

**FILTRADO DE ARMÓNICOS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON  
CARGAS NO LINEALES PARA EL CONTROL DE LA DISTORSIÓN  
ARMÓNICA**





**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**FILTRADO DE ARMÓNICOS EN UN SISTEMA  
DE DISTRIBUCIÓN CON CARGAS NO  
LINEALES PARA EL CONTROL DE LA  
DISTORSIÓN ARMÓNICA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: CRISTIAN DAVID PALADINES

GUACHO

TUTOR: CRISTIAN CRISTÓBAL CUJI CUJI

Quito -Ecuador

2022

Cristian David Paladines Guacho

**FILTRADO DE ARMÓNICOS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON CARGAS NO LINEALES PARA EL CONTROL DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2022

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



**Cristian David Paladines Guacho** (Y'1996-J'06). Realizó sus estudios secundarios en “Sagrados Corazones Centro”, se graduó en Ciencias (General). Estudiante de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la minimización de pérdidas en el filtrado de armónicos en un sistema de distribución con cargas no lineales para el control de la distorsión armónica. [cpaladinesg@est.ups.edu.ec](mailto:cpaladinesg@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Cristian Cristóbal Cuji Cuji** (Y'1986-SM'03). Se graduó de Ingeniero Electrónico de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en 2014 y Master en Energía, Facultad de Ciencias Físicas en la Universidad Complutense de Madrid – España en 2015. Actualmente es profesor e investigador en la Universidad Politécnica Salesiana - Quito Ecuador. [ccuji@ups.edu.ec](mailto:ccuji@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2022 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Cristian David Paladines Guacho con documento de identificación N°  
1723729271 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la  
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera  
total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 03 de mayo del año 2022

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink that reads "Cristian Paladines". The signature is written in a cursive style and is underlined with a single horizontal line.

---

Cristian David Paladines Guacho  
1723729271

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Cristian David Paladines Guacho con documento de identificación No.1723729271, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico : “Filtrado de armónicos en un sistema de distribución con cargas no lineales para el control de la distorsión armónica”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 03 de mayo del año 2022

Atentamente,



---

Cristian David Paladines Guacho

1723729271

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Cristóbal Cuji Cuji con documento de identificación N° 1718002221, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: FILTRADO DE ARMÓNICOS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON CARGAS NO LINEALES PARA EL CONTROL DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA, realizado por Cristian David Paladines Guacho con documento de identificación N° 1723729271, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 03 de mayo del año 2022

Atentamente,



-----  
Ing. Cristian Cristóbal Cuji Cuji, MSc

1718002221

## ***ÍNDICE GENERAL***

1.	Introducción .....	1
2.	Marco Teórico .....	2
2.1	Estabilidad del Sistema en Sistemas de Distribución .....	2
2.2	Distorsión Armónica .....	2
2.3	Impactos a la red .....	3
2.4	Ensayo cargas para un Equilibrio de Carga y Generación .....	4
2.5	Filtros Híbridos .....	4
2.5.1	Configuración en Serie.....	5
2.5.2	Configuración en Paralelo.....	5
2.6	Localización de Polos y Ceros .....	6
2.7	Frecuencia de resonancia .....	7
3.	Planteamiento del Problema.....	7
3.1	Modelación del sistema de prueba IEEE 37 barras.....	8
3.2	Modelación de la carga no lineal .....	8
3.3	Modelación del filtro híbrido .....	9
4.	Análisis de Resultados .....	12
4.1	Resultados del sistema de 37 barras sin perturbación.....	12
4.2	Resultados del sistema de 37 barras con perturbación.....	12
4.3	Resultados del sistema de 37 barras con activación de filtros Activo .....	13
4.4	Resultados del sistema de 37 barras con activación de filtros Pasivo .....	14
4.5	Resultados del sistema de 37 barras con activación de filtros Híbridos .....	15
5.	Conclusiones .....	16
6.	Trabajos Futuros .....	17
7.	Referencias .....	17
8.	Estado del Arte.....	19

## 1. INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un filtro Activo .....	1
Figura 2. Estructura de un filtro Pasivo .....	1
Figura 3. Estructura del Sistema Híbrido Realizado .....	1
Figura 4. Tipos de estabilidad en el sistema de potencia .....	2
Figura 5. Elementos que influyen al producir energía eléctrica.....	3
Figura 6. Generación distribuida en los sectores eléctricos industriales.....	4
Figura 7. Estructura de un filtro Híbrido.....	5
Figura 8. Diagrama de Bloques para Localización de Ceros y Polos .....	6
Figura 9. Diagrama de flujo para el funcionamiento del filtrado híbrido .....	7
Figura 10. Componentes del sistema de 37 barras .....	8
Figura 11. Elementos que contiene una carga no lineal.....	8
Figura 12. Diagrama Filtros implementados en el sistema .....	9
Figura 13. Bloques de medición corriente y voltaje .....	9
Figura 14. Subsistemas de control implementados .....	10
Figura 15. Simulación del sistema eléctrico con Filtrado Híbrido.....	11
Figura 16. Estructura del Sistema de Distribución de 37 barras IEEE .....	12
Figura 17. Señal de Onda de voltaje con armónicos del Sistema IEE 37 barras .....	12
Figura 18. Señal de Onda de voltaje con armónicos del Sistema IEE 37 barras con perturbación.....	12
Figura 19. Señal de Onda de corriente con armónicos del Sistema IEE 37 barras con perturbación.....	13
Figura 20. Espectro de armónicos del Sistema de 37 barras con perturbación.....	13
Figura 21. Señal de Onda de voltaje con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro activo.....	13
Figura 22. Señal de Onda de corriente con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro activo.....	13
Figura 23. Espectro de armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro activo .....	14
Figura 24. Señal de Onda de voltaje con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro pasivo .....	14
Figura 25. Señal de Onda de corriente con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro pasivo .....	14
Figura 26. Espectro de armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro pasivo .....	14
Figura 27. Señal de Onda de voltaje con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro híbrido .....	15

Figura 28. Señal de Onda de corriente con armónicos del Sistema IEE 37 barras conactivación de filtro híbrido .....	15
Figura 29. Espectro de voltaje con respecto a los armónicos del Sistema IEE 37 barrascon activación de filtro híbrido.....	15
Figura 30. Espectro de corriente con respecto a los armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro híbrido.....	15

## **2. INDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Efectos en Componentes por armónicos.....	2
Tabla 2: Niveles de armónicos según norma EN50160.....	3
Tabla 3: Ventajas y Desventajas de los tipos de Filtros Híbridos.....	6
Tabla 4: Porcentaje de Armónicos Con Carga no Lineal.....	13
Tabla 5: Porcentaje de Armónicos Con Filtro Activo.....	14
Tabla 6: Porcentaje de Armónicos Con Filtro Pasivo.....	15
Tabla 7: Porcentaje de Armónicos Con Filtros Híbridos.....	16
Tabla 8: Porcentaje de Armónicos en diferentes escenarios.....	16

# FILTRADO DE ARMÓNICOS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON CARGAS NO LINEALES PARA EL CONTROL DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

## Resumen

El artículo presenta resultados del porcentaje de THD y corrección de los mismos mediante el análisis y simulación de filtrado híbrido en un sistema eléctrico de potencia de 37 barras IEE, en el cual se estudiará varios escenarios los cuales son: sistema sin perturbación, con perturbación, con filtro activo, filtro pasivo y filtro híbrido. Conociendo las causas, comportamiento y lo que ocasiona conectar cargas no lineales. Las cargas no lineales generan una serie de afectaciones entre ellas está el tipo de armónico, variación del factor de potencia y resonancia las cuales hacen que el sistema sea inestable y trabaje de forma inadecuada. Lo que se propone es manejar el programa Matlab con un script el cual contenga los parámetros del sistema de barras que conjuntamente a Simulink se realizará la simulación del sistema que contiene algunos componentes como cargas, barras, inversor y lo más importante que es la combinación de un filtro activo y un pasivo que se denomina filtros híbridos; los cuales aportarán a reducir el porcentaje de THD, mostrando los cinco escenarios analizados mediante gráficas de forma de onda en cada una de ellas; para el voltaje, corriente y el tiempo de estabilización del mismo.

**Palabras Clave:** Sistema eléctrico de potencia, filtro híbrido, inestabilidad del SEP, distorsión armónica, fuente controlada CSI

## Abstract

The article presents results of the percentage of THD and their correction through the analysis and simulation of hybrid filtering in an electrical power system of 37 bars IEE, in which several scenarios will be studied, which are: system without disturbance, with disturbance, with active filter, passive filter and hybrid filter. Knowing the causes, behavior and what causes connecting non-linear loads. Non-linear loads generate a series of affectations among them is the type of harmonic, variation of the power factor and resonance which make the system unstable and work inadequately. What is proposed is to manage the Matlab program with a script which has the parameters of the bar system that, together with Simulink, simulates the system that contains some components such as loads, bars, inverter and the most important thing, which is the combination of an active and a passive filter which are called hybrid filters; which will contribute to reduce the percentage of THD, showing the five scenarios analyzed by means of waveform graphs in each one of them; for the voltage, current and connection time of the same.

