

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Diseño de un filtro híbrido para la
mejora del nivel total de distorsión
armónica en el Pabellón I de la
Universidad Continental - 2023**

Johan Nilo Espinoza Ochoa
Marcelo Samuel Espinoza Toribio

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental

Tesis digital



Esta obra está bajo una licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional"

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Edgar Junnyor Ponce Medrano
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 25 de Julio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

DISEÑO DE UN FILTRO HÍBRIDO PARA LA MEJORA DEL NIVEL TOTAL DE DISTORSION ARMÓNICA EN EL PABELLÓN I DE LA UNIVERSIDAD CONTINENTAL - 2023

Autores:

1. ESPINOZA OCHOA JOHAN NILO – EAP. Ingeniería Eléctrica
2. ESPINOZA TORIBIO MARCELO SAMUEL – EAP. Ingeniería Eléctrica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|--|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas 20 (en caso de elegir "SI"): | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecerle a Dios por darnos la fuerza
para dar fin a este proyecto.

A nuestros padres por estar a nuestro lado en cada una
de nuestras batallas y en esta, quienes fueron
incondicionales.

DEDICATORIA

En primer lugar, a mis padres, por haber estado presente en
cada etapa de mi vida; lo que soy se los debo a

ustedes.

(Espinoza Ochoa Johan Nilo)

En primer lugar, agradecerle a Dios por darme la entereza de
culminar con este proyecto; en segundo lugar, a mi
familia quienes me dieron su apoyo

incondicional.

(Espinoza Toribio Marcelo Samuel)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1. Problema general	15
1.1.2. Problemas específicos.....	15
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general	15
1.2.2. Objetivos específicos.....	15
1.3. Justificación e importancia.....	15
1.3.1. Justificación técnica.....	15
1.3.2. Justificación económica.....	16
1.3.3. Justificación teórica	17
1.3.4. Justificación tecnológica	17
1.3.5. Importancia de la investigación.....	17
1.4. Alcances de la investigación	18
1.4.1. Alcance temporal.....	18
1.4.2. Alcance geográfico	18
1.5. Limitaciones.....	18
1.5.1. Limitaciones bibliográficas.....	18
1.6. Hipótesis.....	19

1.6.1.	Hipótesis general.....	19
1.6.2.	Hipótesis específicas.....	19
1.7.	Descripción y operacionalización de variables.....	20
CAPÍTULO II		21
MARCO TEÓRICO		21
2.1.1.	Artículos científicos:.....	21
2.1.2.	Tesis:.....	23
2.2.	Bases teóricas	26
2.2.1.	Perturbaciones	26
2.2.1.1.	Amplitud	27
2.2.1.2.	Forma de onda	29
2.2.1.3.	Simetría del sistema	30
2.2.1.4.	Frecuencia.....	31
2.2.2.	Armónicos:	31
2.2.2.1.	Origen de los armónicos	31
2.2.2.2.	Efectos de los armónicos en las redes.....	33
2.2.2.3.	Teorema de Fourier	33
2.2.2.4.	Espectro de Fourier	34
2.2.2.5.	Orden de los armónicos.....	34
2.2.2.6.	Secuencia.....	34
2.2.2.7.	Total de distorsión armónica	35
2.2.3.	Entorno normativo y reglamentario	36
2.2.3.1.	Normas de equipos.....	36
2.2.3.2.	Norma de calidad de redes eléctricas	36
2.2.3.3.	Normas de compatibilidad	37
2.2.4.	Atenuación armónica	37
2.2.5.	Topología de filtros para compensación de armónicos.	38
2.2.5.1.	Filtros pasivos.....	38

2.2.5.2. Filtros activos.....	41
2.2.5.3. Filtros híbridos	48
2.3. Definición de términos básicos	49
METODOLOGÍA	50
CAPÍTULO IV	53
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	53
4.1. Identificación de la necesidad problema e identificación de requerimientos ..	53
4.2. Propuesta de solución.....	56
4.2.1. Diseño de filtros pasivos sintonizados	56
4.2.1.1. Diseño del filtro pasivo (tercer orden):	56
4.2.1.2. Diseño de filtro pasivo (quinto orden):.....	58
4.2.2. Diseño de filtros pasivos pasa bajo.....	59
4.2.2.1. Diseño del filtro pasivo (tercer orden)	59
4.2.2.2. Diseño del filtro pasivo (quinto orden):.....	60
4.2.3. Diseño de filtros activo Butterworth.....	62
4.2.3.1. Diseño del filtro activo Butterworth de quinto orden	68
4.2.3.2. Diseño del filtro pasivo Butterworth de sexto orden	69
4.3. Simulación	70
4.3.1. Prueba de filtros pasivos del tercer armónico	70
4.3.2. Prueba de filtros pasivos de quinto armónico.....	71
4.3.3. Prueba del filtro activo Butterworth	73
CAPÍTULO IV	75
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	75
4.1. Resultados	75
4.1.1. Técnica de procesamiento de datos	76
4.2. Modelo matemático.	76
4.3. Conclusión del análisis	78
4.4. Prueba de normalidad y normalización de datos	79

4.5.	Prueba de hipótesis	79
4.6.	Contrastación de resultados	80
CAPÍTULO V		82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		82
5.1.	Conclusiones	82
5.2.	Recomendaciones	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		85
ANEXOS		78
ANEXO 1.....		78
ANEXO 2 MATRIZ METODOLÓGICA.....		80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables	20
Tabla 2. Características propias de la alimentación de BT	27
Tabla 3. Clasificación de equipos según norma EN 61000-3-2	32
Tabla 4. Límites de armónicos para equipos de clase A.....	32
Tabla 5. Límites de armónicos para equipos de clase C	32
Tabla 6. Límites de armónicos para equipos clase D	33
Tabla 7. Efectos de los armónicos en la red eléctrica.....	33
Tabla 8. Secuencia de los armónicos.....	35
Tabla 9. Porcentaje de voltaje de armónicos individuales en puntos de conexión del suministro.....	36
Tabla 10. Tabla normalizada sobre valores críticos de diseño del filtro Butterworth	46
Tabla 11. Factor de amortiguamiento.....	46
Tabla 12. Tabla normalizada sobre valores críticos de diseño del filtro Tschebyscheff	47
Tabla 13. Cálculo de la corriente y potencia de la sala de computo.....	54
Tabla 14. Armónicos predominantes en el sistema	55
Tabla 15. Prueba de T De Student - THD Antes Vs Después.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evaluación del THDI de una fase a lo largo del día	14
Figura 2. Ejemplos de perturbaciones eléctricas.	26
Figura 3. Clasificación de perturbaciones eléctricas.....	27
Figura 4. Duración de una variación de voltaje calificado como interrupción	28
Figura 5. Huecos de tensión	29
Figura 6. Onda con presencia de armónicos.	30
Figura 7. Alimentación aguas arriba de cargas no lineales.....	37
Figura 8. Reagrupación de cargas no lineales y alimentación lo más aguas arriba	38
Figura 9. Alimentación de cargas perturbadoras con transformador separado.....	38
Figura 10. Principio de conexión de un filtro pasivo.....	39
Figura 11. Conexión del filtro activo	41
Figura 12. Respuesta de un filtro ideal pasa bajo.....	42
Figura 13. Filtro activo pasa bajo de 1° orden	42
Figura 14: Respuesta ideal de un filtro ideal pasa alto.	43
Figura 15. Circuito activo pasa alto típico.....	43
Figura 16. Respuesta de filtro activo pasa banda ideal.	44
Figura 17. Conexión típica de filtro pasa banda.....	44
Figura 18: Respuesta ideal de un filtro activo rechaza banda	44
Figura 19. Conexión típica de un filtro activo pasabanda	45
Figura 20. Gráfica típica de la función de transferencia en función de la frecuencia.....	45
Figura 21. Gráfica típica de la función de transferencia en función de la frecuencia.....	47
Figura 22. Conexión típica de un filtro híbrido	48
Figura 23. Diseño de pre-test y pos-test.....	50
Figura 24. Tendencia de comportamiento de los armónicos en salas de cómputo.....	55
Figura 25. Espectro de Fourier relacionado al comportamiento de los armónicos en salas de cómputo.	55
Figura 26. Diseño de filtro pasivo sintonizado para el armónico de tercer orden	57
Figura 27. Prueba de cumplimiento con la frecuencia del filtro pasivo sintonizado tercer armónico	57
Figura 28. Diseño de filtro pasivo sintonizado para el armónico de quinto orden	58
Figura 29. Prueba de cumplimiento con la frecuencia del filtro pasivo sintonizado quinto armónico	59
Figura 30. Diseño de filtro pasivo pasa bajo para el armónico de tercer orden.....	59
Figura 31. Prueba de cumplimiento con la frecuencia del filtro paso bajo del tercer armónico	60
Figura 32. Diseño de filtro pasivo pasa bajo para el armónico de quinto orden	61

Figura 33. Prueba de cumplimiento con la frecuencia filtro pasivo pasa bajo del quinto armónico.....	61
Figura 34:Entorno de trabajo LabVIEW.....	63
Figura 35:Entorno de trabajo LabVIEW.....	64
Figura 36:Configuración avanzada del LabVIEW.....	65
Figura 37:Configuración avanzada del LabVIEW.....	65
Figura 38:Configuración avanzada del LabVIEW.....	66
Figura 39:Configuración avanzada del LabVIEW.....	67
Figura 40. Gráfico sobre la respuesta de la magnitud del filtro activo Butterworth de orden 5.....	68
Figura 41. Gráfico de respuesta de fase del filtro activo Butterworth de orden 5.....	68
Figura 42. Gráfico sobre la respuesta de la magnitud del filtro activo Butterworth de orden 6.....	69
Figura 43. Gráfico de respuesta de fase del filtro activo Butterworth de orden 5.....	69
Figura 44. Onda fundamental y el tercer armónico.....	70
Figura 45. Señal filtrada por el filtro sintonizado sobre el tercer armónico.....	70
Figura 46.Señal filtrada por el filtro pasa bajo sobre el tercer armónico.....	71
Figura 47. Onda fundamental y el quinto armónico.....	71
Figura 48. Señal filtrada por el filtro sintonizado sobre el quinto armónico.....	72
Figura 49. Señal filtrada por el filtro pasa bajo sobre el quinto armónico.....	72
Figura 50. Señal filtrada por los filtros pasivos (tercer y quinto armónico).....	73
Figura 51. Espectro de Fourier de la señal filtrada por filtros pasivos, tercer y quinto armónico.....	73
Figura 52. Señal filtrada por el filtro activo Butterworth de orden 5.....	74
Figura 53. Señal Filtrada con el filtro Butterworth de 6 orden.....	74
Figura 54. Conexión del filtro activo pasa bajo (Butterworth).....	75
Figura 55. Espectro de Fourier de Señal Filtrada y THD final.....	75
Figura 56. Primera etapa modelo de componentes.....	76
Figura 57.Segunda etapa modelo de componentes.....	77
Figura 58. Tercera etapa modelo de componentes.....	78
Figura 59. Distribución de THD antes y después del filtro.....	79

RESUMEN

La presente investigación se centra en el diseño e implementación de un filtro híbrido con el objetivo de mitigar la Distorsión Armónica Total (THD) en el pabellón I del área de cómputo de la Universidad Continental. La presencia de cargas no lineales, como los equipos informáticos, constituye una fuente relevante de generación de armónicos que afecta negativamente la calidad de la energía eléctrica y la estabilidad operativa de los sistemas eléctricos. Conforme a lo establecido por la norma UNE-EN 50160, estos dispositivos se consideran entre los principales generadores de distorsión armónica, lo que puede conllevar a pérdidas tanto técnicas como económicas. El estudio comprende una revisión exhaustiva de la literatura nacional e internacional sobre problemáticas similares, en las cuales se han empleado distintas estrategias de mitigación, tales como: filtros pasivos, activos e híbridos. Asimismo, se analizan los marcos normativos pertinentes, incluyendo la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), con el fin de identificar los límites permisibles de THD. Mediante el uso de herramientas de simulación como Multisim y LabVIEW, se evaluaron diversas configuraciones topológicas de filtros pasivos e híbridos para determinar la solución más eficiente. El diseño propuesto permitió reducir el nivel de THD hasta un 3.39%, cumpliendo así con los criterios establecidos por las normas IEEE 519 y UNE-EN 50160.

Palabras clave: Total Harmonic Distortion, filtro híbrido, armónicos. filtro pasivo y filtro activos

ABSTRACT

This research focuses on the design and implementation of a hybrid filter aimed at mitigating Total Harmonic Distortion (THD) in Pavilion I of the Computer Science Department at Universidad Continental. The proliferation of nonlinear loads, particularly computer equipment, represents a significant source of harmonic generation that compromises power quality and the operational stability of electrical systems. In accordance with the UNE-EN 50160 standard, such equipment is classified among the most critical contributors to harmonic distortion, which may result in both technical inefficiencies and economic losses. The study includes a comprehensive review of existing national and international literature addressing similar challenges, wherein various harmonic mitigation strategies—passive, active, and hybrid filters—have been applied. Moreover, the research incorporates an analysis of regulatory frameworks, such as the Technical Quality Standard for Electrical Services (NTCSE), to establish the acceptable thresholds for THD. Through simulation tools including Multisim and LabVIEW, multiple topological configurations of passive and hybrid filters were evaluated to determine the most effective solution. The proposed hybrid filter design successfully reduced the THD level to 3.39%, thus meeting the compliance criteria established by IEEE 519 and UNE-EN 50160.

Keywords: Total Harmonic Distortion, hybrid filter, harmonics, passive filter, and active filter

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la distorsión armónica (THD) de la energía eléctrica incrementó con el transcurso del tiempo, esto debido a la incorporación de la electrónica en los sistemas eléctricos, el avance tecnológico y preocupación por convertir el mundo en una era digital en crecimiento continuo. Uno de los equipos que hoy en día es común tener en casa o en la oficina son las computadoras (PCs, por sus siglas en ingles “personal computer”), es principalmente este equipo común el cual tiene una gran cantidad de dispositivos electrónicos en su composición, al ser una sala de cómputo concentra una gran cantidad de carga no lineal e incrementa el nivel total de distorsión armónica que inyecta al sistema que ocasionan pérdidas entre económicas y técnicas, para combatir este problema se hace uso de distintos tipos de compensadores entre ellos se tienen los filtros pasivos, activos e híbridos estos se deben diseñar adecuadamente para su correcto funcionamiento, en tal sentido este trabajo se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál será el diseño de filtros híbridos que permita mejorar el nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas computo de la Universidad Continental? .

Por lo cual el trabajo de investigación se subdivide en lo siguiente:

El capítulo I, concierne al planteamiento del estudio, donde se aborda de forma detallada el problema general y lo que el estudio quiere lograr.

El capítulo II, corresponde al marco teórico el cual abarca estudios anteriores similares al presente, la teoría fundamental para la comprensión del estudio y conceptos fundamentales enfocados al objetivo de la investigación.

El capítulo III, corresponde a la metodología usada en el estudio, modelos, simulaciones, pruebas y similares, que corresponden al diseño del filtro híbrido.

El capítulo IV, corresponde a los resultados y análisis de los mismos, explicando los valores obtenidos en el estudio.

El capítulo V, corresponde al análisis económico concerniente al diseño y futura construcción del filtro.

Por último, se tienen las conclusiones de la investigación y proyección a trabajos futuros que complementen esta investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

En los últimos años, el concepto de calidad de potencia ha obtenido creciente relevancia en el ámbito de la ingeniería eléctrica, convirtiéndose en un tema de gran interés, tanto para las empresas generadoras y suministran energía eléctrica (1). El constante avance tecnológico ha impulsado la incorporación masiva de dispositivos electrónicos que, debido a su comportamiento no lineal, introducen distorsiones en las señales de corriente y tensión del sistema. Estas distorsiones afectan negativamente la calidad de potencia y, en consecuencia, la calidad de la energía suministrada. Según la literatura especializada, se entiende por perturbación eléctrica cualquier alteración que provoca que la tensión o corriente del sistema se desvíe de su forma ideal de referencia (1).

En este contexto, las redes eléctricas modernas deben soportar la presencia de cargas no lineales, cuya energía de distorsión no se traduce en un trabajo eficaz, pero sí genera una serie de inconvenientes en el sistema y en los equipos conectados a él (2). Este tipo de cargas puede ocasionar un sobreconsumo energético de hasta un 30% (3). La proliferación e integración de dichas cargas conlleva un aumento significativo del contenido armónico en el flujo energético, lo que genera serias dificultades operativas. Entre los efectos más comunes de este fenómeno se encuentran: excesos de tensión en los conductores de fase y neutro, oscilaciones en los sistemas eléctricos, vibraciones en máquinas eléctricas, fallas en dispositivos de protección como relés e interruptores automáticos, así como errores en los equipos de medición (2).

Las perturbaciones eléctricas son especialmente prevalentes en entornos con alta densidad de cargas no lineales, tanto en aplicaciones residenciales como industriales. Un ejemplo representativo lo constituyen las computadoras personales (PCs), las cuales emplean convertidores electrónicos compuestos por diodos rectificadores de onda completa y capacitores conectados en paralelo. Estos componentes realizan ciclos de carga y descarga que deforman las crestas de la señal, generando distorsiones notorias. Según estudios, las fuentes conmutadas utilizadas por las PCs para alimentar las placas madre y sus periféricos son una de las principales fuentes generadoras de armónicos (4). Específicamente, estas fuentes originan armónicos impares de corriente que, al interactuar con la impedancia de cortocircuito de la red, provocan la distorsión de la forma de onda de tensión en el punto de conexión común (PCC) (4).

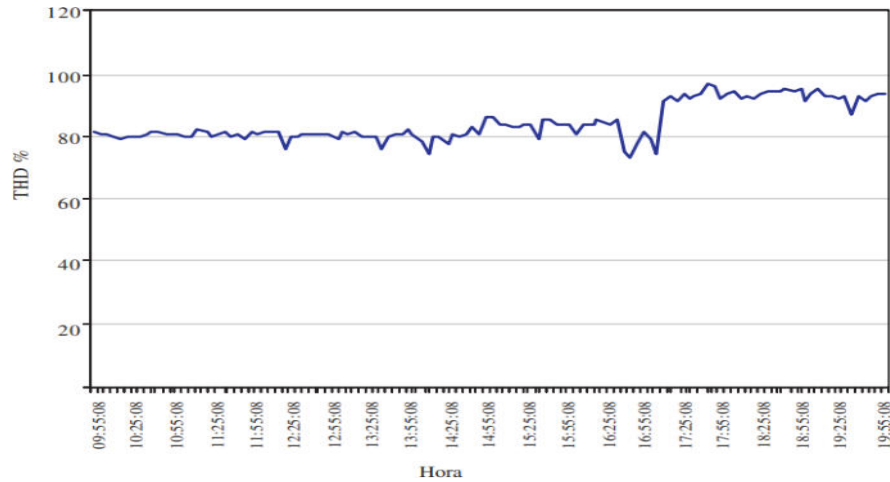


Figura 1. Evaluación del THDI de una fase a lo largo del día. Tomada de “Análisis de la calidad de la energía en un centro de cómputos” (4) de Juan Antonio Suárez de la investigación.

La investigación desarrollada por Suárez José Antonio, publicada en la *Revista Chilena de Ingeniería*, señala que tanto la Unidad Central de Procesamiento (CPU, por sus siglas en inglés *Central Processing Unit*) como los monitores, analizados de forma individual, registraron índices de distorsión de corriente (THDi) superiores al 85%, como se muestra en la figura 1. Igualmente, las impresoras presentaron valores fluctuantes de distorsión armónica total (THD), con rangos que oscilaron entre el 15% y valores superiores al 100% respecto a la tensión nominal (4).

A partir de estos datos, se concluye que los centros de cómputo constituyen una fuente significativa de armónicos, siendo los de tercer, quinto y séptimo orden los más frecuentes. Dado el impacto que esto tiene sobre la calidad de la energía eléctrica, es necesario jerarquizar las alternativas de solución. En este sentido, se propone abordar el problema desde dos perspectivas: en primer lugar, mitigando la inyección de armónicos generados por el usuario hacia la red; y, en segundo lugar, implementando una estrategia global que permita disminuir las pérdidas y mantener los niveles armónicos dentro de los márgenes establecidos por las normativas vigentes. En este contexto, el problema se traduce en una situación de optimización que requiere definir tanto el diseño como el tipo de compensador adecuado (5).

Considerando las limitaciones que presentan los filtros pasivos y activos cuando se emplean de manera independiente, se plantea como solución más efectiva la implementación de un filtro híbrido. Esta alternativa permite aprovechar las ventajas de ambos tipos de filtros, mejorando la calidad de la tensión y la eficiencia del sistema eléctrico. En consecuencia, la investigación se orienta al diseño de un filtro híbrido óptimo, y se plantea la siguiente interrogante central:

1.1.1. Problema general

- ¿Cuál será el diseño del filtro híbrido que permita mejorar el nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas de cómputo del pabellón I de la Universidad Continental?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera influenciara el tipo de conexión de las resistencias, capacitores e inductores en el diseño del filtro híbrido?
- ¿De qué manera influenciará el orden y tipo de filtro activo y pasivo en la reducción del nivel total de distorsión armónica?
- ¿Cuál es el tipo de topología más eficiente para el diseño de filtro híbridos?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar un filtro híbrido que permita mejorar el nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas de cómputo del pabellón I de la Universidad Continental.

1.2.2. Objetivos específicos

- Implementar un tipo de conexión entre resistencias, capacitores e inductores en el diseño del filtro híbrido.
- Determinar el orden y tipo de filtro activo y pasivo en la disminución del nivel total de distorsión armónica (THD).
- Implementar un modelo de topológico óptimo en su tipo de conexión tomando en cuenta el tipo de armónico predominante en un centro de cómputo.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación técnica

El presente trabajo surge con el objetivo de mejorar la calidad de la energía eléctrica, la cual abarca diversos parámetros como: corriente y voltaje. En este contexto, se aborda un problema crítico: los armónicos. Estos generan pérdidas técnicas que afectan la utilidad de las instalaciones eléctricas, específicamente en el centro de cómputo del pabellón I de la Universidad Continental.

Entre los efectos más relevantes se encuentran la disminución de la

capacidad de los alimentadores debido a pérdidas térmicas ocasionadas por el efecto Joule, así como el sobrecalentamiento en transformadores y las caídas de tensión, que limitan la eficiencia del sistema eléctrico.

Con el propósito de mitigar estos problemas, la investigación se enfoca en reducir el nivel total de distorsión armónica (THD) mediante la implementación de filtros híbridos, estos filtros son la combinación de los filtros pasivos y activos, lo que permite una mejora significativa en la calidad de la energía eléctrica. Como resultado, se busca optimizar el suministro eléctrico y minimizar los daños asociados a los armónicos.

1.3.2. Justificación económica

Los armónicos causan numerosas pérdidas; entre ellas las, económicas como, por ejemplo:

- La reducción de la vida útil de los diferentes equipos, tiene como consecuencia el remplazo con anterioridad de los mismos, a menos que se haya considerado un sobredimensionamiento desde la etapa de diseño.
- Las sobrecargas en la instalación que producen las corrientes armónicas, obligan a aumentar la potencia a contratar, al incrementar la potencia contratada, la empresa o institución deberá pagar una tarifa más alta a la compañía eléctrica, ya que las tarifas están generalmente basadas en la capacidad máxima que puede ser requerida en un momento dado, independientemente de si se utiliza o toda esa potencia.
- Las corrientes armónicas también generan pérdidas adicionales en los conductores y transformadores, aumentando el consumo de energía sin mejorar la eficiencia del sistema. Esto incrementa los costos operativos, tanto por mayor consumo eléctrico como por desgaste acelerado de los equipos. Las instalaciones sobredimensionadas y expuestas a distorsión armónica suelen requerir mantenimiento más frecuente y tienen una vida útil más corta debido al estrés adicional al que están sometidas, lo que resulta en más gastos a largo plazo.

