidad de la potencia de cancelación [1].

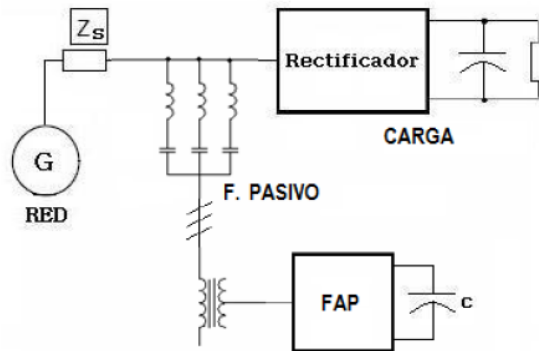
## 2.12-2. Filtro activo en serie con el filtro pasivo

El filtro activo está constituido por un convertidor estático PWM de tensión conectado en serie con el filtro pasivo a través de un transformador [1].

Figura 2. 12: Filtro activo en serie con el filtro pasivo.

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024



El filtro activo actúa como una fuente de tensión variable. Teóricamente, su valor es nulo para la frecuencia fundamental y es igual al valor de las componentes armónicas de tensión en la carga. Como resultado, la tensión en el punto de conexión del filtro es la correspondiente a la frecuencia fundamental, al igual que en el caso anterior. El filtro activo presenta una impedancia nula para la componente fundamental y una impedancia variable para las componentes armónicas. La ventaja de este enfoque es que la sección del filtro activo solo debe soportar las corrientes armónicas que fluyen a través del filtro pasivo, en lugar de la corriente principal de la carga, lo que simplifica su diseño y reduce su costo [1].

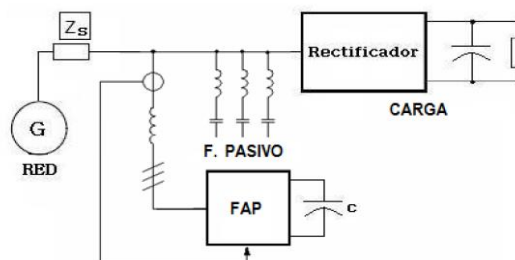
## 2.12-3. Filtro activo en paralelo con el filtro pasivo

Como es de esperar, el sistema principal de filtrado opera de manera pasiva, afinándose para atenuar los armónicos de frecuencias más bajas y con mayor contenido. De manera complementaria, se encuentra un filtro activo de corriente o tensión, encargado de suprimir los armónicos de frecuencias más elevadas [1].

## 2.12-4. Filtro activo en serie con la línea y con el filtro pasivo

Es un método que combina los anteriores y basado en los mismos principios, en donde la acción de los filtros activos complementa y optimiza al filtro pasivo.

Figura 2. 13: Filtro activo en paralelo con el filtro pasivo.



**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

## CAPÍTULO III

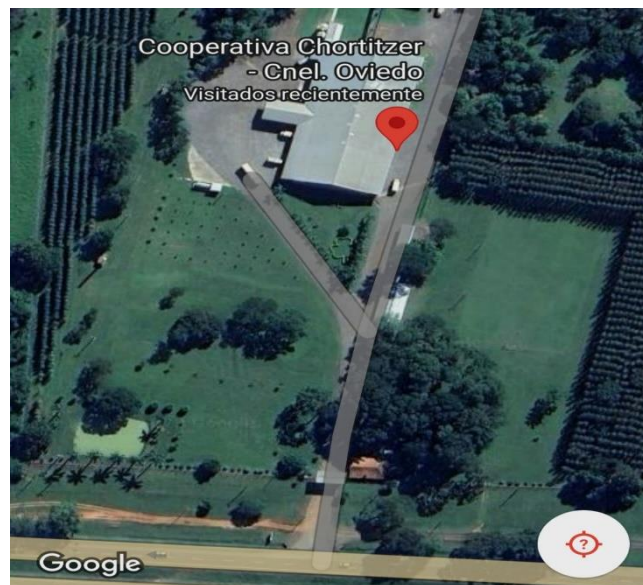
### 3-METODOLOGÍA

#### 3.1- Relevamiento de datos

##### 3.1.1-Ubicación de la empresa

La Cooperativa Chortitzer es una empresa dedicada a la producción de productos lácteos, y cuenta con una sucursal en Coronel Oviedo, ubicada en el kilómetro 137.5 de la Ruta Py2, como se muestra en la Figura 3.1.

*Figura 3. 1: Ubicación de la empresa*



La industria recibe energía eléctrica en 23kv de la ANDE y cuenta con una capacidad instalada de 540kva, distribuida a través de dos transformadores. Uno de ellos, con una capacidad de 225kva, abastece la instalación eléctrica de la sección de almacenamiento y distribución del producto final. El segundo transformador, con una capacidad de 315kva, se encarga de suministrar energía eléctrica a la planta de producción.

#### 3.2- Cargas no lineales utilizadas en la empresa

Durante la visita técnica, se identificaron diversas fuentes de distorsión armónica. Estas cargas incluyen:

## Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

- El compresor de frío, que está equipado con un arrancador suave.
- La envasadora de leche, que presenta múltiples cargas no lineales, como variadores de frecuencia de 0.75kw cada uno, así como varios controladores, UPS y rectificadores de 6.5A y 2A, respectivamente.
- El tanque para crema, que cuenta con un variador de frecuencia para el agitador.
- La bomba esterilizadora, que también utiliza variadores de frecuencia, junto con la centrifugadora, que emplea un rectificador para los controladores y un equipo UPS para los mismos.
- La máquina homogeneizadora, que incorpora un variador de frecuencia de 55kw y 75hp.

En la tabla 3.1, se presenta un resumen de las cargas no lineales utilizadas en la empresa.

*Tabla 3. 1: Resumen de cargas no lineales utilizadas en la empresa*

Variadores de velocidad	Rectificadores e inversores	UPS	Elementos informáticos	Lámparas led y otros tipos	Controlador
15	6	4	10	250	20

La instalación eléctrica posee un banco de capacitores automático de 60Kvar con controlador electrónico como se puede apreciar en la figura 3.2.

*Figura 3. 2: Banco de capacitores con controlador electrónico*

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024



## 3.3- Norma de referencia

Después de examinar la literatura pertinente, se han identificado las normas de calidad de energía eléctrica más ampliamente aceptadas a nivel regional e internacional. La norma más destacada en este campo es la IEEE Std 519 - 2014, que aborda las prácticas recomendadas y los requisitos para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica. Dado que esta norma es ampliamente reconocida y utilizada como punto de referencia en la mayoría de los países, se convertirá en la norma base para la ejecución de este proyecto

## 3.4- Medición de armónicos

Después de seleccionar la norma de referencia se procedió a la realización de las mediciones de armónicos como establece dicha norma.

Según [7] se puede considerar dos tipos de mediciones en función del tiempo de medición:

**Mediciones armónicas de tiempo muy corto:** Los valores armónicos de tiempo muy corto se evalúan en un intervalo de 3 segundos basados en una agregación de 15 ventanas consecutivas de 10 ciclos para sistemas de energía de 50 Hz.

**Mediciones de armónicos de corta duración:** Los valores armónicos de corta duración se evalúan en un intervalo de 10 minutos sobre la base de una agregación de 200 valores de tiempo muy cortos consecutivos para un componente de frecuencia específico.

# **Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

Para los efectos de este trabajo se optó por el método de medición de armónicos de muy corta duración. Intervalo de medición de 30 segundos por aproximadamente 168 horas totalizando 20.300 mediciones. El horario de medición fue por un periodo de 24 horas, iniciando a las 6 de la mañana y culminando al día siguiente a la misma hora por un periodo de 7 días. Según [7] para evaluar estas mediciones obtenidas se deben acumular valores de armónicos muy cortos durante períodos de un día respectivamente. Para mediciones de armónicos de muy corto tiempo, el valor del percentil 99 (es decir, el valor que es excedido durante el 1% del período de medición) debe calcularse para cada período de 24 horas para comparación con los límites recomendados.

## **3.4.1- Equipo utilizado**

El equipo utilizado es el Analizador de Potencia y Armónicos EXTECH INSTRUMENTS Modelo PQ3350 (Figura 3.3) que es propiedad de la Facultad de Ciencias y Tecnologías. Las características más importantes del equipo se presentan a continuación:

- Análisis de 3P4W, 3P3W, 1P2W, 1P3W.
- Valor eficaz verdadero (V123 y I123).
- Potencia activa (W, KW, MW, GW).
- Potencia aparente y reactiva (KVA, KVAR).
- Factor de potencia y ángulo de fase.
- Energía (WH, KWH, KVARH, PFH).
- Medición de corriente desde 0.1mA a 1000A, capaz de analizar desde el consumo de la potencia de reserva IT hasta el consumo máximo de una fábrica.
- Visualización de 35 parámetros en una pantalla (3P4W).
- Visualización de la potencia de solapamiento y la forma de onda de corriente.
- Consumo máximo (MD KW, MW, KVA, MVA) con período programable.
- Análisis armónico (V123 y I123) hasta el orden 99.
- Visualización de 50 armónicos en una pantalla con forma de onda.
- Visualización de forma de onda con valores máximos (1024 muestra / período).
- Análisis de distorsión armónica total (THD-F).
- Relación de desequilibrio de tensión o corriente trifásica.

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

- Memoria de 512K con intervalo programables (tiempo de muestreo de 2 a 6000 segundos, tiempo de lectura de 4.7 horas a 1180 días para el sistema 3P4W).
- Salida de forma de onda, parámetros de potencia y armónicos sobre orden.
- Interfase óptica aislada RS-232C [8].

Figura 3. 3: Analizador de calidad de energía eléctrica Extech Instruments PQ3350



## 3.4.2-Parámetros a medir

Con el propósito de comparar los resultados obtenidos en las mediciones con los límites establecidos en las normativas se registraron los siguientes parámetros eléctricos:

- Tensión en las tres fases
- Tensión de línea
- Potencia real de cada fase
- Potencia aparente de cada fase
- Potencia reactiva de cada fase
- Potencia total del sistema
- Potencia aparente total del sistema
- Potencia reactiva total
- Factor de potencia total del sistema
- Factor de potencia de cada fase
- Intensidad de Corriente de línea en las tres fases
- 50 componentes armónicas de corriente, incluido la fundamental.
- Tasa de distorsión armónica total de tensión (THDv)

# **Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

- Tasa de distorsión armónica total de corriente (THDi)

Para realizar el análisis de las mediciones obtenidas, el instrumento incluye un software que es provisto con el equipo, el PQ3350-SW V2.0.

Las mediciones obtenidas se pueden analizar de varias maneras, incluyendo la evaluación de los componentes armónicos de tensión y corriente en cada intervalo de medición. Esto implica obtener el valor de la Tasa de Distorsión Armónica (THD) en tensión y corriente para las tres fases, además de generar gráficas que representen todos los armónicos, sus magnitudes o porcentaje con respecto a la señal fundamental, y los ángulos de fase entre los diferentes componentes.

### **3.4.3-Ubicación del instrumento de medición**

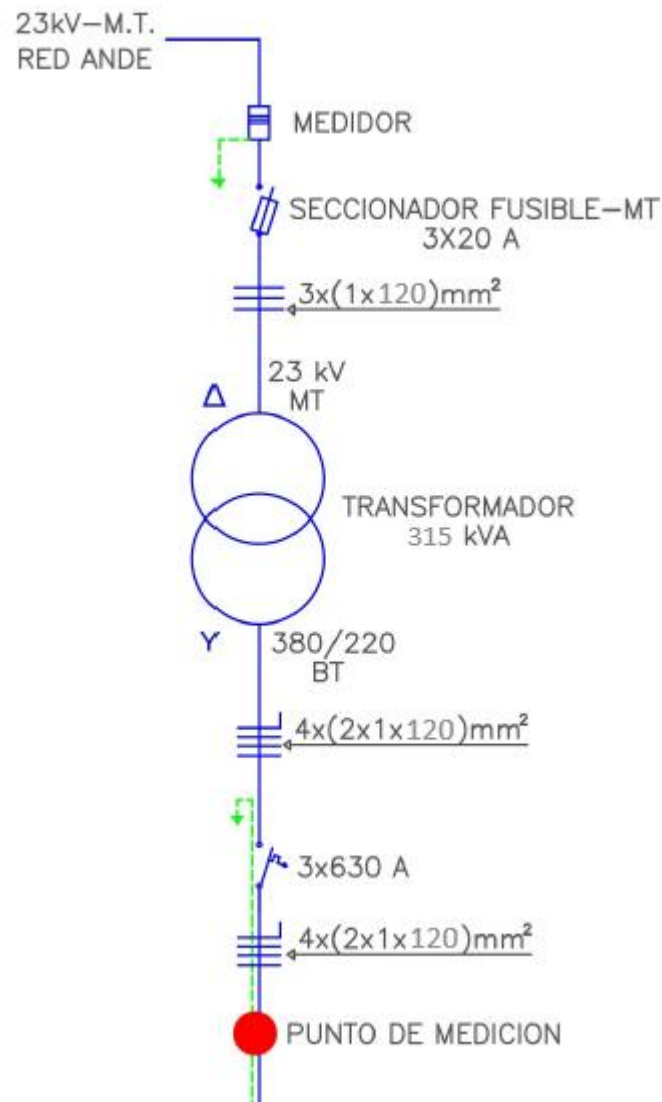
Según [7], los límites recomendados se aplican solo en el punto de acoplamiento común y no deberían ser aplicados a piezas individuales de equipo o en ubicaciones dentro de las instalaciones de un usuario. El punto de acoplamiento común (PCC) es un punto en un sistema de suministro de energía público, eléctricamente más cercano a una carga particular, a la cual otras cargas están, o podrían estar, conectadas. El PCC es un punto localizado aguas arriba de la instalación eléctrica considerada.

De acuerdo a los criterios mencionados en el párrafo anterior se procedió a identificar el PCC en la instalación eléctrica. El punto seleccionado fue el lado de baja tensión del transformador de 315Kva, específicamente en el tablero general de la parte de producción (Figura 3.4).