**Keywords:** Power electrical system, hybrid filter, SEP instability, harmonic distortion, CSI controlled source

# 1. Introducción

La simulación propone que se realice un filtrado híbrido para poder compensar y controlar el sistema eléctrico de potencia de 37 barras, por lo general estos inconvenientes suceden más en sistemas industriales al implementar motores trifásicos, los cuales hacen que la silueta de onda de corriente y voltaje estén distorsionadas; causando armónicos que crean una inestabilidad en el sistema.[1]

Los filtros híbridos se componen de: un filtro activo; el cual tiene componentes como amplificadores de operación y transistores tal que se observan en la figura 1.[2]

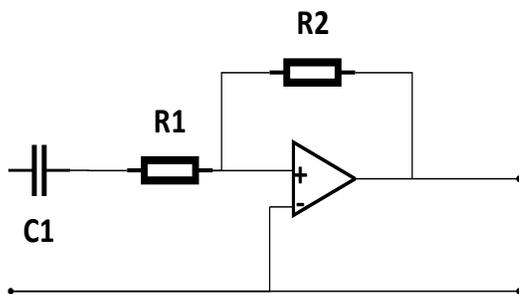


Figura 1. Estructura de un filtro Activo

En la figura 2, se observa un filtro pasivo el cual está compuesto de resistencias, condensadores y bobinas. La utilidad de estos filtros es con la finalidad de pasar las frecuencias deseadas y suprimir las que restan, por lo cual existe un desempeño en las potencias y sirven para poder suprimir armónicos muy elevados, lo que se representa en el siguiente esquema gráfico 2. [4]

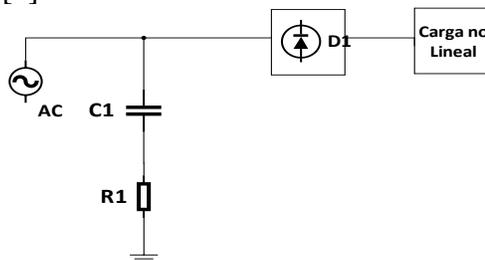


Figura 2. Estructura de un filtro Pasivo

Un sistema de distribución es una parte fundamental en un sistema eléctrico de potencia, este sistema se encarga de distribuir la energía a los usuarios finales o conocido también como la demanda. Un sistema de distribución podría ser complejo al existir daños o alteraciones que descompensan la red. [5]

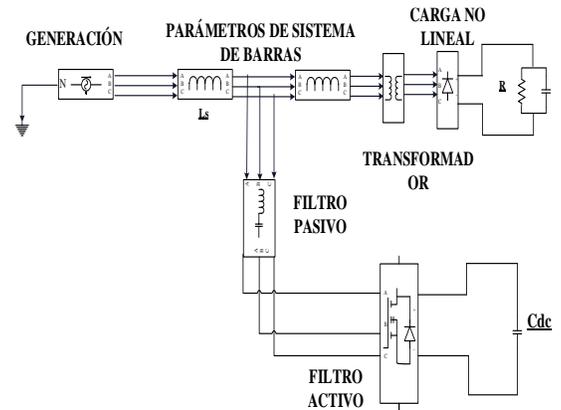


Figura 3. Estructura del Sistema Híbrido Realizado

En la Figura 3, se observa la estructura básica del sistema, la cual cuenta con generación, líneas de transmisión y componentes que contienen parámetros resistivos, capacitivos e inductivos. Así mismo contiene el filtro híbrido y la implementación de una carga no lineal.

Un sistema eléctrico de potencia tiene partes fundamentales que son: generación, transmisión, distribución, las mismas que deben estar operando constantemente. En todo sistema es fundamental: la planificación, diseño, construcción y operación de excelente calidad para los usuarios. [6]

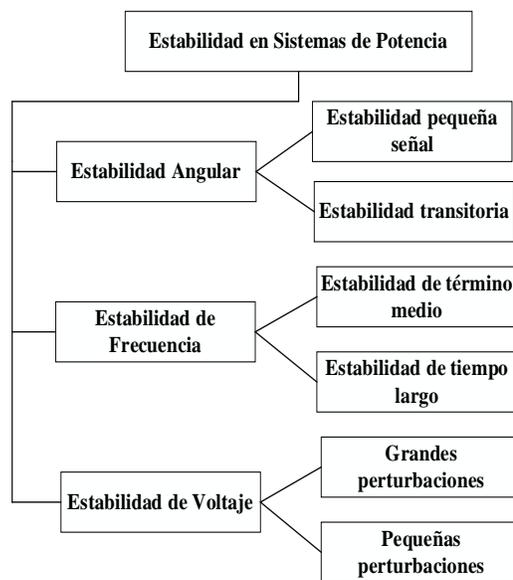
Para tener una red de distribución es necesario tener interconexiones entre diferentes regiones del país; en este proceso existen redes que están conectadas a transformadores los cuales ayudan a cambiar el nivel de tensión en diferentes lugares o sistemas, con la finalidad de un mejor funcionamiento y cuidado de los equipos e instalaciones. [7]

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Estabilidad del Sistema en Sistemas de Distribución

La estabilidad en un sistema es aquella que se relaciona con el equilibrio entre todos los componentes. La fuerza y el sistema eléctrico de potencia se encuentra trabajando de manera óptima, si existiera un desbalance se podrá deducir que presenta inestabilidad, la cual puede alterar valores de voltajes y corrientes.

La figura 4 muestra que tipos de estabilidad se puede tener en un sistema eléctrico de potencia y como se clasifica en cada una de ellas. [8]



**Figura 4.** Tipos de estabilidad en el sistema de potencia

Un ejemplo son las variaciones de cargas y se presenta más si son trifásicas, esto debido al tipo de arranque que tienen, el objetivo de la presente investigación es tener un estado perdurable en el cual exista un equilibrio tanto en generación y carga, lo que se obtiene implementando filtros híbridos que se evidenciará en la disminución de armónicos y obtener un sistema en condiciones óptimas de trabajo [9]

### 2.2 Distorsión Armónica

La definición de armónicos está dada por el teorema de Fourier en el cual establece que, mediante condiciones analíticas puede integrarse por suma de funciones sinusoidales, en el cual la función original esta denominada por una misma frecuencia y período, los otros se consideran funciones sinusoidales. [10]

Tabla 1: Efectos en Componentes por armónicos

Componente	Efectos
Conductor	-Calentamiento Conductor -Disparo de Protecciones
Condensador	-Calentamiento Condensador -Envejecimiento Prematuro -Destrucción Condensador
Transformador	-Calentamiento de devanados -Baja productividad -Obligación de Sobredimensionar
Motores	-Calentamiento devanados -Excentricidad del eje -Vibraciones del eje -Degradación de devanados
Grupo Electrógeno	-Problemas de sincronización y cambio del grupo
E. dimensión y control	-Dimensión errónea de magnitudes -Perturbaciones en equipos delicados

La Tabla 1 muestra los elementos principales que están dentro de un sistema eléctrico de potencia y como puede ser afectado y deteriorado, si no se hace un análisis y corrección, para este caso sería la implementación de filtros híbridos, a través del tiempo puede generar fallas que hagan que el sistema deje de funcionar o no tenga un buen rendimiento.

Las frecuencias son múltiplos de los fundamentos, y estos se conocen como armónicos. La distorsión armónica existe en el momento que la corriente o el voltaje tienen daños y provocan deformaciones que se pueden observar en la forma de onda sinusoidal, puede que esta señal tenga picos u oscilaciones. [11]

Por lo general puede darse por: arranques de motores, daños por cortocircuitos, descargas atmosféricas o conmutaciones de capacitores. En sistemas eléctricos es muy común encontrar señales con distorsiones bajas, estas no provocan afectaciones en la operación general de los equipos. [12]

Hay normas en las cuales existen límites permisibles de distorsión, las cuales dependen de niveles de operación en tensión y cómo estas influyen en un sistema eléctrico de potencia. [13]

La distorsión armónica tiene características en cuanto forma de onda y voltaje, por lo cual se requiere encontrar la forma ideal de la onda, las deformaciones de una señal deben cumplir valores definidos en un intervalo.[14]

La señal debe ser periódica esto implica que la forma de onda tanto en corriente y voltaje deben ser iguales. Finalmente debe ser permanente dado que los problemas de distorsión armónica son muy comunes en un sistema de electricidad. [14]

Existe una gran diferencia entre cargas lineales y no lineales. Por lo cual los conceptos válidos en los sistemas lineales, no existe una distorsión armónica. Mientras que las cargas no lineales en las corrientes producen distorsiones armónicas, a su vez estas fluyen por la red y en el transformador de distribución, provocando una distorsión en el voltaje del sistema de potencia. [15]

Por lo general la distorsión armónica tiene hasta un nivel 40, cuando existe una armónica de orden 5 y 7 suele causar daños y esto influye negativamente en un Sep. [16]

Tabla 2: Niveles de armónicos según norma EN50160

Parámetro	En 50160	IEEE 519
% THD	8%	8%
3 armónico	5%	5%
5 armónico	6%	5%
7 armónico	5%	5%
9 armónico	1.5%	5%
11 armónico	3.5%	5%

La Tabla 2, evidencia que para armónicos existen normas de las cuales es necesario aplicarlas para no generar un riesgo en el sistema. Por lo cual existen niveles de armónicos y porcentajes admisibles como se puede observar en la tabla.

