

EVALUACIÓN DE FILTROS PASIVOS COMO ALTERNATIVA PARA LA GESTIÓN DE ARMÓNICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA INDUSTRIALES

SEBASTIAN ALEJANDRO LADINO SERRANO

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Electrónica
Bogotá, Colombia
2023



EVALUACIÓN DE FILTROS PASIVOS COMO ALTERNATIVA PARA LA GESTIÓN DE ARMÓNICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA INDUSTRIALES

SEBASTIAN ALEJANDRO LADINO SERRANO

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Electrónico

Director:

José Luis Paternina Durán

Grupo de Investigación MEM (Grupo de Modelado, Electrónica y Monitoreo)

Línea de Investigación: Sistemas de Energía Eléctrica

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Electrónica

Bogotá, Colombia

2023

Autoridades de la universidad

RECTOR GENERAL

R.P. FRAY, ÁLVARO JOSÉ ARANGO RESTREPO, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL

R.P. FRAY, LUIS FRANCISCO SASTOQUE POVEDA, O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL

R.P. FRAY, EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O.P.

SECRETARIO GENERAL

Dra. INGRID LORENA CAMPOS VARGAS

DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

R.P. FRAY, JAVIER ANTONIO HINCAPIÉ ARDILA, O.P.

SECRETARIA DE DIVISIÓN

E.C. LUZ PATRICIA ROCHA CAICEDO

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Ph.D CARLOS ANDRÉS TORRES PINZÓN

Nota de aceptación

Firma del tutor

Firma del jurado

Firma del jurado

BOGOTÁ D.C. _____ DE 2023

ADVERTENCIA

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado, solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

Capítulo III –Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.

Dedicatoria

A mi madre Beatriz.
A todas las personas que son importantes en mi vida.

“Somos tan grandes como los retos a los que nos enfrentamos”.
Anónimo

Agradecimientos

A la Universidad Santo Tomás por ser un segundo hogar y brindarme un escenario para desarrollarme tanto personal como profesionalmente, adquiriendo conocimientos que aplicaré en el mundo laboral.

Al profesor José Luis Paternina por toda su colaboración, disposición y aporte en el desarrollo del proyecto. Además de sus enseñanzas y valores por fuera del ámbito profesional.

A Dios por sus bendiciones a lo largo de mi vida, por darme fortaleza y templanza para enfrentar los más duros desafíos, y por brindarme la oportunidad de ser un profesional.

A mi familia, por su paciencia, comprensión, incondicional apoyo y colaboración durante mi época de estudios. Siendo mi motivo de seguir adelante día tras día.

Contenido

Resumen	XIII
Abstract.....	XIV
Lista de Figuras.....	XV
Lista de Tablas	XXXII
Glosario.....	XXXIII
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Impacto Social.....	4
2. Estado del Arte.....	5
2.1. Alternativas de tecnologías de mitigación de armónicos.....	5
2.2. Análisis de armónicos en redes de distribución	8
3. Marco Teórico.....	11
3.1. Sistema de distribución	11
3.2. Análisis de armónicos en instalaciones industriales.....	11
3.2.1. Armónico	12
3.2.2. Tipos de armónicos	12
3.2.3. Factor de distorsión (DF)	13
3.2.4. Distorsión armónica total (THD).....	13
3.3. Problemas causados por los armónicos.....	13
3.3.1. Corto plazo	13
3.3.2. Largo plazo.....	14
3.4. Armónicos de tensión.....	14
3.5. Armónicos de corriente	14
3.6. Corrección de factor de potencia	15
3.7. Filtros de rechazo.....	18
3.7.1. Factor de sobretensión (%P)	18
3.7.2. Impedancia del banco.....	19
3.7.3. Capacidad del condensador	19