*Figura 3. 4: Diagrama unifilar y ubicación del PCC*

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024



## 3.5- Límites de distorsión armónica

### 3.5.1- Límites de distorsión armónica de tensión

Según [7] los límites de distorsión armónica individual (%) y armónico total (THD) de tensión, se establecen en función del nivel de voltaje del bus en el PCC (Punto de Conexión Común) a la que está conectado el usuario como se puede apreciar en la tabla siguiente.

Tabla 3. 2: Límites de distorsión de voltaje

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

Voltaje de bus V en PCC	Individual armónico (%)	Armónico total distorsión THD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 <sub>a</sub>

(a) Los sistemas de alto voltaje pueden tener hasta un 2,0% de THD cuando la causa es un terminal HVDC cuyos efectos se habrán atenuado en los puntos de la red donde los futuros usuarios pueden estar conectados.

## 3.5.2-Límites de distorsión armónica de corriente

Según [7] los límites para los niveles de distorsión de corriente en un sistema de 120v a 69Kv (Figura 3.3) que puede ser inyectada por parte de los usuarios se establecen para cada una de las armónicas individuales, así como para la distorsión de demanda total (TDD) que está en función de la corriente de cortocircuito máxima (Isc) en el PCC (punto de conexión común) y del valor RMS de la corriente de demanda máxima (componente de frecuencia fundamental) en el PCC en condiciones de funcionamiento de carga normal.

*Tabla 3. 3: Límites de distorsión armónica de corriente para sistemas clasificados de 120 V a 69 kV*

Máxima distorsión de corriente armónica en por ciento de IL						
Orden armónico individual (armónicos impares) <sup>a, b</sup>						
$I_{sc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20_c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

(a) Incluso los armónicos están limitados al 25% de los límites de armónicos impares anteriores.

(b) Las distorsiones actuales que dan como resultado una compensación de cd, por ejemplo, convertidores de media onda, no están permitidas.

© Todos los e quipos de generación de energía están limitados a estos valores de distorsión actual, independientemente de

$I_{sc}/I_L$  real

Dónde:

$I_{sc}$  = corriente de cortocircuito máxima en PCC

$I_L$  = corriente de carga de demanda máxima (componente de frecuencia fundamental) en el PCC en condiciones de funcionamiento de carga normal

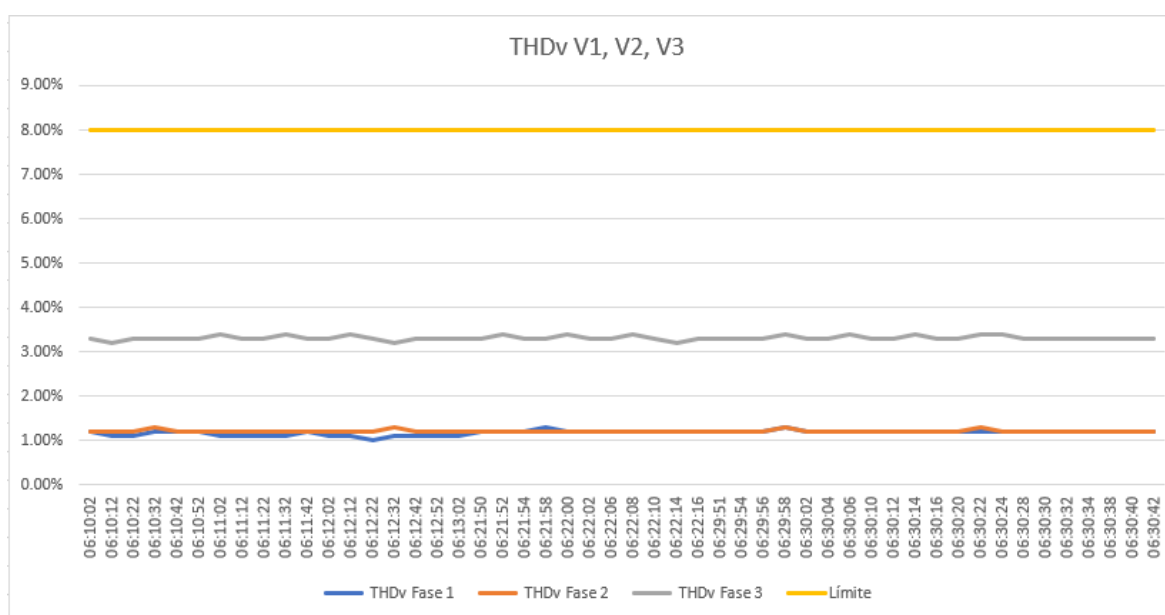
## CAPÍTULO IV

### 4-RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 4.1- Medición de Armónicos de Tensión y Corriente, análisis de datos

##### 4.1.1-Distorsión Armónica Total de tensión (THDv)

Figura 4. 1: Distorsión armónica total de tensión THDv de las 3 fases juntas.



En la figura 4.1 se puede apreciar la distorsión de armónicos de tensión de las tres fases en porcentaje, como se puede observar ninguna de las fases supera el valor límite establecido en la norma de referencia que es del 8 % (tabla 3.2) en sistemas con voltajes menores o iguales a 1Kv, como lo establece la norma de referencia.

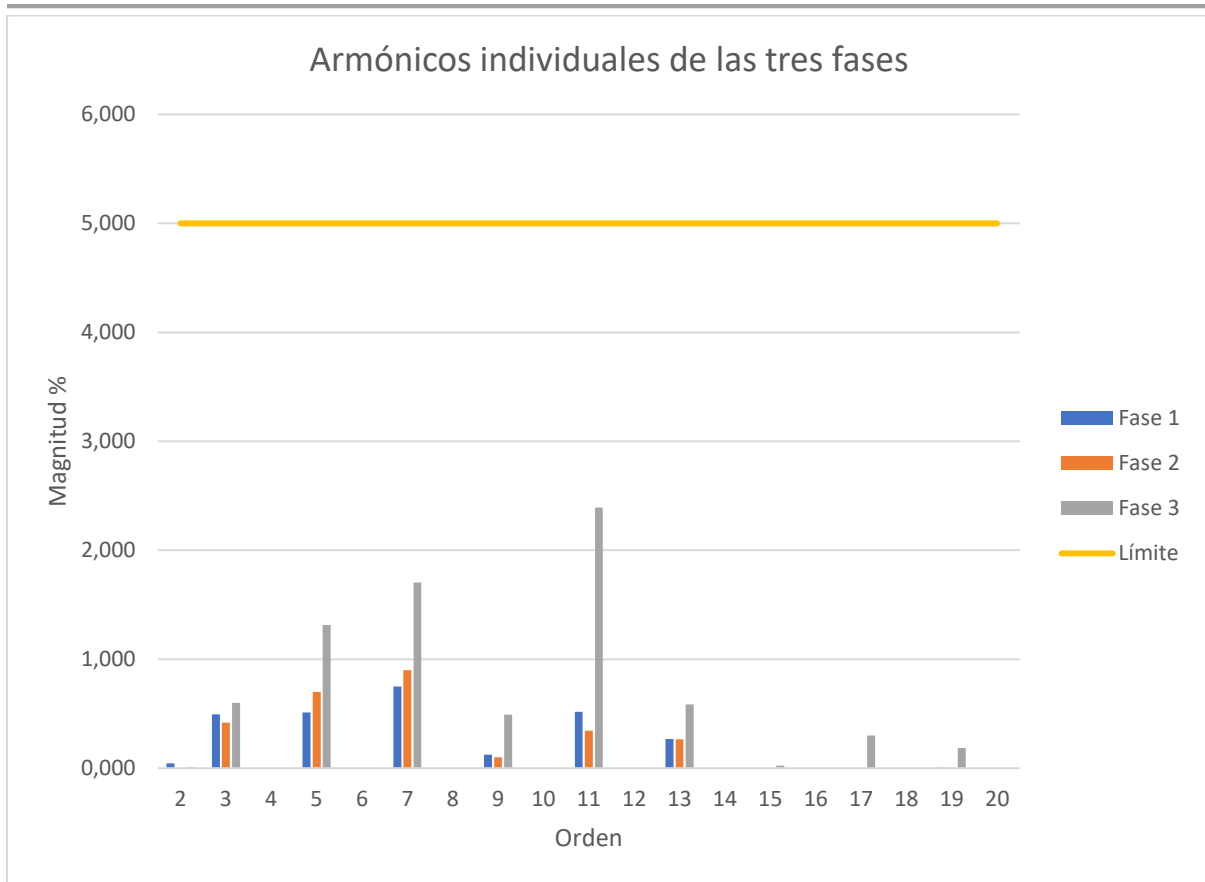
Una parte de los valores obtenidos en la medición se puede apreciar en el apéndice A, obtenidos del software utilizado.

Analizando los armónicos individuales de tensión (Figura 4.2), estos no superan el límite establecido en la norma de referencia que es del 5 % (tabla 3.2) en sistemas con voltajes menores o iguales a 1Kv, como lo establece la norma de referencia.

Figura 4. 2: Armónicos individuales de tensión

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024



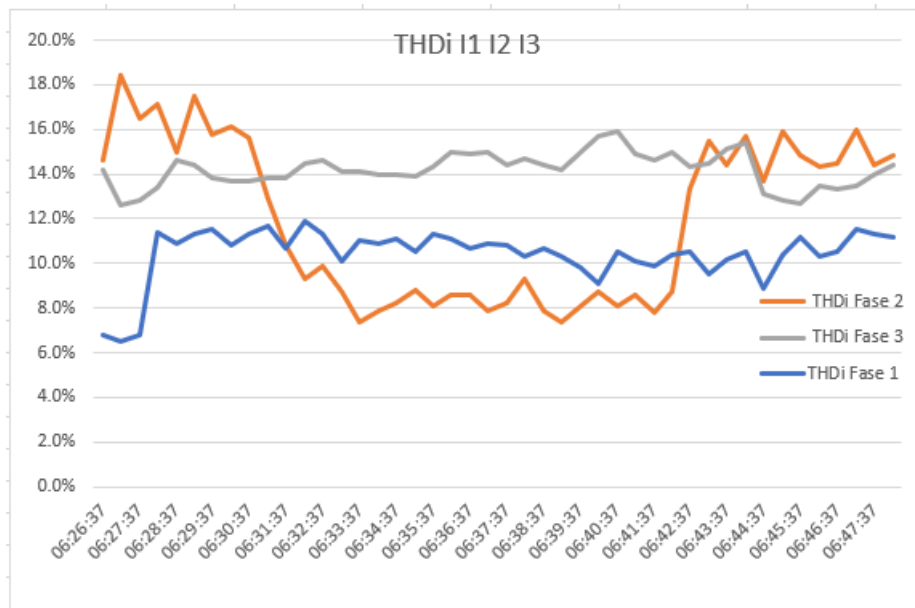
**4.1.2- Distorsión Armónica Total de corriente THDi de las 3 fases**

*Figura 4. 3: (a) Distorsión Armónica Total de corriente THDi (b) Formas de onda de las corrientes*

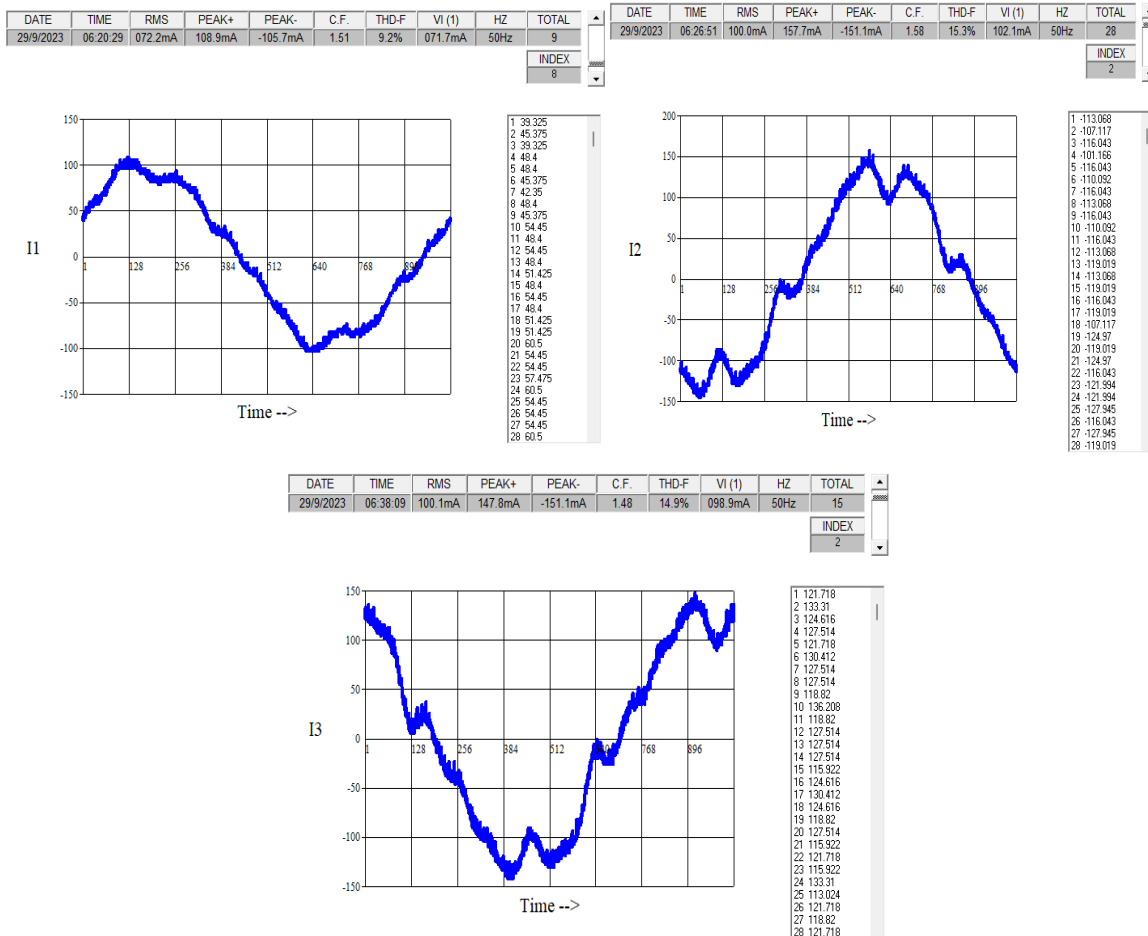
(a)

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024



(b)



En la Figura 4.3, se muestra la distorsión armónica de las corrientes de las tres fases en forma de porcentaje, junto con sus respectivas formas de onda. Como se puede

## Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

apreciar, las ondas presentan una deformación evidente, lo que indica la presencia de armónicos en el sistema.