### 2.3 Impactos a la red

Generalmente, cuando existen daños en la red se generan ruidos, vibraciones y calentamientos las cuales son causadas por la corriente. Se plantea integrar y simular filtros híbridos los cuales ayuden a los componentes de todo el sistema de manera adecuada, siendo el objetivo principal ofrecer un buen servicio a los usuarios con diferentes conexiones optimas como se observa continuación en la figura 5. [16]

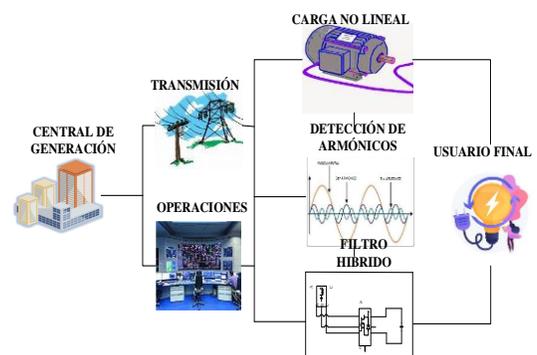


Figura 5. Elementos que influyen al producir energía eléctrica

Cuando existen cargas desequilibradas se genera un calentamiento excesivo del conductor y a raíz de esto la eficiencia de las máquinas sufren pérdidas adicionales, las mismas que se asocian con las corrientes parásitas e histéresis en el núcleo, además de las pérdidas por impacto Skin en los devanados debido a la alta frecuencia de los armónicos. La consecuencia es el calentamiento desmesurado y pérdida de aislamiento en los devanados [17]

## 2.4 Ensayo cargas para un Equilibrio de Carga y Generación

Una carga balanceada o también conocida como equilibrada es aquella que las impedancias de las etapas son equivalentes en magnitud y en fase. Al realizar ensayos de cargas trifásicas, se estudian varios casos que ponen cargas trifásicas balanceadas, la falta del neutro no tendría impacto debido a que el sistema siempre estaría balanceado. [18]

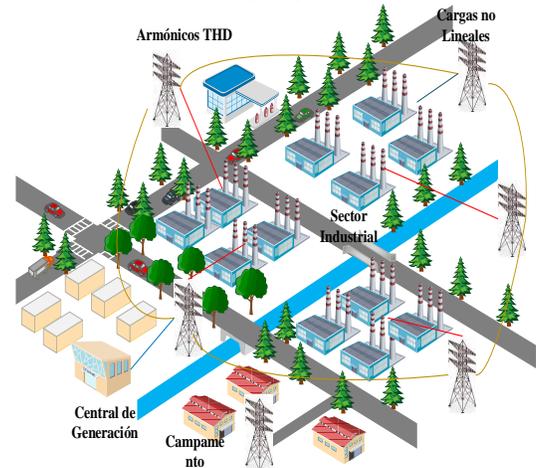
No obstante, la iluminación y la mayoría de otros equipos eléctricos utilizarán únicamente uno de los voltajes de fase, y todavía si la carga está diseñada para ser equilibrada (como debería ser), jamás se va a tener un balance perfecto debido a que las luces y otros equipos se prenderán y apagarán aleatoriamente, perturbando la condición de balanceo. [19]

Cuando se habla de cargas existentes estas pueden ser trifásicas, bifásica o monofásicas de tal manera que la conexión busque un alcance y equilibrio de acuerdo con su variabilidad, diseño planteado y necesidad de cubrir a nuestra demanda. [19],[20]

## 2.5 Filtros Híbridos

Las cargas no lineales causan problemas en sistemas industriales y afectan al

desempeño adecuado, esto genera una degradación de la potencia eléctrica. Debido a los problemas mencionados se ha propuesto combinar distintas uniones de filtros activos y pasivos, que ayudarán a implementar los filtros híbridos, permitiendo eliminar los armónicos en el sistema industrial. [21]



**Figura 6.** Generación distribuida en los sectores eléctricos industriales

En la Figura 6 se observa la distribución de energía eléctrica en el sector industrial, el cuál es un lugar donde predomina las cargas no lineales que causan armónicos.

Esta combinación puede presentarse de las siguientes formas:

- Filtro híbrido está conectado en serie al sistema industrial
- Filtro híbrido está conectado en paralelo al sistema industrial

Cuando el capacitor en serie tiene un elemento importante de voltaje en la red, el filtro activo podría trabajar con un voltaje DC bastante diminuto comparado a utilizar un solo filtro activo, esto significa que existe una menor capacidad de KVA. Hay una frecuencia de resonancia en el filtro pasivo implementado para el filtro híbrido. [22]

La impedancia tiene características las cuales deben ser lo más pequeñas posibles para obtener un mejor filtro. También

ayuda a que el valor de la capacitancia sea lo más grande posible para obtener un desempeño óptimo en el sistema industrial con problemas de cargas no lineales que ocasionan armónicos. [23]

Esta conformación contiene filtros activos dispersos con capacidad de rastreo de voltaje para enfrentar la resonancia armónica en el banco de capacitores, sin embargo, se necesita un algoritmo que ayude a controlar los filtros activos para tener buena operación. [24]

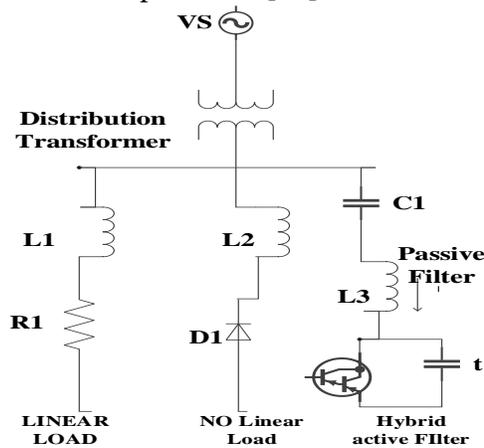


Figura 7. Estructura de un filtro Híbrido

La figura 7, evidencia como está compuesto un filtro híbrido. La ventaja del filtro híbrido es que tiene un menor precio por el filtro pasivo, esto provoca que se disminuya el nivel de potencia del filtro activo, lo cual lo hace muy conveniente para aplicarlos en sistemas industriales. Es una nueva solución a nuevas tecnologías y tiene un rango más amplio de aplicación en sistemas de electricidad y electrónica. [25]

### 2.5.1 Configuración en Serie

La configuración en serie se entiende mediante ejemplos teóricos para un sistema no lineal. Cuando se habla de un filtro híbrido decimos que se descompone de dos filtros. El primer filtro activo debe estar puesto en serie junto a la fuente de energía y la carga no lineal, y el filtro

pasivo está puesto en paralelo con la carga no lineal. [26]

### 2.5.2 Configuración en Paralelo

Existe algunas topologías para la configuración en paralelo, la configuración del filtro activo solo conduce la corriente esencial gracias a la carga y a la impedancia pasiva del filtro pasivo. [27]

La impedancia pasiva está determinada por indicadores, como la capacitancia y la frecuencia de resonancia conjuntamente sacarán un valor de impedancia. [28]

Al igual existen tres tipos de los filtros híbridos los cuales se dividen de la siguiente manera:

**Tipo 1:** En este rango de filtros híbridos se hallan los que controlan el paso de la corriente presionando las corrientes armónicas por medio de los filtros pasivos que están conectados de forma en paralelo a la carga. Una alta impedancia es impuesta por medio de un filtro activo conectado en serie, ésta crea una condición produciendo un voltaje en la misma frecuencia que la corriente la cual se quiere rectificar.[27]

El desequilibrio de voltaje es compensando por elementos negativos y ceros de la frecuencia, que es muy importante en la sucesión del voltaje del sistema.

**Tipo 2:** Esta clase de filtros híbridos al contrario del anterior conecta un filtro pasivo y activo en serie, pero en paralelo a la carga.

Así las propiedades del filtro pasivo son mejoradas, pues el esquema activo produce elementos armónicos de voltaje por medio del terminal del embobinado del transformador, donde las corrientes pasan

por el filtro pasivo en lugar de pasar por la red.[28]

**Tipo 3:** Los filtros activos para filtrar todas las corrientes armónicas que se muestran en el sistema, y de acuerdo con el grado de corriente activen o desactiven los filtros híbridos que corresponden conectados en paralelo a la carga.

Se censa la corriente por medio de una pinza amperimétrica que toma la corriente y pasa por medio de la etapa medida convirtiéndolo en un voltaje proporcional.

Dichos datos son filtrados por medio de los filtros activos que permanecen sintonizados en todas las frecuencias armónicas que se aspiran filtrar, y con la ayuda de un detector envolvente convertir un costo DC. [28]

Tabla 3: Ventajas y Desventajas de los tipos de Filtros Híbridos

	Ventajas	Desventajas
<b>Tipo 1</b>	-Flexible, amplio rango de corrientes -No es necesarios filtros pasivos	-Costo elevado -Compleja implementación
<b>Tipo 2</b>	-Disminuye armónicos casi en su totalidad -Controla flujo de corriente por un filtro	-Costa más elevado que el tipo 1 -Necesita filtros adicionales
<b>Tipo 3</b>	-Bajo costo -Implementación sencilla	-Necesita un filtro para cada orden de armónico -La disminución de armónicos no es tan efectiva.