3.7.4.	Inductancia	20
3.7.5.	Corriente del banco de condensadores o del paso.....	20
3.7.6.	Tensión en la reactancia y en el condensador	20
3.7.7.	Potencia del condensador	20
3.7.8.	Comprobación de la sintonía	21
4.	Diseño Metodológico	22
4.1.	Fases y Metodología.....	22
4.1.1.	Fase I: Propuesta de caso de estudio tomando como modelo de pruebas el sistema IEEE 34 nodos	22
4.1.2.	Fase II: Modelado de fuentes de contaminación armónica, bancos de condensadores y reactancias de rechazo mediante el software OpenDSS ...	23
4.1.3.	Fase III: Validación del impacto que tiene el uso de filtros pasivos para la gestión de armónicos en cada escenario del caso de estudio propuesto...	24
5.	Desarrollo Conceptual	25
5.1.	Sistema de prueba IEEE 34 nodos	25
5.2.	Modelos de cargas típicas.....	26
5.3.	Espectros armónicos.....	27
5.4.	Propuesta de caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos	28
5.5.	Modelado	29
5.5.1.	Modelado en OpenDSS.....	29
5.5.2.	Configuración del caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos 30	
5.5.2.1.	Líneas de distribución.....	30
5.5.2.2.	Transformadores	30
5.5.2.3.	Cargas.....	31
5.5.2.4.	Reguladores	32
5.5.2.5.	Elementos de medición	32
5.5.3.	Simulación de perfil diario de potencia y voltaje en caso base	33
5.5.4.	Verificación de bajo factor de potencia en cargas industriales	34
5.5.5.	Cálculo de corrección de factor de potencia para carga S860	35
5.5.6.	Modelado de condensadores en OpenDSS	36
5.5.7.	Modelado de fuentes de contaminación armónica en OpenDSS	36
5.5.8.	Diseño de banco de condensadores con filtros de reactancias de rechazo	37
5.5.9.	Modelado de filtros de reactancias de rechazo en OpenDSS	39
5.5.10.	Cálculo del índice de distorsión armónica total en Matlab.....	40

6. Resultados y Discusión.....	41
6.1. Caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos caso base	41
6.2. Escenario 1: Caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia	45
6.3. Escenario 2: Caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y con fuentes de armónicos 6PULSOS.....	47
6.4. Escenario 3: Caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos sin banco de condensadores para corrección de factor de potencia y con fuentes de armónicos 6PULSOS.....	49
6.5. Escenario 4: Caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos con filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores y con fuentes de armónicos 6PULSOS.....	51
7. Conclusiones y Trabajos futuros	55
8. Referencias Bibliográficas	58
9. Anexos	66
9.1. Anexo A.....	66
9.1.1. Tablas de referencia para límites de índices de distorsión armónica total en corriente y voltaje	66
9.1.2. Código Interfaz COM: Matlab y OpenDSS	66
9.2. Anexo B.....	67
9.2.1. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos caso base	67
9.2.2. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos caso base en la hora 15	74
9.2.3. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia en la hora 15	80
9.2.4. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos en la hora 15.....	88
9.2.5. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos en la hora 15	96
9.2.6. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores en la hora 15	103
9.3. Anexo C	112
9.3.1. Código en Matlab para cálculo de Índice de distorsión armónica total de tensión (THD _v)	112

9.3.2. Código en Matlab para cálculo de Índice de distorsión armónica total de corriente (THD _i).....	113
9.4. Anexo D	115
9.4.1. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 1.....	115
9.4.2. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 2.....	120
9.4.3. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 3.....	125
9.4.4. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 4.....	130
9.4.5. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 5.....	135
9.4.6. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 6.....	140
9.4.7. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 7.....	145
9.4.8. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 8.....	150
9.4.9. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 9.....	155
9.4.10. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 10.....	160
9.4.11. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 11.....	165
9.4.12. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 12.....	170
9.4.13. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 13.....	175
9.4.14. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 14.....	180
9.4.15. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 16.....	185
9.4.16. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 17.....	190
9.4.17. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 18.....	195
9.4.18. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 19.....	200

9.4.19.	Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 20	205
9.4.20.	Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 21	210
9.4.21.	Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 22	215
9.4.22.	Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 23	220
9.4.23.	Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 24	225

Resumen

Contexto

El proyecto tiene como alcance evaluar el uso de filtros pasivos como una alternativa viable para la gestión de contaminación armónica en una red de distribución de energía eléctrica en media tensión con alta carga industrial; mediante índices de distorsión armónica total (THD), apoyados en un análisis armónico de los efectos provocados por la corrección de factor de potencia, por las fuentes de armónicos y por filtros de reactancias de rechazo, teniendo en cuenta ciertos criterios técnicos.

Método

Se evaluarán los filtros pasivos LC bajo el fenómeno de contaminación armónica siguiendo una metodología determinista. En primera instancia se propondrá un caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos basado en una investigación exploratoria, luego se modelarán bancos de condensadores, fuentes de armónicos, y reactancias de rechazo mediante el software OpenDSS, partiendo de un diseño matemático; con el fin de validar resultados comparando índices THD de cada escenario obtenido.

Resultados

Luego de un análisis diario del flujo de carga armónico para cada hora se evidencia que los condensadores producen alta amplificación de armónicos al corregir el factor de potencia. Además, que los filtros pasivos LC disminuyen los armónicos e inclusive los llegan a eliminar en un bajo porcentaje de THD, dado que lo que se espera es obtener un panorama general de la gestión de armónicos usando filtros pasivos en la red.