Como se menciona en [7], los límites del TDD dependen de la relación de corto circuito y la corriente de carga ( $I_{sc}/I_L$ ). Según [9] la corriente de cortocircuito en el lado de Baja Tensión de un transformador de 315Kva es de 10.917KA. Según datos obtenidos en las mediciones (Apéndice B.1) las corrientes de cargas son: 319.8A, 277A y 277.9A, respectivamente. Usando la ecuación 3.6, se calculan la TDD.

Tabla 4. 1: TDD calculado de cada fase

Isc/IL	TDD1	TDD2	TDD3	TDD Límite
34.14	9.50%	12.95%	13%	8%

De la tabla 3.3, tenemos que el límite de la Distorsión de Demanda Total es igual a 8%.

De acuerdo con la tabla 4.1, las tres fases superan el límite de TDD establecido en la norma de referencia con 9.5, 12.95 y 13%, respectivamente. En el apéndice C se puede observar la TDD correspondiente a cada fase, donde se pueden apreciar cómo cada TDD evaluado en el tiempo supera el límite recomendado por la norma de referencia. En cuanto a las corrientes armónicas diarias de 99 ° percentil a muy corto tiempo se evaluó para cada fase y se encontró que en las tres fases sobrepasaron el límite recomendado en la norma. En la fase 1 se tuvo un percentil del 19.3 %, en la fase 2 y 3 se obtuvo un percentil del 23.3 % que sobrepasa ampliamente el 8 % recomendado en la norma. El cálculo del percentil se realizó utilizando la fórmula incluida en el programa Microsoft Excel, empleando los datos de las mediciones obtenidas a través del software del analizador de redes.

En la Tabla 4.2, se detallan las distorsiones armónicas individuales de cada fase, junto con sus respectivos límites en el punto de medición. Se observa que se han superado los niveles de distorsión armónica de corriente individual establecidos por la norma de referencia. En la fase 1, el armónico de 7° orden se encuentra en el límite permitido. En la fase 2, los armónicos de 5° y 11° orden exceden el límite establecido, y en la fase 3, los armónicos de orden 5°, 7° y 11° superan los límites respectivos. Se resalta

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

que los armónicos de orden 5°, 7° y 11° son los que más frecuentemente sobrepasan los límites. En el apéndice D se puede observar las gráficas de los armónicos individuales de corriente de cada fase. Cabe señalar que solo se han considerado armónicos hasta el orden 20, ya que, por encima de dicho orden, las medidas obtenidas no son significativos.

*Tabla 4. 2: Distorsión armónica individual de corriente*

h	Magnitud (%) I1	Límite	Magnitud (%) I2	Límite	Magnitud (%) I3	Límite
2	0.00	7	0.24	7	0.24	7
3	0.00	7	1.86	7	1.82	7
4	0.44	7	0.09	7	0.10	7
5	1.60	7	8.82	7	8.82	7
6	0.07	7	0.09	7	0.09	7
7	7	7	5.93	7	7.79	7
8	0.05	7	0.09	7	0.09	7
9	4.77	7	0.55	7	0.57	7
10	0.04	7	0.08	7	0.20	7
11	1.01	3.5	5.35	3.5	5.43	3.5
12	0.03	3.5	0.07	3.5	0.07	3.5
13	3.31	3.5	1.98	3.5	2.03	3.5
14	0.02	3.5	0.07	3.5	0.11	3.5
15	1.91	3.5	0.45	3.5	0.18	3.5
16	0.01	3.5	0.04	3.5	0.17	3.5
17	0.19	2.5	0.32	2.5	0.57	2.5
18	0.01	2.5	0.06	2.5	0.13	2.5
19	0.38	2.5	0.22	2.5	0.23	2.5
20	0.01	2.5	0.05	2.5	0.14	2.5

#### **4.2- Análisis de alternativas para mejorar niveles de armónicos**

En esta sección se realiza un análisis de las alternativas para atenuar el impacto de la distorsión armónica existente en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo.

Los criterios técnicos que se tendrá en cuenta serán con base en la distorsión armónica presente en la instalación eléctrica y las características técnicas de cada alternativa, que se obtendrá de los catálogos de cada fabricante. Se tendrá en cuenta criterios como:

# **Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

- Eficiencia del equipo
- La dimensión de los mismos
- Requisitos de mantenimiento
- Requisitos de energía
- Flexibilidad
- Duración y vida útil
- Tipo de filtrado

Existen algunas alternativas para reducir los niveles de distorsión armónica, pero para este trabajo se realizó una preselección en los criterios ya establecidos anteriormente y la que se ajusta más a la exigencia del presente trabajo son.

- Filtro activo
- Filtro pasivo

## **4.2.1- Filtros activos**

Como primera alternativa para reducir los niveles de distorsión armónica se plantea la instalación de filtros activos en el PCC.

Como se mencionó en la sección 2.11, los filtros activos usan electrónica de potencia y semiconductores IGBT para eliminar armónicos. Utilizan transformadores de corriente para detectar la corriente armónica y generan corrientes inversas para reducirlos. También pueden mejorar el factor de potencia, aumentando la eficiencia del sistema eléctrico y cumpliendo con los estándares de calidad de energía.

El Filtro Activo de Potencia es un sistema compuesto por un generador de señales eléctricas, comúnmente denominado inversor. Este sistema se complementa con un control electrónico que guía al inversor en la generación de la forma de onda específica requerida.

Este dispositivo se conecta en paralelo al sistema. En la práctica, esta técnica reduce significativamente la Distorsión Armónica Total (THD) a niveles que oscilan entre el 3% y el 8% [10].

Estos filtros se emplean comúnmente en situaciones en las que es imperativo reducir la tasa de distorsión de corriente, con el fin de prevenir sobrecargas.

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

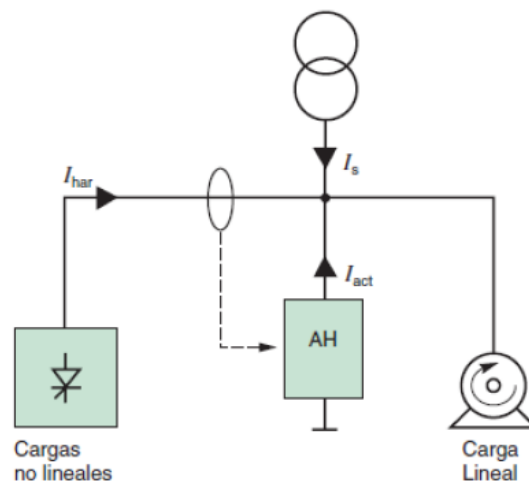
Alexis Duarte Román – 2024

Sus ventajas son las siguientes:

- Es una solución adecuada para el filtrado a nivel local
- Ofrece una amplia capacidad de filtrado que abarca una amplia banda de frecuencias, eliminando armónicos en el rango de 2 a 50.
- Se adapta de manera autónoma y continua a las condiciones de la red eléctrica, lo que incluye modificaciones sin afectar su funcionamiento.
- Además, es versátil y evolutivo, ajustándose a las variaciones de carga y espectro armónico de forma flexible según el tipo de carga.
- Simplifica el proceso de estudio y aplicación [11].
- Reducción de los armónicos de corriente que circulan a través de la red, desde el Filtro Activo de Potencia hasta los centros de generación de energía.
- Minimización de la corriente a través del neutro. Si el neutro está presente, se suman las amplitudes de los armónicos de corriente múltiplos de tres.
- Disminución de los armónicos de tensión en los puntos de conexión de las cargas.
- Corrección del factor de potencia.
- Equilibrio de la corriente que fluye en las distintas fases.
- Equilibrio de la tensión entre las fases y con el neutro
- Regulación de la tensión y reducción del Flicker [1].

En la figura 4.4 se puede observar la conexión de este tipo de filtros.

*Figura 4. 4: Conexión del filtro activo*



# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

## 4.2.1.1- Requerimientos de mantenimiento

Según [12], el filtro activo requiere un mínimo mantenimiento preventivo. La Tabla 4.3 indica las tareas de mantenimiento con sus respectivos intervalos de tiempo.

*Tabla 4. 3: Mantenimientos del filtro activo.*

Descripción	Intervalo
Mantenimiento estándar	12 meses
Cambio de los ventiladores de refrigeración	40000 h

Los equipos controlan los intervalos de mantenimiento y muestra mediante un símbolo en la pantalla principal del equipo, si es necesario realizar el mantenimiento. En una pantalla, se describe el mantenimiento que hay que realizar, pero los intervalos de tiempo de las operaciones de mantenimiento pueden variar en función de las condiciones de operación del equipo y los factores ambientales.

Se debe realizar el mantenimiento en intervalos de 6 a 12 meses, en función del nivel de suciedad ambiental y funcionamiento del equipo. El propio equipo indicará la realización de mantenimiento cada 12 meses. En una instalación con equipos conectados en paralelo, el mantenimiento estándar se ha de realizar en todos los equipos a la vez [12].

## 4.2.1.2- Requerimientos del filtro

Los filtros activos de armónicos suelen constar de componentes electrónicos como transistores, condensadores y otros elementos activos. Para funcionar, estos filtros necesitan una fuente de alimentación externa que suministre la energía necesaria para generar señales de control y corregir las distorsiones armónicas.

Según [12], estos filtros activos requieren de transformadores de corriente para detectar las corrientes armónicas y se destaca que el rendimiento supera el 97%.

Los filtros activos de armónicos utilizan componentes electrónicos activos, como transistores, para generar señales contrarias a los armónicos no deseados. Estos componentes electrónicos son más compactos y livianos. Además de su tamaño más compacto, los filtros activos de armónicos también ofrecen ventajas en términos de

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

---

capacidad de respuesta y flexibilidad, ya que pueden ajustarse y controlarse más fácilmente para adaptarse a las condiciones cambiantes de la red eléctrica.

## 4.2.1.3- Vida útil del equipo

Según [12], la vida útil de los activos filtros puede ser larga si se instalan, mantienen y operan adecuadamente. Sin embargo, la duración de un filtro activo puede variar según varios factores, incluyendo la calidad del equipo, las condiciones de operación y el entorno en el que se utiliza. Aquí hay algunos factores que pueden influir en la vida útil de un filtro activo:

- **Calidad del equipo:** Los activos filtros de alta calidad, fabricados por empresas confiables, tienden a tener una vida útil más larga. La calidad de los componentes electrónicos y el diseño del filtro pueden influir en su duración.
- **Condiciones de operación:** El entorno en el que se instala el filtro activo puede afectar su vida útil. Las condiciones extremas, como temperaturas extremadamente altas o bajas, vibraciones excesivas o humedad, pueden acortar la vida útil del filtro.
- **Sobrecargas y condiciones de operación fuera de especificación:** Si el filtro activo se somete regularmente a sobrecargas o se opera fuera de las especificaciones de diseño, su vida útil puede verse reducida.
- **Mantenimiento:** Un mantenimiento adecuado, que incluye inspecciones regulares y el reemplazo de componentes defectuosos, puede extender la vida útil del filtro activo.

En resumen, la vida útil de los filtros activos puede ser larga si se instalan en condiciones apropiadas, se mantienen adecuadamente y no se someten a un uso excesivo o condiciones extremas. La duración específica de un filtro activo dependerá de varios factores, por lo que es importante seguir las recomendaciones del fabricante y llevar a cabo un mantenimiento regular para asegurar un buen funcionamiento y una larga vida útil.

## 4.2.2- Filtros pasivos

Como segunda alternativa para reducir los niveles de distorsión armónica se plantea la instalación de filtros pasivos en el PCC.

# **Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

Los filtros pasivos de potencia están compuestos por elementos pasivos como resistencias, condensadores y bobinas. Se conectan en paralelo con el sistema de distribución o cargas importantes para reducir armónicos y corregir el factor de potencia. Es esencial que estos filtros se activen cuando se necesitan.

Cuando se instala en el bus principal de distribución, se divide en etapas controladas por contactores y un controlador que ajusta la potencia reactiva según las necesidades del sistema. La frecuencia de sintonización es ligeramente inferior a la frecuencia de la armónica, lo que reduce las armónicas de orden superior. El filtro actúa como un elemento inductivo, evitando resonancias y reduciendo la distorsión de potencia en el sistema.

En sistemas con múltiples cargas no lineales importantes y un funcionamiento prolongado, se puede instalar un filtro para cada carga, coordinando su funcionamiento para reducir tanto la corriente fundamental como la distorsión desde el punto de conexión [13].

Sus ventajas son las siguientes:

Las principales ventajas de utilizar filtros pasivos incluyen su costo reducido, su capacidad para mitigar las tensiones armónicas en la fuente de alimentación, así como proporcionar tanto corrección del factor de potencia como filtrado de corriente [14].

Sus desventajas son:

- Su selectividad hace que no sean adecuadas para abordar todo el rango de armónicos deseado, ya que solo son efectivos para un orden armónico específico. Mientras tanto, los filtros activos pueden adaptarse a un rango armónico variable en función de la frecuencia de conmutación de sus componentes activos.
- Existe el riesgo de resonancia en serie entre el filtro y la impedancia de la fuente, lo que puede amplificar las tensiones armónicas.
- Los filtros pasivos pueden dar lugar a una resonancia paralela con la red de suministro, lo que amplificaría las corrientes armónicas.