En resumen, el aumento de la potencia contratada por sobrecargas debido a armónicos genera mayores costos energéticos, inversiones en infraestructura y gastos de mantenimiento, afectando directamente la rentabilidad.

1.3.3. Justificación teórica

Con el propósito de reducir el nivel de distorsión armónica (THD) a través de la reducción mas no la eliminación de la contaminación armónica dentro de un sistema, una de las muchas soluciones con las que se cuenta radica en el diseño de una topología direccionada a mejorar un filtro híbrido en una red de baja tensión, según el sistema presente (Pabellón I de cómputo), se diseñará el filtro más adecuado según las propias características de diseño y características, de acuerdo la carga no lineal a trabajar. Según la teoría revisada existen muchas topologías de los parámetros que presenta el sistema, entre ellas en primer lugar el filtro pasivo el cual se encuentra mayormente relacionado a la impedancia de la fuente, en segundo lugar, el filtro activo el cual es más flexible al inyectar corrientes armónicas que satisfagan la necesidad de ellas según el armónico a trabajar y por último el filtro híbrido el cual se diseñará según la combinación más adecuada de ambas topologías.

1.3.4. Justificación tecnológica

El objetivo principal de este trabajo es reducir la distorsión armónica presente en el sistema eléctrico del pabellón I de cómputo. Esto permitirá extender la vida útil de los equipos, optimizar el factor de potencia y minimizar la circulación de corrientes armónicas en el conductor neutro, evitando así la contaminación de la red eléctrica asociada al sistema. Estas mejoras contribuirán a incrementar la eficiencia y la productividad del sistema, beneficiando tanto a los equipos como a las operaciones que dependen de él.

1.3.5. Importancia de la investigación

La investigación es fundamental ya que permitirá diseñar, mediante las diferentes combinaciones de sus componentes, el más adecuado filtro híbrido que podrá ser simulado con el fin de atenuar la distorsión armónica circulante dentro del pabellón de cómputo, mejorando así la eficiencia del sistema dentro de la red a la que pertenece y mejorando también así el funcionamiento de los equipos que trabajan dentro de este sistema. Este

diseño simulado logrará así poder ser aplicable a un sistema con un alto contenido de cargas de carácter electrónico presentes en centros de cómputos.

1.4. Alcances de la investigación

1.4.1. Alcance temporal

La investigación desarrollada en el presente proyecto se vino desarrollando desde el mes de abril del 2023, con proyección a finalizar en julio del mismo año, el cual culminó con el diseño de un filtro híbrido para lograr la atenuación de distorsión armónica dentro del pabellón de cómputo.

1.4.2. Alcance geográfico

La realización de la investigación comprende:

- Región: Junín
- Provincia: Huancayo
- Distrito: Huancayo
- Calle: Av. San Carlos

1.5. Limitaciones

1.5.1. Limitaciones bibliográficas

La base teórica se ha sustentado principalmente en artículos científicos, tesis académicas y normativas técnicas provenientes de bases de datos reconocidas como Scopus, IEEE Xplore y Scielo. Sin embargo, debido a la escasa disponibilidad de estudios específicos sobre filtros híbridos aplicados a entornos universitarios con alta densidad de cargas no lineales, la revisión de literatura se centró en investigaciones en contextos industriales o de laboratorio, lo cual podría limitar la generalización directa de los resultados.

1.5.2. Limitación tecnológica y de simulación:

El diseño, análisis y validación del filtro híbrido se realizaron exclusivamente mediante simulaciones en software especializados como Multisim y LabVIEW. Si bien estas herramientas ofrecen gran precisión y control sobre los parámetros del sistema, no sustituyen completamente los resultados obtenidos en condiciones reales de operación, donde influyen factores no modelados como fluctuaciones imprevistas en la carga, ruido eléctrico ambiental o envejecimiento de componentes.

1.5.3. Limitación geográfica y contextual:

El estudio se llevó a cabo considerando las condiciones eléctricas del pabellón I de la Universidad Continental (Huancayo – Perú), por lo que las conclusiones obtenidas responden a una configuración particular de carga, infraestructura y condiciones operativas. Su aplicación en otras instalaciones podría requerir adaptaciones específicas del filtro diseñado.

1.5.4. Limitación de alcance práctico:

El presente trabajo no incluye la construcción física ni la validación experimental del filtro híbrido propuesto. Por ende, no se ha evaluado la durabilidad, respuesta térmica, interferencia electromagnética ni el comportamiento dinámico del sistema ante perturbaciones externas reales.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Hipótesis nula (H_0):

El diseño e implementación de un filtro híbrido no genera una reducción significativa del nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas de cómputo del pabellón I de la Universidad Continental.

Hipótesis alternativa (H_1):

El diseño e implementación de un filtro híbrido genera una reducción significativa del nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas de cómputo del pabellón I de la Universidad Continental.

1.6.2. Hipótesis específicas

- **H1:** La configuración topológica del filtro pasivo sintonizado tiene un impacto significativo en la reducción de armónicos de tercer y quinto orden.
- **H2:** La selección del orden y tipo de filtro activo influye directamente en la eficiencia de mitigación de armónicos de alta frecuencia.
- **H3:** La integración de filtros pasivos y activos en una topología híbrida permite optimizar la reducción del THD dentro de los límites puestos por la norma IEEE 519.

1.7. Descripción y operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Autor	- Espinoza Ochoa Johan Nilo - Espinoza Toribio Marcelo Samuel			
Título	Diseñar un filtro híbrido que permita mejorar el nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas de cómputo del Pabellón I de la Universidad Continental			
Problema	¿Cuál será el diseño del filtro híbrido que permita mejorar el nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas de cómputo del pabellón I de la Universidad Continental?			
	Independiente		Dependiente	
Variables	Filtros híbridos		Distorsión armónica	
Definición conceptual	Es la combinación topológica entre un filtro pasivo y uno activo.		“Es aquella forma de onda periódica no-sinusoidal que es expresada como la suma de ondas sinusoidales cuyas frecuencias son enteros múltiples de la frecuencia fundamental” (6).	
Definición operacional	Variable que expresa la combinación topológica optima simulada		Variable que permitirá cuantificar el impacto armónico en el sistema a analizar.	
Variable independiente	Filtros híbridos			
Dimensiones	Indicador	Unidad	Tipo de variable	Instrumento
Filtro Pasivo (tercer armónico)	Frecuencia de corte del tercer armónico.	Hertz	Cuantitativa - continua	Multisim/LabVIEW
Filtro Pasivo (quinto armónico)	Frecuencia de corte del quinto armónico.	Hertz	Cuantitativa - continua	Multisim/LabVIEW
Filtro activo	Orden del filtro activo	Adimensional	Cuantitativa - continua	Multisim/LabVIEW
Variable dependiente	Distorsión armónica			
Dimensiones	Indicador	Unidad	Tipo de variable	Instrumento
Distorsión Armónica Total (THD)	Porcentaje de corriente y tensión armónica	dimensional	Cualitativa – ordinal	Excel/ LabVIEW

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Artículos científicos:

En la revista chilena de ingeniería se publicó el artículo científico: **“Análisis de la calidad de la energía en un centro de cómputos”** (4). Esta es relevante por establecer bases para la investigación y llegar a las siguientes conclusiones: Primero, el autor menciona que las CPU y los monitores que analizaron individualmente llegaron a mostrar un alto índice de distorsión en la corriente que llegan a ser superiores al 85%, por otro lado, las impresoras mostraron un registro de distorsión en la corriente desde 25% hasta valores muy por encima al 100%. (4). Segundo, “El análisis entre cuatro CPU en diferentes pruebas de tareas muestra variaciones poco significativas en armónicos altos.” (4). Tercero, “En el centro de computación analizado se hallaron impresoras conectadas en red, lo que hace su capacidad de potencia de las mismas, frente a la del total de las computadoras instaladas es sustancialmente inferior, concluyendo que su efecto en los armónicos inyectados en la red es mínimo” (4). Por último, el autor manifiesta que a medida que la distorsión en la corriente disminuye en función al número de unidades que se encuentran conectadas esto en relación X_s/R_s , pero esta disminución ocasiona el incremento en la distorsión de la potencia por lo que la distorsión total (THD) también se incrementa, por lo tanto, la caída de tensión también. (4)

En este trabajo de investigación, el autor hace mención de la calidad de energía en el centro de cómputo, mencionando los parámetros fundamentales a tener en cuenta, ya sea en THDI y el THDU, en otras palabras, solo se enfoca en esos parámetros para el estudio.

Tejada y Llamas en el 2010, desarrollaron el artículo científico titulado **“Efectos de las armónicas en los sistemas eléctricos”** (7). El presente estudio tiene una relevancia debido a concluir en lo siguiente: “los efectos más importantes de las armónicas en las componentes principales de los sistemas eléctricos. En algunas ocasiones estos efectos son extremadamente complicados de evaluar, aunado al hecho de que el equipo de medición necesario para cuantificarlos es muy costoso. Sin embargo, el conocimiento de los aspectos generales de sus causas y consecuencias nos ayudan a prevenir y tomar las medidas tendientes a disminuir sus efectos en aras de una operación efectiva y segura de los sistemas eléctricos actuales.” (7)

Corasaniti, Barbieri y Anera miembros de la IEEE publicaron el artículo científico titulado **“Compensación con Filtro Activo de Potencia Híbrido en una Planta Industrial”** (8). La investigación es importante por concluir en lo siguiente: “El filtro propuesto es una alternativa económica y sencilla en comparada con un filtro activo puro. Muestra un mejor trabajo en el punto de instalación indicado, tanto en estado transitorio como estacionario. Esto simboliza una excelente solución para la problemática presentada en la reconfiguración de la red de la planta industrial considerado en el estudio” (8). El trabajo presentado por los miembros de la IEEE hace una comparación entre un filtro pasivo y un activo haciendo mención de que el filtro activo es mucho más eficiente resultando ser una solución óptima para la planta industrial.

Vázquez, Flores, Salmerón y Litrán en el año 2002 desarrollaron el artículo científico titulado **“Diseño de filtros pasivos, activos e híbridos para la compensación armónica de cargas trifásicas no lineales”** (9).

Este estudio es importante debido a la siguiente conclusión: “se mostró ventajas a favor de la configuración de un filtro híbrido en relación a un filtro activo y pasivo, el filtro híbrido funciona mejor que un filtro pasivo en términos de resonancia y es mucho menos costoso que un filtro activo puro” (9). El autor realiza una comparación entre efectividad de los filtros ya sean pasivos, activos e híbridos en relación al THD.

2.1.2. Tesis:

Alarcón desarrolló una tesis para optar el título profesional en el año 2013 titulada **“CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE FILTROS DE ARMÓNICOS EN UNA PLANTA INDUSTRIAL”** (10). Es el principal trabajo que se toma de referencia en el cual en principio plantea como objetivo: “Elegir de manera técnica el filtro pasivo más adecuado para la Planta Industrial en estudio” (10). La investigación desarrolló una metodología que pudo analizar los armónicos por medio de un modelo y simulación en el software DigSILENT Power Factory. (10). Por otro lado, hace mención de que: “El filtro sintonizado utilizado para esta Planta Industrial, filtra únicamente solo las corrientes armónicas para la cual es sintonizado proporcionando a su vez potencia reactiva al sistema. No obstante, de acuerdo a los resultados de las simulaciones realizadas en el presente trabajo, su uso podría amplificar otras armónicas de ordenes inferiores a las que fue sintonizada” (10). Es decir, que el trabajo mencionado menciona que los filtros son efectivos en la reducción de corrientes armónicas, pero presentan limitaciones al tratar solo cargas equilibradas respetando el análisis de compatibilidad electromagnética.

Burgos realizó una tesis en el año 2016 la cual se titula: **“Simulación de Filtros Híbridos de Potencia”** (2), que plantea diversas conclusiones a medida que progresa su investigación las cuales se mencionaran a continuación: “Los armónicos causan daños considerables en las redes eléctricas, por lo que los filtros híbridos son importantes para la eliminación de distorsiones armónicas. Un filtro híbrido es capaz de adaptarse a las propiedades cambiantes de la red, transformando sus topologías de acuerdo al uso requerido” (2). “Un filtro activo que compone el conjunto híbrido se implementan diferentes estrategias de control, en casos son las expresiones de las corrientes de fuente diferente, permitiendo el análisis de las características de filtros híbridos. Se presentaron las fórmulas matemáticas del modelo promediado en espacios de estado, examinando las variables de control que aparecen” (2).

“El filtro híbrido paralelo es efectivo, siendo capaz de mitigar las distorsiones y adaptarse a las variaciones de la carga. Además, se comprobó la efectividad del modelo promediado en la obtención de resultados válidos en tiempos reducidos” (2). En cuanto se refiere a la investigación, se puede afirmar que la simulación de filtros híbridos es posible mediante los softwares

de Matlab/Simulim y los resultados fueron sumamente satisfactorios, arrojando un error de casi 0%.

Balboa y Sáez perteneciente a la Universidad de Bio Concepción – Chile desarrollaron una tesis para optar el título profesional en el año 2016 que se denomina: “ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FILTROS ACTIVOS” (11). Este trabajo concluye en lo siguiente: Primero, “se pudo demostrar que los valores alcanzados a partir de las ecuaciones de diseño para cada filtro eran los adecuados, ya que, cada filtro realiza su función correctamente, además de cumplir con los valores de ganancia y frecuencia de corte (para filtro pasa bajo y pasa alto)” (11). Segundo, “se pudo verificar el orden de los filtros, a su vez corroborar que un filtro de mayor orden tiene mejor desempeño que una orden menor de armónicos, ya que, más alto es el orden del filtro, más se asemeja al modelo de filtro ideal, porque la pendiente de la región de transición es mayor” (11). Y, en tercer lugar, “en los filtros de orden seis (pasa bajo y pasa alto) y de orden cuatro (pasa banda), la frecuencia de corte practica asemeja más a la establecida en el diseño, en comparación con el filtro universal de segundo orden” (11).

Rivera en el año 2010 desarrolló la tesis titulado **“Aplicación de filtros híbridos para el control de distorsión armónica en los sistemas de potencia industriales”** (12), plantea como objetivo “plantear una metodología de diseño de filtros híbridos para el control de distorsión armónica teniendo en cuenta el problema de resonancia en sistemas eléctricos industriales no lineales y cuyas cargas son altamente variables en el tiempo”. A través del siguiente proceso metodológico “desde inicios del proyecto se estableció la metodología de trabajo, la cual se basó en los siguientes puntos: Inicialmente, es lograr entender de manera integral sobre la distorsión armónica, sus impactos en los sistemas de potencia y las estrategias que se han implementado precedentemente. Asimismo, se consideran las soluciones que se están implementando durante la realización de este proyecto, con el objetivo de identificar y determinar elementos esenciales para el diseño de los filtros. Luego, un estado del arte donde se destacan los aspectos positivos y negativos de los filtros pasivos y filtros activos. Esto se hace con el fin de entender las ventajas y desventajas de la implementación del filtro híbrido sobre el sistema de potencia industrial con el cual se requiera trabajar. Se debe analizar además factores como la resonancia en el sistema, los efectos que puede causar sobre el mismo y posibles técnicas para mitigar estos efectos negativos que se tienen en la red. Además, es

fundamental comprender la función de la impedancia armónica dentro del sistema y como esta puede contribuir en un filtro híbrido más eficiente. Como tercer paso en el desarrollo de la solución del problema, se define el sistema de potencia que se va a trabajar. Debido que el ámbito industrial es amplio y las cargas no lineales varían según el sector económico, es recomendable tener un sistema concreto para realizar el diseño del filtro híbrido. Con la premisa de hacer un enfoque general, que permita la inyección de armónicos de cualquier orden, fase, amplitud y secuencia. Esto facilita la identificación de las características de la carga no lineal, determinando que tipo de armónicos deban simularse y como responde el filtro. A través de un software de simulación, se elabora un modelo de un sistema de potencia y filtro híbrido para realizar las simulaciones necesarias que permitan comprobar efectos sobre el sistema. Finalmente, se busca implementar una señal proveniente de la salida del sistema de control de conductancia, observando los pulsos de PWM obtenidas a través de un Osciloscopio". Obteniendo como resultados "los resultados de la simulación fueron satisfactorios, ya que, se confirmó mediante la medición del índice de distorsión armónica total (THD) (Total Harmonic Distortion). Cuando la unidad de distorsión estaba desactivada, el índice de distorsión alcanzo un máximo de 40 %, por otro lado, al activar la unidad del filtro híbrido, el valor del THD se redujo a un valor entre 5% y 7%" (12).

Pérez en el año 2011 desarrolló la tesis denominada **"Análisis y diseño de filtros activos serie e híbridos para la mejora de la calidad de la potencia eléctrica"** (1). Esta investigación presenta como objeto principal: "Estudiar las diferentes topologías del sistema de compensación descritas en fuentes bibliográficas, que integran filtros activos con conexión en serie." (1), pone en efecto la metodología que pretende, "Diseñar una metodología de diseño de configuraciones que integren filtros activos de conexión serie, a partir del estudio de su estudio de su representación en el modelo de estado." (1), concluye "en este trabajo de tesis, se han abordado diferentes aspectos relacionados con el diseño y control de filtros activos de conexión serie y filtros híbridos constituidos por un filtro activo serie y un filtro pasivo paralelo." (1)

Garay en la Universidad Nacional de Ingeniería, año 2010 desarrollo la investigación que tiene como título **"Aplicación de filtros híbridos para reducir armónicos en una planta industrial de productos plásticos"** (13). El cual tiene como principal

objeto: “Implementar filtros híbridos en industrias para corregir y disminuir los armónicos generados por el considerable incremento de cargas con impedancia no lineal” (13). Esta investigación pone en efecto la metodología “recolección de datos mediante la instalación del analizador de redes, en consiguiendo la simulación de distintos compensadores como son los filtros de armónicos” (13). Concluyendo “que los resultados obtenidos, la opción más optima por reducir los armónicos es la implementación del filtro híbrido, debido a la ventaja de ofrecer beneficios económicos superiores a los demás modelos. Logrando disminuir el nivel de armónicos en un 36.7% a 5%, lo que evidencia su eficacia y ventaja en costo-beneficio para la planta de plásticos en estudio” (13).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Perturbaciones

Se denomina perturbación eléctrica a cualquier problema manifestado en la onda de tensión o frecuencia del sistema que pueden dar como resultado una falla en los equipos eléctricos.

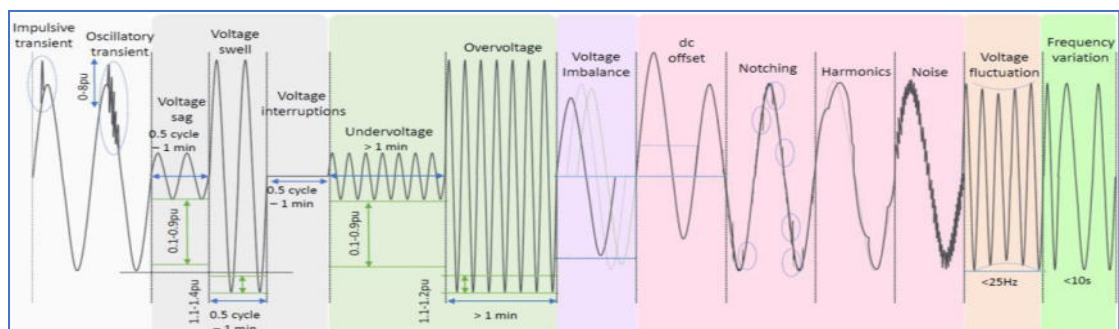


Figura 2. Ejemplos de perturbaciones eléctricas. Tomada de INEL (14) por el Engineering Education.

Por otro lado, la norma UNE-EN 50160 menciona que los principales parámetros de tensión en media tensión y baja tensión pueden verse alterados por diferentes perturbaciones. (14) La cuales pueden clasificarse en:

- Amplitud
- Forma de onda
- Simetría del sistema
- Frecuencia

Estos son pueden ver afectados de dora transitoria o en periodos.

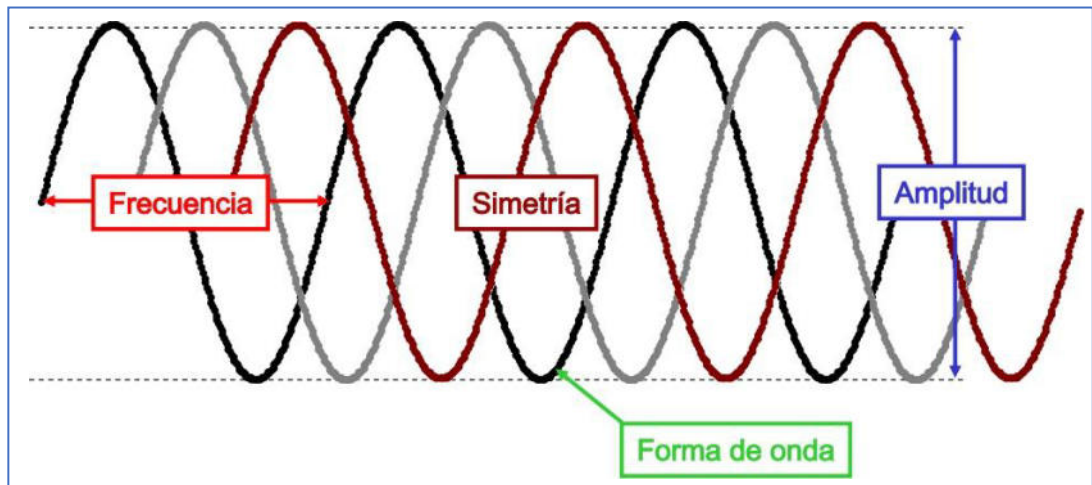


Figura 3. Clasificación de perturbaciones eléctricas. Tomada de Fluke (15)

Otro punto a mencionar es que es que la duración de una perturbación puede variar en función a porciones de ciclo, más de un ciclo o periodos largos ya seas varios segundo o minutos

La norma establece ciertos límites en baja tensión las cuales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características propias de la alimentación de BT

Perturbación	Medida	Límites	Intervalos de evaluación	Porcentaje de medidas dentro de límites durante el intervalo
Frecuencia	Promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s	$\pm 1\%$ $+4\%/-6\%$	al año	99,5% 100,0%
Variaciones de la tensión	Promedio de la VAC de cada ciclo durante 10 min	$\pm 10\%$ $+10\%/-15\%$	cada semana	99,5% 100,0%
Variaciones rápidas de tensión	Número de eventos tipo escalón de tensión de hasta el 10% de U_N	Indicación 1		
Severidad del parpadeo	P_8 (2 horas)	<1	cada semana	95%
Huecos de tensión	Número de eventos (con $U < 0,9U_N$)	Indicación 2	al año	
Interrupciones breves de la tensión	Número de eventos (con $U < 0,01U_N$ y $t < 3$ min)	Indicación 3	al año	
Interrupciones largas de la tensión	Número de eventos (con $U < 0,01U_N$ y $t > 3$ min)	Indicación 4	al año	
Sobretensiones (50 Hz)	Número de eventos (con $U > 1,1U_N$ y $t > 10$ ms)	Indicación 5		
Sobretensiones transitorias	Número de eventos (con $U > 1,1U_N$ y $t < 10$ ms)	Indicación 6		
Desequilibrio de la tensión	Promedio de la U_{env}/U_{dir} de cada ciclo durante 10 min	$<2\%$	cada semana	95%
Tensiones armónicas	Para cada armónico i , promedio de la U_i/U_N en cada ciclo durante 10 min	Ver tabla	cada semana	95%
	Promedio del THD de la tensión referido a U_N en cada ciclo durante 10 min	$<8\%$	cada semana	95%
Tensiones interarmónicas	Por estudiar			
Transmisión de señales	Tensión eficaz de la señal transmitida promediado en 3 s	Ver tabla	cada día	99%

Nota: Tomada de UNE-EN 50160. (16)

Ahora se detallará cada una de las perturbaciones referidas en la norma UNE-EN 50160.