Conclusiones

Finalmente, el comportamiento de armónicos al comparar los índices de THD tanto en voltaje como en corriente para cada escenario por cada hora describe a los filtros pasivos como eficientes a la hora de mitigar la contaminación armónica en un sistema de distribución, sin embargo, es posible esperar un incremento de armónicos de corriente en algunas horas, un problema que no hace que esta alternativa sea inviable para mejorar calidad energética, pero si lo hace una desventaja a nivel industrial.

Palabras clave: Filtros pasivos, red de distribución, PFC, reactancias de rechazo, armónicos, índices THD, mitigación armónica.

Abstract

Context

The scope of the project is to evaluate the use of passive filters as a viable alternative for the management of harmonic pollution in a medium voltage electrical power distribution network with a high industrial load; through total harmonic distortion indexes (THD), supported by a harmonic analysis of the effects caused by power factor correction, by harmonic sources and rejection reactor filters, taking into account certain technical criteria.

Method

The LC passive filters will be evaluated under the phenomenon of harmonic pollution following a deterministic methodology. In the first instance, an IEEE 34-node distribution network case study will be proposed based on an exploratory investigation, then capacitor banks, harmonic sources, and rejection reactances will be modeled using the OpenDSS software, based on a mathematical design; to validate results by comparing THD indices of each scenario obtained.

Results

After a daily analysis of the harmonic load flow for each hour, it is evident that the capacitors produce high harmonic amplification when correcting the power factor. In addition, LC passive filters reduce harmonics and even eliminate them in a low percentage of THD, since what is expected is to obtain a general overview of harmonic management using passive filters in the network.

Conclusions

Finally, the behavior of harmonics when comparing the THD indices in both voltage and current for each scenario for each hour describes passive filters as efficient when it comes to mitigating harmonic contamination in a distribution system, however, it is possible expect an increase in current harmonics in a few hours, a problem that does not make this alternative unfeasible to improve energy quality, but it does make it a disadvantage at an industrial level.

Keywords: Passive filters, distribution network, PFC, rejection reactances, harmonics, THD indexes, harmonic mitigation.

Lista de Figuras

Figura 3.1. Triángulo de Potencias. Fuente elaboración propia.	15
Figura 4.1. Metodología. Fuente elaboración propia.	22
Figura 5.1. Sistema IEEE de 34 nodos [66]	26
Figura 5.2. Línea de comando para definir la configuración de la línea 301. Adaptado de [71].	30
Figura 5.3. Modelo de la línea trifásica 24 entre el nodo 850 y nodo 816. Adaptado de [72].	30
Figura 5.4. Modelo de un transformador trifásico. Adaptado de [72].	30
Figura 5.5. Modelo de cargas trifásicas balanceadas de tipo spot y distribuidas. Adaptado de [72].	31
Figura 5.6. Curva de carga industrial [50].	31
Figura 5.7. Líneas de instrucciones para modelar el regulador de tensiones. Adaptado de [50].	32
Figura 5.8. Inclusión de elementos de medición. Fuente elaboración propia.	32
Figura 5.9. Comandos de modos de solución. Fuente elaboración propia.	33
Figura 5.10. Línea de código para banco de condensadores. Fuente elaboración propia.	36
Figura 5.11. Línea de código de modelo de generador de 6 PULSOS en carga S860 de hora 15. Fuente elaboración propia.	36
Figura 5.12. Gráfico de espectro armónico para carga S860. Fuente elaboración propia.	38
Figura 5.13. Línea de código para banco de condensadores con reactancias de rechazo. Fuente elaboración propia.	40
Figura 6.1. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Fuente elaboración propia.	41
Figura 6.2. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Fuente elaboración propia.	42
Figura 6.3. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 15. Fuente elaboración propia.	43
Figura 6.4. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 15. Fuente elaboración propia.	44
Figura 6.5. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 15. Fuente elaboración propia.	45
Figura 6.6. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de	

condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 15. Fuente elaboración propia.	46
Figura 6.7. Resultados de simulación de flujo de carga armónico en potencia de la carga S860 de la red de distribución 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 15. Fuente elaboración propia.	46
Figura 6.8. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.	47
Figura 6.9. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.	48
Figura 6.10. Resultados de simulación de flujo de carga armónico en potencia de la carga S860 de la red de distribución 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.	49
Figura 6.11. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.	50
Figura 6.12. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.	50
Figura 6.13. Resultados de simulación de flujo de carga armónico en potencia de la carga S860 de la red de distribución 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.	51
Figura 6.14. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 15. Fuente elaboración propia.	52
Figura 6.15. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 15. Fuente elaboración propia.	53
Figura 6.16. Resultados de simulación de flujo de carga armónico en potencia de la carga S860 de la red de distribución 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 15. Fuente elaboración propia.	54
Figura 9.1. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 1. Fuente elaboración propia.	115
Figura 9.2. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 1. Fuente elaboración propia.	115
Figura 9.3. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 1. Fuente elaboración propia.	116