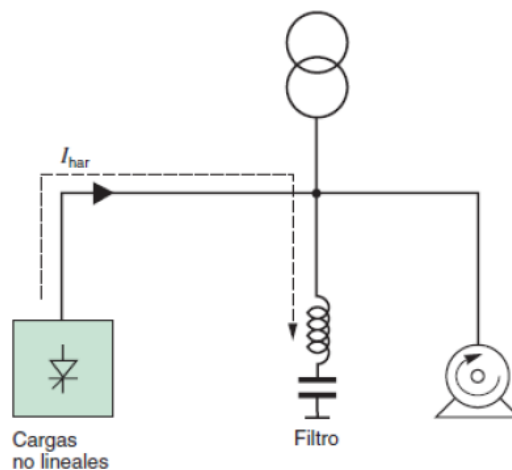
# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

- Debido a la componente resistiva de los filtros pasivos, se genera un consumo de la componente fundamental, lo que puede originar armónicos de tensión.
- El número de secciones del filtro pasivo requerido aumentará a medida que se necesite eliminar más armónicos, lo que incrementa los problemas mencionados anteriormente.
- Los filtros de absorción, que son comunes en entornos industriales, están diseñados para configuraciones y condiciones de carga específicas. Esto significa que no es posible agregar o eliminar cargas de un grupo compensado de esta manera sin ajustes [14].
- Se debe realizar estudio caso por caso.

En la figura 4.5 se puede observar la conexión de este tipo de filtros.

*Figura 4. 5: Conexión de filtro pasivo*



Según [15] estos filtros requieren de transformadores corriente para detectar las corrientes armónicas y se resalta que el rendimiento de este tipo de filtros supera el 97 %.

## 4.2.2.1- Requerimientos de mantenimiento

Según [15], se garantiza un funcionamiento satisfactorio durante muchos años bajo condiciones normales de operación. Cualquier operación en condiciones extremas, como temperaturas excesivas, situaciones de sobretensión, entornos contaminados,

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

etc., reduce la vida útil. La Tabla 4.4 indica las tareas de mantenimiento con sus respectivos intervalos de tiempo.

*Tabla 4. 4: Mantenimientos del filtro pasivo.*

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
revisar y limpiar el(los) ventilador(es)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
reemplazar ventilador(es)					X					X		
revisar y apretar conexiones eléctricas <sup>2)</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
comprobar valores eléctricos de los capacitores		X		X		X		X		X		X
reemplazar capacitores de potencia										X		

1) Sólo es necesario comprobar las conexiones externas.

**a- Ventilador**

Los ventiladores deben ser sometidos a mantenimiento y reemplazados a ciertos intervalos, para mantener el funcionamiento y el valor del producto. Los ventiladores son 100% reemplazables en el lugar de utilización, sin la necesidad de desinstalar y desconectar el filtro.

**b- Capacitores de potencia**

Los capacitores de potencia suministrados con los módulos de los filtros suelen ser componentes de alta calidad, con un período de vida útil promedio de 100.000 horas (10 a 11 años). Sin embargo, esta vida útil puede acortarse si se exponen a tensiones eléctricas o térmicas que superen sus especificaciones.

El daño del capacitor de potencia también puede ser causado por picos de tensión, por ejemplo, una descarga atmosférica. La detección de este daño generalmente se realiza midiendo la distorsión de armónicos en la línea lateral de energía. Esto se puede verificar utilizando un medidor de energía moderno o realizando un control regular con un analizador de calidad de energía. De acuerdo con las consideraciones anteriores, se recomienda un intervalo de inspección de 2 años.

**c- Conexiones eléctricas**

## Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

En función del entorno y la aplicación, es importante tener en cuenta que las conexiones eléctricas, como los pernos roscados y las tuercas, pueden deteriorarse con el tiempo y perder el torque inicial de apriete. Esto es aplicable no solo al filtro, sino a cualquier conexión dentro de un sistema eléctrico. Por esta razón, se recomienda verificar y ajustar todas las conexiones eléctricas en el dispositivo que incluye el filtro durante el mantenimiento programado regular [15].

### 4.2.1.2- Vida útil

Los filtros pasivos de armónicos tienden a ser más simples en diseño y construcción, lo que a menudo contribuye a una vida útil más larga. La vida útil de un filtro pasivo de armónicos dependerá en gran medida de la calidad de los componentes, las condiciones de operación y el mantenimiento adecuado. Según [15], se estima una vida útil del equipo mayor o igual a 10 años.

### 4.2.3- Tabla comparativa de criterios técnicos

*Tabla 4. 5: Criterios técnicos de las alternativas*

Ítems	Filtro activo	Cumple		Filtro pasivo	Cumple	
		Sí	No		Sí	No
Eficiencia del equipo	>97 %	X		>97 %	X	
Dimensiones	Más compacto	X		Más grande		X
Requisitos de mantenimiento	Menor cantidad de mantenimiento	X		Mayor cantidad de mantenimiento		X
Requisitos de energía	Necesita alimentación externa		X	No necesita alimentación externa	X	
Flexible	Sí	X		No		X
Vida útil	Con mantenimiento adecuado mayor a 10 años	X		Mayor a 10 años	X	

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

Tipo de filtrado	Desde el orden 2 al 50 (se auto adapta)	X		Filtrado individual		X
------------------	---	---	--	---------------------	--	---

A continuación, se describe porqué se cumplen algunos criterios:

En cuanto a la dimensión el filtro activo cumple con ese criterio, ya que la instalación que nos ocupa no posee suficiente espacio disponible y cumple con el criterio del tipo de filtrado, ya que la empresa planea aumentar la cantidad de cargas no lineales como, variadores de velocidad y se va a necesitar un filtro que se adapte a la variación de carga. Según la comparación realizada en la tabla 4.5 el filtro activo es el que cumple en mayor medida con los criterios establecidos y se ajusta en mayor medida a las condiciones técnicas de este trabajo.

#### **4.2.4- Criterios económicos**

En el análisis del criterio económico solo se tendrá en cuenta los costos más importantes de cada alternativa para tener una tendencia del costo total de cada filtro.

En la siguiente tabla podemos apreciar los costos de cada alternativa, los precios de los equipos están en dólares.

*Tabla 4. 6: Comparación de precios de las alternativas*

	<b>Cantidad</b>	<b>Filtro activo</b>	<b>Filtro pasivo</b>
Costo de adquisición	1	9.500	14.800
Costo de envío	1	22,68	10.000
Mano de obra	1	2.850	4.400
Transformador de corriente	3	237	237
<b>Costo total (USD)</b>		<b>12.609,68</b>	<b>29.437</b>

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

Según la tabla 4.6, la alternativa más económica es el filtro activo, ya que este producto está disponible a nivel nacional y el filtro pasivo solo se puede adquirir del exterior, por lo que los costos de envío y de la mano de obra son más elevadas.

## 4.2.5- Dimensionamiento de la alternativa seleccionada

Después de realizar el análisis técnico y económico detallado en la sección anterior, se llega a la conclusión de que el filtro activo se ajusta de manera óptima a los criterios establecidos. Por lo tanto, se posiciona como la alternativa más favorable para la reducción de la distorsión armónica. Ahora se procede al dimensionamiento de la alternativa.

La corriente de filtro calculado (Apéndice E) es 50.1A, entonces el filtro activo requerido debe ser de 60A por la disponibilidad comercial del mismo. En la siguiente tabla se puede observar las características del filtro.

*Tabla 4. 7: Especificación final del filtro activo*

Tensión nominal	Frecuencia	Corriente máxima (fase)	Transformador de corriente	Rendimiento	Dimensiones(mm)	Peso	Eliminación de armónicos
400V	50Hz	60A	600/5	>97%	440x590x190	35Kg	2° a 50°

## **CAPÍTULO V**

### **5-ANÁLISIS ECONÓMICO**

Los costos de la alternativa seleccionada fueron proporcionados por la empresa MGI Ingeniería, incluyendo los costos de los componentes como los de la mano de obra. El costo de envío se calculó seleccionando la opción más económica entre diversas empresas de encomiendas.

#### **5.1- Beneficios**

##### **5.1.1- Ahorro por multa de aumento de potencia contratada**

La implementación de la alternativa seleccionada resultará en un ahorro significativo en concepto de multas por el aumento de la potencia contratada. En el Apéndice F.1, se detalla el cálculo del ahorro total que se logrará con la ejecución del proyecto, el cual asciende a un monto de **2.430,41 USD**.

##### **5.1.2-Ahorro por avería de componentes electrónicos**

La implementación de la alternativa seleccionada resultará en un ahorro significativo en concepto de averías de componentes electrónicos. En el Apéndice F.2, se detalla el cálculo del ahorro total que se logrará con la ejecución del proyecto, el cual asciende a un monto de **4.860,82 USD**.

#### **5.2- Costos**

El costo de inversión necesario para la implementación de la propuesta de la alternativa se puede observar en el Apéndice F.3, se puede apreciar que el costo total será de **13.461,42 USD**.

#### **5.3- Evaluación económica**

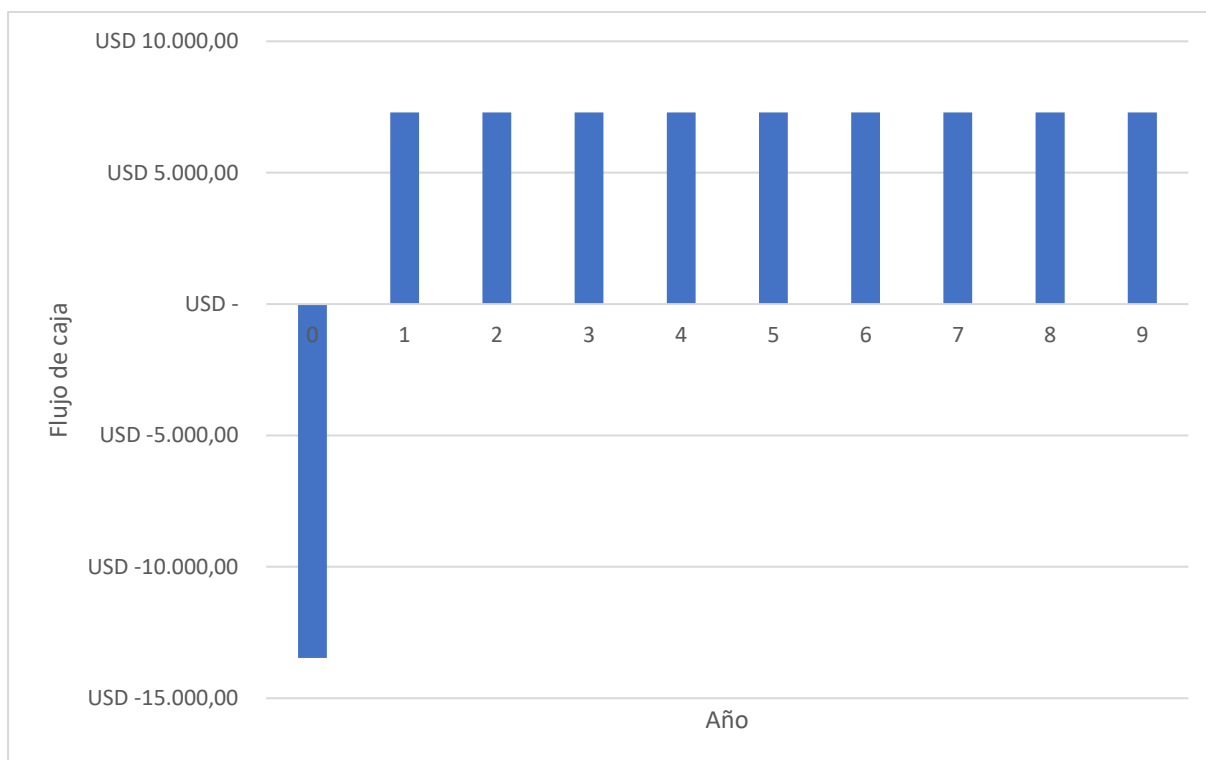
##### **5.3.1- Determinación del flujo de caja proyectada**

Observando el flujo de caja proyectada en el Apéndice F.4 se obtiene que solo en el año en donde se invierte existe una pérdida a diferencia de los demás años donde se consigue un ahorro según se muestra en la Figura 5.1.

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

Figura 5. 1: Flujo de caja proyectada



### 5.3.2-Determinación de la tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno arroja un valor de **53 %** (Apéndice F.5) que es superior a la tasa de interés utilizado para el estudio financiero del proyecto, correspondiente al 8.5 % [16], lo cual nos indica que el proyecto es viable.

### 5.3.3- Determinación del valor presente neto (VPN)

El valor presente neto es determinado en el Apéndice F.6 es del **31.154,07 USD**, donde se utilizó una tasa de interés del 8.5 %. Dado que  $VPN > 0$  [17] se puede concluir que el proyecto es rentable.