2.2.1.1. Amplitud

Estas se refieren a variaciones de tensión ya sean cortas o largas

Variaciones de tensión de larga duración

- a) Interrupciones de larga duración: Según la Norma Técnica de Calidad de Servicios eléctricos (DS-020-1997), menciona que considera una interrupción a la falta de tensión en un suministro por un periodo superior a 3 minutos.

(17)

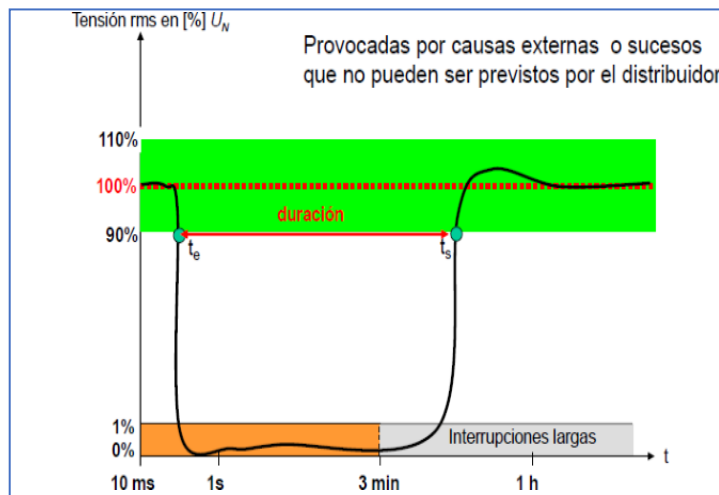


Figura 4. Duración de una variación de voltaje calificada como interrupción Tomada del curso "Calidad de energía". (15) por INEL

- b) Sobrevoltaje: Este tipo de perturbación sucede cuando el voltaje RMS aumenta más del 5% respecto al valor de tensión nominal. (17)

- c) Subvoltaje: Este tipo de perturbación sucede cuando el voltaje RMS aumenta en menos del -5% respecto a la tensión nominal. (17)

Variaciones de tensión de corta duración

Estas variaciones comprenden los llamados hundimientos y subidas de la tensión de corta duración y estas pueden ser instantáneas, momentáneas o temporarias. (6)

- a) Interrupciones cortas: son aquellas que tienen una duración menor a los 3 min según la NTCSE. (17)

- b) SAG: también conocidos como huecos, son caídas del voltaje que oscilan entre 10% y 90% del valor de voltaje RMS o corriente, con una duración que va desde 0.5 ciclos a 1 minuto. (6)

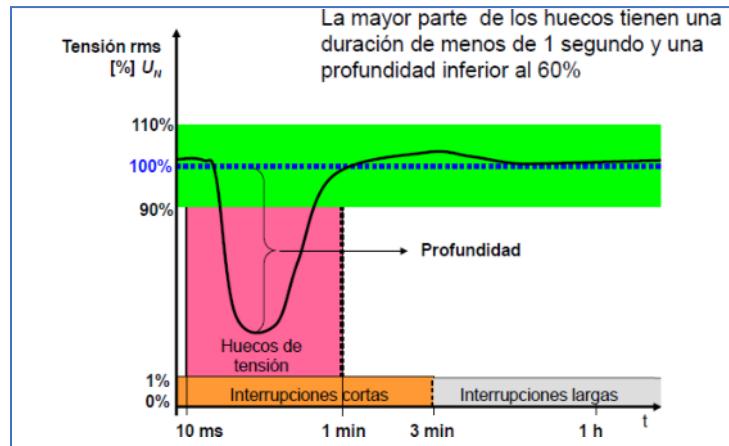


Figura 5. Huecos de tensión Tomada del curso “Calidad de energía”. (15) por INEL

- c) Swell: también conocidas como subidas de tensión o incremento rápidos de los niveles de tensión en valores comprendidos entre 110% y 180% de voltaje RMS o corriente, con un tiempo de duración de 0.5 ciclos a 1 minuto. (6)

2.2.1.2. Forma de onda

Estas son perturbaciones que deforman la forma típica de la onda fundamental.

Armónicos: Se define como una señal cuya frecuencia de múltiplo entero de la frecuencia fundamental, en Perú la frecuencia fundamental es de 60Hz. (17)

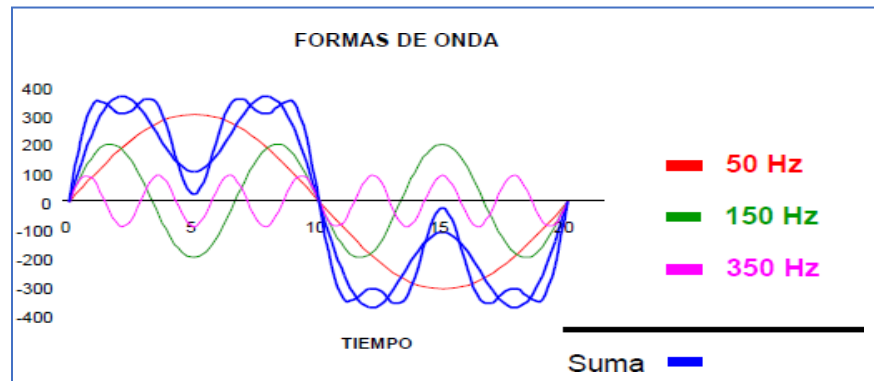


Figura 6. Onda con presencia de armónicos. Tomada de Fluke. (15)

Interarmónicos: Son fenómenos que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Dichas señales poseen un espectro de banda ancha y los que generan este tipo de deformación, son ciclo conversores, convertidores de frecuencia (estáticos), motores de inducción entre otros. (13)

Notching: “Es cuando existe una perturbación de tensión periódica provocado por el funcionamiento de un dispositivo electrónico de potencia. Esta operación normal es comúnmente cuando el dispositivo electrónico puede hacer conmutar la corriente entre fases, lo que puede generar un cortocircuito por corto tiempo y momentáneo. Los notching suelen ocurrir repetitivamente y, puede ser analizados mediante su contenido espectral en frecuencia. Sin embargo, las frecuencias provocadas por este fenómeno pueden ser muy altas, lo que dificulta su identificación mediante instrumentos de medición convencionales usados en análisis de armónicos” (18).

2.2.1.3. Simetría del sistema

Esto es característico de los sistemas trifásicos de voltaje e intensidad de corriente que se encuentran perfectamente equilibrados con sus tres fases (R, S y T) estas se encuentran desfasadas en 120° respectivamente cuyos módulos tienen exactamente el mismo valor. (14)

Cuando este sistema se encuentra de es posible que ocurran cambio en los módulos de las fases ya sea RST o el espacio angular entre estas sea diferente a 120° . (14)

Según norma UNE-EN-50160 este desequilibrio no debe superar intensidad menor 10% y tensión menor al 3%, ya que, cuando el sistema este desequilibrado, la corriente en el neutro aumenta. (14)

2.2.1.4. Frecuencia

Son perturbaciones que afectan a la frecuencia fundamental, en caso de Perú la frecuencia fundamental es de 60Hz. “La frecuencia del sistema está relacionada directamente con la velocidad de rotación de los generadores que lo suministran” (14). Como consecuencia las variaciones de frecuencia se originan por el balance dinámico entre la generación de energía y el consumo, las variaciones que salen de los rangos aceptados, generalmente es consecuencia de perturbaciones en el sistema de transmisión, como la desconexión de una carga considerable o un generador de gran capacidad (12). Por lo general en la red suele ser estable y en Perú es 60 Hz, a excepción de casos extraordinarios como el elevado grado de interconexión en el sistema eléctrico nacional.

2.2.2. Armónicos:

Los armónicos son formas de distorsiones que afectan las ondas sinusoidales de tensión y corriente, debido al uso de cargas con impedancia no lineal [...] (5). La presencia de armónicos se ha venido afectando a los sistemas eléctricos durante muchos años es decir no es reciente en tal motivo ha sido una fuente de constante preocupación para especialistas en calidad de energía, en tal motivo estos especialistas han desarrollado diversos estudios en referente al tema en especial la IEEE y la IEC.

2.2.2.1. Origen de los armónicos

“Generalmente, los armónicos son dispositivos o cargas no lineales los cuales están presentes en diferentes entornos como: instalaciones industriales, comerciales y domésticas” (19). Es decir, estas cargas no lineales están integrados en los circuitos y son cargas no típicas, la UNE-EN 50160 en el apartado EN 61000-3-2 muestra una clasificación de equipos en relación a la presencia de dispositivos no lineales. Tabla 3

Tabla 3. Clasificación de equipos según norma EN 61000-3-2

EQUIPOS	
CLASE A	- Equipos trifásicos equilibrados - Equipos electrodomésticos, excepto los pertenecientes a la parte D. - Herramientas, a excepción de los portátiles - Reguladores de luz de lámparas incandescentes - Equipos no identificados en las tres clases siguientes.
CLASE B	- Herramientas portátiles. - Equipos de soldadura por arco que no sea profesional.
CLASE C	Equipos de iluminación.
CLASE D	- Ordenadores personales y pantallas de ordenadores. - Recepciones de televisión.

Nota: Tomada de UNE-EN 50160. (16)

Está de acuerdo a su clase tienen límites de los armónicos permitidos.

Tabla 4. Límites de armónicos para equipos de clase A

Orden del armónico n	Corriente armónica máxima admisible A
Armónicos impares	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0,15(15/n)$
Armónicos pares	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq n \leq 40$	$0.23(8/n)$

Nota: Tomada de UNE-EN 50160. (16)

Tabla 5. Límites de armónicos para equipos de clase C

Orden del armónico n	Corriente armónica máxima admisible expresada en % de la corriente de entrada a la frecuencia fundamental
2	2
3	$30 \cdot \lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$15 \leq n \leq 39$ Sólo armónicos impares	3

* λ es el factor de potencia del circuito

Nota: Tomada de UNE-EN 50160. (16)

Tabla 6. *Límites de armónicos para equipos clase D*

Orden del armónico n	Corriente armónica máxima admisible por vatio mA/W	Corriente armónica máxima admisible A
3	3.4	2.30
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
11	0.35	0.33
15	3.85/n	Véase la tabla correspondiente a la clase A

Nota: Tomada de UNE-EN 50160. (16)

2.2.2.2. Efectos de los armónicos en las redes

Sin duda son innumerables los efectos que pueden tener los armónicos en la red, pero aquí se mencionaran algunos:

Tabla 7. *Efectos de los armónicos en la red eléctrica*

Efectos de los armónicos
• Aumento de la potencia a transportar, empeorando el factor de potencia. • Disparo intempestivo de interruptores automáticos. • Sobrecarga en los conductores. • Vibraciones y sobrecargas en la maquinas. • Inestabilidad del sistema eléctrico. • Al funcionamiento de relés de protección. • Disminución de la impedancia de los condensadores ($X_c = 1/\omega \times C$), lo que da lugar al fallo de la batería autorregulada instalada para la corrección del factor de potencia cuando aparece el fenómeno RESONANTE $XL = XC$. • Mediciones erróneas • Perturbación en equipos de control

Nota: Tomada de RTR energía. (20)

2.2.2.3. Teorema de Fourier

El matemático francés Fourier dio este teorema donde “cualquier señal periódica, por compleja que sea, se puede descomponer en una suma de señales senoidales cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental o de referencia” (20)

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \text{sen}(n\omega t - \varphi_n) \quad (1)$$

Donde:

- Y_0 : valor de la componente nula, esta es generalmente 0
- Y_n : valor eficaz del armónico de rango n
- ω : pulsación de la frecuencia fundamental
- φ_n : desfase de la componente armónica

2.2.2.4. Espectro de Fourier

Es una técnica matemática que permite transformar de una señal expresada en función al tiempo respecto a una de frecuencia. (Estudio del contenido en frecuencia de una señal). “El espectro armónico es la descomposición de una señal en sus distintos armónicos del dominio de la frecuencia. Dicha información normalmente es representada en un diagrama de barras, donde el porcentaje de cada una de las señales armónicas, es la suma produce la señal completa analizada” (20).

2.2.2.5. Orden de los armónicos

Se parte de la frecuencia fundamental, para el caso de Perú 60 Hz, el número del orden es que se considera múltiplo de la frecuencia fundamental y es crece en orden de los números naturales (20).

2.2.2.6. Secuencia

“En un consumo de energía, los armónicos generados tanto de secuencia positiva o negativa afectan de forma similar, ya que ambos tipos pueden generar efectos de manera similar o nocivos” (20).

Pero se puede aducir lo siguiente:

- “En sistemas trifásicos, los armónicos de orden múltiplo de tres ($3n$) en la corriente, solo se pueden propagar cuando es posible un retorno por neutro.” (21)
- “En motores, los armónicos de orden ($3n + 1$) concurrentes en la tensión forman un campo giratorio en el mismo sentido de la componente

fundamental.” (21)

- “Los armónicos de orden (3n - 1) en tensión generan en los motores un campo giratorio en sentido contrario al generado por la componente fundamental.” (21)

Tabla 8. *Secuencia de los armónicos*

No.armónico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+

Nota: Tomada de IEB ingeniería especializada. (20)

2.2.2.7. Total de distorsión armónica

Distorsión Total Armónica THD por sus siglas en inglés, este es un término utilizando para determinar el efecto de los armónicos en los sistemas de potencia. La IEEE 519 define a la distorsión Armónica (THD) es mediante la siguiente fórmula matemática

$$THD = \frac{\sqrt{\text{suma de todas las magnitudes al cuadrado de las componentes armónicas}}}{\text{el cuadrado de las magnitudes de la componente fundamental}} \times 100$$

“La distorsión armónica es una métrica comúnmente utilizada para evaluar la importancia del contenido armónico en una señal de corriente alternativa.” (19)

Existen el THD de tensión, de corriente y factor de potencia.

- a) THD de tensión o voltaje: esta ofrece datos sobre eventos que ocurren en la instalación. “Un nivel de THDu menor al 5 % se ve como habitual. La posibilidad de fallos es nula para los aparatos.” (19) “Un porcentaje de THDu que varía entre el 5 y el 8 % sugiere una distorsión armónica característica. Esto puede generar un desempeño inusual en los dispositivos.” (19) Por otro lado si dicho valores es superior a 8% en redes de tensión baja (en caso de tensión media es de 5% y tensión alta es de 3%) manifiesta una distorsión importante, los funcionamientos anómalos en los equipos son notorios por lo que es importante atenuarlos. (19)
- b) THD de corriente: es importante para identificar cuál es la carga causante de la distorsión, este indicador se debe medir en la entrada y salida de cada

circuito independiente. (19) si este indicador es menor a 10% se asume que es un comportamiento normal es decir no existe riesgo, si este valor esta entre 10% y 50% revela una distorsión medianamente significativa existe peligro de que aumente la temperatura lo que aduce sobredimensionar los cables y las fuentes de alimentación, por último, si este valor es superior a 50% ya es un factor bastante considerable los funcionamientos anómalos en los equipos son notorios por lo que es importante atenuarlos. (19) en la norma UNE-EN 50160 se muestran ciertos valores permitidos por los por armónico representados en la tabla 9.

Tabla 9. *Porcentaje de voltaje de armónicos individuales en puntos de conexión del suministro*

Armónicos impares				Armónicos pares	
No múltiplos de 3		Múltiplos de tres			
Orden	Tensión relativa	Orden	Tensión relativa	Orden h	Tensión relativa
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1.5%	4	1%
11	3.5%	15	0.5%	6...24	0.5%
13	3%	21	0.5%		
17	2%				
19	1.5%				
23	1.5%				
25	1.5%				

Nota: Tomada de UNE-EN 50160. (16)

2.2.3. Entorno normativo y reglamentario

2.2.3.1. Normas de equipos

Son normas que especifican la compatibilidad de equipos con la red eléctrica y no permiten causar alteraciones.

- CEI 1000-2-2 para las redes de baja tensión (publicas). (19)
- CEI 1000-2-4 para las instalaciones industriales de BT y MT. (19)

2.2.3.2. Norma de calidad de redes eléctricas

- La principal norma es la UNE-EN 50160 menciona la característica de la tensión suministrada por las redes de BT. (14)

- IEEE 519 (Recomendaciones prácticas para control de armónicos en los sistemas eléctricos de potencia.) (6). Esta establece una aproximación conjunta para limitar el grado de impacto de las diversas cargas no lineales.

“Lo que, es más, las compañías de energía promueven medidas preventivas para disminuir el deterioro de la calidad de la electricidad, el incremento de la temperatura y las variaciones en el factor de potencia. Se está evaluando la opción de sanciones a los usuarios que generen interferencias.” (19)

2.2.3.3. Normas de compatibilidad

- CEI 61000-3-2 o EN 61000-3-2 en caso de aparatos de BT que absorbe una corriente por debajo de los 16 amperios. (14)
- CEI 61000-3-4 o EN 61000-3-4 en caso de aparatos de BT que absorben una corriente por encima de los 16 amperios. (14)

2.2.4. Atenuación armónica

Para poder lograr reducir la distorsión armónica mediante la modificación de los circuitos del sistema se puede optar por los siguientes circuitos:

- Ubicación óptima de las cargas no lineales es recomendable ubicar las cargas no lineales aguas arriba. (13)

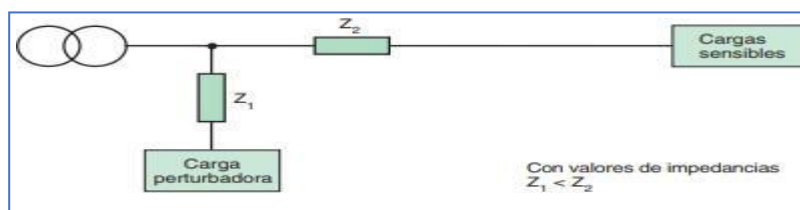


Figura 7. Alimentación aguas arriba de cargas no lineales. Tomada de SCHNEIDER ELECTRIC. (19)

- Separación de las cargas no lineales

Es recomendable realizar agrupaciones separadas de las cargas no lineales de las cargas lineales, para poder evitar aumento de temperatura

y caídas de tensión por la circulación de la corriente armónica por el mismo cable que alimentan ambas cargas. (13)

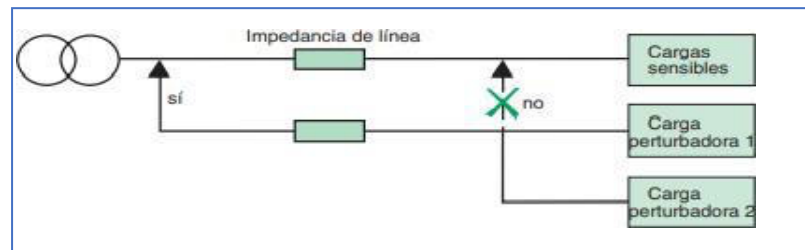


Figura 8. Reagrupación de cargas no lineales y alimentación lo más aguas arriba Tomada de SCHNEIDER ELECTRIC. (19)

➤ Ubicación de las fuentes

Este método radica en la alimentación independiente por fuentes ubicadas para cada carga (lineal y no lineal) por separado.

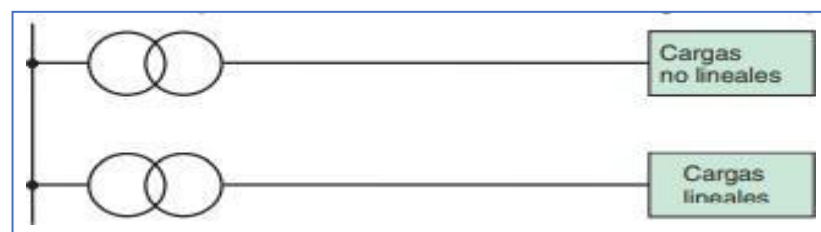


Figura 9. Alimentación de cargas perturbadoras con transformador separado. Tomada de SCHNEIDER ELECTRIC. (19)

2.2.5. Topología de filtros para compensación de armónicos.

Para poder mitigar la distorsión armónica y compensar la carga se han propuesto distintos tipos de conexionado de para fabricar los filtros y de ese modo tener diferentes tipos de compensación. De todas las posibles configuraciones, en el siguiente apartado se describirán aquellas habitualmente utilizadas. Estos harán usos de componentes tales como: resistencia, inductancia, capacitancia y diodo, combinados bajo ciertos parámetros que permita la atenuación de corriente armónica de baja tensión.

2.2.5.1. Filtros pasivos

Este tipo de filtrado provee a las corrientes armónicas un trayecto resonante de baja resistencia, característica que también hará a la corriente nominal del filtro dependiente de esta, por lo que se tomará muy en cuenta toda relación entre su impedancia característica y la misa del filtro pasivo. (1) Característica de dependencia de la impedancia de la fuente, obligando al diseñador a realizar un minucioso análisis sobre la

característica de la instalación (22). Los dispositivos que manipularemos en este tipo de filtro son las inductancias y capacitancias “unidos en una configuración de circuito resonante y ajustado a la frecuencia del orden armónico que se busca eliminar” (23), para lo cual la corriente armónica a atenuar deberá ser seleccionada bajo la tasa de resonancia a la que fue creado el filtro pasivo. Este tipo de filtro usualmente es usado en los órdenes de 3,5,7 y 11; debido a su limitada atenuación armónica. (23)

Esta topología no es aplicada para atenuar sub ni interarmónicos de corriente ya que estos armónicos se encuentran cercanos a la componente fundamental es decir con una frecuencia de 50 Hz muy cerca a la frecuencia fundamental (60 Hz) y al sintonizarlos a esta frecuencia generaría resonancia con el sistema y como consecuencia amplificación de la amplitud del armónico, presencia de flicker y oscilaciones sistemas mecánicos a baja frecuencia. (24)

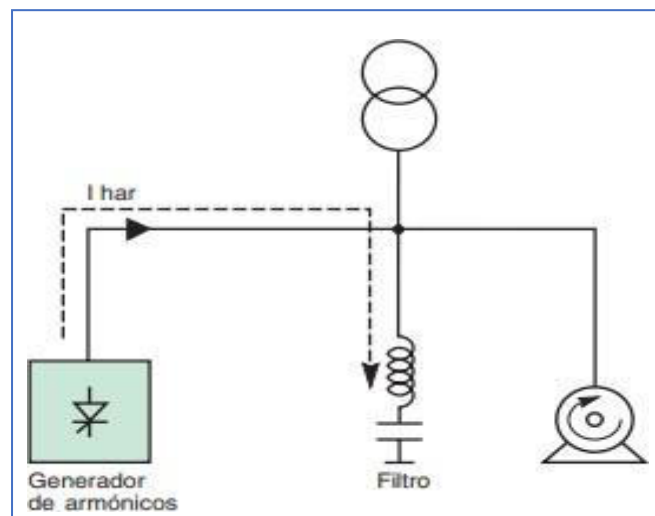


Figura 10. Principio de conexión de un filtro pasivo. Tomada de SCHNEIDER ELECTRIC. (19)

Como se muestra en la figura el arreglo de filtro pasivo LC se conecta de forma paralela a la carga no lineal (generador de armónicos).

Para equilibrar cada uno de ellos, por ejemplo, el de orden n , se seleccionan valores de L_n y C_n que cumplan con la ecuación (2), donde f representa el valor de la frecuencia fundamental, 60 Hz en este trabajo.

$$\omega_n = 2\pi f n = \frac{1}{\sqrt{L_n C_n}} \quad (2)$$

Ecuación (2) concierne la restricción para los valores de inductancia (L) y capacitancia (C) para cada orden de armónico y con ello se calcula la frecuencia de corte. (9) Es decir el filtro pasivo mostrado de esta manera

presenta innumerables carencias. Una de las principales características de los filtros pasivos es su bajo coste y fácil implementación presenta algunos inconvenientes lo que hace desaconsejable su utilización. De los cuales destacan

- Se forman con bobina y condensadores estos conectados en paralelo a la carga con una conexión a tierra. El propósito de esto es que los componentes se a la frecuencia del armónico que se quiere eliminar. (19)
- Lo que desea esto es que sea simple, fiable y robusto a pesar de que posee muchas desventajas como el gran tamaño de sus bobinas y los condensadores y se limitan a un solo funcionamiento. (19)
- “Las instalaciones donde los filtros pasivos estén instalados deben ser lo suficientemente estables, es decir, lo que significa que deben tener un bajo nivel de fluctuaciones de carga.” (19)

La ecuación para el cálculo de la impedancia del filtro viene dada por:

$$Z = R_F + j \left[\omega L_F - \frac{1}{\omega C_F} \right] \quad (3)$$

Siendo:

- ω : frecuencia angular
- R_F : resistencia del filtro
- L_F : reactor del filtro.
- C_F : capacitancia del banco de capacitores.