La Tabla 3 muestra los tipos de filtros híbridos, las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

## 2.6 Localización de Polos y Ceros

Los filtros contienen polos y ceros, pueden ser complejos y son más difíciles de

trabajar ya que aparecen como pares complejos conjugados. [29]

La distorsión armónica hace que el sistema de distribución llegue a un punto que se desestabilice, por lo cual en el sistema implica tener polos, que se encargan de estabilizar el sistema y están ubicadas en el interior de la circunferencia. [30]

Por otra parte, los ceros no tienen ningún efecto en la estabilidad del sistema y pueden estar afuera o adentro de la circunferencia. Existen tres fases las cuales son:

**Fase Mínima:** sucede cuando los polos y ceros están en el interior de la circunferencia unidad

**Fase máxima:** sucede cuando los polos y ceros están en el exterior de la circunferencia unidad

**Fase Mixta:** sucede cuando los polos y ceros están en el interior y exterior de la circunferencia unidad [31]

Cuando hablamos de polos y ceros en un plano  $z$ , los ceros se anulan mientras que los polos tienden a una función infinita. Al igual los valores de un polo  $H(z)$  es elevado, por el contrario, en los ceros el valor de  $H(z)$  se reduce.

La localización de ceros y polos es muy importante porque existe un esquema que muestra la separación de ellos para agruparlos en los dos tipos como se observa en la figura 8: [31],[32]

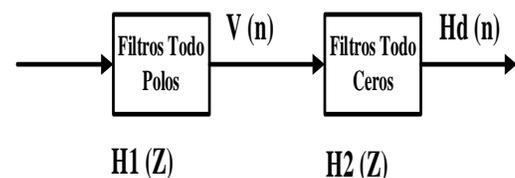


Figura 8. Diagrama de Bloques para Localización de Ceros y Polos

Los polos y ceros en un diseño de filtros pueden estar localizados en cualquier parte del plano lo cual produce una gran flexibilidad en el diseño de filtros sencillo con respecto a su ubicación. Para sistemas híbridos la cuantificación perjudica a la frecuencia, pero también tiene un impacto en los polos que se encuentran fuera de la circunferencia en el plano y. [33]

Al tener estos inconvenientes el sistema no es simultáneamente causal y estable, gracias a la cuantificación puede producirse distorsiones, picos u oscilaciones que afectan a la salida que es motivo del exceso o los ciclos que tiene límites en el sistema, por esta razón amerita de investigación para poder solucionarlos y tener un sistema eléctrico eficaz y de calidad. [34]

## 2.7 Frecuencia de resonancia

Las resonancias en los sistemas de potencia industriales bajo cargas no lineales exponen al sistema a oscilar con amplitudes elevadas que generan armónicos provocados por ciertos aparatos eléctricos combinan las modalidades que en el sistema genere resonancia. [35]

Según como las impedancias capacitivas e inductivas se encuentren conectadas al sistema principal, tienen la posibilidad de producir dos tipos de resonancia.

**Resonancia en Paralelo:** Este tipo de resonancia se produce cuando exista una rama de elementos capacitivos e inductivos conectados en paralelo con el sistema principal. Existe incremento de frecuencia

**Resonancia en serie:** Este tipo de resonancia una vez que exista una carga inductiva y capacitiva conectada en serie a la fuente de generación. [36]

## 3. Planteamiento del Problema

El siguiente análisis se realiza por los problemas que existe al de implementar cargas no lineales a un sistema eléctrico de potencia, el cuál sucede muy a menudo en el sector industrial. Por este motivo se plantea simular un filtro híbrido en un sistema de 37 barras del IEEE, que ayude a disminuir el porcentaje de armónicos.

Para realizar la simulación se necesita seguir ciertos parámetros específicos que tiene el sistema eléctrico de potencia.

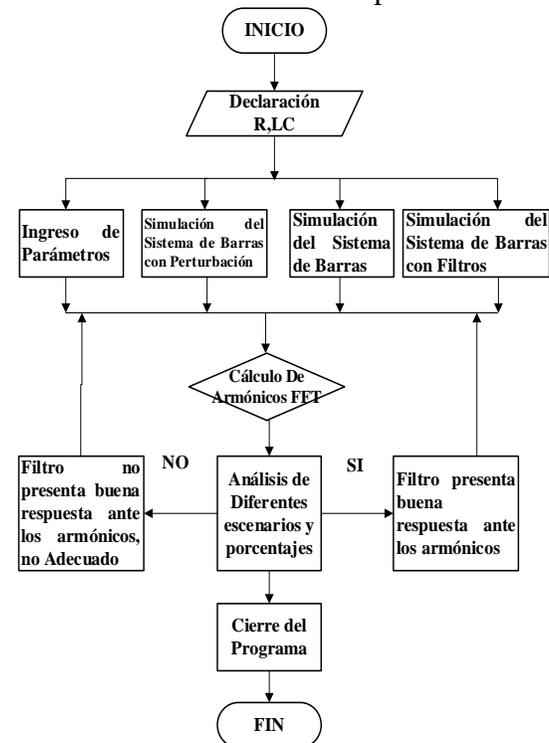


Figura 9. Diagrama de flujo para el funcionamiento del filtrado híbrido

En la figura 9 se muestran los pasos a seguir, para poner en funcionamiento nuestro sistema. El cuál tiene una declaración de variables para determinar los parámetros de las líneas, existe un proceso en donde se activan y desactivan switches para poder observar el porcentaje de THD en cada uno de los escenarios.

### 3.1 Modelación del sistema de prueba IEEE 37 barras

El modelamiento del sistema de prueba de 37 barras se realiza en base a los parámetros preestablecidos definidos en la documentación adjunta al sistema. La fuente de alimentación del sistema original corresponde a una subestación de transformación, en la simulación para reducir la carga computacional se usa un bloque de fuente trifásica de 4.8kV línea a línea, como generador slack.

Las barras del sistema se simulan con el bloque de bus de carga, debiéndose configurar el nivel de voltaje respectivo. Los parámetros de cada línea se definen mediante el bloque parámetros de línea distribuida. En este elemento se debe configurar el nivel de voltaje, pero adicionalmente se deben ingresar las matrices correspondientes a las reactancias y susceptancias previamente calculadas. Finalmente, las cargas asociadas a cada barra se simulan mediante el bloque de carga trifásica en serie RLC. En estos elementos se deben definir principalmente los niveles de potencia que manejan y el tipo de carga a la que corresponden, en base a la información de la documentación del sistema.

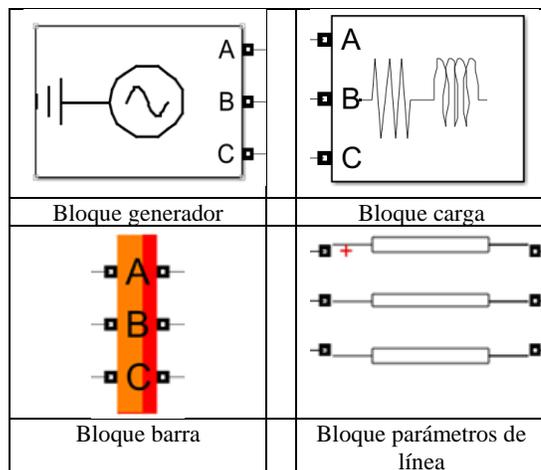


Figura 10. Componentes del sistema de 37 barras

Como se observa en la figura 10 existe un generador de 4.8 [Kv], que mediante líneas y bloques de barra y carga agregan valores de resistencia, capacitancia e inductancia al sistema para que pueda funcionar.

### 3.2 Modelación de la carga no lineal

Las cargas que maneja el sistema original no incluyen información de posibles fuentes de generación de armónicos. En este caso, para simular el filtro híbrido se reemplazó la carga de la barra 740, por una carga de tipo no lineal. Este tipo de cargas se pueden modelar, mediante la simulación de un convertidor trifásico.

El elemento se compone de un transformador, un bloque de puente universal, que simula un rectificador trifásico de onda completa sin ángulo de disparo conectado a un controlador de corriente que define cuanta corriente toma el conjunto rectificador de la red. La inclusión de este tipo de carga genera contenido armónico que distorsiona las formas de onda de voltaje y corriente.