Figura 9.4. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 1. Fuente elaboración propia.	116
Figura 9.5. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 1. Fuente elaboración propia.	117
Figura 9.6. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 1. Fuente elaboración propia.	117
Figura 9.7. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 1. Fuente elaboración propia.	118
Figura 9.8. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 1. Fuente elaboración propia.	118
Figura 9.9. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 1. Fuente elaboración propia.	119
Figura 9.10. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 1. Fuente elaboración propia.	119
Figura 9.11. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 2. Fuente elaboración propia.	120
Figura 9.12. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 2. Fuente elaboración propia.	120
Figura 9.13. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 2. Fuente elaboración propia.	121
Figura 9.14. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 2. Fuente elaboración propia.	121
Figura 9.15. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 2. Fuente elaboración propia.	122
Figura 9.16. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 2. Fuente elaboración propia.	122
Figura 9.17. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 2. Fuente elaboración propia.	123
Figura 9.18. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 2. Fuente elaboración propia.	123
Figura 9.19. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de	

rechazo para cada banco de condensadores. Hora 2. Fuente elaboración propia.	124
Figura 9.20. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 2. Fuente elaboración propia.	124
Figura 9.21. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 3. Fuente elaboración propia.....	125
Figura 9.22. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 3. Fuente elaboración propia.....	125
Figura 9.23. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 3. Fuente elaboración propia.	126
Figura 9.24. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 3. Fuente elaboración propia.	126
Figura 9.25. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 3. Fuente elaboración propia.	127
Figura 9.26. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 3. Fuente elaboración propia.	127
Figura 9.27. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 3. Fuente elaboración propia.	128
Figura 9.28. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 3. Fuente elaboración propia.	128
Figura 9.29. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 3. Fuente elaboración propia.	129
Figura 9.30. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 3. Fuente elaboración propia.	129
Figura 9.31. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 4. Fuente elaboración propia.....	130
Figura 9.32. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 4. Fuente elaboración propia.....	130
Figura 9.33. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 4. Fuente elaboración propia.	131
Figura 9.34. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 4. Fuente elaboración propia.	131

Figura 9.35. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 4. Fuente elaboración propia.	132
Figura 9.36. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 4. Fuente elaboración propia.	132
Figura 9.37. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 4. Fuente elaboración propia.	133
Figura 9.38. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 4. Fuente elaboración propia.	133
Figura 9.39. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 4. Fuente elaboración propia.	134
Figura 9.40. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 4. Fuente elaboración propia.	134
Figura 9.41. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 5. Fuente elaboración propia.	135
Figura 9.42. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 5. Fuente elaboración propia.	135
Figura 9.43. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 5. Fuente elaboración propia.	136
Figura 9.44. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 5. Fuente elaboración propia.	136
Figura 9.45. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 5. Fuente elaboración propia.	137
Figura 9.46. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 5. Fuente elaboración propia.	137
Figura 9.47. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 5. Fuente elaboración propia.	138
Figura 9.48. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 5. Fuente elaboración propia.	138
Figura 9.49. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 5. Fuente elaboración propia.	139

Figura 9.50. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 5. Fuente elaboración propia.	139
Figura 9.51. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 6. Fuente elaboración propia.....	140
Figura 9.52. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 6. Fuente elaboración propia.....	140
Figura 9.53. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 6. Fuente elaboración propia.	141
Figura 9.54. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 6. Fuente elaboración propia.	141
Figura 9.55. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 6. Fuente elaboración propia.....	142
Figura 9.56. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 6. Fuente elaboración propia.....	142
Figura 9.57. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 6. Fuente elaboración propia.	143
Figura 9.58. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 6. Fuente elaboración propia.	143
Figura 9.59. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 6. Fuente elaboración propia.	144
Figura 9.60. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 6. Fuente elaboración propia.	144
Figura 9.61. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 7. Fuente elaboración propia.....	145
Figura 9.62. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 7. Fuente elaboración propia.....	145
Figura 9.63. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 7. Fuente elaboración propia.	146
Figura 9.64. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 7. Fuente elaboración propia.	146
Figura 9.65. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 7. Fuente elaboración propia.....	147