2.2.5.2. Filtros activos

Este arreglo se puede subdividir en dos tipos de filtro activo (serie o paralelo), los cuales dependerá de la carga no lineal y los armónicos en ellas.

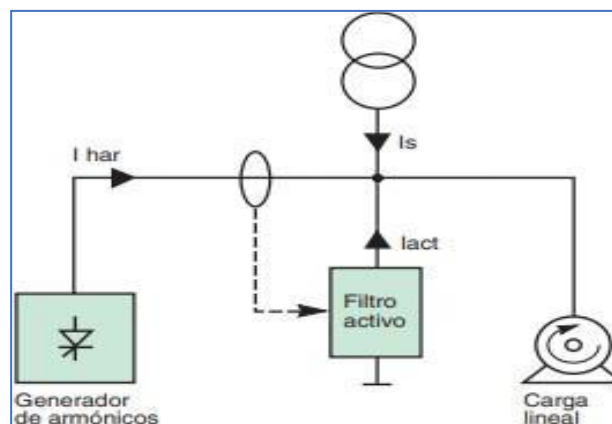


Figura 11. Conexión del filtro activo. Tomada de SCHNEIDER ELECTRIC. (19)

Filtro activo pasa bajo: “Este tipo de filtro deja pasar todas las frecuencias desde 0 a la frecuencia de corte y bloquea las frecuencias que están sobre esta.” (11) es decir las frecuencias que se encuentran entre 0 hasta la frecuencia de corte se le denomina banda pasante mientras que las frecuencias que se encuentran por encima de esta frecuencia se suprimen. (11)

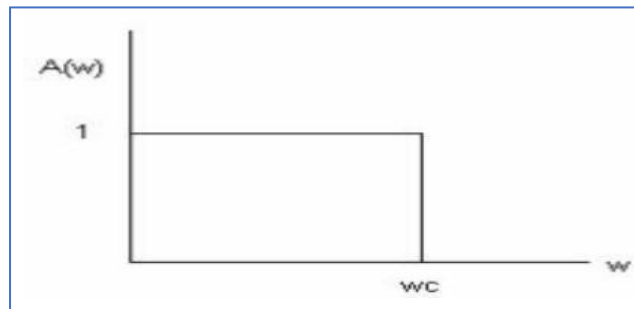


Figura 12. Respuesta de un filtro ideal pasa bajo. Tomada de tesis Universidad Bio Bio. (11)

“Las ecuaciones del filtro se definen por la ganancia del sistema, donde siempre hay involucrado un número complejo, debido a él o los condensadores que hay en el circuito del filtro.” (11)

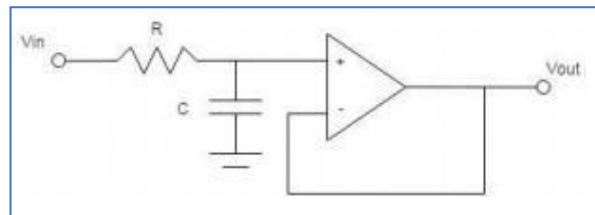


Figura 13. Filtro activo pasa bajo de 1º orden. Tomada de tesis Universidad Bio Bio. (11)

Cuya función de transferencia típica es:

$$A(s) = \frac{W_c}{s + W_c} \times K \quad (3)$$

- K: es la ganancia ($K = V_{out}/V_{int}$)
- W_c : es la frecuencia de corte
- S: w_j es según el plano en el que se decide trabajar

A partir del orden 2 se debe tener en cuenta el factor de calidad

$$Q = 1/2\xi \quad (4)$$

Donde:

- ξ : amortiguamiento.

Otro modelo de calidad que se utilizan en función a la frecuencia de corte.

$$Q = \frac{W_c}{W_b - W_a} \quad (5)$$

Donde:

- W_b : corresponde a la frecuencia de corte superior en radianes ($2\pi fcs$)
- W_a : corresponde a la frecuencia de corte inferior en radianes ($2\pi fci$)
- W_c : es la frecuencia de corte

Filtro activo pasa alto: “Este tipo de filtro presenta una banda que permite el paso de señales entre la frecuencia de corte y el infinito. La banda en la que no se permite el paso de señales se encuentra por debajo de la frecuencia de corte, hasta llegar al 0.” (11) es decir rechaza las frecuencias menores a la frecuencia de corte establecida



Figura 14: Respuesta ideal de un filtro ideal pasa alto. Tomada de Tesis Universidad Bio Bio (11)

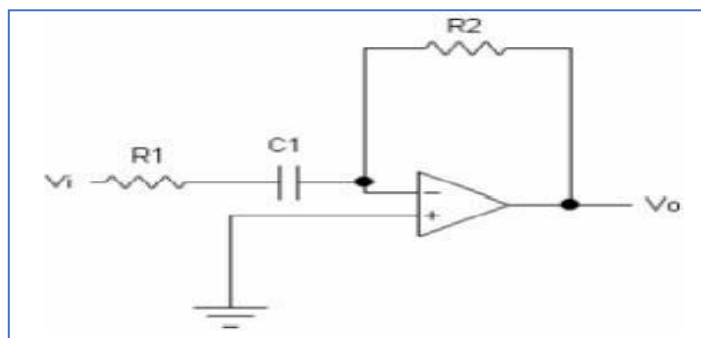


Figura 15. Circuito activo pasa alto típico. Tomada de Tesis Universidad Bio Bio (11)

Filtro activo pasa banda: “Este tipo de filtro, a diferencia de los anteriores, posee dos frecuencias de corte, una inferior y otra superior.” (11) en este caso solo deja el paso a las frecuencias que se encuentren dentro del intervalo marcado por las frecuencias de corte inferior y superior. (11)

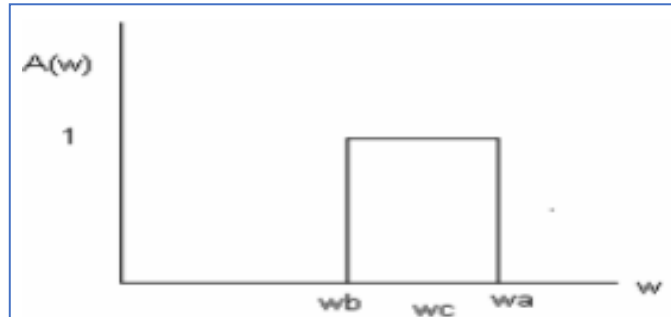


Figura 16. Respuesta de filtro activo pasa banda ideal. Tomada de tesis Universidad Bio Bio (11)

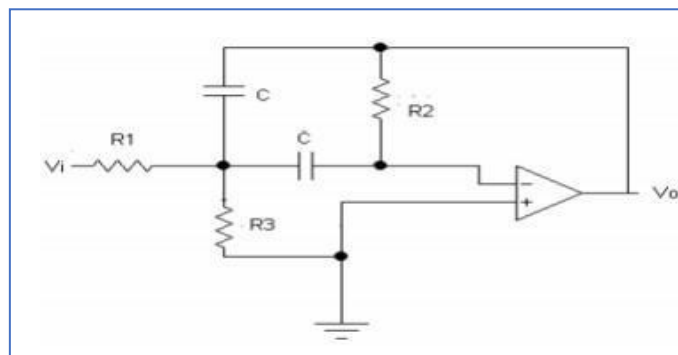


Figura 17. Conexión típica de filtro pasa banda. Tomada de tesis Universidad Bio Bio (11)

Filtro activo pasa rechaza banda: “Este tipo de filtro posee dos frecuencias de corte; una más baja y otra más alta. Para este tipo de filtro, existen dos bandas, que permiten el paso de señales; estas se encuentran desde 0 a la frecuencia de corte inferior y la otra desde la frecuencia de corte más alta hasta el infinito.” (11)

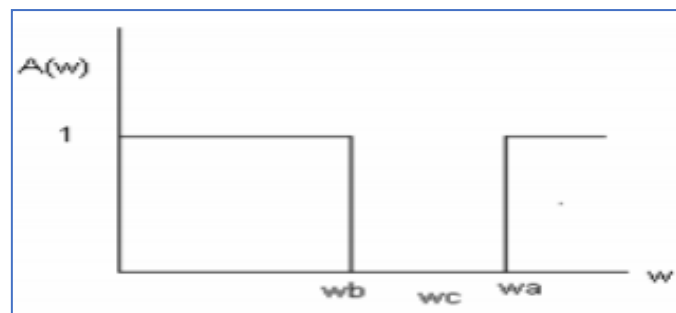


Figura 18: Respuesta ideal de un filtro activo rechaza banda. Tomada de tesis Universidad Bio Bio (11)

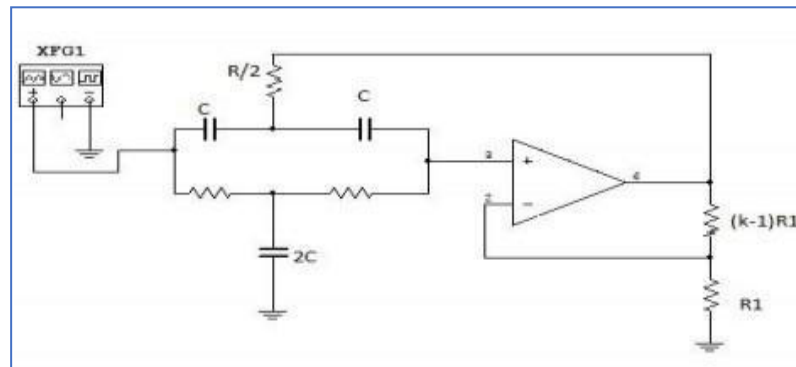


Figura 19. Conexión típica de un filtro activo pasabanda. Tomada de tesis Universidad Bio Bio (11)

Filtros activos pasa bajo Butterworth

Si se tiene un respuesta plana o continua, se usa este modelo de filtros en aplicaciones de modificación de datos; cuando se requieran filtros en aplicaciones de conversión de datos por lo general es necesario alcanzar una adecuada precisión en media de la frecuencia que se deja pasar, es decir la frecuencia de corte. (11)

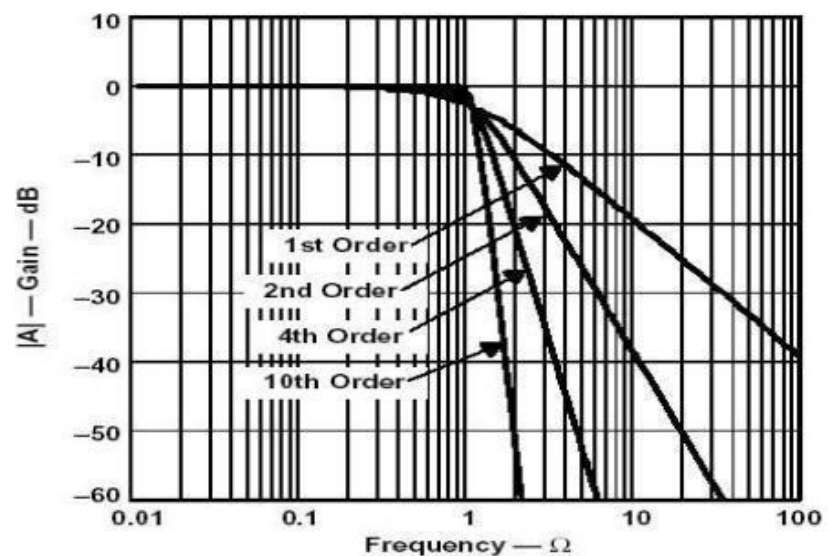


Figura 20. Grafica típica de la función de transferencia en función de la frecuencia de corte. Tomada de curso de sistemas analógicos

En este grafico muestran la rapidez de respuesta para atenuar con referencia a la frecuencia de corte, este tipo de conexión Butterworth puede usar los anteriores tipos e integrarlos por ello se le denomina especial e incluso de orden superior. (11)

Tabla 10. *Tabla normalizada sobre valores críticos de diseño del filtro Butterworth*

<i>Butterworth</i>					
<i>n</i>	<i>l</i>	<i>a_l</i>	<i>b_l</i>	<i>k_l</i> = <i>f_{Cl}</i> / <i>f_C</i>	<i>Q_l</i>
1	1	1.0000	0.0000	1.000	—
2	1	1.4142	1.0000	1.000	0.71
3	1	1.0000	0.0000	1.000	—
	2	1.0000	1.0000	1.272	1.00
4	1	1.8478	1.0000	0.719	0.54
	2	0.7654	1.0000	1.390	1.31
5	1	1.0000	0.0000	1.000	—
	2	1.6180	1.0000	0.859	0.62
	3	0.6180	1.0000	1.448	1.62
6	1	1.9319	1.0000	0.676	0.52
	2	1.4142	1.0000	1.000	0.71
	3	0.5176	1.0000	1.479	1.93
7	1	1.0000	0.0000	1.000	—
	2	1.8019	1.0000	0.745	0.55
	3	1.2470	1.0000	1.117	0.80
	4	0.4450	1.0000	1.499	2.25
8	1	1.9616	1.0000	0.661	0.51
	2	1.6629	1.0000	0.829	0.60
	3	1.1111	1.0000	1.206	0.90
	4	0.3902	1.0000	1.512	2.56
9	1	1.0000	0.0000	1.000	—
	2	1.8794	1.0000	0.703	0.53
	3	1.5321	1.0000	0.917	0.65
	4	1.0000	1.0000	1.272	1.00
	5	0.3473	1.0000	1.521	2.88
10	1	1.9754	1.0000	0.655	0.51
	2	1.7820	1.0000	0.756	0.56
	3	1.4142	1.0000	1.000	0.71
	4	0.9060	1.0000	1.322	1.10
	5	0.3129	1.0000	1.527	3.20

Nota: Tomada de curso de sistemas analógicos

a) Amortiguamiento en conexión especial

Tabla 11. *Factor de amortiguamiento.*

Respuesta	<i>Q</i>	ζ	Tipo de sistema
Butterworth	0.707	1.414	Sobreamortiguado
Chebyshev	>1	<1	Subamortiguado
Bessel	0.577	1.154	Sobreamortiguado

Nota: Tomada de Tesis Universidad Bio Bio.

Filtro activo pasa bajo Tschebyscheff

Es un filtro que se caracteriza por el cambio repentino en la frecuencia de corte, es decir en ese punto se genera ruido, su utilización se restringe en aplicaciones donde el contenido total de la frecuencia es más importante que la magnitud de la misma.

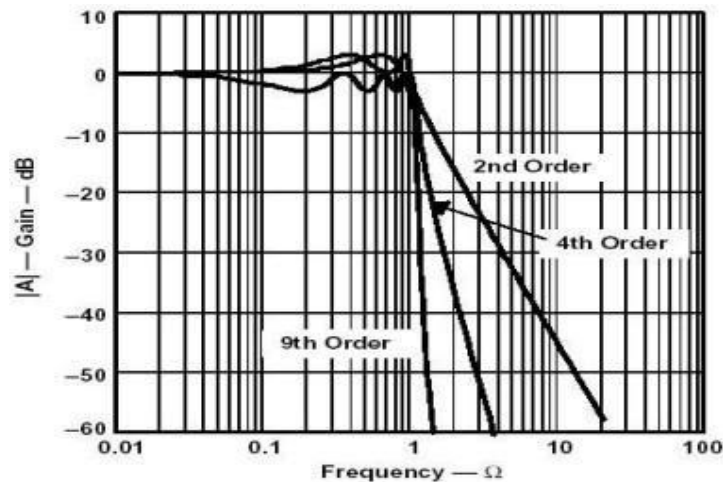


Figura 21. Gráfica típica de la función de transferencia en función de la frecuencia de corte. Tomada de curso de sistemas analógicos

Tabla 12. Tabla normalizada sobre valores críticos de diseño del filtro Tschebyscheff

Tschebyscheff			3-dB		
n	i	a_i	b_i	$k_i = f_{Ci} / f_c$	Q_i
1	1	1.0000	0.0000	1.000	—
2	1	1.0650	1.9305	1.000	1.30
3	1	3.3496	0.0000	0.299	—
	2	0.3559	1.1923	1.396	3.07
4	1	2.1853	5.5339	0.557	1.08
	2	0.1964	1.2009	1.410	5.58
5	1	5.6334	0.0000	0.178	—
	2	0.7620	2.6530	0.917	2.14
	3	0.1172	1.0686	1.500	8.82
6	1	3.2721	11.677	0.379	1.04
	2	0.4077	1.9873	1.086	3.46
	3	0.0815	1.0861	1.489	12.78
7	1	7.9084	0.0000	0.126	—
	2	1.1159	4.8963	0.670	1.98
	3	0.2515	1.5944	1.222	5.02
	4	0.0582	1.0348	1.527	17.46
8	1	4.3583	20.294	0.286	1.03
	2	0.5791	3.1808	0.855	3.08
	3	0.1765	1.4507	1.285	6.83
	4	0.0448	1.0478	1.517	22.87
9	1	10.175	0.0000	0.098	—
	2	1.4585	7.8971	0.528	1.93
	3	0.3561	2.3651	1.001	4.32
	4	0.1294	1.3165	1.351	8.87
	5	0.0348	1.0210	1.537	29.00
10	1	5.4449	31.378	0.230	1.03
	2	0.7414	4.7363	0.699	2.94
	3	0.2479	1.9952	1.094	5.70
	4	0.1008	1.2638	1.380	11.15
	5	0.0283	1.0304	1.530	35.85

Nota: Tomada de Curso de sistemas analógicos

2.2.5.3. Filtros híbridos

Con el objetivo de obtener mejores resultados se utiliza el filtro pasivo y el activo que establece un tipo de combinación entre ambas tecnologías.

Para el diseño del filtro híbrido primeramente se debe sintonizar el filtro pasivo a la frecuencia de la armónica de mayor incidencia del sistema entregando así también la energía reactiva demandada, ya que el filtro activo se encargará de las demás ordenes armónicas. Con esta topología se puede adicionalmente corregir el factor de potencia debido a la inyección de energía reactiva al sistema y eliminación del armónico de orden 11 en adelante (armónicos atípicos) (23).

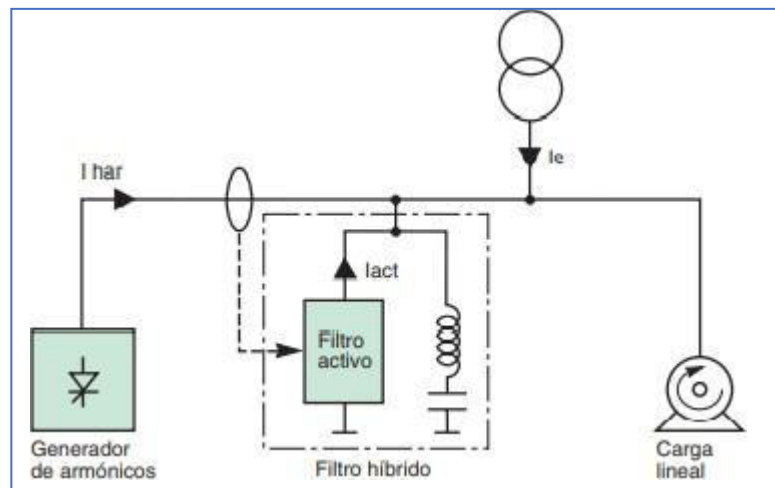


Figura 22. Conexión típica de un filtro híbrido. Tomada de Tesis Universidad Bio Bio. (11)

Esta topología se aplica en las siguientes circunstancias:

- “instalaciones donde va a requerir una corrección de potencia.” (19)
- “situaciones donde se necesita reducción de la tasa de distorsión de tensión para obviar la perturbación en los receptores sensibles” (19)
- “situaciones en las que se requiere la aceptación con los límites estrictos de la emisión armónica.” (19)
- En pocas palabras esta combina los beneficios de un filtro activo y pasivo.

2.3. Definición de términos básicos

Los términos directamente vinculados con esta investigación se han obtenido de fuentes confiables, entre estas están las normas como IEEE 519 y otros.

- **Armónicos:** “Los armónicos son los que deforman la señal de intensidad y/o tensión, perturbando la distribución eléctrica de potencia y disminuyendo la calidad de energía.” (19)
- **Interarmónicos:** “Es un componente de frecuencia de cantidad periódica que no es un múltiplo de la frecuencia que opera el sistema de suministro” (6).
- **Cargas no-lineales:** “Las cargas no lineales, aunque se alimentan con una tensión senoidal, consumen una corriente distorsionada o no senoidal.” (15)
- **Total de distorsión armónica (THD):** “La tasa de distorsión armónica es constantemente utilizada para definir la importancia del contenido armónico de una señal alternativa.” (19)
- **Filtro:** “Un filtro es un sistema que amplifica o atenúa en amplitud ciertas señales eléctricas que están en un determinado rango de frecuencia, definida por los diseñadores. También puede modificar la fase de la señal de entrada al filtro.” (11)
- **Filtro pasa bajo:** “Reduce la intensidad de todas las señales cuya frecuencia sea mayor a la frecuencia de corte y mantiene las que están bajo esta” (11)
- **Filtro paso alto:** “Atenúa todas las señales cuya frecuencia sea menor a la frecuencia de corte y mantiene las que están sobre esta” (11)
- **Filtro pasa banda:** “Permite el paso de las señales cuya frecuencia se encuentre dentro del intervalo creado entre dos frecuencias, atenuando el resto.” (11)
- **Filtro rechaza banda:** “Permite el paso de las señales cuya frecuencia este fuera del rango del intervalo creado entre dos frecuencias, atenuando las que están dentro de esta.” (11)
- **Resonancia:** “La resonancia se produce cuando el denominador $1-LsC\omega^2$ se acerca a cero. La frecuencia correspondiente se denomina frecuencia de resonancia del circuito” (19)
- **Punto de acoplamiento común (PCC):** “Apunte a un sistema de suministro de energía público, eléctricamente más cercano a una carga en particular, en el que otras cargas están o podrían estar conectadas. El PCC es un punto ubicado aguas arriba de la instalación considerada” (6).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y alcance de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que busca medir y analizar la disminución del nivel total de distorsión armónica (THD) tras la implementación de un filtro híbrido en las salas de cómputo del pabellón I de la Universidad Continental. Se empleó una metodología experimental para evaluar la efectividad del filtro, utilizando análisis estadísticos para validar los resultados.

3.1.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo experimental aplicada, ya que se implementó una solución tecnológica (filtro híbrido) en un entorno controlado y se analizaron sus efectos sobre el THD antes y después de su aplicación.

3.1.2. Alcance de la Investigación

3.2. Diseño de Investigación

Se empleó un diseño pre-test y pos-test con grupo único, donde se midió el THD antes y después de aplicar el filtro híbrido para determinar su conmovición en la calidad de la energía.

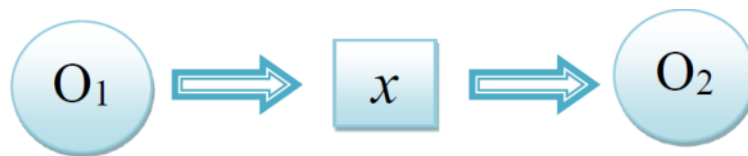


Figura 23. *Diseño de pre-test y pos-test*

Donde:

O1: Situación actual

X: PMP

O2: Estado posterior

Dado que se llevará a cabo una simulación para probar el rendimiento del filtro híbrido en diferentes condiciones y evaluar su eficacia para reducir el THD a niveles aceptables según las normas IEEE 519 y UNE-EN 50160.

El experimento se basará en el uso de software de simulación como Multisim y LabVIEW, herramientas que permiten modelar y analizar el comportamiento del sistema eléctrico en presencia de armónicos, así como la eficacia de los filtros pasivos, activos e híbridos.