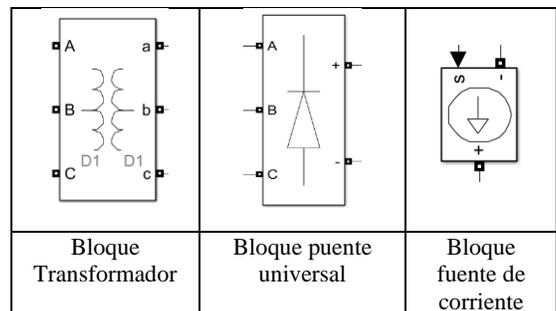


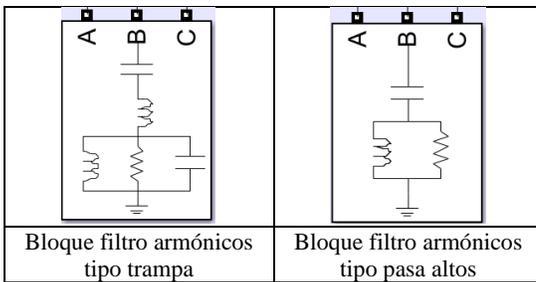
Figura 11. Elementos que contiene una carga no lineal

En la figura 11 se observa un transformador, este ayudará a bajar el voltaje del sistema, se implementa una carga no lineal de 3 [MW] y un bloque para que direcciona el sentido de la corriente

### 3.3 Modelación del filtro híbrido

El filtro híbrido se compone de filtros pasivos y activos. En este caso, se usa la configuración de filtros en paralelo. Se utiliza dos filtros de tipo pasivo, la simulación se efectúa directamente mediante el uso del bloque filtro armónico pasivo disponible.

En este elemento se debe escoger el tipo de filtro que se desea usar, la potencia reactiva que se desea compense el filtro, así como la frecuencia o frecuencias del filtro. En la presente simulación se selecciona un filtro de tipo trampa de armónicos ajustada al 11 y 13 armónico, en conjunto con un filtro de tipo pasa altos para el 15 armónico



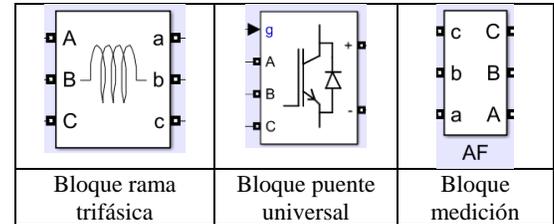
**Figura 12.** Diagrama Filtros implementados en el sistema

La figura 12 muestra los bloques que se implementaron para reducir los armónicos con componentes RLC en serie. El filtro de trampa ayuda a observar cómo responde el sistema con señales en un determinado tiempo, y el filtro pasa altos reconoce señales altas con las que se va a trabajar.

El filtro activo simula una fuente de corriente de contenido armónico desfasado 180 grados con respecto a la fuente de referencia, de tal forma que al sumarse ambas formas de onda se cancele el contenido armónico. La parte de potencia del inversor se simula mediante un bloque rectificador trifásico conectado a un capacitor que hace de fuente DC, la salida del inversor se conecta al sistema de filtros

mediante el elemento rama trifásica tipo RLC en serie.

Este elemento ayuda a limitar la corriente del filtro activo. Se requiere el uso de bloques de medición de voltaje y corriente para censar las señales de corriente de la salida del filtro activo y la entrada de potencia a la carga después del conjunto de filtros.



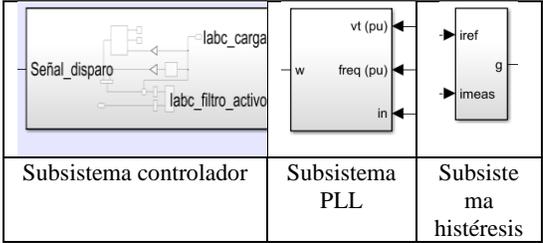
**Figura 13.** Bloques de medición corriente y voltaje

En la figura 13 nos muestra los bloques para sistemas trifásico, contienen un bloque de medición para calcular voltajes y corrientes. El bloque de puente universal mide resistencias que componen el filtro híbrido

Estas señales se utilizan para la generación de los disparos del puente inversor mediante un controlador. El controlador es un conjunto de bloques agrupados en subsistemas en diferentes niveles, principalmente se compone de subsistema PLL, que se encarga de generar un tren de pulsos sincrónico con la señal de entrada a la carga no lineal.

Y un subsistema de histéresis que, en base a la comparación de la señal generada por el PLL y la corriente de entrada a la carga, genera un tren de pulsos que ocasiona que el inversor genere una forma de onda que filtra la componente fundamental, dejando únicamente el contenido armónico de la forma de onda de corriente y lo desfasa 180 grados.

De modo que al inyectar esta corriente a la red se elimina el contenido armónico enviado por la carga hacia el sistema.



**Figura 14.** Subsistemas de control implementados

La figura 14 muestra los subsistemas de control los cuales evalúan las entradas y salidas del sistema, por ende, generan pulsos que ayudarán a determinar el THD del sistema

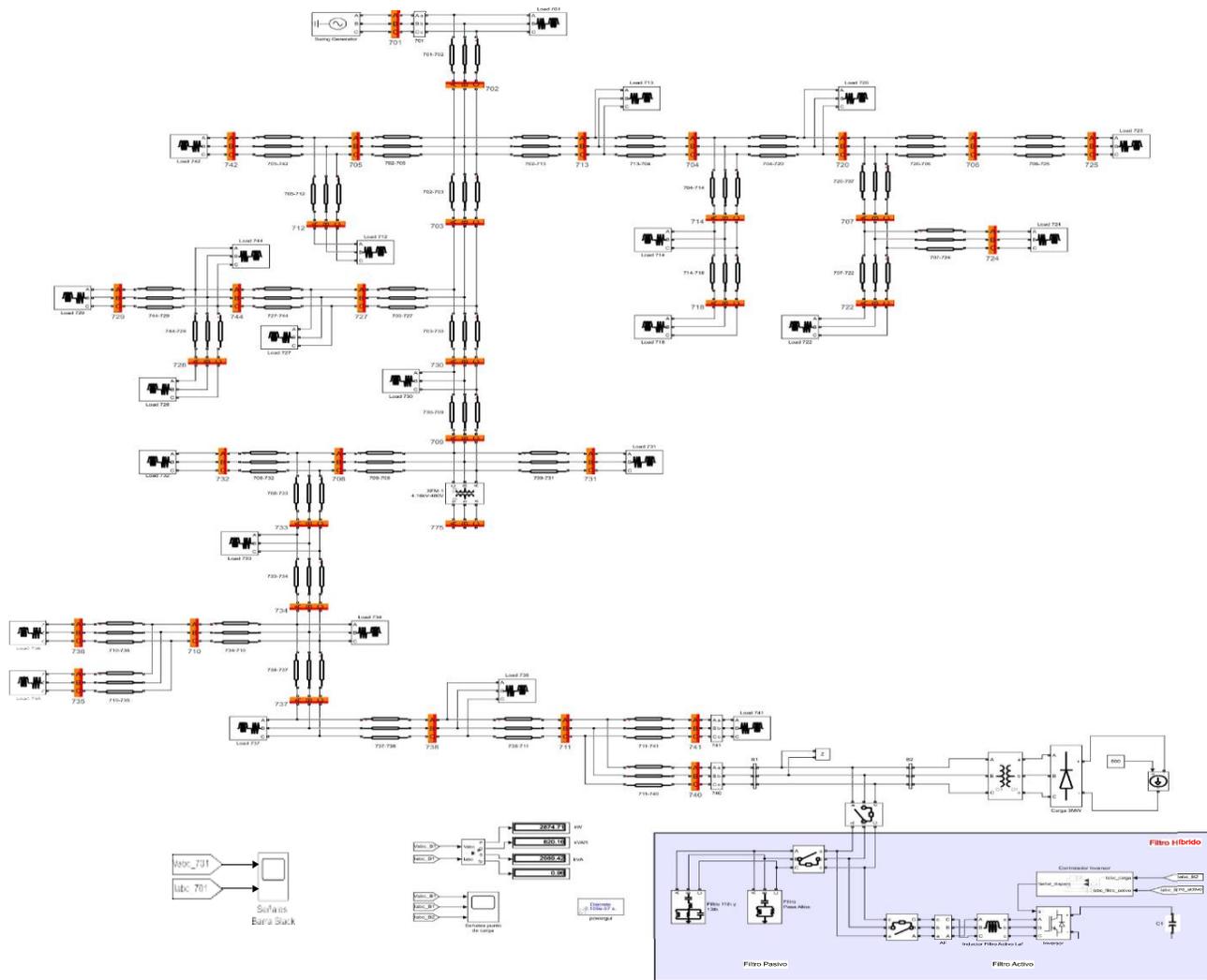


Figura 15. Simulación del sistema eléctrico con Filtrado Híbrido

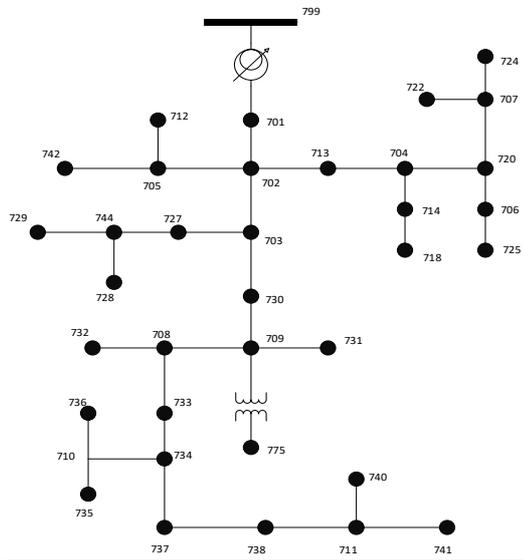
La figura 15 muestra el sistema completo del filtrado híbrido con todos los componentes establecidos en normas del IEEE. Este consta de varios escenarios que serán evaluados por medio de interruptores los cuales trabajarán de acuerdo a lo solicitado

## 4. Análisis de Resultados

La simulación realizada en Matlab-Simulink consta de cinco escenarios. Para poder analizar cómo influye cada filtro, como es la señal de onda tanto de corriente y de voltaje, mediante Fourier saber el porcentaje de THD de cada uno de los escenarios.