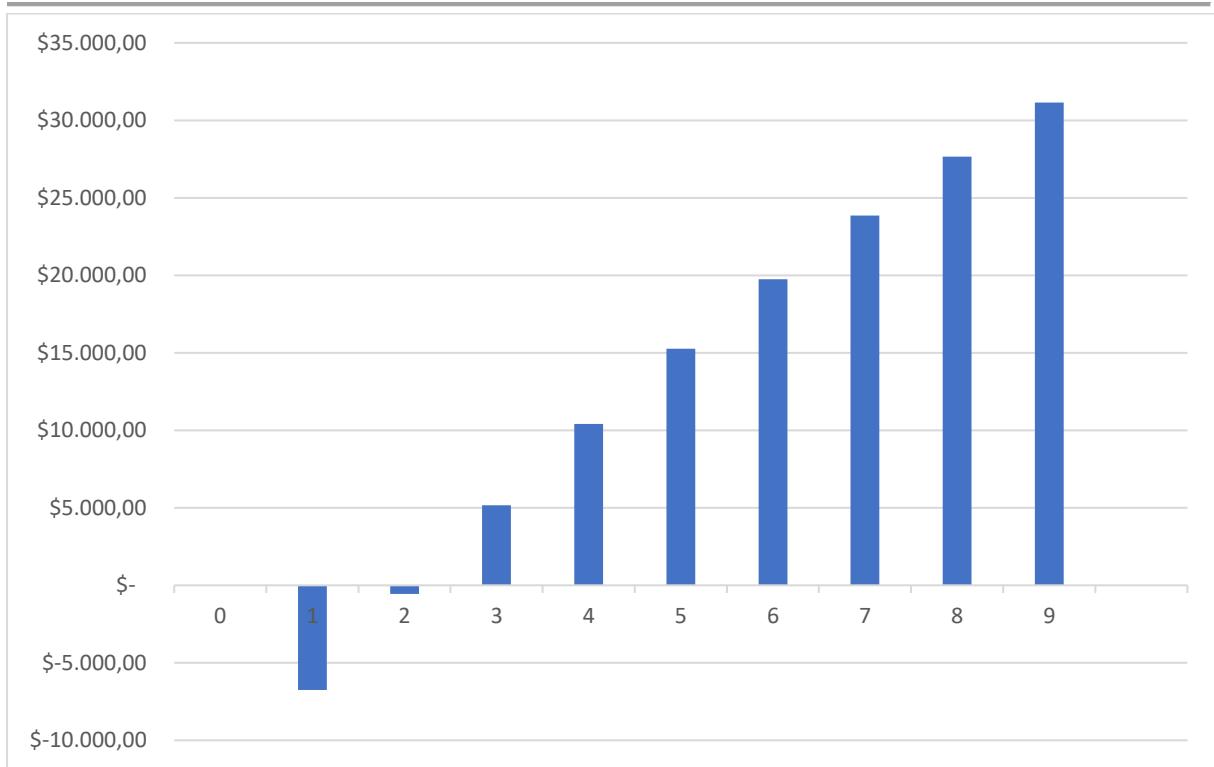
### 5.3.4- Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI)

El periodo de recuperación de la inversión está entre los 2 y 3 años, en la siguiente figura se muestra una representación gráfica del mismo.

Figura 5. 2: Período de recuperación de la inversión

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024



## **CAPÍTULO VI**

### **6-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1- Conclusiones**

El desarrollo de este trabajo ha culminado con éxito en la evaluación de los niveles de armónicos presentes en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo, proponiendo medidas efectivas de atenuación.

En lo que respecta a la recopilación de datos, se pudo relevar el tipo de cargas más empleadas en la empresa y se identificó que la mayoría de las cargas utilizadas son del tipo no lineal. Con respecto a la normativa vigente, se revisaron a nivel regional e internacional y se escogió la norma IEEE 519 - 2014 como norma base para realizar el trabajo.

Las mediciones se centraron en el tablero general de la zona de producción de la industria, designado como el Punto de Conexión Común (PCC) de acuerdo con la norma de referencia y se lograron medir con precisión las variables eléctricas más relevantes.

Se analizaron todos los datos recabados de las mediciones clasificando los fenómenos de manera gráfica y tabular, de esta manera se pudo observar el comportamiento de los mismos. Se pudo verificar, principalmente la tasa de distorsión de tensión, corriente y el orden de los armónicos y se encontró que los armónicos de tensión, se mantuvieron dentro de los límites establecidos en la norma. Sin embargo, la distorsión de corriente, evaluada a través de la Distorsión Total de Demanda (TDD) en cada fase, excedieron los límites establecidos en todas las mediciones realizadas.

Finalmente se evaluaron dos alternativas, describiendo en detalle cada una y analizando su viabilidad técnica y económica. Se concluye que el filtro activo se ajusta de manera óptima a los criterios técnicos y económicos establecidos para reducir los niveles de armónicos. Se procedió a dimensionar la alternativa seleccionada y se evaluó económicamente resultando una alternativa factible para la implementación.

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

## **6.2- Recomendaciones**

En esta sección se presentan las recomendaciones después de elaborar el trabajo

Este trabajo resalta la necesidad evidente de establecer una Norma Paraguaya que defina los límites de distorsión armónica en baja, media y alta tensión. En consecuencia, se recomienda a la entidad responsable de la elaboración de normativas que proceda a la creación de dicha norma.

Asimismo, se recomienda a la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo la implementación de la propuesta hecha en este proyecto.

Además, se recomienda a futuros estudiantes analizar el impacto que tendría la incorporación de filtros de armónicos en la red eléctrica.

Finalmente, se sugiere a los futuros estudiantes que utilicen este trabajo como un modelo para llevar a cabo un análisis de niveles de armónicos en otras instalaciones industriales.

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo  
Alexis Duarte Román – 2024**

## 7-APÉNDICE

### APÉNDICE A: MEDIDAS DE DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN

#### Apéndice A.1: Medidas de distorsión de tensión (V1)

*Tabla A. 1: Medidas de distorsión de tensión (V1)*

HARMO	Hz=50	MD=15	SEC=30	CT=1	INPUT=V1	SYS=3P4W	NO.=100	OPTION=%												
DATE	TIME	RMS	PEAK+	PEAK-	THD-F	VI_1	HZ	RANGE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
26/9/2023	06:10:02	222.9V	319.6V	-318.1V	1.20%	222.7V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.5	0	0.4	0	0.8	0	0	0	0.5
26/9/2023	06:10:12	223.1V	318.1V	-318.1V	1.10%	222.9V	50Hz	0 to 99	0	100	0.1	0.5	0	0.4	0	0.8	0	0.1	0	0.5
26/9/2023	06:10:22	223.0V	318.1V	-318.1V	1.10%	222.8V	50Hz	0 to 99	0	100	0.1	0.5	0	0.5	0	0.8	0	0.1	0	0.5
26/9/2023	06:10:32	223.1V	318.1V	-319.6V	1.20%	223.0V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.5	0	0.4	0	0.8	0	0.1	0	0.5
26/9/2023	06:10:42	223.2V	319.6V	-318.1V	1.20%	223.0V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.5	0	0.5	0	0.8	0	0.1	0	0.6
26/9/2023	06:10:52	223.3V	318.1V	-319.6V	1.20%	223.1V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.5	0	0.5	0	0.8	0	0.1	0	0.5
26/9/2023	06:11:02	223.2V	319.6V	-319.6V	1.10%	223.0V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.5	0	0.5	0	0.8	0	0.1	0	0.5
26/9/2023	06:11:12	223.3V	319.6V	-319.6V	1.10%	223.1V	50Hz	0 to 99	0	100	0.1	0.5	0	0.5	0	0.8	0	0.1	0	0.5
26/9/2023	06:11:22	223.3V	319.6V	-319.6V	1.10%	223.1V	50Hz	0 to 99	0	100	0.1	0.4	0	0.5	0	0.7	0	0.2	0	0.5
26/9/2023	06:11:32	223.2V	319.6V	-319.6V	1.10%	223.0V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.5	0	0.5	0	0.7	0	0.1	0	0.5
26/9/2023	06:11:42	223.2V	321.0V	-321.0V	1.20%	223.0V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.5	0	0.5	0	0.8	0	0.2	0	0.6

#### Apéndice A.2: Medidas de distorsión de tensión (V2)

*Tabla A. 2: Medidas de distorsión de tensión (V2)*

HARMO	Hz=50	MD=15	SEC=30	CT=1	INPUT=V2	SYS=3P4W	NO.=100	OPTION=%												
DATE	TIME	RMS	PEAK+	PEAK-	THD-F	VI_1	HZ	RANGE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
27/9/2023	06:21:50	214.6V	306.3V	-309.3V	1.20%	214.4V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.4	0	0.7	0	0.9	0	0.1	0	0.4
27/9/2023	06:21:52	214.5V	307.8V	-307.8V	1.20%	214.4V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.4	0	0.7	0	0.9	0	0.1	0	0.4
27/9/2023	06:21:54	214.5V	304.8V	-309.3V	1.20%	214.3V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.4	0	0.7	0	0.9	0	0.2	0	0.4
27/9/2023	06:21:58	214.6V	306.3V	-307.8V	1.30%	214.4V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.5	0	0.7	0	0.9	0	0.1	0	0.4
27/9/2023	06:22:00	214.5V	307.8V	-307.8V	1.20%	214.3V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.4	0	0.7	0	0.9	0	0.1	0	0.3
27/9/2023	06:22:02	214.5V	306.3V	-307.8V	1.20%	214.3V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.4	0	0.7	0	0.9	0	0.1	0	0.4
27/9/2023	06:22:06	214.3V	307.8V	-307.8V	1.20%	214.1V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.4	0	0.7	0	0.9	0	0.1	0	0.3
27/9/2023	06:22:08	214.3V	306.3V	-307.8V	1.20%	214.1V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.5	0	0.7	0	0.9	0	0.1	0	0.3
27/9/2023	06:22:10	214.0V	304.8V	-307.8V	1.20%	213.8V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.4	0	0.7	0	0.9	0	0.1	0	0.3
27/9/2023	06:22:14	214.1V	304.8V	-307.8V	1.20%	213.9V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.4	0	0.7	0	0.9	0	0	0	0.3
27/9/2023	06:22:16	214.3V	304.8V	-307.8V	1.20%	214.1V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.4	0	0.7	0	0.9	0	0.1	0	0.3

#### Apéndice A.3: Medidas de distorsión de tensión (V3)

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo  
Alexis Duarte Román – 2024**

*Tabla A. 3: Medidas de distorsión de tensión (V3)*

HARMO	Hz=50	MD=15	SEC=30	CT=1	INPUT=V3	SYS=3P4W	NO.=100	OPTION=%												
DATE	TIME	RMS	PEAK+	PEAK-	THD-F	Vl_1	HZ	RANGE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
29/9/2023	06:29:51	214.7V	314.2V	-314.7V	3.30%	214.4V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.6	0	1.3	0	1.7	0	0.5	0	2.3
29/9/2023	06:29:54	214.8V	318.7V	-316.2V	3.20%	214.5V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.6	0	1.3	0	1.7	0	0.5	0	2.3
29/9/2023	06:29:56	214.7V	315.7V	-313.2V	3.30%	214.4V	50Hz	0 to 99	0	100	0.1	0.6	0	1.4	0	1.7	0	0.5	0	2.4
29/9/2023	06:29:58	214.7V	317.2V	-316.2V	3.30%	214.4V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.6	0	1.3	0	1.7	0	0.5	0	2.4
29/9/2023	06:30:02	214.7V	317.2V	-314.7V	3.30%	214.4V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.6	0	1.3	0	1.7	0	0.5	0	2.4
29/9/2023	06:30:04	214.9V	315.7V	-314.7V	3.30%	214.6V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.6	0	1.3	0	1.7	0	0.5	0	2.4
29/9/2023	06:30:06	214.9V	315.7V	-314.7V	3.40%	214.5V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.6	0	1.4	0	1.7	0	0.5	0	2.4
29/9/2023	06:30:10	214.7V	318.7V	-314.7V	3.30%	214.4V	50Hz	0 to 99	0	100	0.1	0.6	0	1.4	0	1.7	0	0.5	0	2.4
29/9/2023	06:30:12	214.7V	315.7V	-313.2V	3.30%	214.4V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.6	0	1.3	0	1.7	0	0.5	0	2.4
29/9/2023	06:30:14	214.0V	312.8V	-313.2V	3.40%	213.7V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.6	0	1.3	0	1.8	0	0.5	0	2.4
29/9/2023	06:30:16	214.0V	314.2V	-313.2V	3.30%	213.7V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.6	0	1.3	0	1.7	0	0.5	0	2.4
29/9/2023	06:30:20	214.2V	315.7V	-313.2V	3.30%	213.9V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.7	0	1.3	0	1.7	0	0.5	0	2.3
29/9/2023	06:30:22	214.5V	317.2V	-314.7V	3.40%	214.2V	50Hz	0 to 99	0	100	0	0.6	0	1.3	0	1.7	0	0.5	0	2.5



**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**  
Alexis Duarte Román – 2024

*Tabla B. 2: Medidas de distorsión de corriente (Fase 2)*

HARMO	HZ=50	MD=15	SEC=30	CT=1	VT=1	INPUT=12	SYS=3P4W	NO.=100	OPTION=%													
DATE	TIME	RMS	PEAK+	PEAK-	THD-F	VI_1	HZ	RANGE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27/9/2023	06:23:59	141.6	218.4A	-210.9A	14.60%	140.1	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.3	2.6	0	10.4	0.3	7.8	0	0.6	0	2.6	0	5.1
27/9/2023	06:24:29	116.4	169.5A	-191.4A	18.40%	114.6	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.4	3.6	0.6	12.9	0.6	9.8	0.4	1.3	0.4	3.9	0	6.2
27/9/2023	06:24:59	131.4	198.9A	-210.9A	16.50%	129.6	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.3	3	0	12	0	8.6	0	1.2	0.3	3.2	0	5.1
27/9/2023	06:25:29	120	189.0A	-191.4A	17.10%	118.2	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.4	3.4	0	12.5	0	8.7	0.5	0.9	0	3.8	0.4	5.1
27/9/2023	06:25:59	137.1	208.8A	-210.9A	15.00%	135.6	50.0Hz	0 to 20	0	100	1.3	2.8	0.5	11.1	0.5	7.6	0.5	0.8	0.5	2.5	0	4.9
27/9/2023	06:26:29	118.5	179.4A	-191.4A	17.50%	116.7	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.6	3.1	0	12.7	0	9	0	1.1	0	3.9	0.7	5.5
27/9/2023	06:26:59	134.7	198.9A	-210.9A	15.80%	132.9	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.8	3.2	0.3	12	0.3	8.1	0.5	0.8	0	1.9	0.5	4.4
27/9/2023	06:27:29	138.3	208.8A	-210.9A	16.10%	136.5	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.3	3.3	0	12.3	0	8.5	0	0.9	0	1.9	0	4.2
27/9/2023	06:27:59	139.5	218.4A	-220.5A	15.60%	137.7	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.3	3.4	0.3	12.3	0	7.6	0	0.9	0	1.9	0	3.9
27/9/2023	06:28:29	172.5	257.7A	-269.1A	12.90%	171	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.3	2.3	0	10.2	0.3	6.9	0	1.4	0.4	1.4	0.4	2.3
27/9/2023	06:28:59	204	297.0A	-307.8A	10.80%	202.8	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.5	1.9	0.2	8.5	0.2	5.6	0.3	0.5	0	1.6	0.3	2.2
27/9/2023	06:29:29	231.3	326.4A	-336.9A	9.30%	230.4	50.0Hz	0 to 20	0	100	0	1.6	0.3	7.3	0	4.9	0.5	0.6	0	1.3	0	1.8
27/9/2023	06:29:59	223.5	316.5A	-317.7A	9.90%	222.3	50.0Hz	0 to 20	0	100	0.6	1.9	0	7.8	0	5.2	0	0.5	0	1.3	0	2.1