Figura 9.66. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 7. Fuente elaboración propia.	147
Figura 9.67. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 7. Fuente elaboración propia.	148
Figura 9.68. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 7. Fuente elaboración propia.	148
Figura 9.69. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 7. Fuente elaboración propia.	149
Figura 9.70. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 7. Fuente elaboración propia.	149
Figura 9.71. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 8. Fuente elaboración propia.	150
Figura 9.72. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 8. Fuente elaboración propia.	150
Figura 9.73. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 8. Fuente elaboración propia.	151
Figura 9.74. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 8. Fuente elaboración propia.	151
Figura 9.75. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 8. Fuente elaboración propia.	152
Figura 9.76. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 8. Fuente elaboración propia.	152
Figura 9.77. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 8. Fuente elaboración propia.	153
Figura 9.78. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 8. Fuente elaboración propia.	153
Figura 9.79. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 8. Fuente elaboración propia.	154
Figura 9.80. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 8. Fuente elaboración propia.	154

Figura 9.81. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 9. Fuente elaboración propia.....	155
Figura 9.82. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 9. Fuente elaboración propia.....	155
Figura 9.83. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 9. Fuente elaboración propia.	156
Figura 9.84. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 9. Fuente elaboración propia.	156
Figura 9.85. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 9. Fuente elaboración propia.	157
Figura 9.86. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 9. Fuente elaboración propia.	157
Figura 9.87. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 9. Fuente elaboración propia.	158
Figura 9.88. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 9. Fuente elaboración propia.	158
Figura 9.89. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 9. Fuente elaboración propia.	159
Figura 9.90. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 9. Fuente elaboración propia.	159
Figura 9.91. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 10. Fuente elaboración propia.....	160
Figura 9.92. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 10. Fuente elaboración propia.....	160
Figura 9.93. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 10. Fuente elaboración propia.	161
Figura 9.94. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 10. Fuente elaboración propia.	161
Figura 9.95. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 10. Fuente elaboración propia.	162
Figura 9.96. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 10. Fuente elaboración propia.	162

Figura 9.97. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 10. Fuente elaboración propia.	163
Figura 9.98. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 10. Fuente elaboración propia.	163
Figura 9.99. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 10. Fuente elaboración propia.	164
Figura 9.100. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 10. Fuente elaboración propia.	164
Figura 9.101. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 11. Fuente elaboración propia.	165
Figura 9.102. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 11. Fuente elaboración propia.	165
Figura 9.103. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 11. Fuente elaboración propia.	166
Figura 9.104. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 11. Fuente elaboración propia.	166
Figura 9.105. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 11. Fuente elaboración propia.	167
Figura 9.106. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 11. Fuente elaboración propia.	167
Figura 9.107. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 11. Fuente elaboración propia.	168
Figura 9.108. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 11. Fuente elaboración propia.	168
Figura 9.109. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 11. Fuente elaboración propia.	169
Figura 9.110. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 11. Fuente elaboración propia.	169
Figura 9.111. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 12. Fuente elaboración propia.	170

Figura 9.112. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 12. Fuente elaboración propia.....	170
Figura 9.113. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 12. Fuente elaboración propia.	171
Figura 9.114. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 12. Fuente elaboración propia.	171
Figura 9.115. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 12. Fuente elaboración propia. .	172
Figura 9.116. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 12. Fuente elaboración propia. .	172
Figura 9.117. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 12. Fuente elaboración propia.	173
Figura 9.118. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 12. Fuente elaboración propia.	173
Figura 9.119. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 12. Fuente elaboración propia.	174
Figura 9.120. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 12. Fuente elaboración propia.	174
Figura 9.121. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 13. Fuente elaboración propia.....	175
Figura 9.122. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 13. Fuente elaboración propia.....	175
Figura 9.123. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 13. Fuente elaboración propia.	176
Figura 9.124. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 13. Fuente elaboración propia.	176
Figura 9.125. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 13. Fuente elaboración propia. .	177
Figura 9.126. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 13. Fuente elaboración propia. .	177
Figura 9.127. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 13. Fuente elaboración propia.	178