La simulación y estudio del caso fue desarrollado desde el 8 de noviembre hasta el 6 de enero del 2021. A continuación, se puede observar gráficas de cada uno de estos escenarios antes mencionados.

### 4.1 Resultados del sistema de 37 barras sin perturbación

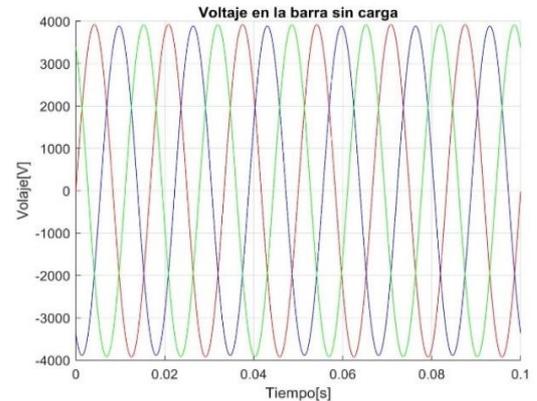


**Figura 16.** Estructura del Sistema de Distribución de 37 barras IEEE

En la figura 16 se observa la estructura del sistema de barras que fue encontrado en el Pest Test Feeder.

El entorno de simulación se implementa mediante el modelamiento del sistema IEEE de 37 barras, que corresponde al

sistema de distribución de un sector de California. El sistema opera a un voltaje de 4.8 kV, se caracteriza por una configuración en delta, con líneas de distribución soterradas.

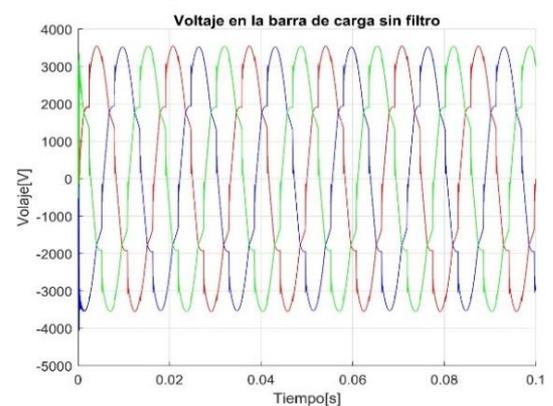


**Figura 17.** Señal de Onda de voltaje con armónicos del Sistema IEE 37 barras

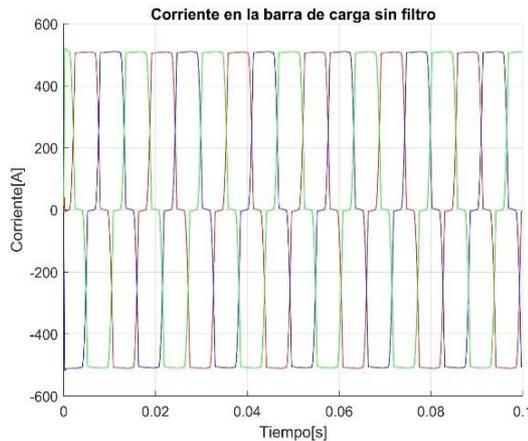
En la figura 17 se observa que la forma de onda del voltaje es sinusoidal, la cual no tiene ningún tipo de oscilación o perturbación.

No se considera la forma de onda de la corriente porque no existe en el sistema una carga asociada que produzca el tipo de onda o daño como tal el sistema, para lo cual el sistema esté en condiciones óptimas de trabajo.

### 4.2 Resultados del sistema de 37 barras con perturbación

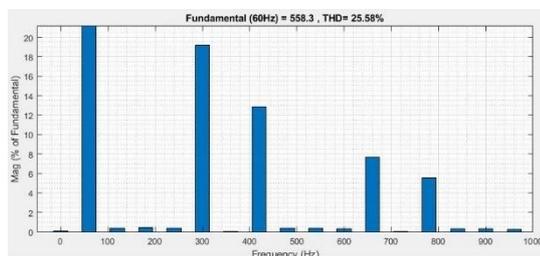


**Figura 18.** Señal de Onda de voltaje con armónicos del Sistema IEE 37 barras con perturbación



**Figura 19.** Señal de Onda de corriente con armónicos del Sistema IEE 37 barras con perturbación

Como se puede observar en la figura 18 y 19, al incluir una carga de tipo no lineal de 3 [MW] con dispositivos de rectificación, la forma de onda de corriente se distorsiona. En el voltaje la forma de onda es sinusoidal, pero presenta perturbaciones y con respecto a la forma de onda de la corriente es cuadrática, lo cual da a entender que el sistema no está trabajando de manera óptima.



**Figura 20.** Espectro de armónicos del Sistema de 37 barras con perturbación

En la Figura 20 existe un contenido armónico de un 25.58% en corriente el cuál esta fuera de los rangos permisibles, al igual que el valor de voltaje que es de 9.97%, deduciendo así que predominancia el armónico 5 y 7. Debido a que la corriente consumida es elevada, la forma de onda de voltaje también se ve distorsionada.

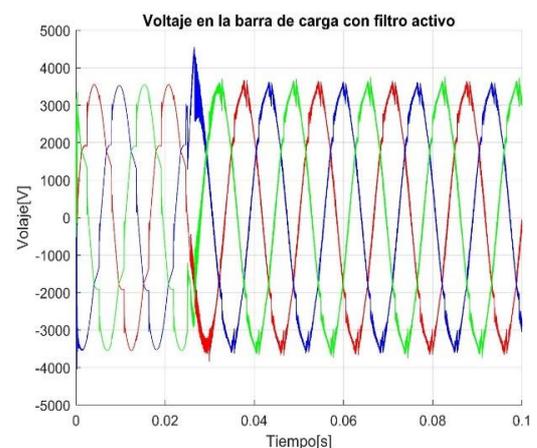
Tabla 4: Porcentaje de Armónicos Con Carga no Lineal

TIPO	THD %
Corriente	25.58%
Voltaje	9.97%

### 4.3 Resultados del sistema de 37 barras con activación de filtros Activo

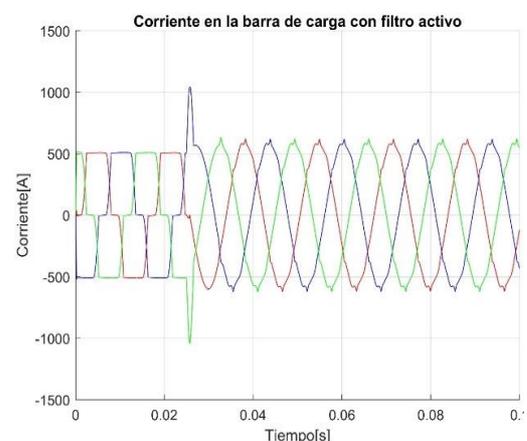
Con el objetivo de reducir el contenido armónico en la corriente se implementa un filtro activo en paralelo con la carga.

El filtro se compone de una fuente de corriente controlada CSI, en base a la realimentación del voltaje y corriente de la carga, el CSI genera una señal desfasada 180 grados con el contenido armónico de la forma de onda de la carga, de tal forma que se cancelen los armónicos se cancelan mutuamente.



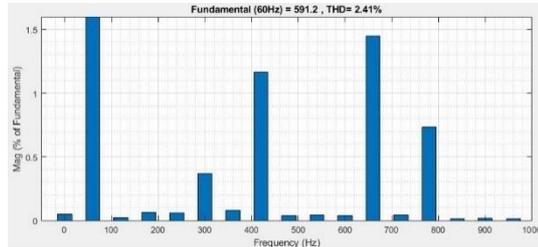
**Figura 21.** Señal de Onda de voltaje con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro activo

Se puede observar en la figura 21, que la forma de onda es sinusoidal, pero se encuentra distorsionada y tiene un pico bastante elevado que llega a 4500 [V]



**Figura 22.** Señal de Onda de corriente con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro activo

Se puede observar en la figura 22 que la forma de onda empieza de una forma cuadrática, pero vuelve a ser sinusoidal con ciertas perturbaciones, llegando a un pico máximo de 100 [A].



**Figura 23.** Espectro de armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro activo

La figura 23 de la FFT muestra que el filtro reduce significativamente la magnitud del 5 y 7th armónico, obteniendo un valor de 2.14% en corriente y 3.51% en voltaje.