**Apéndice B.4: Medidas de distorsión de corriente (Fase 3)**

*Tabla B. 3: Medidas de distorsión de corriente (Fase 3)*

HARMO	HZ=50	MD=15	SEC=30	CT=1	VT=1	INPUT=13	SYS=3P4W	NO.=100	OPTION=%													
DATE	TIME	RMS	PEAK+	PEAK-	THD-F	VI_1	HZ	RANGE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
28/9/2023	06:52:09	298.2	443.4A	-443.4A	14.20%	294.9	50Hz	0 to 20	0	100	0.1	0.5	0	9.9	0.2	7.5	0.2	1.3	0.3	6.4	0.2	2.1
28/9/2023	06:52:13	324.9	472.8A	-482.4A	12.60%	322.2	50Hz	0 to 20	0	100	0	0.5	0.2	8.8	0.1	6.7	0.1	1.1	0.3	5.8	0.2	2
28/9/2023	06:52:15	324.9	472.8A	-482.4A	12.80%	322.2	50Hz	0 to 20	0	100	0	0.5	0.2	8.9	0	6.8	0	1	0.1	5.8	0.3	2.2
28/9/2023	06:52:19	308.1	453.3A	-453.3A	13.40%	305.1	50Hz	0 to 20	0	100	0.2	0.6	0.2	9.4	0	7.3	0.2	1.1	0.2	5.7	0.2	2.3
28/9/2023	06:52:23	278.4	424.2A	-424.2A	14.60%	274.8	50Hz	0 to 20	0	100	0.4	0.8	0.2	10.1	0.1	8	0.3	1.1	0.3	6.4	0.2	2.4
28/9/2023	06:52:25	279.9	405.0A	-424.2A	14.40%	276.6	50Hz	0 to 20	0	100	0.6	0.7	0.2	10	0	7.7	0	1.3	0.3	6.3	0.3	2.5
28/9/2023	06:52:29	288.3	424.2A	-424.2A	13.80%	285.3	50Hz	0 to 20	0	100	0.2	0.6	0.3	9.7	0	7.4	0.1	1.1	0.3	6	0.2	2.6
28/9/2023	06:52:31	288	424.2A	-424.2A	13.70%	285	50Hz	0 to 20	0	100	0.1	0.6	0.1	9.7	0.1	7.3	0	1.2	0.2	5.9	0.1	2.3
28/9/2023	06:52:33	283.8	433.8A	-424.2A	13.70%	280.8	50Hz	0 to 20	0	100	0.2	0.9	0.2	9.6	0.4	7.4	0	1.1	0.2	5.8	0.1	2.8
28/9/2023	06:52:35	282.9	424.2A	-424.2A	13.80%	279.9	50Hz	0 to 20	0	100	0.1	0.8	0.4	9.6	0.1	7.5	0	1.1	0	6.1	0	2.4
28/9/2023	06:52:39	280.5	414.6A	-424.2A	13.80%	277.2	50Hz	0 to 20	0	100	0.2	0.7	0.3	9.5	0	7.7	0	1.3	0.2	5.9	0.1	2.6
28/9/2023	06:52:41	270.3	405.0A	-405.0A	14.50%	267	50Hz	0 to 20	0	100	0.2	0.8	0.3	10	0	7.9	0.2	1.1	0.3	6.4	0.1	2.8
28/9/2023	06:52:43	269.7	405.0A	-405.0A	14.60%	266.4	50Hz	0 to 20	0	100	0.3	0.8	0.3	9.8	0	8	0.1	1.3	0	6.6	0.1	2.8

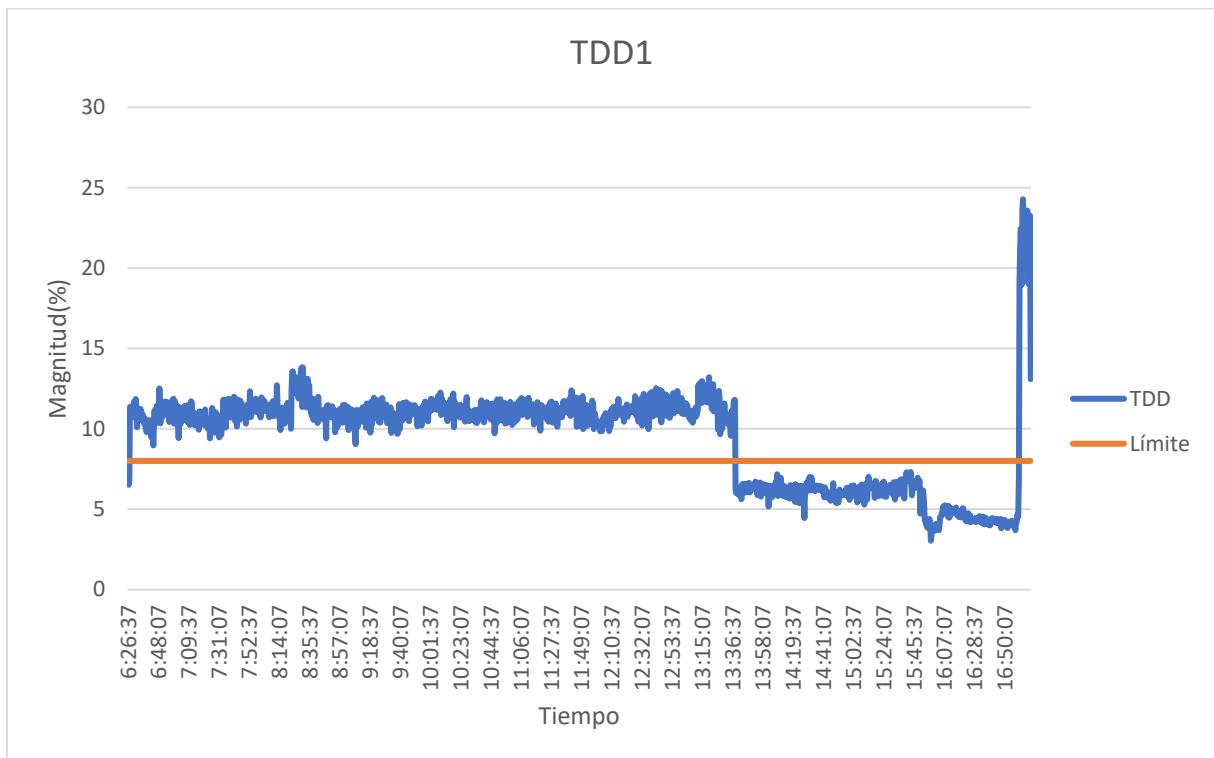
**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

**APÉNDICE C: TDD CALCULADO DE CADA FASE CON BASE EN  
LAS MEDIDAS OBTENIDAS**

**Apéndice C.1: TDD1 calculado a partir de mediciones obtenidas**

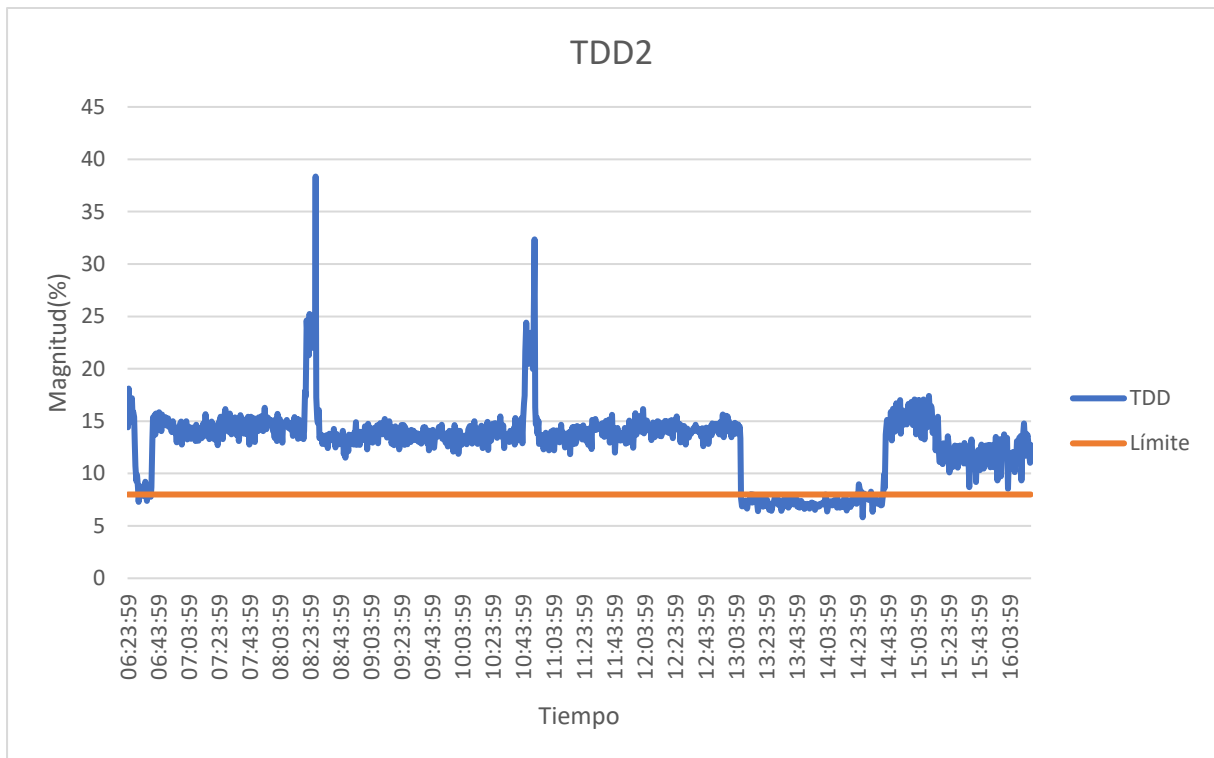
*Figura C. 1: TDD1 calculado a partir de mediciones obtenidas*



**Apéndice C.2: TDD2 calculado a partir de mediciones obtenidas**

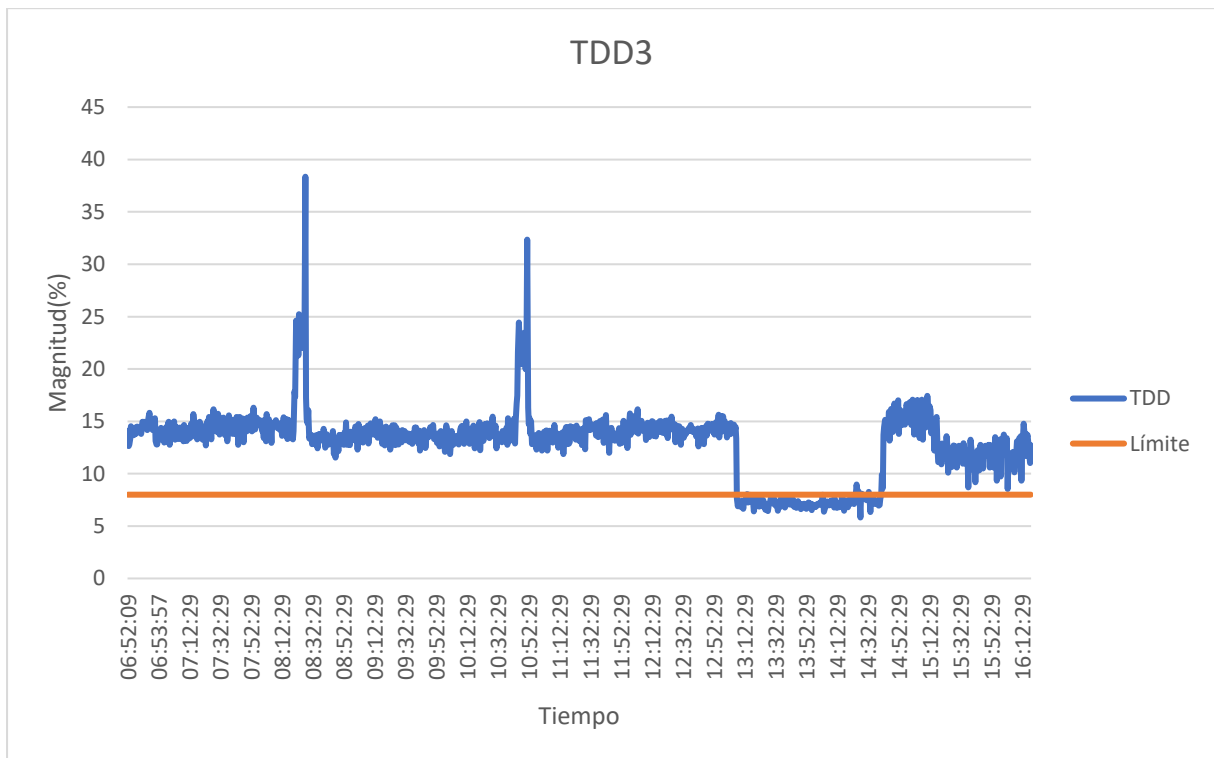
**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**  
Alexis Duarte Román – 2024