3.3. Materiales y métodos

3.1.3. Población y muestra

La población que se analiza en esta investigación está constituida por el sistema eléctrico del pabellón I de cómputo de la Universidad Continental, el cual presenta una alta concentración de cargas no lineales (computadoras y otros equipos electrónicos).

La muestra seleccionada para la simulación se basa en un conjunto representativo de cargas no lineales presentes en el centro de cómputo, como ordenadores personales, monitores e impresoras

- Población: Equipos eléctricos de las salas de cómputo del pabellón I.
- Muestra: Se seleccionaron 10 puntos de medición dentro del pabellón para registrar el THD antes y después de la implementación del filtro.

3.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos

3.4.1. Herramientas de simulación

- **Multisim:** Para modelar circuitos y analizar el comportamiento de los filtros.
- **LabVIEW:** Para el procesamiento de datos y la visualización de los resultados.

3.4.2. Diseño de filtro híbrido

- Se utilizará un filtro pasivo sintonizado para los armónicos de tercer y quinto orden.
- Se diseñará un filtro activo tipo Butterworth de quinto orden para mejorar la atenuación del THD.
- Se combinarán los filtros pasivo y activo para formar un filtro híbrido que combine los beneficios de ambos.

3.4.3. Parámetros de evaluación

- Se medirá el nivel de THD antes y después de aplicar el filtro híbrido.
- Se analizará la eficiencia del filtro en términos de reducción del THD.
- Se evaluará la conformidad del sistema filtrado con las normas IEEE 519 y UNE-EN 50160.

3.4.4. Simulación

- Se realizarán simulaciones bajo distintas condiciones de carga (sin funcionamiento, almacenamiento de información y mantenimiento) para evaluar el comportamiento del filtro híbrido en escenarios reales.

3.4.5. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos se procesarán utilizando herramientas como Excel y LabVIEW, para calcular el porcentaje de reducción del THD y evaluar el rendimiento del filtro híbrido.

3.4.6. Validación del diseño

Los resultados de la simulación se validarán mediante un análisis comparativo con otros tipos de filtros (pasivos y activos) para determinar la superioridad del filtro híbrido diseñado.

3.5. Pruebas estadísticas aplicadas

3.5.1. Prueba de normalidad (Shapiro – Wilk)

La **prueba de Shapiro-Wilk** es un método estadístico diseñado con el fin de determinar si los datos se ajustan a una **distribución normal**. Es una de las pruebas más utilizadas para verificar la normalidad en muestras pequeñas (**n < 50**), aunque también puede aplicarse a muestras más grandes.

3.5.2. Prueba t de Student para muestras relacionadas

$$t = \frac{D}{s_D/\sqrt{n}} \quad (4)$$

Donde:

- D = Media de las diferencias entre los pares de datos.
- S_D = Desviación estándar de las diferencias.
- n = Número de pares de datos.

Supuestos de la prueba:

- Los datos deben ser normales (validado con una prueba de normalidad).
- Las mediciones deben ser pareadas (es decir, cada valor antes de la intervención tiene su correspondiente valor después).

Criterio de decisión

- Si $p\text{-value} \leq 0.05 \rightarrow$ Se rechaza la hipótesis nula (H_0), lo que indica que hay una diferencia significativa entre las dos mediciones.
- Si $p\text{-value} > 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0 , lo que significa que no hay una diferencia significativa entre las dos mediciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Identificación de la necesidad problema e identificación de requerimientos

El sistema el cual evaluaremos consta de una gran cantidad de computadoras, con circuitos conmutados, estos circuitos electrónicos presentes en la red le proporcionan una distorsión a la forma de onda del sistema, lo que no permitirá: un correcto funcionamiento, sobrecalentamiento de circuitos y conductores, disminución de vida útil, etc.

Tabla 13. Cálculo de la corriente y potencia de la sala de cómputo

Potencia del Monitor (W)			Potencia de computadora (w)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
MONITOR		Consumo de Potencia promedio por Monitor (W)	CPU		Consumo de Potencia por CPU(W)	Consumo de Potencia del Monitor mas el CPU (W)	salones por piso	número de pisos	Cantidad de computadoras por salón	Cantidad de computadoras por pabellón	Días de uso	Factor de simultaneidad	Potencia utilizada por día (W)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Tipos de Monitores usados en el pabellón (pulgadas)	Potencia por cada tipo Monitor utilizado en el pabellón		Características de la computadora																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
15 pulgadas	25	37	Marca de procesador	AMD	171	208	4	5	30	600	Lunes	80%	99680																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
			Modelo de CPU	2700x							Martes	80%	99680																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
			Marca de tarjeta de video	NVIDIA							Miércoles	80%	99680																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
			Modelo de VGA	x							Jueves	80%	99680																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
17 pulgadas	40		Numero de tarjetas	1							171	208	4	5	30	600	Viernes	80%	99680																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			Tipo de tarjeta Madre	Escritorio																Sábado	50%	62300																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			Tipo de memoria RAM	DDR4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			Cantidad de RAM	16gb																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
19 pulgadas	45		Discos de estado solido (SDD)	x													171	208	4	5	30	600	Domingo	50%	62300																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
			Discos Mecánicos (HDD)	4																						Potencia Máxima (Kw)	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
			Ventiladores	1																								Potencia Máxima (w)	100000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
			Unidades Opticas	1																										Corriente (A)	455																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		Tipo de enfriamiento	Por aire																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

Nota: Elaboración propia

Por la presencia de estas afecciones y considerando que dicha carga no presenta un filtro de armónicos en su circuito, en el presente trabajo realizaremos una simulación de la carga a filtrar, diseñando un filtro hibrido capaz de atenuar esta perturbación.

Se realizó la simulación de cargas de un circuito conmutado, es decir, de computadoras, en función a los factores de amplitud, estos valores fueron tomados del artículo “análisis e la calidad de la energía en un centro de cómputos” tomando en cuenta solo 3 distintas actividades, dentro de un centro de cómputo:

- Actividad 1: Sin funcionamiento
- Actividad 2: Almacenamiento de información
- Actividad 3: Mantenimiento

En consiguiente simulamos el gráfico de barras y tendencia armónica y calculando también así el porcentaje de THD, lo cual nos dio como resultado una mayor presencia del tercer, quinto y séptimo orden como se observa en la figura.

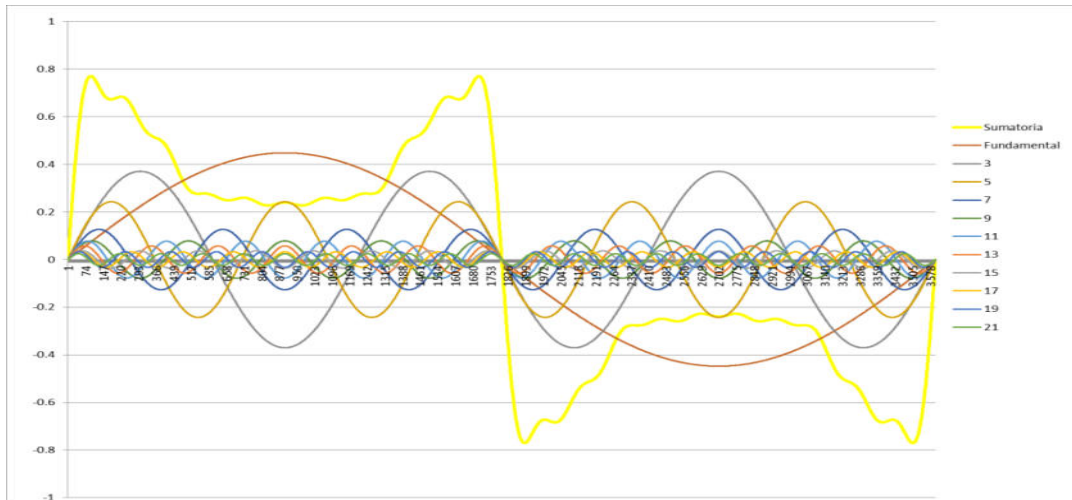


Figura 24. Tendencia de comportamiento de los armónicos en Salas de cómputo

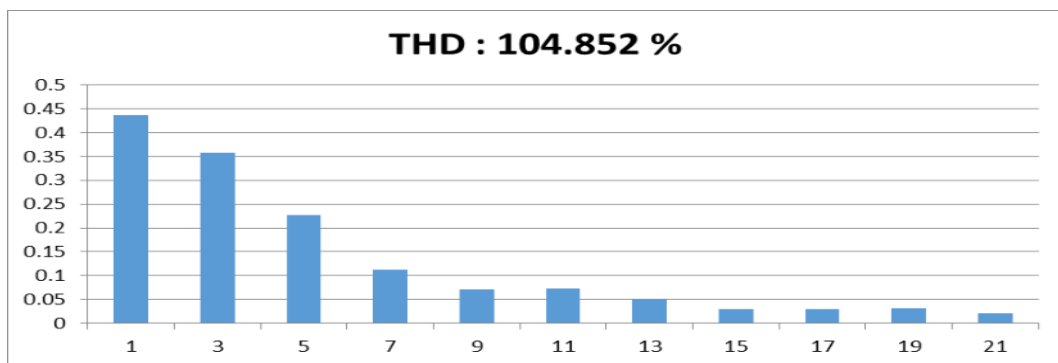


Figura 25. Espectro de Fourier relacionado al comportamiento de los armónicos en salas de cómputo.

Se muestra que el porcentaje de THD es de 104.852 %, con mayor presencia del tercer, quinto y séptimo orden.

Tabla 14. Armónicos predominantes en el sistema

Armonicos (Orden)	Factor de Amplitud	Corriente (porcentaje del factor de amplitud)	Corriente y Potencia que debe soportar los componentes de los filtros	
			Corriente por Armónico (A)	Potencia por armónico (kw)
1	0.436	44%	198	44
3	0.358	36%	163	36
5	0.227666667	23%	103	23
7	0.113	11%	51	11
9	0.071333333	7%	32	7
11	0.072666667	7%	33	7
13	0.051333333	5%	23	5

15	0.030333333	3%	14	3
17	0.030333333	3%	14	3
19	0.030666667	3%	14	3
21	0.021	2%	10	2

Nota: Elaboración propia.

4.2. Propuesta de solución

La investigación actual tiene como objetivo desarrollar el diseño de un filtro híbrido en base a la combinación de un filtro activo y un filtro pasivo en forma paralela a la carga, con el fin de atenuar la distorsión armónica, a continuación, se realizará el diseño de 2 filtros pasivos uno de ellos sintonizado y el otro pasa bajo; a su vez el diseño de dos tipos de filtros activos de estructura Butterworth de diferente orden.

4.2.1. Diseño de filtros pasivos sintonizados

4.2.1.1. Diseño del filtro pasivo (tercer orden):

$$Z_{eq} = R + Z_L + Z_C$$

$$Z_{eq} = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = \alpha + j\beta$$

$$\beta = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 0$$

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{32 \times 10^{-3} \times 24 \times 10^{-6}}}$$

$$f_R = 187.56 \text{ Hz}$$

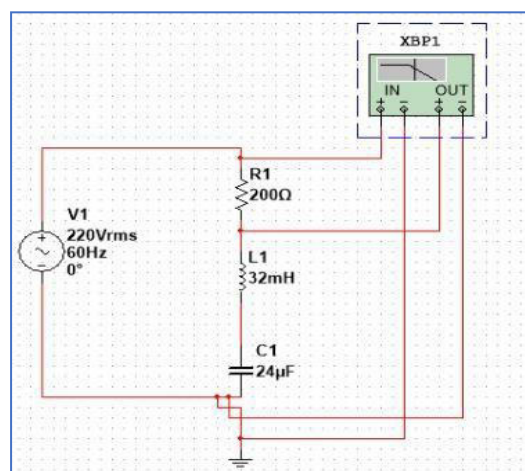


Figura 26. *Diseño de filtro pasivo sintonizado para el armónico de tercer orden*

En la figura 26 se muestra la estructura del filtro sintonizado que vendría a ser un circuito RLC, sintonizado a una frecuencia determinada en este caso con la fórmula anterior se ajusta este circuito para suprimir el armónico de tercer orden.

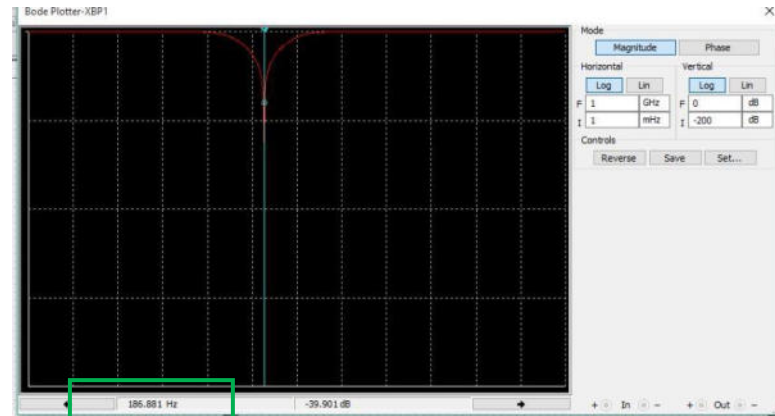


Figura 27. *Prueba de cumplimiento con la frecuencia del filtro pasivo sintonizado tercer armónico*

En la figura 27 se puede observar que mediante el software Multisim se realizó la prueba si dicho circuito alcanzaba la frecuencia determinada y se pudo comprobar que la frecuencia sintonizada es de 179.846 Hz que viene siendo un valor muy cercano a 180 Hz, que logra sintonizar a dicha frecuencia.

4.2.1.2. Diseño de filtro pasivo (quinto orden):

$$Z_{eq} = R + Z_L + Z_C$$

$$Z_{eq} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = \alpha + j\beta$$

$$\beta = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{9 \times 10^{-3} \times 30 \times 10^{-6}}}$$

$$f_R = 306.29 \text{ Hz}$$

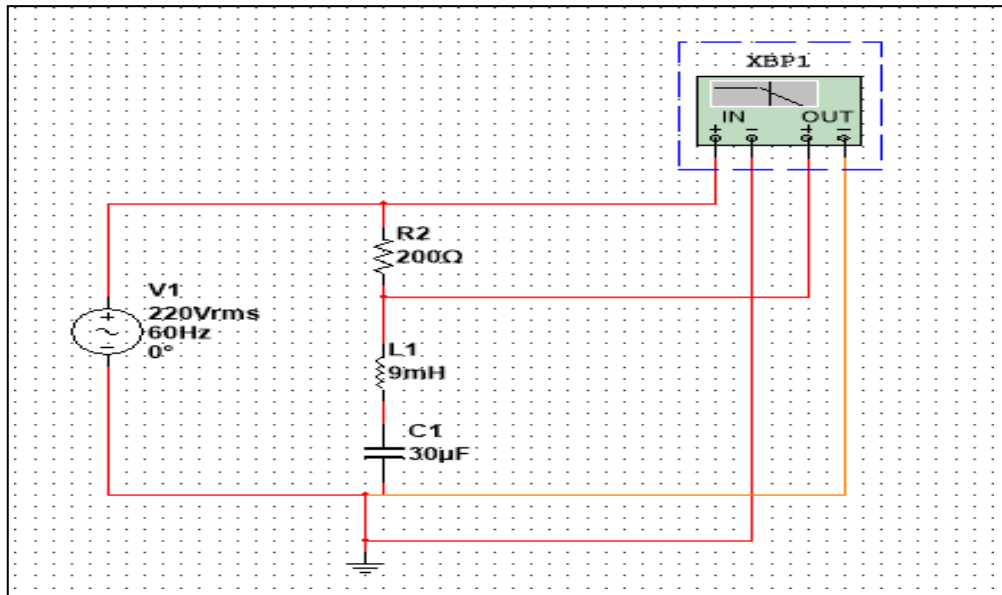


Figura 28. Diseño de filtro pasivo sintonizado para el armónico de quinto orden

De la misma manera que en la figura 27, en la figura 28 se observa la estructura del circuito sintonizado RLC que mitigará el armónico de 5 orden es decir que se sintoniza a la frecuencia de 300Hz.

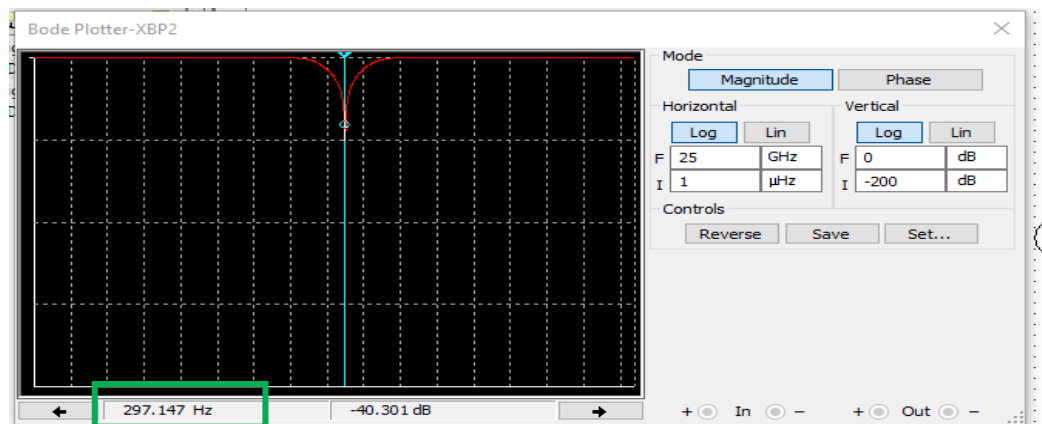


Figura 29. Prueba de cumplimiento con la frecuencia del filtro pasivo sintonizado quinto armónico

En la figura 29 se muestra que, a través del software Multisim se realizó la prueba del circuito presentado en la figura 28 para comprobar si lograba alcanzar la frecuencia determinada y se pudo comprobar que la frecuencia sintonizada es de 297.147 Hz que viene siendo un valor muy cercano a 300 Hz, que logra sintonizar a dicha frecuencia.

4.2.2. Diseño de filtros pasivos pasa bajo

4.2.2.1. Diseño del filtro Pasivo (tercer orden)

$$f_c = \frac{1}{2\pi \times R \times C}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \times 800 \times 1 \times 10^{-6}}$$

$$f_c = 180.86 \text{ Hz}$$

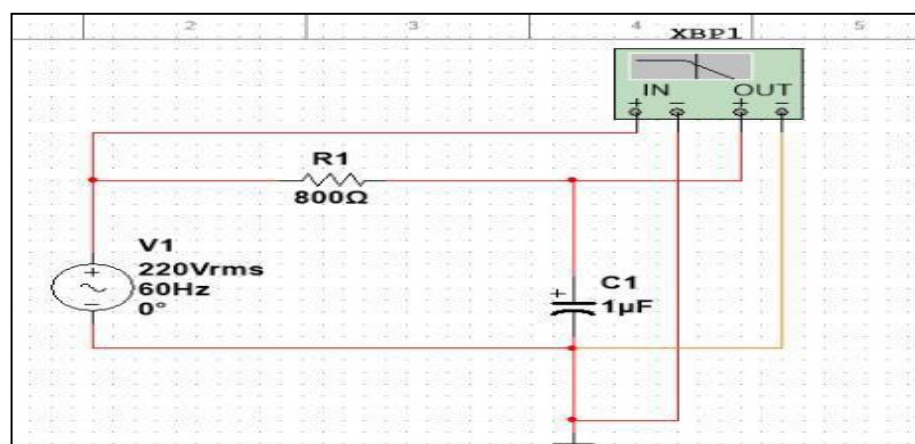


Figura 30. Diseño de filtro pasivo pasa bajo para el armónico de tercer orden

En la figura 30 se puede observar la estructura del circuito pasa bajo, que solo este formado por un circuito RC, del cual depende su frecuencia de corte, en este caso al ser su frecuencia de corte 180.86Hz quiere decir que atenuará las armónicas a partir de la frecuencia de corte, pero al ser pasivo generalmente el poder de atenuación se concentra en la frecuencia de corte.

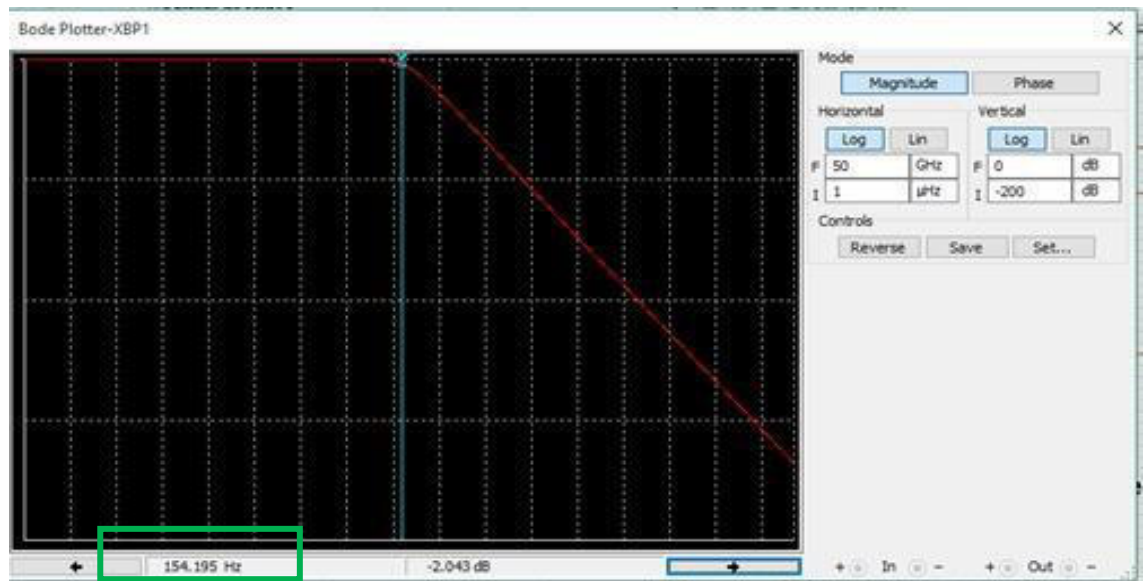


Figura 31. Prueba de cumplimiento con la frecuencia del filtro paso bajo del tercer armónico

En la figura 31 se puede presumir que mediante la simulación la frecuencia de corte y la más cercana es la de 154.195 Hz que si bien es cierto es una frecuencia algo lejana de la de 180 que se desea conseguir es la que se puede alcanzar con el diseño y como a partir de ella se empieza a cortar el paso de las ondas mayores a la frecuencia de corte y al ser 180Hz una frecuencia cercana su atenuación no será completa pero si se disminuirá considerablemente.

4.2.2.2. Diseño del filtro pasivo (quinto orden):

$$f_c = \frac{1}{2\pi \times R \times C}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \times 530 \times 1 \times 10^{-6}}$$

$$f_c = 300.29 \text{ Hz}$$

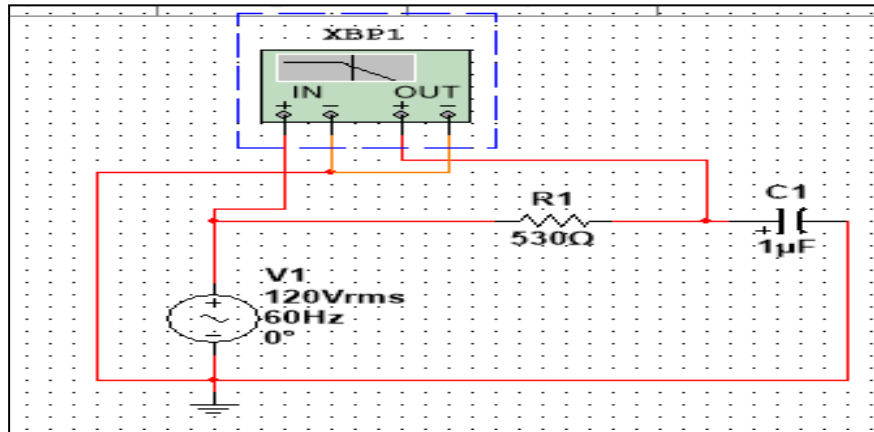


Figura 32. Diseño de filtro pasivo pasa bajo para el armónico de quinto orden

En la figura 32 se puede notar el diseño del circuito que pasa bajo para el 5 armónico, es decir su frecuencia de corte de este circuito teóricamente es de 300.29Hz esto se puede asumir como un valor muy cercano a 300HZ que es la frecuencia del armónico de orden cinco.