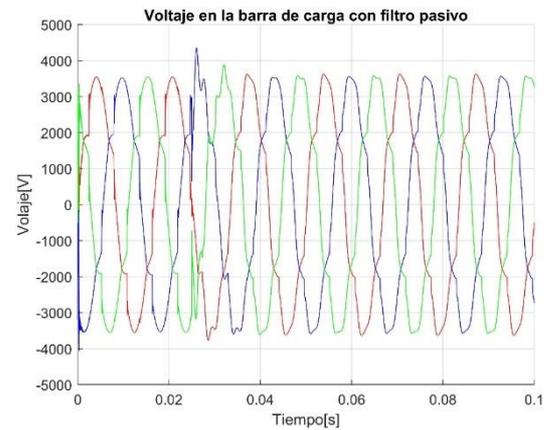
Tabla 5: Porcentaje de Armónicos Con Filtro Activo

TIPO	THD %
Corriente	2.41%
Voltaje	3.51 %

#### 4.4 Resultados del sistema de 37 barras con activación de filtros Pasivo

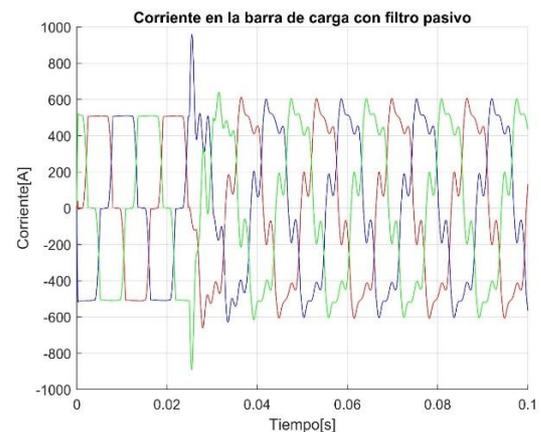
El filtro pasivo se instala en paralelo a la carga, se compone de un filtro pasa bajos para el 5 y 7 armónico en paralelo con un filtro pasa altos, con el objetivo de enviar las componentes armónicas de alta frecuencia a tierra. Se puede observar como el filtro activo se encarga de filtrar ligeramente la forma de onda de voltaje y corriente.

Se debe mencionar, que el filtro pasivo esta parametrizado para complementar al filtro activo. Adicionalmente, ya se utiliza para compensar los reactivos consumidos por la carga, mejorando el factor de potencia. La respuesta en frecuencia muestra predominancia del 5th y 7th armónico.



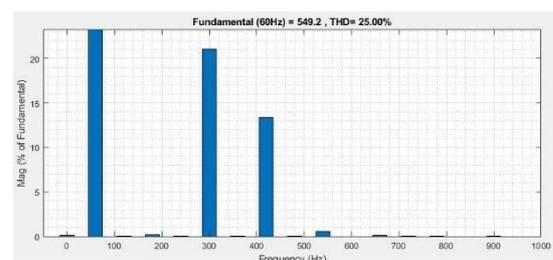
**Figura 24.** Señal de Onda de voltaje con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro pasivo

Se puede observar en a la figura 24 que la forma de onda es sinusoidal, pero se encuentra distorsionada y tiene un pico bastante elevado que llega a 4300 [V]



**Figura 25.** Señal de Onda de corriente con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro pasivo

Se puede observar en la figura 25 que la forma de onda empieza de una forma cuadrática y no vuelve a ser sinusoidal debido al exceso de perturbaciones, lo cual da a entender que los armónicos son elevados, llegando así a un pico máximo de 980 [A].



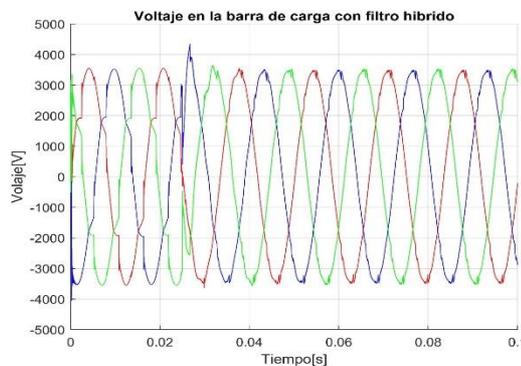
**Figura 26.** Espectro de armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro pasivo

La figura 26 de la FFT muestra que el filtro incrementa significativamente la magnitud del 5 y 7th armónico, obteniendo un valor de 25% en corriente y 10.21% en voltaje.

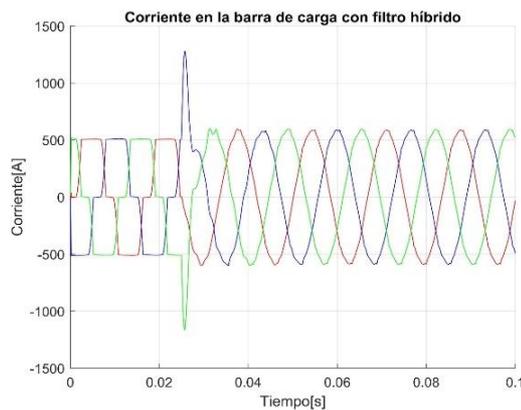
Tabla 6: Porcentaje de Armónicos Con Filtro Pasivo

TIPO	THD %
Corriente	25%
Voltaje	10.21 %

#### 4.5 Resultados del sistema de 37 barras con activación de filtros Híbridos



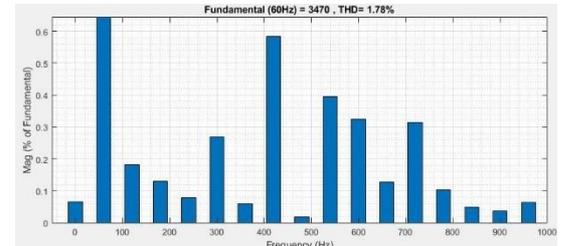
**Figura 27.** Señal de Onda de voltaje con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro híbrido



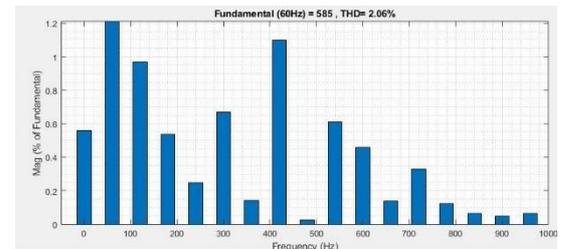
**Figura 28.** Señal de Onda de corriente con armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro híbrido

El filtro híbrido se implementa como una configuración de filtro activo y pasivo en paralelo a la carga. Se puede observar en las figuras 27 y 28 de voltaje y corriente, como las ondas se filtran eliminado gran parte del contenido armónico.

En el momento en que se activa el filtro con carga previamente alimentada se puede observar un efecto de sobre voltaje y sobre corriente de corta duración 0.0047[s] alcanzado una corriente pico de 1277[A], que es más del doble. Este efecto se produce por la energización del filtro con la carga conectada.



**Figura 29.** Espectro de voltaje con respecto a los armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro híbrido



**Figura 30.** Espectro de corriente con respecto a los armónicos del Sistema IEE 37 barras con activación de filtro híbrido

En las figuras 29 y 30 se presenta las transformadas de Fourier de las señales de voltaje y corriente respectivamente. Se puede observar, el incremento de la presencia de armónicos.

Sin embargo, la magnitud de los armónicos se reduce significativamente, de forma que el porcentaje de THD se reduce a 1.78% y 2.06% respectivamente.

Por lo cual, se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos en la norma IEEE 519. Al utilizar ambos se puede observar que aparecen nuevos armónicos, sin embargo, su magnitud es pequeña en comparación con la fundamental por lo cual el THD es menor.

Tabla 7: Porcentaje de Armónicos Con Filtros Híbridos

TIPO	THD %
Corriente	1.96%
Voltaje	1.78 %

Tabla 8: Porcentaje de Armónicos en diferentes escenarios

Escenarios	THD (V)	THD (I)
Sin Perturbación	0%	0%
Con Perturbación	9.97%	25.58%
Con Filtro Pasivo	10.21%	25%
Con Filtro Activo	3.51%	2.41%
Con Filtro Híbrido	1.78%	1.96%

En resumen, la Tabla 8 nos indica los valores exactos de THD en diferentes escenarios, obteniendo un filtrado híbrido con porcentajes muy bajos en corriente y voltaje, con respecto al escenario con perturbación. Reduciendo más del 90% de armónicos, cumpliendo con límites y parámetros que indican las normas para así lograr el óptimo desempeño del sep.

Solo el funcionamiento del filtro pasivo no ayuda a contrarrestar los armónicos, incluso estos se elevan en porcentajes pequeños, mientras que el filtro activo funciona de una mejor manera y elimina en gran cantidad los armónicos.

## 5. Conclusiones

Al terminar la simulación y análisis del sistema se logró obtener porcentajes y formas de onda, que se deduce en las siguientes conclusiones:

El primer escenario es el sistema eléctrico de potencia sin perturbación en donde opera a un voltaje de 4.8 [KV] y la corriente es nula, porque no existe asociada una carga no lineal que descompense el sistema eléctrico de potencia y genere armónicos.

El segundo escenario se coloca una carga no lineal de 3MW, el cual hace que el sistema se descompense obteniendo un THD de 20.69% en corriente y 9.97%, en voltaje, lo cual está fuera de los valores establecidos por normas del IEEE.