*Figura C. 2: TDD2 calculado a partir de mediciones obtenidas*



**Apéndice C.3: TDD3 calculado a partir de mediciones obtenidas**

*Figura C. 3: TDD3 calculado a partir de mediciones obtenidas*



**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

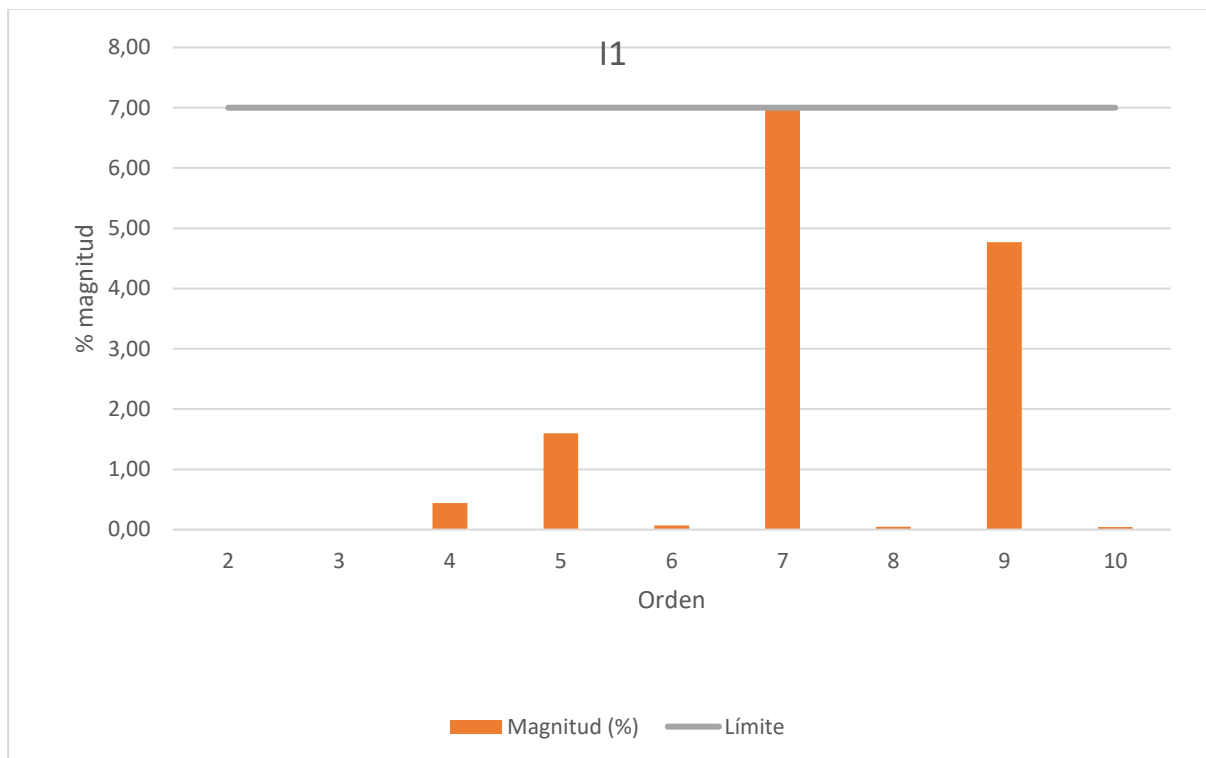
Alexis Duarte Román – 2024

---

**APÉNDICE D: ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE**

**Apéndice D.1: Armónicos individuales de corriente (Fase 1)**

*Figura D. 1: Armónicos individuales de corriente (Fase 1)*

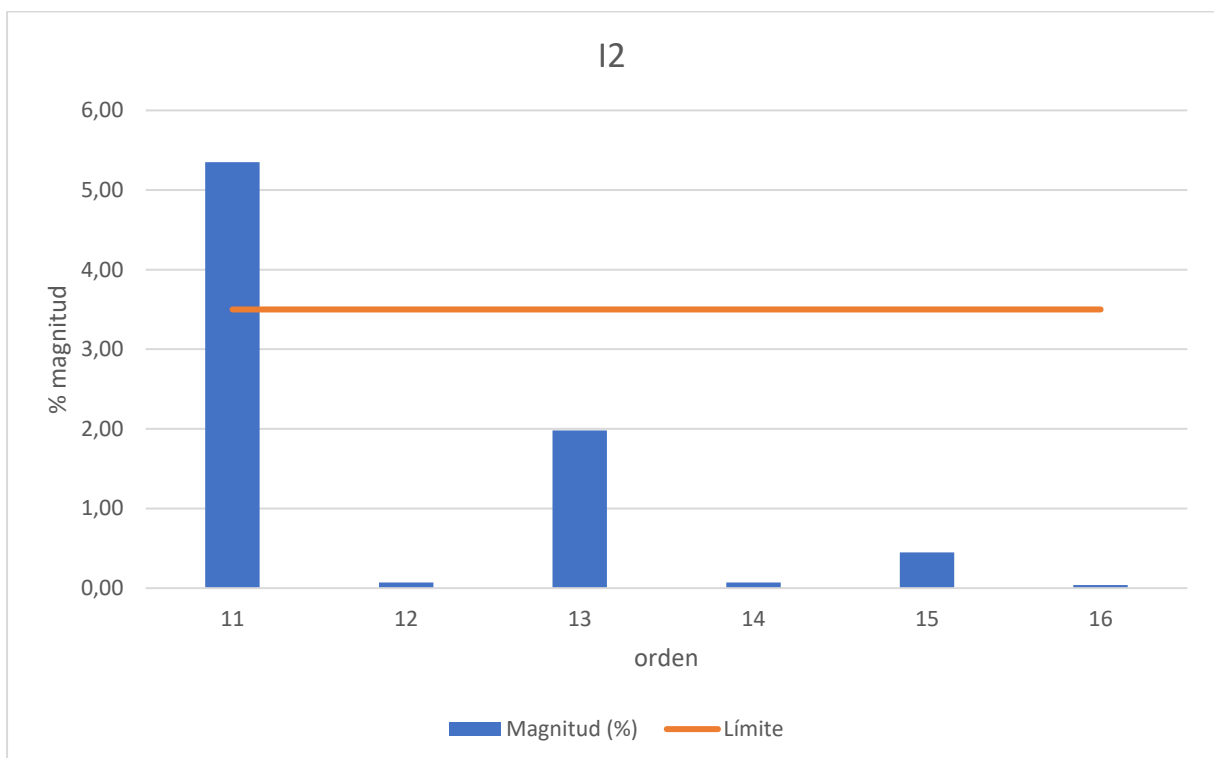
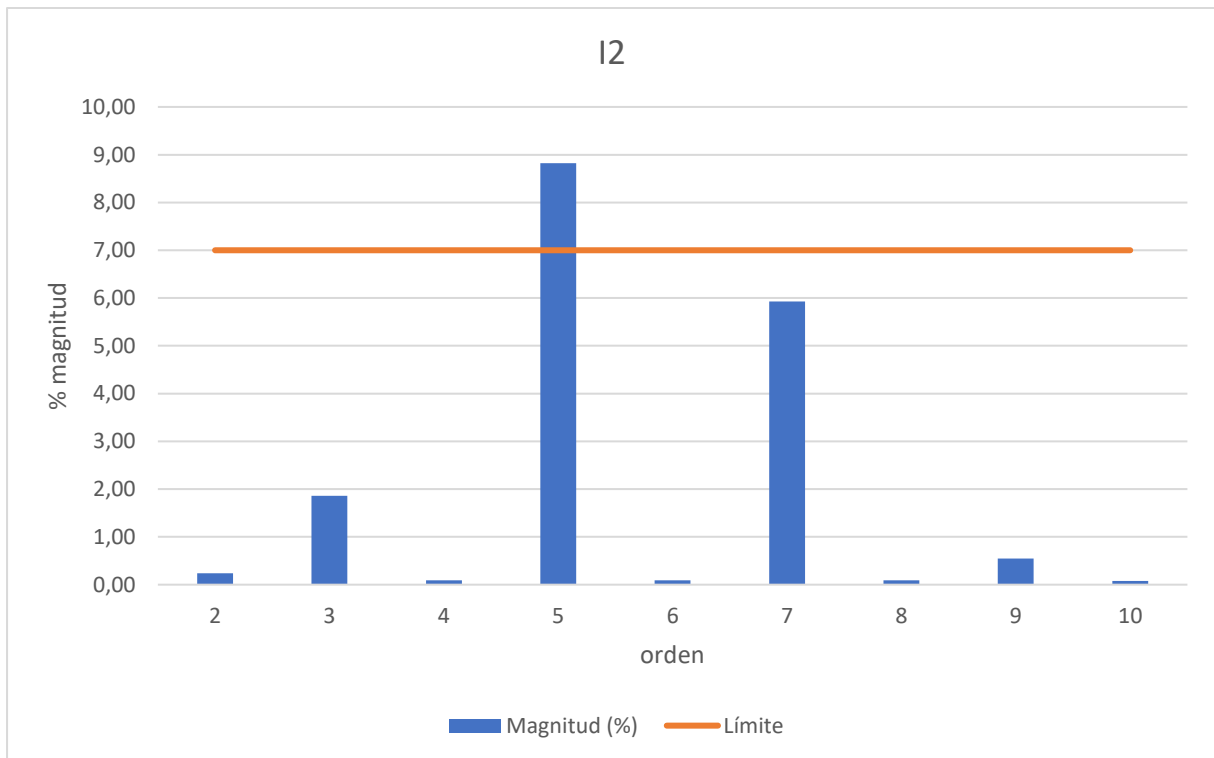


**Apéndice D.2: Armónicos individuales de corriente (Fase 2)**

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

*Figura D. 2: Armónicos individuales de corriente (Fase 2)*

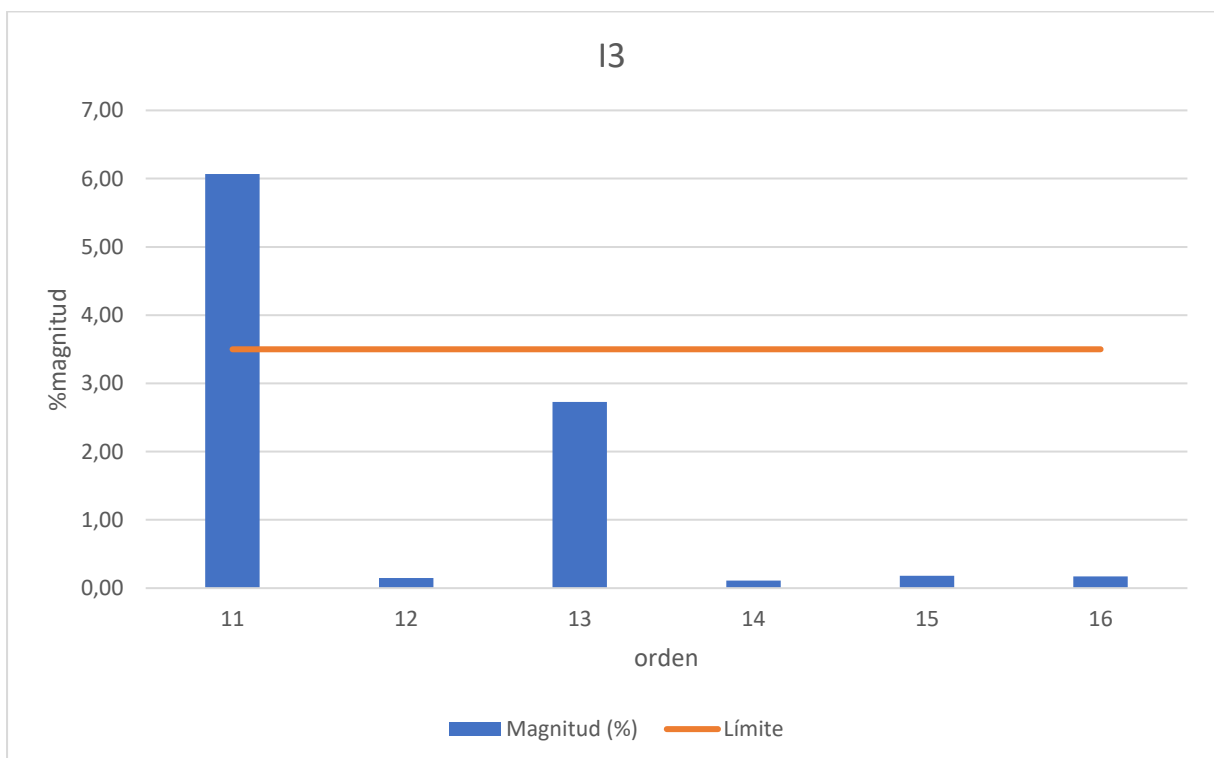
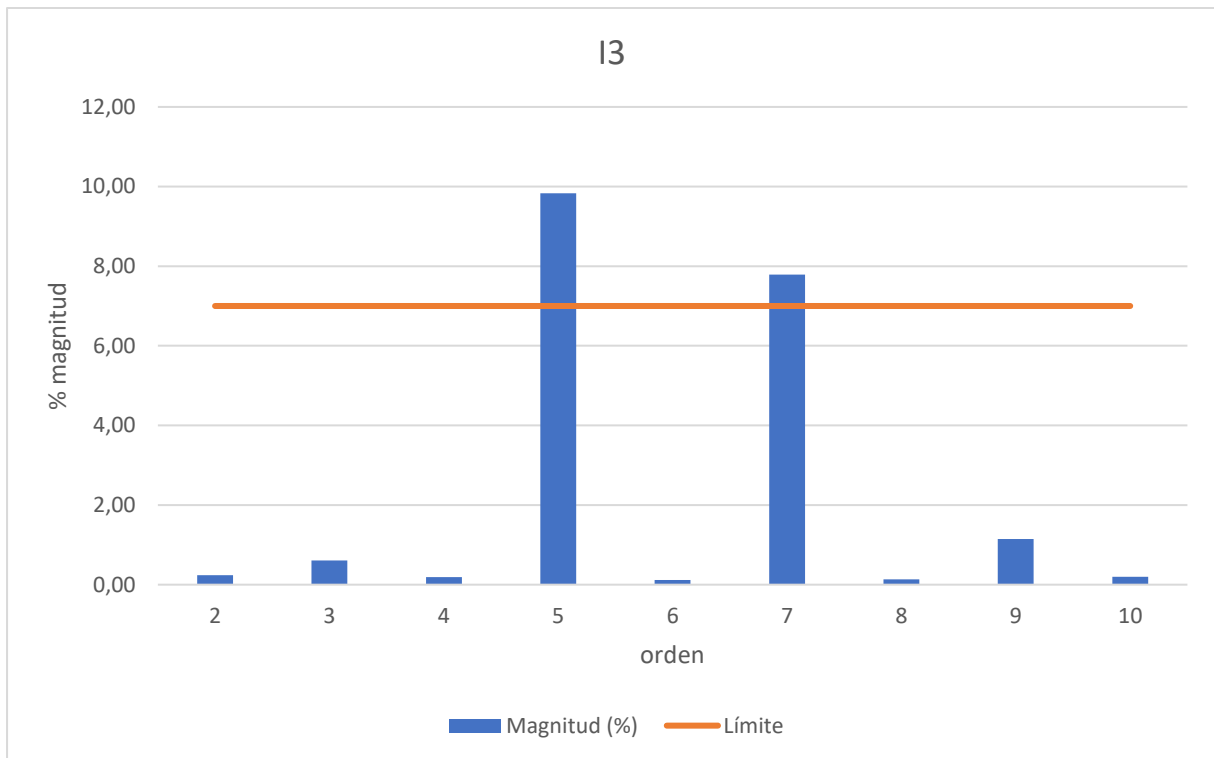