Figura 9.128. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 13. Fuente elaboración propia.	178
Figura 9.129. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 13. Fuente elaboración propia.	179
Figura 9.130. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 13. Fuente elaboración propia.	179
Figura 9.131. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 14. Fuente elaboración propia.....	180
Figura 9.132. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 14. Fuente elaboración propia.....	180
Figura 9.133. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 14. Fuente elaboración propia.	181
Figura 9.134. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 14. Fuente elaboración propia.	181
Figura 9.135. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 14. Fuente elaboración propia. .	182
Figura 9.136. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 14. Fuente elaboración propia. .	182
Figura 9.137. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 14. Fuente elaboración propia.	183
Figura 9.138. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 14. Fuente elaboración propia.	183
Figura 9.139. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 14. Fuente elaboración propia.	184
Figura 9.140. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 14. Fuente elaboración propia.	184
Figura 9.141. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 16. Fuente elaboración propia.....	185
Figura 9.142. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 16. Fuente elaboración propia.....	185

Figura 9.143. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 16. Fuente elaboración propia.	186
Figura 9.144. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 16. Fuente elaboración propia.	186
Figura 9.145. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 16. Fuente elaboración propia. .	187
Figura 9.146. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 16. Fuente elaboración propia. .	187
Figura 9.147. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 16. Fuente elaboración propia.	188
Figura 9.148. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 16. Fuente elaboración propia.	188
Figura 9.149. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 16. Fuente elaboración propia.	189
Figura 9.150. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 16. Fuente elaboración propia.	189
Figura 9.151. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 17. Fuente elaboración propia.....	190
Figura 9.152. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 17. Fuente elaboración propia.....	190
Figura 9.153. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 17. Fuente elaboración propia.	191
Figura 9.154. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 17. Fuente elaboración propia.	191
Figura 9.155. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 17. Fuente elaboración propia. .	192
Figura 9.156. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 17. Fuente elaboración propia. .	192
Figura 9.157. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 17. Fuente elaboración propia.	193

Figura 9.158. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 17. Fuente elaboración propia.	193
Figura 9.159. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 17. Fuente elaboración propia.	194
Figura 9.160. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 17. Fuente elaboración propia.	194
Figura 9.161. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 18. Fuente elaboración propia.....	195
Figura 9.162. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 18. Fuente elaboración propia.....	195
Figura 9.163. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 18. Fuente elaboración propia.	196
Figura 9.164. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 18. Fuente elaboración propia.	196
Figura 9.165. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 18. Fuente elaboración propia. .	197
Figura 9.166. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 18. Fuente elaboración propia. .	197
Figura 9.167. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 18. Fuente elaboración propia.	198
Figura 9.168. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 18. Fuente elaboración propia.	198
Figura 9.169. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 18. Fuente elaboración propia.	199
Figura 9.170. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 18. Fuente elaboración propia.	199
Figura 9.171. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 19. Fuente elaboración propia.....	200
Figura 9.172. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 19. Fuente elaboración propia.....	200

Figura 9.173. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 19. Fuente elaboración propia.	201
Figura 9.174. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 19. Fuente elaboración propia.	201
Figura 9.175. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 19. Fuente elaboración propia. .	202
Figura 9.176. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 19. Fuente elaboración propia. .	202
Figura 9.177. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 19. Fuente elaboración propia.	203
Figura 9.178. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 19. Fuente elaboración propia.	203
Figura 9.179. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 19. Fuente elaboración propia.	204
Figura 9.180. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 19. Fuente elaboración propia.	204
Figura 9.181. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 20. Fuente elaboración propia.....	205
Figura 9.182. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 20. Fuente elaboración propia.....	205
Figura 9.183. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 20. Fuente elaboración propia.	206
Figura 9.184. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 20. Fuente elaboración propia.	206
Figura 9.185. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 20. Fuente elaboración propia. .	207
Figura 9.186. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 20. Fuente elaboración propia. .	207
Figura 9.187. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 20. Fuente elaboración propia.	208

Figura 9.188. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 20. Fuente elaboración propia.	208
Figura 9.189. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 20. Fuente elaboración propia.	209
Figura 9.190. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 20. Fuente elaboración propia.	209
Figura 9.191. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 21. Fuente elaboración propia.....	210
Figura 9.192. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 21. Fuente elaboración propia.....	210
Figura 9.193. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 21. Fuente elaboración propia.	211
Figura 9.194. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 21. Fuente elaboración propia.	211
Figura 9.195. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 21. Fuente elaboración propia. .	212
Figura 9.196. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 21. Fuente elaboración propia. .	212
Figura 9.197. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 21. Fuente elaboración propia.	213
Figura 9.198. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 21. Fuente elaboración propia.	213
Figura 9.199. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 21. Fuente elaboración propia.	214
Figura 9.200. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 21. Fuente elaboración propia.	214
Figura 9.201. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 22. Fuente elaboración propia.....	215
Figura 9.202. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 22. Fuente elaboración propia.....	215