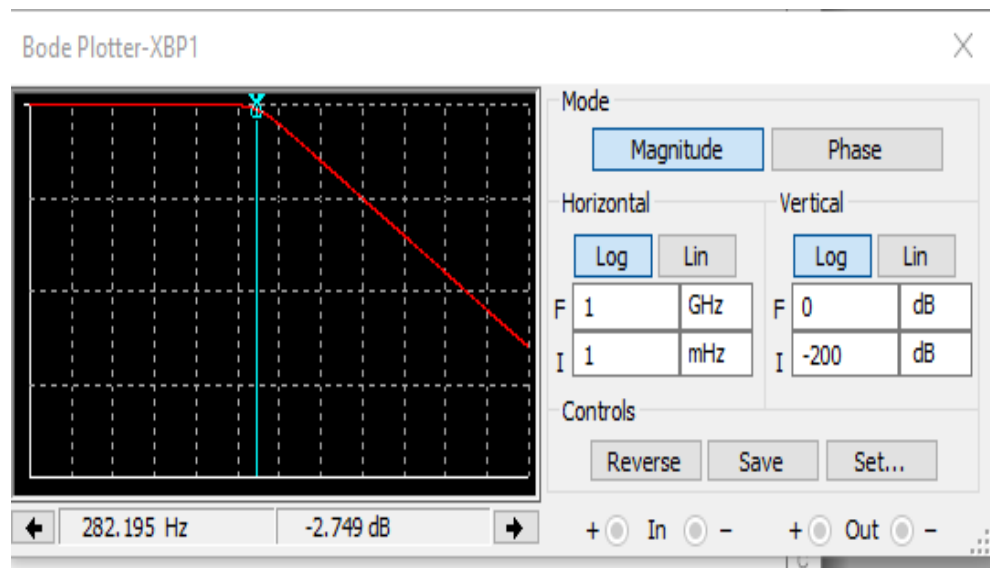


Figura 33. Prueba de cumplimiento con la frecuencia filtro pasivo pasa bajo del quinto armónico

En la figura 33 se puede observar la frecuencia a la cual está funcionando el circuito que viene a ser 282.195 Hz que es una frecuencia muy cercana a la frecuencia teórica de diseño esto quiere decir que la atenuación inicia en dicha frecuencia de corte.

4.2.3. Proceso de diseño de filtros

El diseño del filtro híbrido se desarrolla en una serie de etapas organizadas, que permiten abordar el problema de la distorsión armónica total (THD) presente en el sistema eléctrico del pabellón de cómputo. Para ello, se utilizan los entornos de simulación Multisim, enfocado al modelado físico de circuitos eléctricos, y LabVIEW, orientado al análisis digital, procesamiento de señales y validación en tiempo real.

El proceso inicia con el análisis de la red eléctrica contaminada por armónicos, típicamente producidos por cargas no lineales como computadoras y equipos electrónicos. Se identifican los armónicos predominantes (3.º, 5.º y 7.º orden), y se evalúa el nivel inicial de distorsión armónica (THD), que superan los límites establecidos por las normas IEEE 519 y UNE-EN 50160.

En esta fase, se plantean y simulan distintas configuraciones de filtros: Filtros pasivos sintonizados (tercer y quinto orden), modelados en Multisim, permiten eliminar armónicos específicos mediante circuitos RLC con frecuencia de corte ajustada. Filtro activo Butterworth (quinto y sexto orden), también implementado en Multisim, ofrece una respuesta más amplia para armónicos de orden superior y mejora el perfil general de la señal.

Ambos tipos de filtros se combinan topológicamente en una configuración híbrida: el filtro pasivo atenúa los armónicos de mayor incidencia, y el filtro activo corrige los restantes, incluyendo los de orden alto y variables en el tiempo.

Asimismo, se realiza la implementación de los circuitos propuestos en Multisim, herramienta que permite modelar el comportamiento eléctrico real del sistema. Aquí se ajustan los valores de resistencia, inductancia y capacitancia de los filtros pasivos, y se evalúa el desempeño del filtro activo con diferentes órdenes. Se verifica que el circuito responda correctamente ante señales distorsionadas, observando los puntos de conexión, respuesta en frecuencia y comportamiento de la corriente y tensión.

4.2.4. Análisis digital y validación en LabVIEW

En paralelo, se lleva a cabo una validación funcional en LabVIEW: Se generan señales armónicas usando el bloque Simulate Signal, replicando las condiciones reales de la red contaminada. Estas señales se procesan con herramientas como Spectral Measurements y Distortion Measurements, que permiten visualizar el espectro de frecuencias y calcular el THD. Se implementan filtros digitales que simulan el comportamiento del filtro físico diseñado, permitiendo comparar y ajustar parámetros. Con el uso de DAQ Assist, se establece la comunicación con Multisim o hardware real, permitiendo enviar señales al circuito o leer la respuesta del sistema para su análisis inmediato.

Una vez integradas ambas plataformas, se realiza una prueba de desempeño del filtro híbrido. Se comparan los niveles de THD antes y después de aplicar el filtro, visualizando gráficamente las mejoras en el espectro de señal. Se identifican los armónicos eliminados y se comprueba que el diseño propuesto reduce el THD a niveles inferiores al 5%, cumpliendo así con las normativas técnicas.

4.2.5. Descripción del proceso

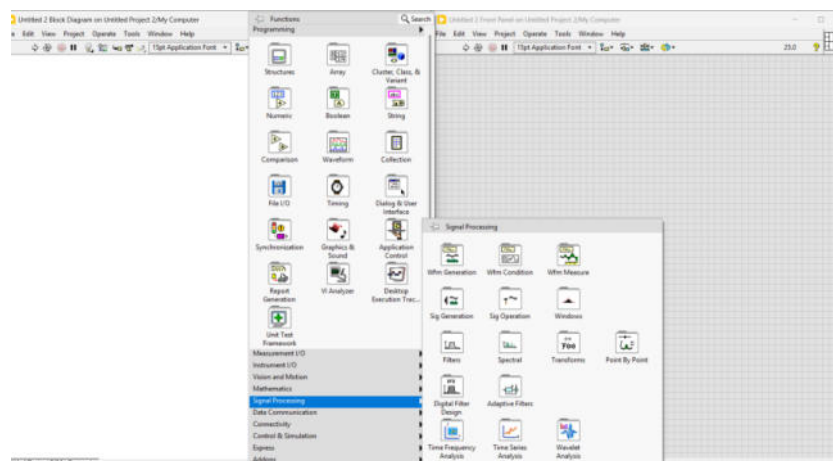


Figura 34:Entorno de trabajo LabVIEW

La figura 34 presenta el entorno de trabajo de LabVIEW con la paleta de funciones desplegada, específicamente en el apartado DAQmx. Este conjunto de herramientas permite establecer comunicación con hardware real (como NI myDAQ o ELVIS) o con

simulaciones desde Multisim. El bloque destacado, DAQ Assist, es clave para la unificación de ambos entornos, ya que permite enviar señales desde LabVIEW a un circuito en Multisim, o bien recibir respuestas desde la simulación para ser analizadas en tiempo real. Su inclusión demuestra que el proyecto está preparado para realizar pruebas integradas, lo que es esencial para validar el diseño del filtro híbrido en condiciones virtuales que imitan la realidad.

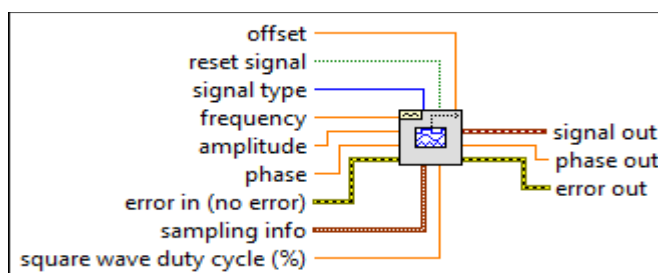


Figura 35. Entorno de trabajo LabVIEW

En la figura 35 se visualiza el componente "**Simulate Signal**" dentro del entorno gráfico de LabVIEW. Este bloque permite generar señales armónicas controladas con parámetros definidos como: frecuencia, amplitud y tipo de onda. Estas señales son utilizadas como insumos para evaluar la respuesta del sistema eléctrico ante condiciones de distorsión armónica, similares a las que generan las cargas no lineales en salas de cómputo. La capacidad de crear señales personalizadas permite probar cómo el filtro responde ante cada frecuencia específica, facilitando la verificación de su eficacia frente a armónicos particulares.

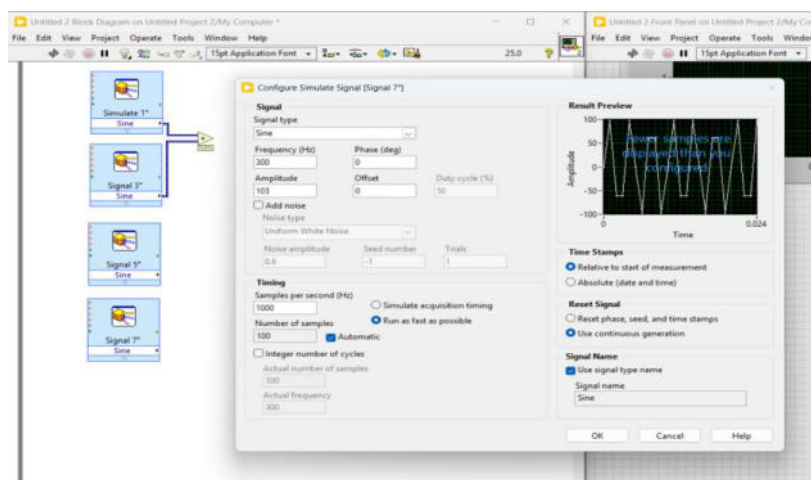


Figura 36: Configuración avanzada del LabVIEW

En la figura 36 muestra una configuración más avanzada del sistema generador de señales. Aquí se han construido múltiples ramas, cada una generando una frecuencia armónica diferente, hasta alcanzar la **21.ª armónica**. Estas señales se combinan para simular una red altamente contaminada, reflejando un escenario realista donde el sistema eléctrico debe enfrentar múltiples distorsiones simultáneas. Esta simulación permite evaluar de forma exhaustiva el rendimiento del filtro híbrido, diseñando una solución que sea efectiva no solo para uno, sino para varios armónicos en simultáneo.

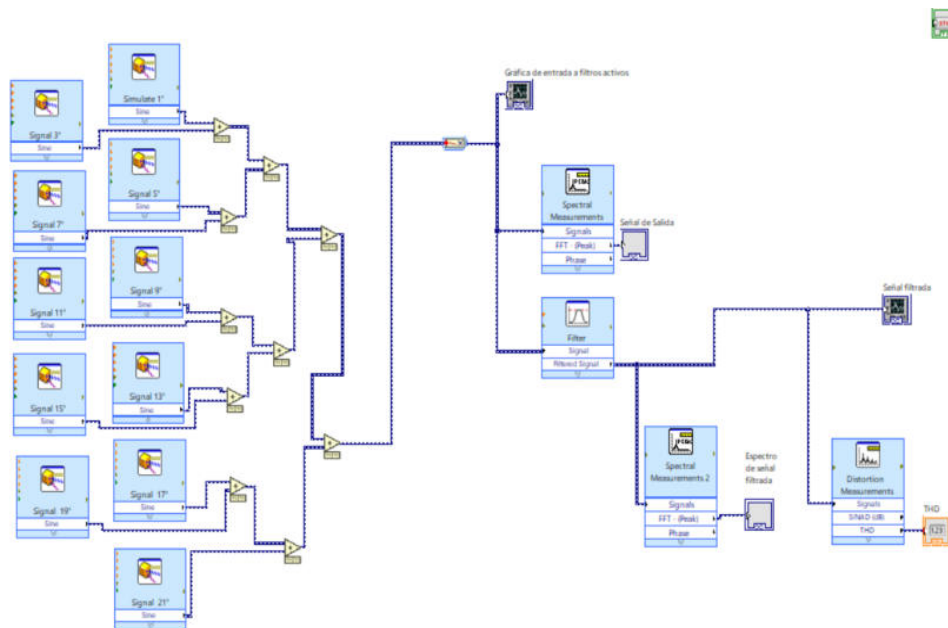


Figura 37: Configuración avanzada del LabVIEW

En la figura 37 se aprecia el **proceso completo de tratamiento de la señal**. Luego de generar las señales armónicas, estas pasan por módulos como Spectral Measurements y Distortion Measurements, que transforman las señales al dominio

de la frecuencia y calculan el nivel de **distorsión armónica total (THD)**, respectivamente. También se ha implementado un filtro dentro del entorno de LabVIEW que actúa sobre la señal compuesta, permitiendo comparar visual y numéricamente el antes y después de su aplicación. Este procesamiento no solo muestra la efectividad del filtro, sino que permite ajustar parámetros en tiempo real, haciendo más eficiente el proceso de diseño.

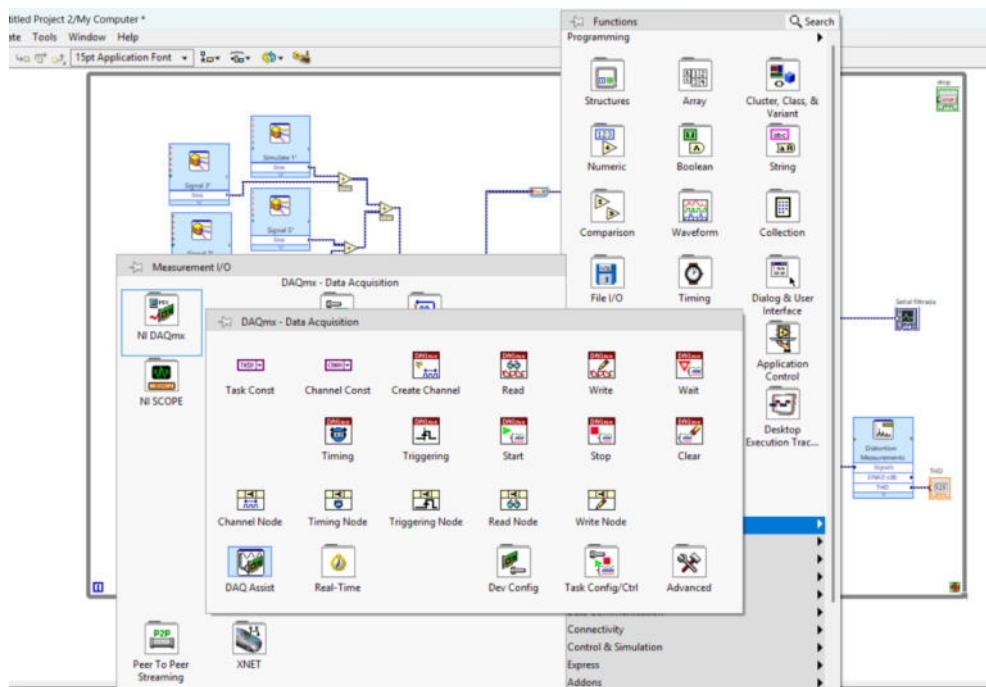


Figura 38: Configuración avanzada del LabVIEW

En la figura 38 se muestra el **proceso completo de tratamiento de la señal**. Luego de generar las señales armónicas, estas pasan por módulos como: Spectral Measurements y Distortion Measurements, que transforman las señales al dominio de la frecuencia y calculan el nivel de **distorsión armónica total (THD)**, respectivamente. También se ha implementado un filtro dentro del entorno de LabVIEW que actúa sobre la señal compuesta, permitiendo comparar visual y numéricamente el antes y después de su aplicación. Este procesamiento no solo muestra la efectividad del filtro, sino que permite ajustar parámetros en tiempo real, haciendo más eficiente el proceso de diseño.

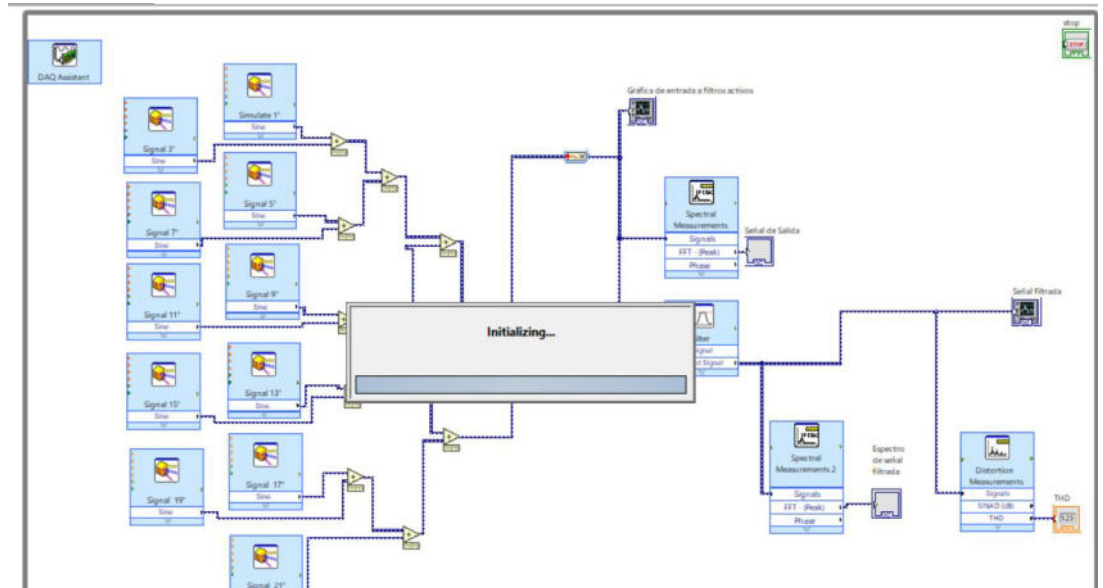


Figura 39: Configuración avanzada del LabVIEW

En la figura 39 muestra la integración completa del sistema, con la inclusión del bloque DAQ Assist dentro del diagrama de bloques general. Este elemento confirma que las señales generadas o medidas pueden ser enviadas o recibidas a través de hardware o desde Multisim, cerrando así el ciclo de simulación. Esto permite validar cómo responde el filtro híbrido ante diferentes condiciones de entrada, ya sea mediante señales simuladas en LabVIEW o circuitos virtuales construidos en Multisim. Este nivel de integración favorece un diseño más robusto y con mayor fidelidad al comportamiento real del sistema eléctrico.

4.2.6. Diseño de filtros activo Butterworth

Para realizar el diseño del filtro activo se evalúa los valores de atenuación y factor de calidad de la tabla 7 donde en primer lugar se determina el orden al cual se realizará el diseño y luego mediante el software LabVIEW se determina la frecuencia de corte teórica para analizar la función de transferencia y la gráfica de frecuencia de corte.

4.2.6.1. Diseño del filtro activo Butterworth de quinto orden

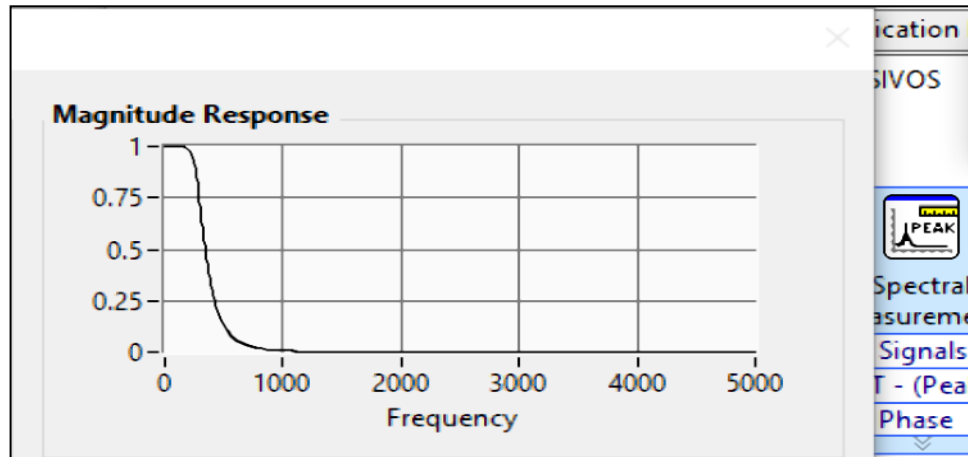


Figura 40. Gráfico sobre la respuesta de la magnitud del filtro activo Butterworth de orden 5

En la figura 40 muestra el comportamiento de la frecuencia del primer diseño en este caso la del filtro activo Butterworth. Conde a escala se puede observas que la frecuencia de corte es aproximadamente los 300Hz que se determinó anteriormente.

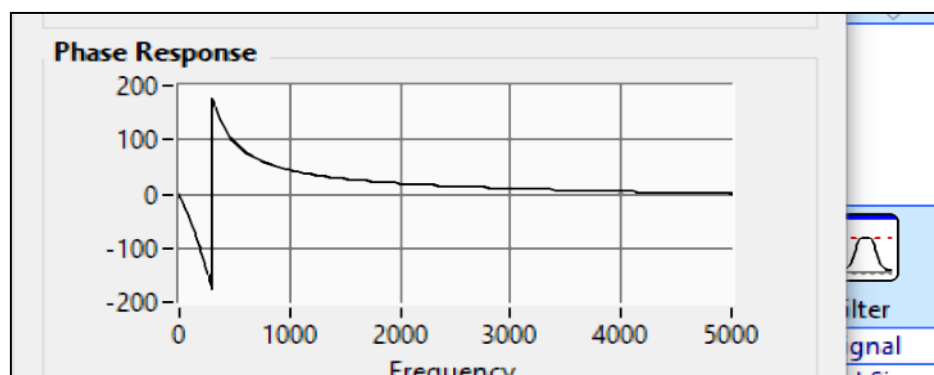


Figura 41. Gráfico de respuesta de fase del filtro activo Butterworth de orden 5

En la figura 41 muestra el comportamiento de la respuesta en fase frecuencia del primer diseño en este caso la del filtro activo Butterworth. Donde a escala se puede observar la respuesta que la frecuencia de corte es aproximadamente los 300Hz que se circula en proporción al eje de las abscisas.

4.2.6.2. Diseño del filtro pasivo Butterworth de sexto orden

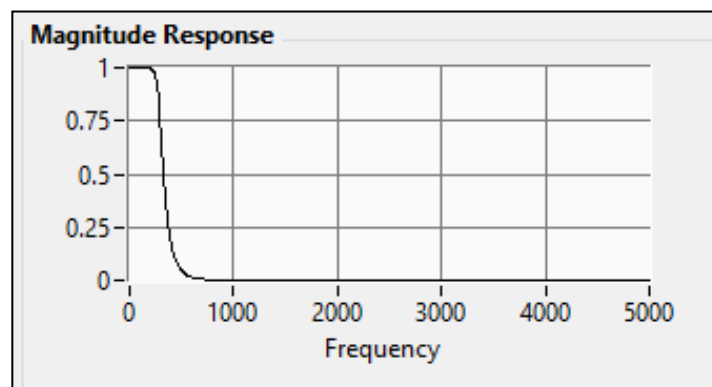


Figura 42. Gráfico sobre la respuesta de la magnitud del filtro activo Butterworth de orden 6

En la figura 42 se puede observar el comportamiento de la frecuencia del segundo diseño en este caso la del filtro activo Butterworth. Donde a escala se puede observar que la frecuencia de corte es aproximadamente los 300Hz misma del anterior diseño lo que varía en este caso es el orden que se determinó anteriormente en este caso el orden es 6 es decir tiene una composición de filtrado de 6 ramas a demás en comparación a la gráfica 24 esta se alinea mejor a la frecuencia.