**Apéndice D.3: Armónicos individuales de corriente (Fase 3)**

# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

Figura D. 3: Armónicos individuales de corriente (Fase 3)



**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

**APÉNDICE E: DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA  
SELECCIONADA**

El dimensionamiento del filtro, viene dada por la siguiente formula:

$$I_{\text{FILTRO}}(\text{AFQm}) = [F_{S_h} * I_{\text{CARGA}} * \text{THD(I)}]$$

Donde:

I<sub>Filtro</sub>(AFQm): corriente nominal del filtro activo.

F<sub>Sh</sub>: factor de seguridad > 1.2

I<sub>CARGA</sub>: corriente máxima de la carga.

THD(I): distorsión armónica de la corriente de carga [12].

Si 0<THDV<5 % hay que aplicar un factor de seguridad de 1,2

Si THDV=5 % aplicar un factor de seguridad de 1,5

Si THDV > 5 aplicar 1,8-2 [18].

I<sub>carga</sub>: 318.2A

THDv: 3.31%

THDi: 13.1%

F<sub>sh</sub>: 1.2

$$I_{\text{FILTRO}}(\text{AFQm}) = [F_{S_h} * I_{\text{CARGA}} * \text{THD(I)}]$$

$$I_{\text{filtro}} = 1.2 \times 318.2\text{A} \times 0.131$$

$$I_{\text{filtro}} = 50.1\text{A}$$

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

---

## APÉNDICE F: ANÁLISIS ECONÓMICO

### Apéndice F.1: Ahorro por multa de aumento de potencia contratada

Para este cálculo se tuvo en cuenta el pago de la factura en concepto de multa proporcionado por el Jefe de Planta. El cálculo se realiza teniendo en cuenta cada mes y finalmente se obtiene para cada año. En la siguiente tabla se aprecia el cálculo realizado.

*Tabla F. 1: Ahorro por multa de aumento de potencia contratada*

Costo mensual (Gs)	Meses	Costo anual (Gs)
1.500.000	12	18.000.000

Que equivale a **2.430,41 USD**

### Apéndice F.2: Ahorro por avería de componentes electrónicos

Para este cálculo se tuvo en cuenta las informaciones proporcionadas por el Jefe de Planta. Según esta información, que se registra en el inventario de aparatos defectuosos, se obtuvo un promedio de avería 3 veces en un año. En la siguiente tabla se aprecia el cálculo realizado.

*Tabla F. 2: Ahorro por avería de componentes electrónicos*

Componentes averiados	Costo Unitario (Gs)	
Variador de frecuencia 0.75kw 240VCA ABB	1.500.000	
Variador de frecuencia 15kw 400VCA ABB	9.600.000	
UPS Forza 1000VA/600W – 220v	900.000	
<b>Total</b>	<b>12.000.000</b>	
Costo mensual (Gs)	Meses	Costo anual (Gs)
12.000.000	3	36.000.000

Que equivale a **4.860,82 USD**

### Apéndice F.3- Detalle de costos del proyecto

Los costos asociados a la alternativa seleccionada se obtuvieron a través de la empresa MGI Ingeniería, incluyendo el costo de los equipos como el de la mano de obra. Asimismo, el costo de envío se considera seleccionando la opción más rentable

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

entre varias empresas de encomiendas. Teniendo en cuenta lo dicho en 4.7.1.1, se estima que el costo para la realización de mantenimientos preventivos es lo que se observa en la siguiente tabla:

*Tabla F. 3: Detalle de costos del proyecto*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Filtro activo Sinexcel AHF 060	1	9.450	9.450
Mantenimientos preventivos	2	270,2	540,4
Transporte	1	22,68	22,68
Mano de obra	1	2.835	2.835
Transformador de corriente	3	79	237
Imprevistos (3 % total)	1	376,34	376,34
<b>Total (USD)</b>			<b>13.461,42</b>

**Apéndice F.4: Determinación del flujo de caja proyectada**

El flujo de caja proyectada, teniendo en cuenta las inversiones y beneficios previstos y con un horizonte de 10 años, se puede visualizar en la tabla siguiente:

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

*Tabla F. 4: Flujo de caja proyectada*

<b>Año</b>	<b>Egreso</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Flujo de caja</b>
0	USD 13 461.42	USD -	USD -13 461.42
1	USD -	USD 7 291.23	USD 7 291.23
2	USD -	USD 7 291.23	USD 7 291.23
3	USD -	USD 7 291.23	USD 7 291.23
4	USD -	USD 7 291.23	USD 7 291.23
5	USD -	USD 7 291.23	USD 7 291.23
6	USD -	USD 7 291.23	USD 7 291.23
7	USD -	USD 7 291.23	USD 7 291.23
8	USD -	USD 7 291.23	USD 7 291.23
9	USD -	USD 7 291.23	USD 7 291.23

**Apéndice F.5: Tasa interna de rendimiento (TIR)**

Aplicando la fórmula incluida en Excel se obtiene un TIR del **53 %**

**Apéndice F.6: Valor actual neto (VAN)**

Aplicando la fórmula incluida en Excel nos deja un excedente del **31.154,07 USD**

**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

**Apéndice G: Mediciones realizadas**

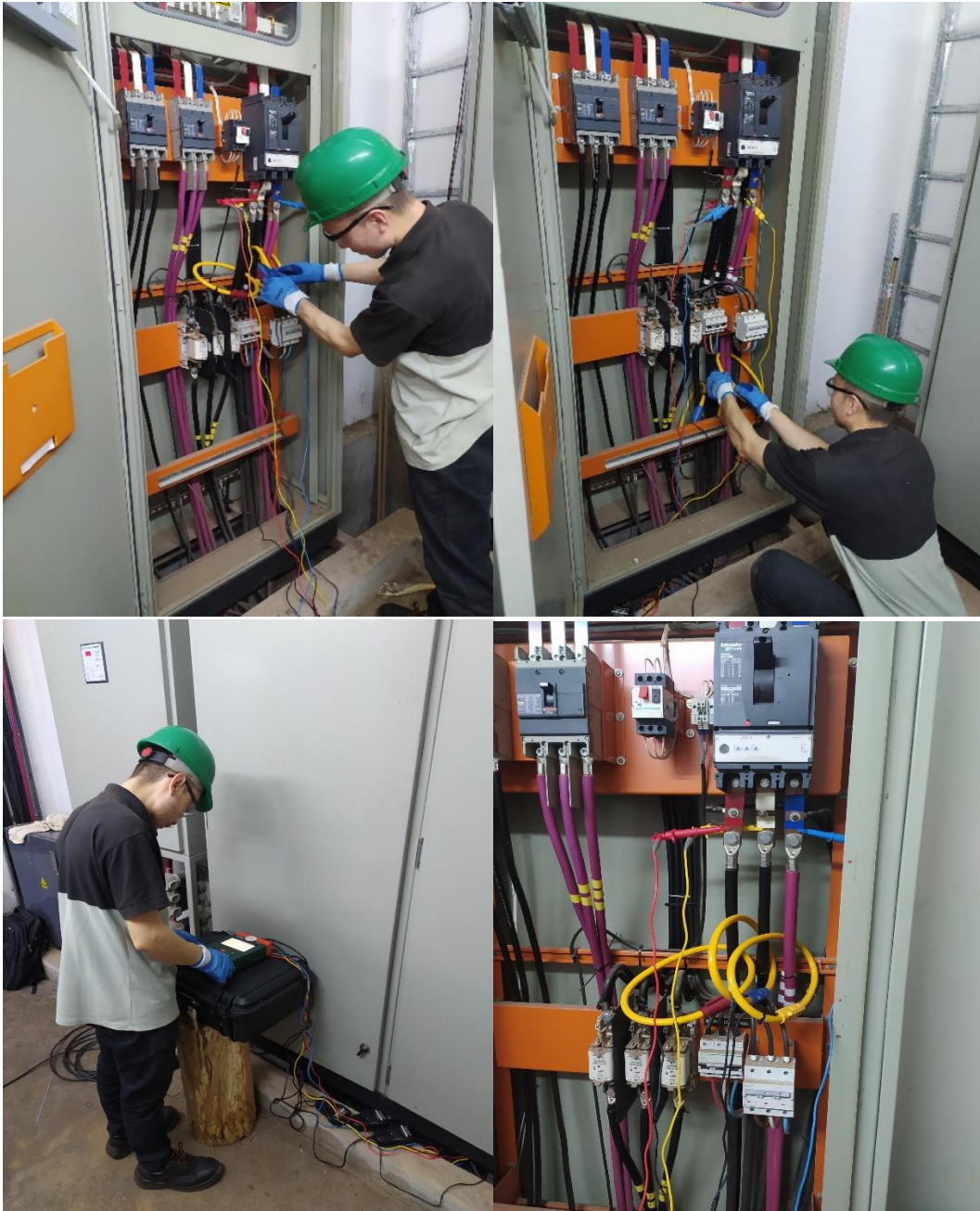
*Figura G. 1- Tablero General de la parte de producción*



**Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación  
en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal  
Coronel Oviedo**

Alexis Duarte Román – 2024

*Figuras G. 2- Conexión y monitoreo del analizador de redes*



# Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo

Alexis Duarte Román – 2024

## 8- BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. A. Galeano Rios y G. R. Servian Romero, Dimensionamiento de Filtros de Armónicos para una Industria Minera de Criptomonedas, Ciudad del Este, 2023.
- [2] V. Miltos, Análisis de los niveles de armónicos en la red de distribución de baja tensión de la ciudad de Coronel Oviedo y propuesta de medidas de atenuación de los mismos, Coronel Oviedo, 2023.
- [3] R. Ríos y M. Sánchez Quintana, «Incidencias de Cargas No Lineales en Transformadores de Distribución,» *Revista Científica de la UCSA*, p. 19.
- [4] J. D. Arcila, «Armónicos en Sistemas Eléctricos,» p. 26.
- [5] D. E. Segura Wilches y J. R. Merchán Rojas, «METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES DE BAJA TENSIÓN CON CARGA INSTALADA MAYOR A 1 MVA,» Bogotá, 2017.
- [6] S. Carrasquilla Becerra, «Análisis de armónicos en Redes Residenciales,» Pereira, 2017.
- [7] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power systems, New York, 2014.
- [8] TME, «TMe,» [En línea]. Available: [https://www.tme.eu/Document/ea2c412e119d1a6e757f48121abd8c4b/PQ3350\\_UMsp.pdf](https://www.tme.eu/Document/ea2c412e119d1a6e757f48121abd8c4b/PQ3350_UMsp.pdf).
- [9] S. Electric, Manual teórico-práctico de instalaciones en Baja Tensión.
- [10] J. W. Parra Betancour y H. R. Toro Bolívar, ESTUDIO DE DISTORSIÓN ARMÓNICA Y FACTOR DE POTENCIA EN LA RED DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE UNA MÁQUINA PAPELERA, Santiago de Cali, 2009.
- [11] S. Electric, Cuaderno Técnico nº 199. La calidad de la energía eléctrica.
- [12] Circutor, Manual de instrucciones de Filtro Activo Paralelo Multifunción.
- [13] I. E. T. Ramírez, «Distorsión armónica,» Mexico, p. 31.
- [14] J. R. Luque, Calidad de suministro eléctrico. Penetración de armónicos. Mitigación de sus efectos en las plantas industriales, Madrid, 2013.
- [15] S. Group, Manual de instalación y de usuario. Filtros pasivos de armónicos.
- [16] D. Macro, «Datos Macro,» [En línea]. Available: <https://datosmacro.expansion.com/tipo-interes/paraguay>.
- [17] J. S., «Economía 3,» [En línea]. Available: <https://economia3.com/valor-actual-neto/>.
- [18] Circutor, «Circutor,» [En línea]. Available: <https://circutor.com/soporte/formacion/notebooks/armonicos-electricos/>.