Figura 9.203. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 22. Fuente elaboración propia.	216
Figura 9.204. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 22. Fuente elaboración propia.	216
Figura 9.205. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 22. Fuente elaboración propia. .	217
Figura 9.206. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 22. Fuente elaboración propia. .	217
Figura 9.207. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 22. Fuente elaboración propia.	218
Figura 9.208. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 22. Fuente elaboración propia.	218
Figura 9.209. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 22. Fuente elaboración propia.	219
Figura 9.210. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 22. Fuente elaboración propia.	219
Figura 9.211. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 23. Fuente elaboración propia.....	220
Figura 9.212. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 23. Fuente elaboración propia.....	220
Figura 9.213. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 23. Fuente elaboración propia.	221
Figura 9.214. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 23. Fuente elaboración propia.	221
Figura 9.215. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 23. Fuente elaboración propia. .	222
Figura 9.216. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 23. Fuente elaboración propia. .	222
Figura 9.217. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 23. Fuente elaboración propia.	223

Figura 9.218. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 23. Fuente elaboración propia.	223
Figura 9.219. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 23. Fuente elaboración propia.	224
Figura 9.220. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 23. Fuente elaboración propia.	224
Figura 9.221. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 24. Fuente elaboración propia.....	225
Figura 9.222. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 24. Fuente elaboración propia.....	225
Figura 9.223. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 24. Fuente elaboración propia.	226
Figura 9.224. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 24. Fuente elaboración propia.	226
Figura 9.225. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 24. Fuente elaboración propia. .	227
Figura 9.226. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 24. Fuente elaboración propia. .	227
Figura 9.227. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 24. Fuente elaboración propia.	228
Figura 9.228. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 24. Fuente elaboración propia.	228
Figura 9.229. Gráfico de comportamiento (ITHD _v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 24. Fuente elaboración propia.	229
Figura 9.230. Gráfico de comportamiento (ITHD _i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 24. Fuente elaboración propia.	229

Lista de Tablas

Tabla 3.1. Clasificación de armónicos por su orden, frecuencia y secuencia. Adaptado de [43]	12
Tabla 3.2. Factores de sobretensión %P: Fuente elaboración propia.	19
Tabla 5.1. Parámetros normalizados para cargas típicas. Adaptado de [50].	27
Tabla 5.2. Carga armónica para diferentes modelos de carga en redes de distribución. Adaptado de [68].	27
Tabla 5.3. Perfil diario de potencia y voltaje de la carga S860. Fuente elaboración propia.	34
Tabla 8.1. Valores de referencia de THD_v. Adaptado de [50].	66
Tabla 8.2. Valores límite de distorsión de corriente armónica individual (D_i) y de distorsión total de demanda (TDD) en porcentaje de la corriente de carga (Armónicos Impares). Adaptado de [50].	66

Glosario

PFC	Corrección del Factor de Potencia (con siglas en inglés)
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
LC	Conexión inductor y condensador
MEM	Modelado, Electrónica y Monitoreo
ETAP	Programa de Análisis y Transitorios Eléctricos (con siglas en inglés)
DSTATCOM	Compensador estático de distribución (con siglas en inglés)
IT2FLC	Controlador de lógica difusa tipo II de intervalo (con siglas en inglés)
RLS	Filtro de mínimos cuadrados recursivos (con siglas en inglés)
IGBT	Transistor Bipolar de Puerta Aislada (con siglas en inglés)
GA	Algoritmo genético (con siglas en inglés)
SAPF	Filtro de potencia activa en derivación (con siglas en inglés)
STF	Filtro sintonizado único (con siglas en inglés)
CI-DRES	Fuentes de energía renovable distribuidas interconectadas con convertidores (con siglas en inglés)
Hz	Hercios (Medida de frecuencia)
DF	Factor de distorsión (Con siglas en inglés)
THD	Factor de distorsión armónica total (Con siglas en inglés)
THD_v	Factor de distorsión armónica total en voltaje (Con siglas en inglés)
THD_i	Factor de distorsión armónica total en corriente (Con siglas en inglés)
P	Potencia activa
Q	Potencia reactiva
S	Potencia aparente
D	Potencia reactiva distorsionante
cos ϕ	Coseno phi
FP	Factor de potencia
Q_{BANCO}	Potencia reactiva del banco
C_{BANCO}	Capacitancia del banco
Z_C	Impedancia capacitiva
μF	Microfaradios (Medida de capacitancia)
H	Henrios (Medida de inductancia)
f	Frecuencia fundamental (60 Hz)
V_L	Voltaje de línea
V	Voltios (Medida de voltaje)
A	Amperios (Medida de corriente)
f_{sint}	Frecuencia de sintonía
%P	Factor de sobretensión
X_{BANCO}	Impedancia del banco de condensadores
X_L	Impedancia de la reactancia
L	Inductancia
I_L	Corriente del banco de condensadores