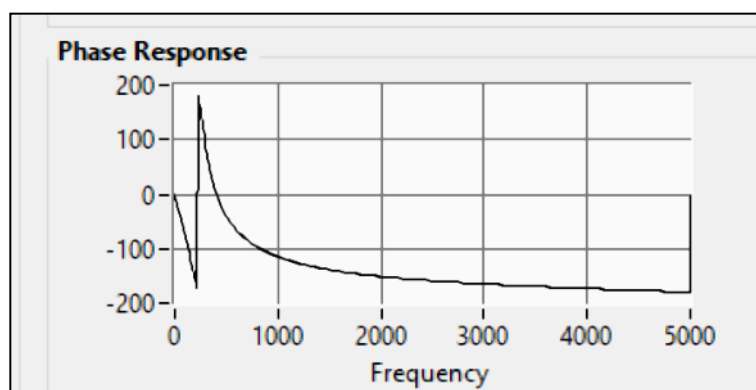


Figura 43. Gráfico de respuesta de fase del filtro activo Butterworth de orden 5

En la figura 43 se aprecia el comportamiento de la respuesta en fase frecuencia del segundo diseño en este caso la del filtro activo Butterworth. Donde a escala se puede observar la respuesta que la frecuencia de corte es aproximadamente los 300Hz que se calcula en proporción al eje de las

abscisas.

4.3. Simulación

Para la simulación de filtros pasivos se utilizó el software Multisim para la simulación de su funcionamiento.

4.3.1. Prueba de filtros pasivos del tercer armónico

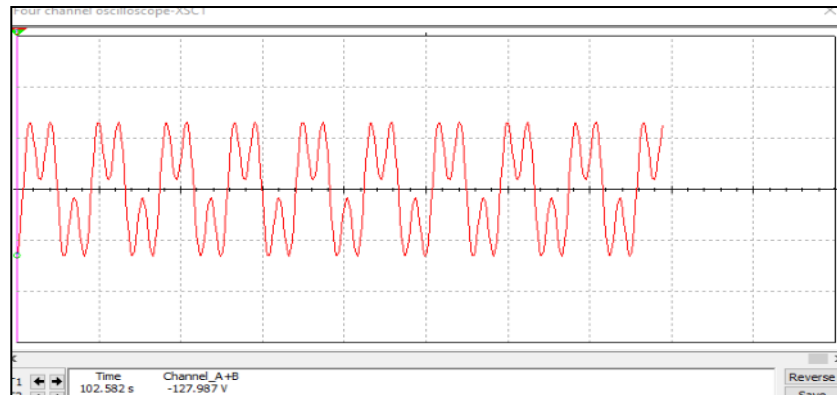


Figura 44. Onda fundamental y el tercer armónico

En la figura 44 se puede observar la señal generada en el software Multisim en base a la onda fundamental de 60Hz y el primer armónico. Para probar los primeros filtros pasivos.

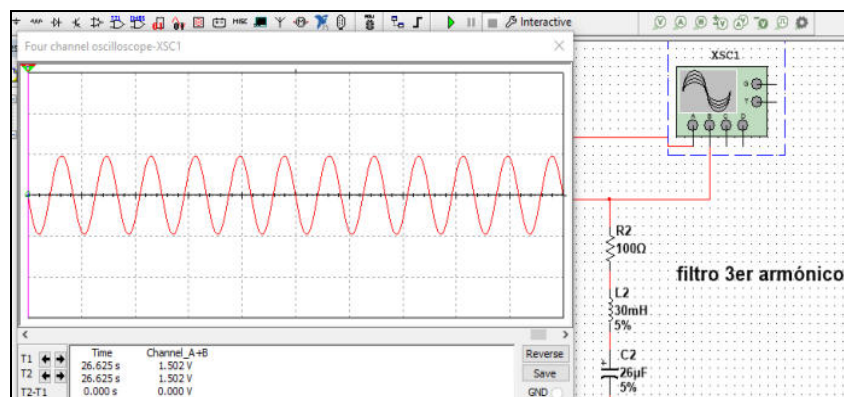


Figura 45. Señal filtrada por el filtro sintonizado sobre el tercer armónico

En la figura 45 se puede observar el filtrado en el software Multisim en base a la conexión del primer filtro sintonizado, y se observa que solo se obtiene la onda fundamental ideal.

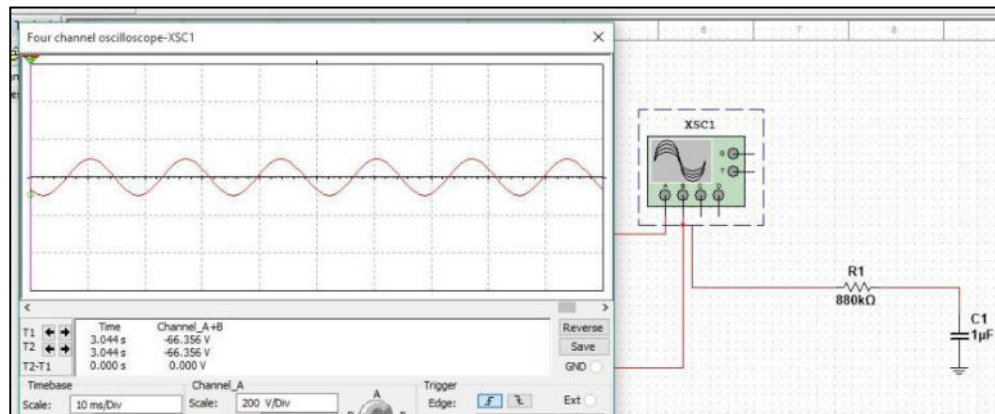


Figura 46. Señal filtrada por el filtro pasa bajo sobre el tercer armónico

En la figura 46 se puede observar el filtrado en el software Multisim en base a la conexión del primer filtro pasa bajo en este caso también del tercer armónico, y se observa que solo se obtiene la onda fundamental ideal.

4.3.2. Prueba de filtros pasivos de quinto armónico

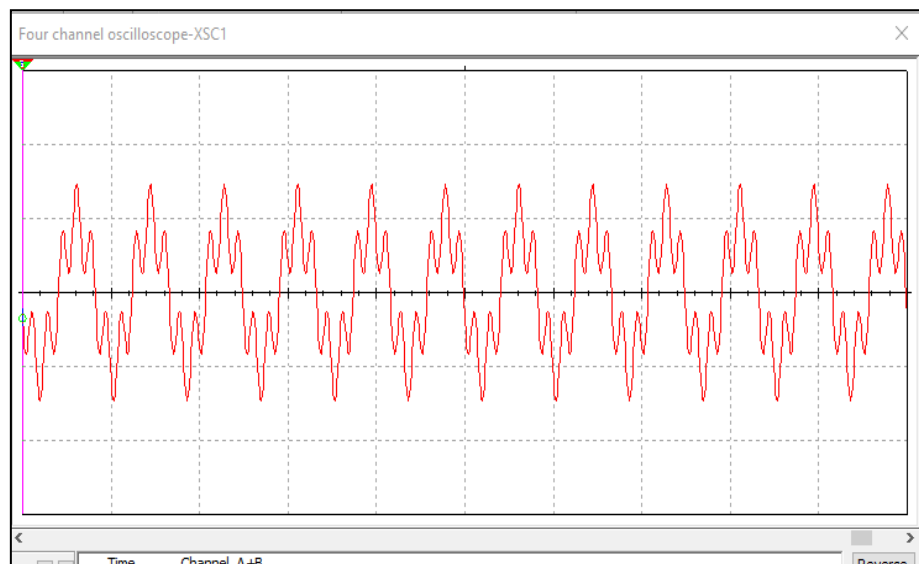


Figura 47. Onda fundamental y el quinto armónico

En la figura 47 se puede observar la señal generada en el software Multisim en base a la onda fundamental de 60Hz y el quinto armónico. Para probar el filtro pasivo en relación al tipo de distorsión.

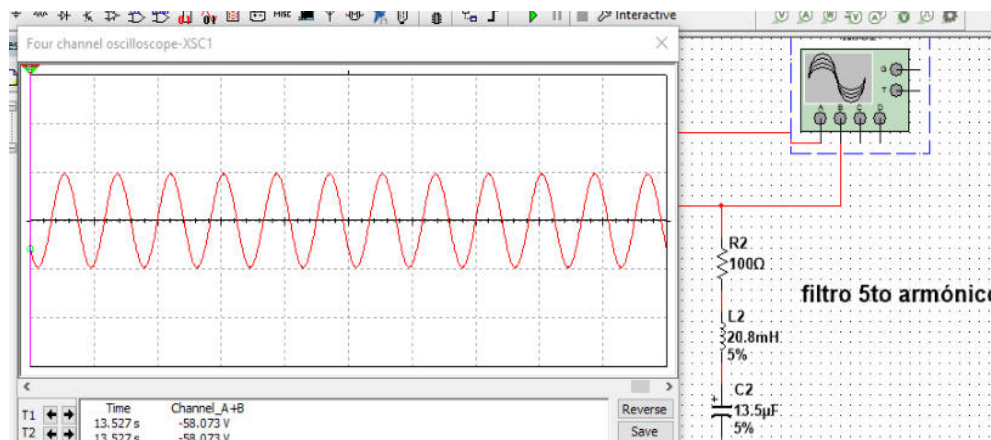


Figura 48. Señal filtrada por el filtro sintonizado sobre el quinto armónico

En la figura 48 se puede observar el filtrado en el software Multisim en base a la conexión del segundo filtro sintonizado, y se observa que solo se obtiene la onda fundamental ideal.

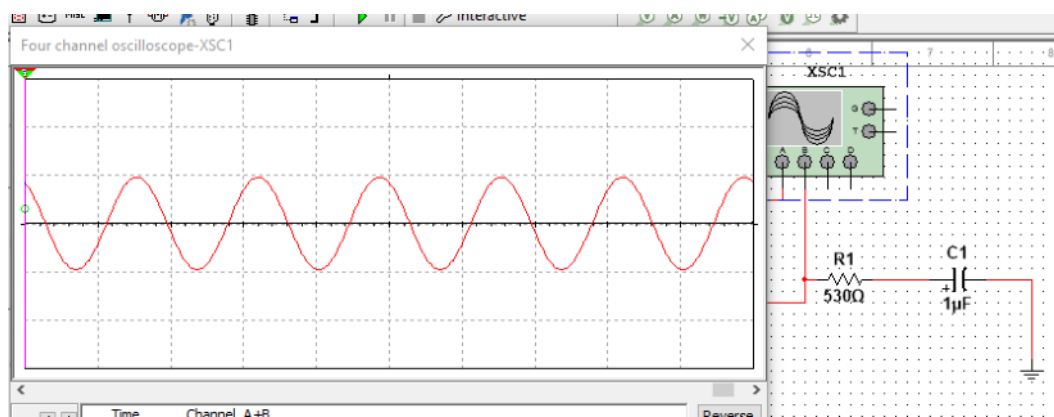


Figura 49. Señal filtrada por el filtro pasa bajo sobre el quinto armónico

En la figura 49 se puede observar el filtrado en el software Multisim en base a la conexión del segundo filtro pasa bajo en este caso también del quinto armónico, y se observa que solo se obtiene la onda fundamental ideal.

4.3.3. Prueba del filtro activo Butterworth

Para llevar a cabo la simulación del filtro activo se utilizó el software LabVIEW.

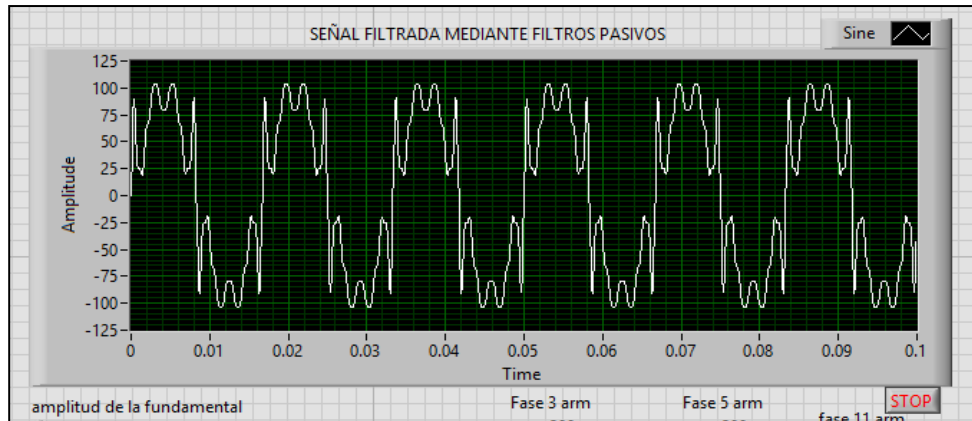


Figura 50. Señal filtrada por los filtros pasivos (tercer y quinto armónico)

En la figura 50 se puede observar la señal ya filtrada mediante los filtros pasivo y que serán filtradas por el software para observar el comportamiento con ambos filtros.

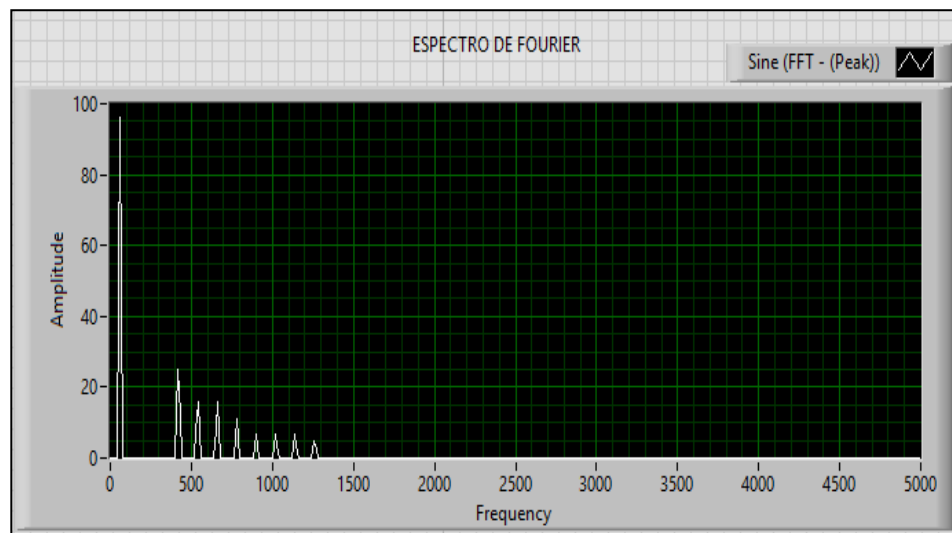


Figura 51. Espectro de Fourier de la señal filtrada por filtros pasivos, tercer y quinto armónico

En la figura 51 se puede observar es espectro de Fourier de la señal mostrada en la figura 50 se observa que hay presencia de armónicos hasta el orden 21 pero los armónicos de 3 y 5 orden ya no se encuentra porque se han mitigado.

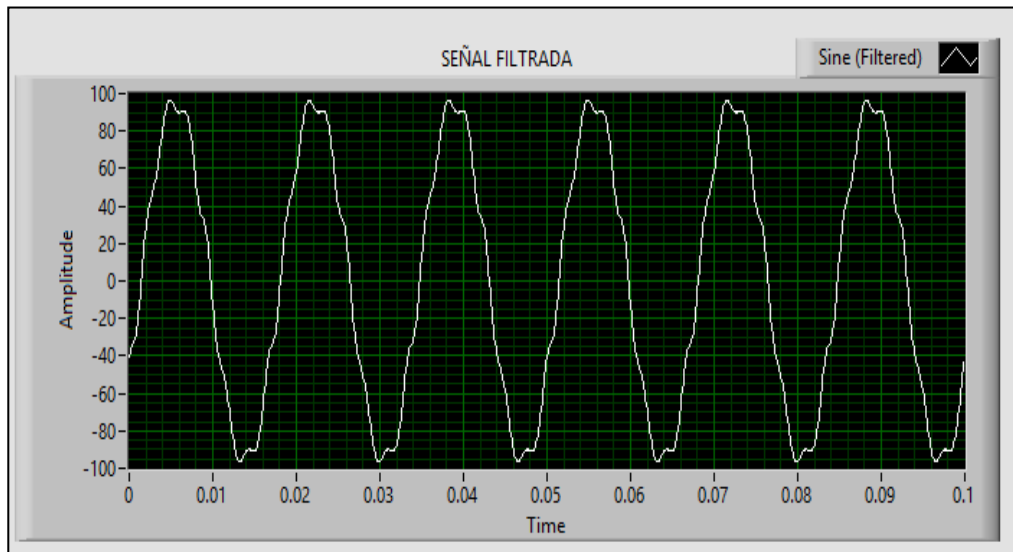


Figura 52. Señal filtrada por el filtro activo Butterworth de orden 5

En la figura 52 se puede observar la señal ya filtrada por el filtro activo de orden 5.

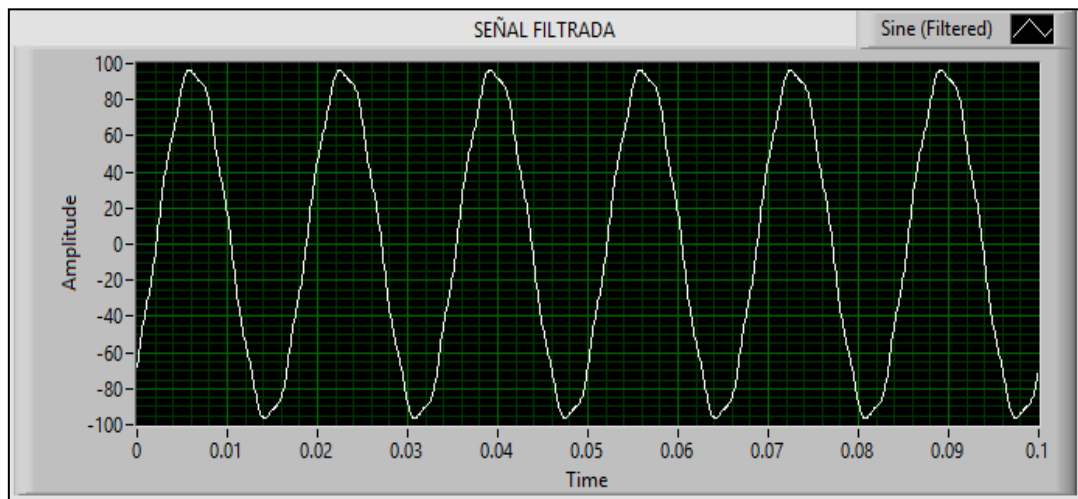


Figura 53. Señal Filtrada con el filtro Butterworth de 6 orden

En la figura 53 se puede observar la señal ya filtrada por el filtro activo de orden 6.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Resultados

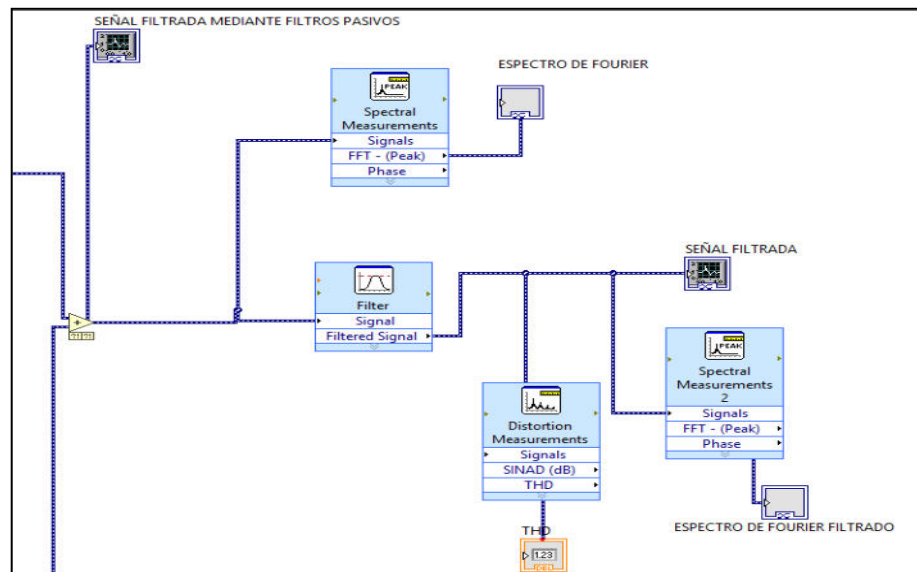


Figura 54. Conexión del filtro activo pasa bajo (Butterworth)

En la figura 54 se puede observar el conexionado en bloques propio del LabVIEW para la del filtro y el sistema de medición correspondiente.

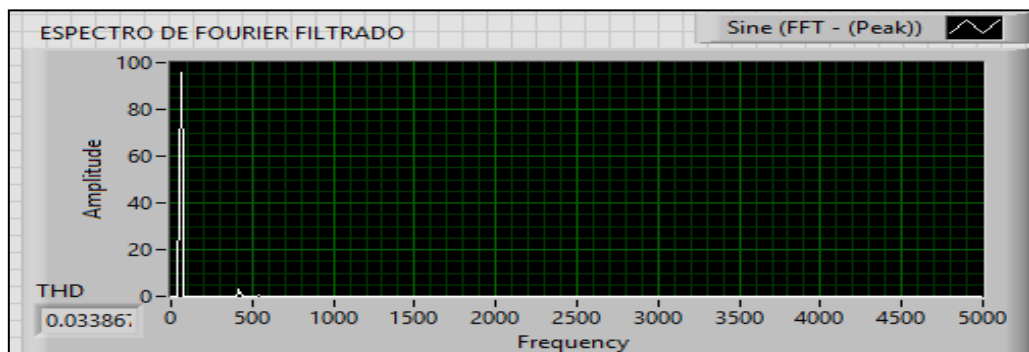


Figura 55. Espectro de Fourier de Señal Filtrada y THD final

En la figura 55 se puede observar el espectro de Fourier de la señal ya filtrada por el filtro activo de orden 6. El cual presenta un THD de 3.39%.

Por lo establecido en la norma IEEE 519 se menciona que no debe sobrepasar el 8% en BT por lo que al comparar con el resultado obtenido después del uso del filtro este es de 3.39% el cual está muy por debajo del límite establecido.

4.1.1. Técnica de procesamiento de datos

- Recopilación de datos por medio de una hoja de cálculo (Excel).
- Datos producidos en el software LabVIEW.