Al implementar un filtro pasivo se obtiene los porcentajes alto en THD, que es de 10.21% en voltaje y 25% en corriente, lo cual se deduce que se incrementó los armónicos al colocar este tipo de filtro.

Se obtuvo un porcentaje de 3.51% en voltaje y 2.41% en corriente al implementar un filtro activo en el sistema, bajo este criterio se logró reducir los armónicos en un 70% gracias a que tiene componentes de amplificación de operación y transistores

En el tercer escenario se hace el filtrado híbrido, con un filtro activo y pasivo, que con la ayuda de una fuente de corriente ayuda a que los armónicos se minimicen y por ende la forma de onda se rectifique, obteniendo así un porcentaje de THD de corriente del 1.96% y de voltaje 1.78%. Lo cual está dentro de parámetros establecidos y sobre todo sabiendo que no afecta al 5th y 7th armónico que son los más peligrosos.

Al momento que los filtros híbridos comienzan a funcionar existe un intervalo de tiempo que es de 0.025 [ms] y un pico de corriente de 1277[A], en el cual la forma de onda sinusoidal tiene picos y oscilaciones, hasta que se vuelve a estabilizar bajando así el porcentaje de armónicos.

La Frecuencia de Resonancia se encuentra demasiado elevado, esto se debe a los parámetros que están establecidos en el sistema de distribución de 37 barras, obteniendo un valor aproximado de 12.4 [kHz], el cual no se acerca al punto de Resonancia.

## 6. Trabajos Futuros

Al realizar el estudio y análisis de esta investigación se puede deducir que ayudará a futuras investigaciones como:

Determinar mediante Fourier el porcentaje de THD permisible tanto en voltaje y corriente que se rige a normas, estándares ya establecidos para que el sistema eléctrico de potencia trabaje de una manera óptima.

Determinar cómo el sistema de filtrado híbrido aporta a corregir y minimizar el porcentaje de armónicos, que con la ayuda de formas de ondas sinusoidales se puede saber cómo rectifica tanto el filtro activo y pasivo.

Determinar los efectos que pueden causar los armónicos cuando están fuera de su rango admisible y con el filtrado ayudar a compensar la frecuencia de resonancia.

## 7. Referencias

- [1] I. In. ETS, “Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control-Sistemas de Distribución.pdf.” 2009.
- [2] A. Arenas, P. Mediavilla, F. Gracia, and P. Garcés, “Estabilidad en los Sistemas Eléctricos de Potencia,” *Organización Latinoamericana de Energía*. pp. 1–28, 2013.
- [3] C. A. J.A Suárez, “Análisis de Distorsión Armónica y Efectos de atenuación y Diversidad en las Áreas.pdf.” 2005.
- [4] R. P. Quality, “Distorsion Armonica.” 2015.
- [5] J. M. A. Castro, “Estudio del Efecto de la Distorsión Armónica de Tensión Sobre la Operación de Motores Trifásicos de Inducción.pdf.” 2012.
- [6] E. T. Ramírez, “Distorsión Armónica.pdf.” 2014.
- [7] J. D. J. Cervantes, “Sistemas de distribución Eléctrica.pdf.” 1995.
- [8] E. F. Méndez Garcés, “Modelo para el análisis y toma de decisiones mediante el empleo de técnicas de inteligencia artificial para la reducción de la distorsión armónica en redes de energía eléctrica.” 2017.
- [9] C. A. G. Lara, “Estudio de contaminación armónica en Sistemas Eléctricos de Potencia considerado topologías de la red.pdf.” p. 12, 2019.
- [10] G. F. L, “Circuitos Trifásicos-Ensayo cargas trifásicas de Equilibrio de Carga y Generación.pdf.” 2016.
- [11] B. D. S. Reyes, “Reducir el Desbalance de la Demanda Mediante Sistemas Eléctricos.pdf.” 2021.
- [12] L. G. M. Martínez, “DISEÑO DE FILTROS IIR.pdf.” 2009.
- [13] J. mAnuel M. de la Rosa, “Filtros IIR Fundamentos teoricos.pdf.” 2015.
- [14] Anónimo, “Métodos Filtros IIR.pdf.” 2012.
- [15] M. B. Paredes, “Método Yule-Walker.pdf.” 1984.
- [16] W. A. Apunte, “Método mínimos cuadrados aplicado en filtros.pdf.” 1983.
- [17] E. De Biología *et al.*, “Universidad Del Azuay Facultad De Ciencia Y Tecnología,” 2012.
- [18] Facultad de Ing, “Síntesis de Sistemas digitales con Filtros.pdf.” 2014.
- [19] Facultad de Ing *et al.*, “Polos y ceros Localizados en el plano,” 2018.
- [20] D. de P. de señales , “Estimación y predicción en series temporales .pdf.” 2021.
- [21] J. F. Postigo, “Efecto del Agragado de Polos y Ceros.pdf.” 2003.
- [22] I. De Figuras, “Introducción a los Sistemas Electrónicos de Control,” pp. 1–18, 2021.
- [23] C. ALvarado, “Estimación de

- Frecuencias de resonancia.pdf.” 2016.
- [24] L. G. P. Castillo, “Frecuencia de resonancia de un circuito.” 2013, [Online]. Available: [https://innovacionumh.es/Proyectos/P\\_19/Tema\\_3/UMH\\_06.htm](https://innovacionumh.es/Proyectos/P_19/Tema_3/UMH_06.htm).
- [25] R. M. Eisberg, “Resonancia Eléctrica.pdf.” 2018.
- [26] La et al., “U T O Má C a,” McGraw Hill Interam., vol. 53, no. 9, p. 13, 2010, [Online]. Available: [http://www.lavoisier.fr/livre/notice.asp?ouvrage=1299000%0Ahttps://es.slideshare.net/LuisPalacios15/cinco-tipos-de-transistores-de-uso-comn%0Ahttps://ocw.unican.es/pluginfile.php/763/course/section/814/ejercicios\\_5.pdf%0Ahttps://naghelsy.files.wordpress.c](http://www.lavoisier.fr/livre/notice.asp?ouvrage=1299000%0Ahttps://es.slideshare.net/LuisPalacios15/cinco-tipos-de-transistores-de-uso-comn%0Ahttps://ocw.unican.es/pluginfile.php/763/course/section/814/ejercicios_5.pdf%0Ahttps://naghelsy.files.wordpress.c).
- [27] J. Alvaro and F. Moreno, “Regulación de tensión Regulación de tensión,” 2012.
- [28] A. A. D. Sanchez, “ESTUDIO DE LA CONTROLABILIDAD DE SISTEMAS LINEALES.pdf.” 2013.
- [29] U. De Polos and D. U. Función, “Ubicación de Polos de Una Función de Transferencia 1.,” Control. pp. 1–39, 2018.
- [30] R. R. Lara, – T. –, D. Adc, E. Ts, and —, “Sistemas Digitales de Control en Tiempo Discreto.” 2007, [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/6123/TEMA6.pdf>.
- [31] A. Carrillo Paz, Sistemas automáticos de control fundamentos básicos de análisis y modelado. 2011.
- [32] K. Chugá, J. Cepeda, and C. Gallardo, “Caracterización de Armónicos en el Sistema Nacional Interconectado, SNI a partir de Información del Sistema de Monitoreo de Área Extendida, WAMS,” Rev. Técnica “Energía,” vol. 11, no. 1, 2015, doi: 10.37116/revistaenergia.v11.n1.2015.87.
- [33] J. I. C. García and Documento, “Tesis doctoral Aportaciones al filtrado híbrido paralelo en redes trifásicas de cuatro hilos,” Univ. Politècnica Catalunya, 2009.
- [34] F. D. P. J. A. J. Acu, “Análisis de Armónicos en un Compensador Estático de VAR’s.pdf.” 2013.
- [35] J. Peralta, P. Reyes, and A. Godínez Muñoz, “El fenómeno de la resonancia,” Latin-American J. Phys. Educ., vol. 3, no. 3, p. 18, 2009.
- [36] C. E. R. A. R. R. . Welti, “Medicion de Frecuencias de resonancias Factor de Perdidas.pdf.” 2014.

## 8. Estado del Arte

PLANEACIÓN ÓPTIMA PARA DESPLIEGUE DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA REQUERIDA POR SMART GRID																							
DATOS				TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA																				
1				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
2				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
3				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
8				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
9				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
10	2015	Optimum deployment of FiWi Networks using wireless sensors based on Universal Data Aggregation Points	\cite{Inga2014}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
11	2015	Shortest path for optimal routing on Advanced Metering Infrastructure using cellular networks	\cite{Inga2014}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
12	2014	Optimal Deployment of Cellular Networks for Advanced Measurement Infrastructure in Smart Grid	\cite{Inga2014}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	2013	Comunicaciones celulares para medición inteligente de energía eléctrica en sistemas de distribución	\cite{Inga-Ortega2013}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
14	2012	Redes de Comunicación en Smart Grid	\cite{IngaOrtega2012}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
CANTIDAD:				5	3	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

TABLA 2.- MATRIZ DE ESTADO DEL ARTE  
 TABLA 3.- RESUMEN E INDICADORES DEL ESTADO DEL ARTE