4.2. Modelo matemático

a) Filtro pasivo sintonizado tercer y quinto armónico

$$fp_3 = \frac{1}{2\pi} \times \frac{1}{\sqrt{24 \times 10^{-6} \times L}} \quad (5)$$

$$fp_5 = \frac{1}{2\pi} \times \frac{1}{\sqrt{30 \times 10^{-6} \times L}} \quad (6)$$

b) Filtro activo Butterworth 6 orden pasa baja

A un factor de calidad de 0.707 (tabla 10 y 11)

$$\frac{C2}{C1} \geq 0.16 \quad (7)$$

Calcular R2:

$$R2 = \frac{1.4142 \times C2 - \sqrt{2 \times C2^2 - 4 \times C2^2 \times C1^2 \times 0.08}}{4\pi \times fc \times C1 \times C2} \quad (8)$$

Calcular R1:

$$R1 = \frac{R2}{-0.08} \quad (9)$$

Calcular R3:

$$R3 = \frac{1}{4\pi^2 \times fc^2 \times C1 \times C2 \times R2} \quad (10)$$

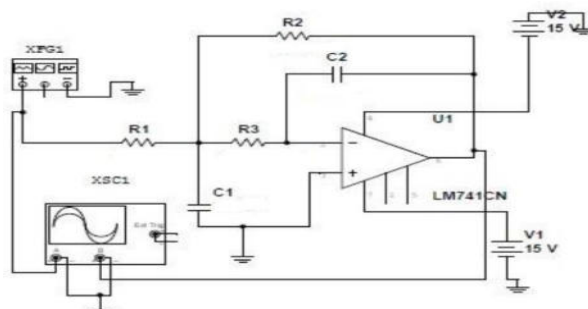


Figura 56. Primera etapa modelo de componentes

Evaluar relación:

$$\frac{C4}{C3} \geq 0.16 \quad (11)$$

Calcular R5:

$$R5 = \frac{1.4142 \cdot C4 - \sqrt{2 \cdot C4^2 - 4 \cdot C4 \cdot C3 \cdot 0.08}}{4 \pi \cdot f \cdot C4 \cdot C3} \quad (12)$$

Calcular R4:

$$R4 = \frac{R5}{-0.08} \quad (13)$$

Calcular R6:

$$R6 = \frac{1}{4 \pi^2 \cdot f \cdot C^2 \cdot C3 \cdot C4 \cdot R5} \quad (14)$$

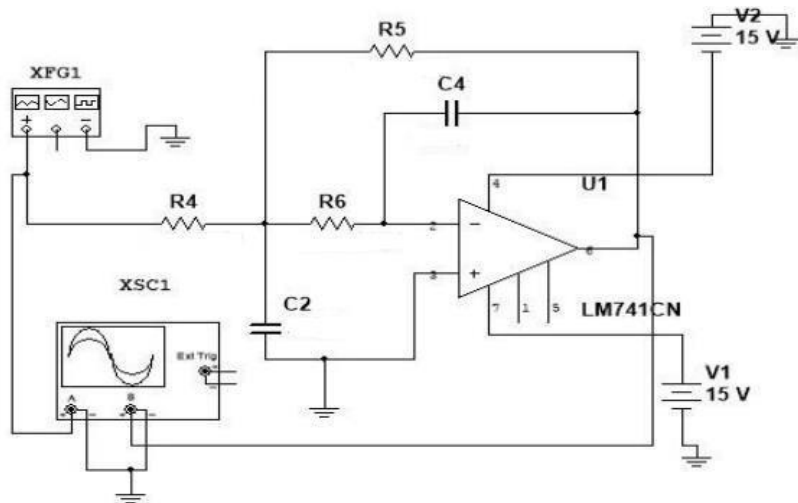


Figura 57. Segunda etapa modelo de componentes

Evaluar relación:

$$\frac{C6}{C5} \geq 0.16 \quad (15)$$

Calcular R8:

$$R8 = \frac{1.4142 \cdot C6 - \sqrt{2 \cdot C4^2 - 4 \cdot C6 \cdot C5 \cdot 0.08}}{4 \pi \cdot f \cdot C5 \cdot C6} \quad (16)$$

Calcular R7:

$$R7 = \frac{1.4142 \cdot C6 - \sqrt{2 \cdot C4^2 - 4 \cdot C6 \cdot C5 \cdot 0.08}}{4 \pi \cdot f \cdot C5 \cdot C6} \quad (17)$$

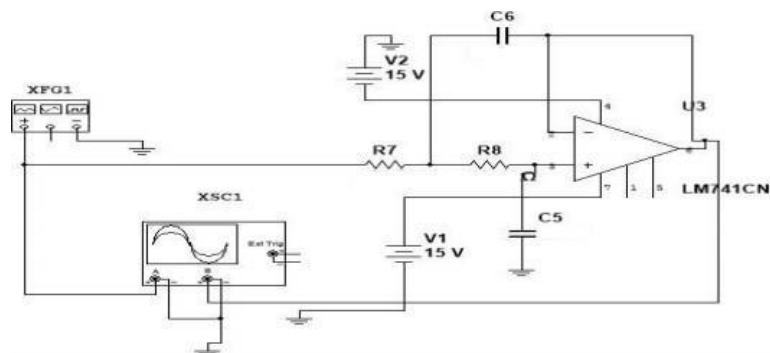


Figura 58. Tercera etapa modelo de componentes

Por ultimo las tres etapas se conectan en cascada y a esto se conecta en paralelo a los dos filtros pasivos de 3 y 5 orden.

c) Modelo general del filtro híbrido

El filtro híbrido combina ambos elementos. Su **función de transferencia total** puede modelarse como:

$$H_{total}(j\omega) = H_p(j\omega) + H_a(j\omega)$$

Donde:

- $H_p(j\omega)$: función de transferencia del filtro pasivo
- $H_a(j\omega)$: función de transferencia del filtro activo (reducida a frecuencias altas y ajustada mediante control digital)

Con esto se mide la **efectividad del filtro híbrido en la reducción del THD**.

4.3. Conclusión del análisis

La respuesta óptima se establece cuando, la configuración de las topologías de un filtro híbrido se relaciona para la reducción del THD, la cual es:

La topología del filtro híbrido depende de:

- La topología del filtro pasivo sea sintonizada o pasa bajo no es influyente en el diseño del filtro híbrido, este tema es más por la reducción del coste económico.
- La topología más óptima sería, el de un filtro híbrido que use un filtro activo de 6to orden.

4.4. Prueba de normalidad y normalización de datos

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

Se procede a evaluar si los datos de THD antes y después del filtro siguen una distribución normal.

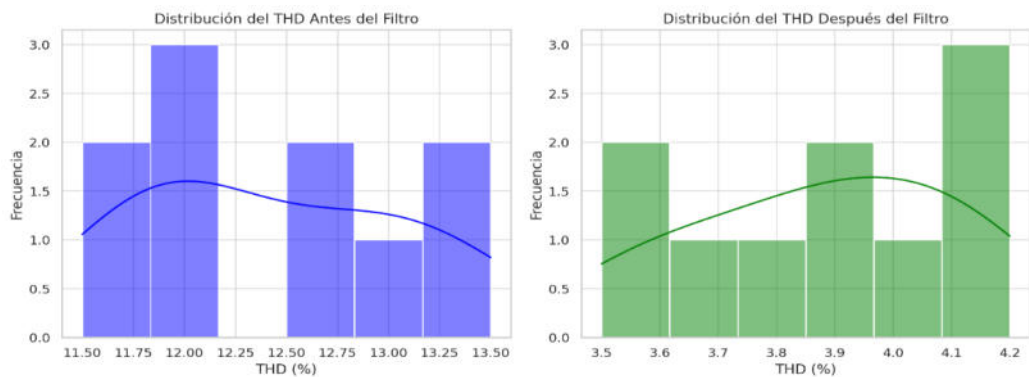


Figura 59. Distribución de THD antes y después del filtro

- THD Antes → Estadístico: 0.9488, p-value: 0.6538 (Distribución normal).
- THD Después → Estadístico: 0.9611, p-value: 0.7986 (Distribución normal).

Dado que ambos p-values son mayores que 0.05, se determinan que los datos siguen una distribución normal, permitiendo usar la prueba t de Student para evaluar la reducción del THD.

4.5. Prueba de hipótesis

Tabla 15. Prueba de T de student - THD Antes Vs Después

Par	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia (Inferior)	95% de intervalo de confianza de la diferencia (Superior)	t	gl	Sig. (bilateral)
THD Antes - THD Después	-8.55	0.84623348	0.26760252	7.94464103	9.15535897	31.9503712	9	1.42E-10

Interpretación:

- El p-value = 1.41×10^{-10} , mucho menor que 0.05, indica que existe una diferencia significativa entre los valores de THD antes y después del filtro.
- El intervalo de confianza no incluye el 0, lo que confirma que la reducción del THD es real y no producto del azar.
- El valor t = 31.95 es muy alto, indicando un efecto fuerte de influencia.

Por lo tanto, se rechaza H_0 y se aprueba H_1 , confirmando que el filtro híbrido reduce significativamente el THD.

4.6. Contrastación de resultados

En el artículo científico de Corasaniti, Barbieri y Anera miembros de la IEEE publicaron el artículo científico titulado “**Compensación con Filtro Activo de Potencia Híbrido en una Planta Industrial**” (8). Se mencionó que trabajar con filtro híbrido es una solución mucho más sencilla en comparación a un filtro netamente activo puro, lo cual en el trabajo de investigación se puede entrar en un acuerdo ya que con la incorporación un filtro pasivo se puede reducir costos.

En la tesis de Alarcón Cubas Henry titulada “**CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE FILTROS DE ARMÓNICOS EN UNA PLANTA INDUSTRIAL**” (10). Este trabajo hace mención a los filtros sintonizados los cuales se utilizaron en la investigación y efectivamente como menciona el trabajo estos filtros son para una frecuencia determinada, aunque tienen un rango de error de aproximadamente +/- 3%.

En la tesis de Burgos Rodríguez la cual se titula: “**Simulación de Filtros Híbridos de Potencia**” (2). Se menciona que los armónicos pueden ocasionar daños muy considerables a la red, por otro lado, menciona que los filtros híbridos son muy adaptables y eso mediante el trabajo de investigación desarrollado se puede afianzar ya que en la simulación mostrada en TD logró reducir en un 3.39 %.

En la tesis de Balboa Erick y Sáez Manuel que se denomina: “**ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FILTROS ACTIVOS**” (11) menciona el uso de un filtro activo en conexión Butterworth de orden superior el cual tiene gran efectividad en la reducción de nivel de THD en comparación con otras topologías. En contrastación con la tesis desarrollada se puede afirmar completamente ya que se utilizaron para el diseño un filtro Butterworth de 5 y 6 orden los cuales son

altamente efectivos en la disminución de THD.

En la tesis de Rivera Tarazona en el año 2010 titulada **“Aplicación de filtros híbridos para el control de distorsión armónica en los sistemas de potencia industriales”** (12) manifiesta que al incorporar de sus diseños de filtro híbrido en la industria muestral el nivel de disminución del THD es de 5% y 7% aproximadamente, en comparación a ello en la simulación obtenida en el trabajo se obtuvo un valor de 3.39 %. lo cual se considera un valor muy cercano a los reales probados en esta tesis.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El presente trabajo estuvo enfocado en un tema de gran importancia que vienen a ser los armónicos y las implicancias de que el THD es muy alto, ya que afecta a la calidad de energía que alimenta las redes eléctricas del mismo lugar donde se encuentra la fuente generadora de armónicos. Asimismo, esta investigación se orientó en una posible solución al problema mediante el desarrollo del diseño de filtro híbrido establecido en este estudio, todo esto nos lleva a las siguientes conclusiones:

1. El THD promedio antes del filtro era de 12.5% y después de su implementación se redujo a 3.9%, lo que representa una disminución significativa de aproximadamente 8.55%. La prueba t de Student mostró un p-value de 1.41×10^{-10} , confirmando que esta reducción no es producto del azar, sino del efecto del filtro híbrido. Por lo que se puede afirmar la implementación del filtro híbrido mejora significativamente la calidad de la energía eléctrica en las salas de cómputo del pabellón I de la Universidad Continental, reduciendo el THD a niveles dentro de los estándares internacionales.
2. El diseño del filtro híbrido consideró una combinación óptima de elementos pasivos (inductores, resistencias y capacitores) y activos, lo que permitió una mejor eliminación de armónicos de baja y alta frecuencia. Los resultados indican que la correcta selección del orden y tipo de filtro pasivo y activo impacta directamente en la eficiencia del sistema. La elección del tipo y orden del filtro híbrido influye directamente en la reducción del THD, demostrando que un diseño bien estructurado puede optimizar la calidad de la energía.
3. La prueba de normalidad Shapiro-Wilk demostró que los datos de THD antes y después del filtro siguen una distribución normal (p-values de 0.6538 y 0.7986, respectivamente). Esto permitió el uso de la prueba t de Student, confirmando que la reducción del THD es estadísticamente significativa y no aleatoria. El análisis estadístico fue válido y confiable, asegurando que la reducción del THD obtenida no es por variaciones aleatorias, sino un resultado real del diseño e implementación del filtro híbrido.

4. Los valores obtenidos después de la implementación del filtro híbrido están dentro de los límites recomendados por las normativas IEEE 519 y UNE-EN 50160, que establecen que el THD en sistemas eléctricos debe ser menor al 5% en instalaciones sensibles. Antes del filtro, el THD superaba los límites recomendados, pero después de su aplicación, se logró una reducción a valores adecuados para el buen funcionamiento de equipos electrónicos en la sala de cómputo. La implementación del filtro híbrido garantiza el cumplimiento de normativas internacionales de calidad energética, reduciendo las interferencias y protegiendo los equipos electrónicos. Se diseñaron distintas topologías en filtros pasivos (sintonizado y pasa bajo) y activos (Butterworth de 5 y 6 orden) para sus posteriores combinaciones y observación del comportamiento de cada una.
5. El modelo híbrido diseñado puede aplicarse en otros ambientes con problemas de distorsión armónica, como: laboratorios, centros de datos o industrias con alta carga electrónica. Se demostró que la metodología basada en la combinación de filtros pasivos y activos, junto con un modelo de conexión optimizado, es efectiva y adaptable a diferentes escenarios. La metodología de diseño del filtro híbrido es eficiente y escalable, lo que permite su aplicación en otras instalaciones con problemas de calidad de energía eléctrica.
6. Si bien el presente estudio se ha desarrollado mediante simulación computacional, se recomienda como línea futura la construcción e implementación física del filtro híbrido propuesto. Esto permitirá validar los resultados obtenidos en condiciones reales de operación y ajustar el diseño según las variables eléctricas del entorno. Asimismo, se sugiere realizar mediciones de campo utilizando un analizador de calidad de energía para comparar el THD real con los valores simulados.

5.2. Recomendaciones

La presente investigación será tomada como referencia en el desarrollo de un futuro trabajo sobre diseño de filtro activos, en un ámbito diferente, por ejemplo, en una clínica que tenga problemas con el funcionamiento de sus equipos ya que el grado de sensibilidad que estos tienen es alto en comparación a una PC y bien se sabe que este tipo de problema representa una inversión económica desfavorable para cualquier tipo de industria en especial las que tienen equipos sensibles.

Por otro lado, también se puede utilizar para un trabajo de diseño de filtros híbridos para una industria que posee gran cantidad de dispositivos electrónicos que generen un nivel alto de THD, pero utilizando mayor presencia de filtros pasivos y de esa manera disminuir el orden del filtro activo en el estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **PÉREZ LITRÁN, S.** *Análisis y diseño de filtros activos serie e híbridos para la mejora de la calidad de la potencia eléctrica.* Huelva: s.n., 2011. 978-84-15147- 61-9.
2. **BURGOS RODRÍGUEZ, A.** *Simulación de Filtros Híbridos de Potencia.* Santa Clara, Cuba : Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, 2016.
3. **ZAVALETA ROBLES, A.** *CALIDAD DE LA ENERGIA ELECTRICA Y ANALISIS DE LOS ARMONICOS EN LA TIENDA RIPLEY MALL DEL SUR.* Chimbote : s.n., 2018.
4. **SUAREZ, J., et. al.** *Análisis de la calidad de la energía en un centro de cómputos.* Santiago de Chile: Revista chilena de ingeniería, 2012, Vol. 21.
5. **ARANA MENDOZA, J.** *ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA AMORTIGUACIÓN Y ELIMINACIÓN DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.* Huancayo: s.n., 2015.
6. **INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS.** *Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.* USA: s.n., 2014.
7. **A, TEJADA y LLAMAS, A.** *EFFECTOS DE LAS ARMÓNICAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.* Monterrey: s.n., 2010.
8. **CORASANITI, V. F., BARBIERI, M. B. y ARNERA, P. L.** *Compensación con Filtro Activo de Potencia Híbrido en una Planta Industrial.* Córdoba: ARGENCON, IEEE.
9. **VÁZQUEZ, J. R., FLORES, J. L., SALMERÓN, P. y LITRÁN, S. P.** *Diseño de filtros pasivos, activos e híbridos para la compensación armónica de cargas trifásicas no lineales.* Huelva: Universidad de Huelva, 2002.
10. **ALARCÓN CUBAS, H. J.** *CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE FILTROS DE ARMÓNICOS EN UNA PLANTA INDUSTRIAL.* Lima: s.n., 2013.
11. **BALBOA MORALES, E. M. y SAÉZ SALDÍAS, M. A.** *ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FILTROS ACTIVOS.* Concepción: s.n., 2016.
12. **RIVERA TARAZONA, C. A.** *Aplicación de filtros híbridos para el control de distorsión armónica*

- en los sistemas de potencia industriales*. Bogotá: Universidad de los Andes, 2010.
13. **GARAY SAYAVERDE, F.** *Aplicación de filtros híbridos para reducir armónicos en una planta industrial de productos plásticos*. Lima: s.n., 2010.
 14. **NORMA EUROPEA.** *Normativas aplicables a la calidad eléctrica UNE-EN-50160*. España: s.n., 1999.
 15. **FLUKE.** *Calidad eléctrica y pérdidas de energía en el cableado*. Italia: s.n., 2017.
 16. **NORMA UNE-EN 50160.** *Características de la tensión suministrada*. 1996.
 17. **MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - PERÚ.** *Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos*. Lima: s.n., 1997.
 18. **TECSUP.** *Calidad de energía. Perturbaciones*. 2019.
 19. **SCHNEIDER ELECTRIC.** *Detección y filtrado de armónicos*. s.l.: Ep. Schneider Electric, 2018.
 20. **RTR ENERGÍA.** *Los armónicos y la calidad de energía eléctrica*. 2018.
 21. **ARCILLA, J. D.** *Armónicos en sistemas eléctricos*. s.l.: Ingeniería Especializada, 2018.
 22. **VÁSQUEZ, R.** *Filtrado de armónicos: ¿Cómo decidir entre la opción de filtro activo, compensador activo o filtro híbrido?* Chile: Revista Electro Industria, 2003.
 23. **FARFÁN VARGAS, H. J. y LÓPEZ, G.** *Diseño e implementación de un filtro híbrido a escala para su aplicación en el laboratorio del Departamento de IEE*. Bogotá: Universidad de los Andes, 2005.
 24. **SEGUEL SANHUEZA, Á. L.** *Diseño e implementación de un filtro híbrido para la atenuación de sub e interarmónicas en cicloconvertidores*. Concepción: Universidad de Concepción, 2018.
 25. **PECHE GONZÁLEZ, L.** *Análisis de armónicos en una industria de fabricación de aceros*. Lima: s.n., 2014.
 26. **CÁCERES CHURA, E.** *Estudio y análisis de armónicos en rectificadores estáticos de potencia eléctrica utilizando series de Fourier, para la región de Puno*. Puno: s.n., 2019.
 27. **CHAMBI GÓMEZ, J. y APAZA MAMANI, R.** *Análisis de la calidad de servicio eléctrico en la zona rural del distrito de Yunguyo - Región Puno, periodo 2014*. Juliaca: s.n., 2015.
 28. **CCALLA ARELLANO, J. L.** *Estudio de las distorsiones armónicas producidas por variadores de frecuencia, que afectan la calidad de energía eléctrica del pabellón H de la Universidad*

Continental. Huancayo: Universidad Continental, 2017.

29. **LIU, W., XU, W. y YILU, L.** *A method for determining customer and utility harmonic contributions at the point of common coupling. IEEE Transactions on Power Delivery*, 2000, vol. 15, no. 2, pp. 804-811.
30. **NORMA EUROPEA.** *Normativas aplicables a la calidad eléctrica UNE-EN 61000-3-2*. España: s.n., 1999.
31. **ACOSTA, G. P.** *Diseño de filtros pasivos para reducir las perturbaciones armónicas de quinto y séptimo orden del área de lavandería en el Hospital de Emergencia de Villa El Salvador*. Huancayo: s.n., 2019.
32. **ESPINOZA MONTES, C.** *Metodología de la investigación tecnológica*. Huancayo: Ciro Espinoza Montes, 2014. ISBN 978-612-00-1667-1.
33. **ASTUDILLO MORA, L., VÁSQUEZ VEGA, A. y ROJAS SERRANO, J.** *Implementación de un filtro pasivo para compensación armónica y corrección del factor de potencia*. Colombia: Instituto Politécnico Nacional, 2016.
34. **ARRILLAGA, J., GARMENDIA, J. A. y MORÁN, L. I. E.** *Armónicos en sistemas de potencia. s.l.:* Universidad de Cantabria, 1994.

ANEXOS

ANEXO 1

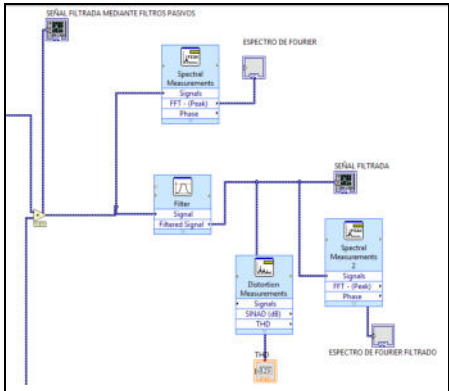
MATRIZ DE COHERENCIA

Planteamiento del problema	Marco teórico	Metodología
Formulación del problema	Antecedentes	Variables
¿Cuál será el diseño de filtros híbridos que permita mejorar el nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas de computo de la Universidad Continental?	- Análisis de la calidad de la energía en un centro de cómputos. Suarez, Juan Antonio, y otros. 1, Santiago de Chile: Revista chilena de ingeniería, 2012, Vol. 21. A, TEJADA y LLAMAS, A. EFECTOS DE LAS ARMÓNICAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS. Monterrey: s.n., 2010. - Compensación con Filtro Activo de Potencia Híbrido en una Planta Industrial. V. F. Corasaniti, Member, IEEE, M. B. Barbieri, Senior Member, IEEE and P. L. Arnera, Senior Member, IEEE. Cordova : ARGENCON , Argentina. - Diseño de filtros pasivos, activos e híbridos para la compensación armónica de cargas trifásicas no lineales. Jesús R. Vázquez, J. L. Flores, Patricio Salmerón, Salvador P. Litrán. Huelva: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Térmica Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva, 2002.	Variable independiente: Filtros Híbridos -Resistencia -Capacitancia -Inductancia -Fuente de corriente Variable dependiente: Distorsión armónica -THD
Objetivo general		
Diseñar un filtro híbrido que permita mejorar el nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas de computo de la Universidad Continental.		
Objetivo específico		
- Implementar un tipo de conexión entre resistencias, capacitores e inductores en el diseño del filtro híbrido. - Determinar el	Teoría Básica -Perturbaciones en la onda de tensión -Armónicos -Fuentes de Armónicos -Aplicación de Normativa para la evaluación de límites de Armónicos -Topología de compensación armónica	

orden y tipo de filtro activo óptimo en la reducción de THD. Implementar un modelo de topológico optimo en su tipo de conexión tomando en cuenta el tipo de armónico predominante en un centro de cómputo	Definición conceptual	
	Filtro Híbrido: Es la combinación topológica entre un filtro pasivo y uno activo. Distorsión armónica: Es toda forma de onda periódica no-sinusoidal que puede ser representada como la suma de ondas sinusoidales cuyas frecuencias son enteros	
	Definición operacional	
	Filtro Híbrido: Variable que expresa la combinación topológica optima simulada. Distorsión armónica: Variable que permitirá cuantificar el impacto armónico en el sistema a analizar.	

ANEXO 2

MATRIZ METODOLOGICA

METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN – TECNOLÓGICA	
Autor	• ESPINOZA OCHOA JOHAN NILO • ESPINOZA TORIBIO MARCELO SAMUEL
Título	“DISEÑO DE FILTROS HIBRIDOS PARA LA MEJORA DE NIVEL DE DISTORSION ARMÓNICA EN LA UNIVERSIDAD CONTINENTAL”
Problema	¿Cuál será el diseño de filtros híbridos que permita mejorar el nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas computo de la Universidad Continental?
Objetivo general	Diseñar un filtro híbrido que permita mejorar el nivel total de distorsión armónica (THD) en las salas computo de la Universidad Continental.
Variable Independiente	Filtros Híbridos
Variable Dependiente	Distorsión armónica
METODOLOGÍA	
Tipo de investigación	Tecnológica
Método	Experimental
Plan de Proyecto	1. Gestión de inicio 2. Gestión de Información 3. Observación 4. Resultados 5. Proyecto Final
Resultados esperados	Diseñar un filtro hibrido para la mejora del nivel total de distorsión armónica con una topología eficiente, a nivel de simulación para el centro de cómputo de la Universidad Continental.
Diseño propuesto	

ANEXO 3

SIMULACIÓN EN LABVIEW