V_L(Inductancia)	Voltaje en la reactancia
V_c	Voltaje en el condensador
Z	Impedancia constante
I	Corriente constante
PQ	Potencia constante
kW	kilovatio (Medida de potencia activa)
kV	kilovoltio (Medida de alto voltaje)
$kVAr$	kilovoltamperio reactivo (Medida de potencia reactiva)
kVA	Kilovoltamperio (Medida de potencia aparente)
kft	kilopies (Medida de distancia)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Con siglas en inglés)
NTC	Norma Técnica Colombiana
F	Fase
TDD	Distorsión total de demanda (Con siglas en inglés)
D_i	Distorsión de corriente armónica individual (Con siglas en inglés)

1. Introducción

1.1. Planteamiento del Problema

El desarrollo tradicional de los sistemas eléctricos ha considerado una relación lineal entre voltaje y corriente [1]. De esta manera, al contar con una excitación senoidal, la respuesta del sistema es otro senoide con la misma frecuencia de la excitación, pero con diferente amplitud o fase [2]. Desde esta perspectiva, únicamente el desfase entre voltaje y corriente en una carga permitía cuantificar el factor de potencia (simplificándolo al $\cos \phi$) y, por lo tanto, determinar la energía reactiva presente [3].

Por ejemplo, las cargas representativas a nivel industrial (como motores y transformadores) permitían este análisis lineal, pues al tratarse de bobinas, el desfase entre tensión y corriente implicaba la aparición de energía reactiva inductiva (simplificando nuevamente el cálculo del factor de potencia) [4]. De esta manera, si la potencia reactiva llegase a superar un límite establecido por la regulación de cada país¹, los operadores de red realizaban penalización por consumo excesivo de reactivos [7]. Por ende, se masificó la Corrección del Factor de Potencia (PFC por sus siglas en inglés) con la cual se contrarrestan los excedentes de potencia reactiva producidos por las bobinas en la industria mediante el uso de bancos de condensadores [8].

Sin embargo, el amplio desarrollo de la electrónica de potencia y su utilidad en los entornos industriales provocó la aparición de contaminación armónica [9] (entendiendo esto como la distorsión producida en ondas sinusoidales de tensión y/o corriente) [10]. La aparición de este fenómeno se debe a diferentes factores, sin embargo, entre los más comunes se tiene el uso de cargas con impedancia no lineal y el manejo de equipos que necesitan realizar conmutaciones en su operación normal [10]. En consecuencia, la presencia de corrientes y/o tensiones armónicas provocó la aparición de nuevas problemáticas en el sistema eléctrico, entre las cuales se tiene [10]:

- Aumento de las pérdidas.
- Sobretensiones.
- Errores de medición.
- Mal funcionamiento de protecciones.

¹En el caso colombiano, el límite establecido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG desde el año 1996, ha sido un $\cos \phi$ menor al 0.9 (que es lo mismo a limitar el consumo de energía reactiva al 50% de la energía activa) [5]. Sin embargo, a lo largo de los años se han presentado diferentes modificaciones a este límite (dependiendo si la energía reactiva es inductiva o capacitiva) [6].

- Daño en el aislamiento, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos [11].
- Calentamiento de conductores y desbalances de carga [12].

No obstante, las problemáticas a nivel industrial fueron mucho más agudas, pues al contar con condensadores para mejorar su $\cos \phi$, se dio un efecto de amplificación de armónicos debido a la resonancia paralelo (producida entre estos condensadores y la inductancia de los transformadores) y la circulación de corrientes no lineales típicas en cargas industriales (por el uso de Variadores de Velocidad y Rectificadores) [13].

A raíz de esto se han utilizado filtros LC con reactancias de rechazo y el condensador empleado para la gestión del $\cos \phi$ y así, evitar la amplificación de armónicos (e inclusive eliminarlos en función de ciertos criterios técnicos) [14].

Si bien existen otros mecanismos como los filtros activos o los compensadores dinámicos para tratar esta problemática, (garantizando incluso la eliminación de armónicos) [15], los filtros pasivos son una alternativa mucho más económica, o en su defecto, podrían contribuir a utilizar un filtro activo o compensador dinámico mucho más pequeño (y, por lo tanto, de menor costo) [16].

Así mismo, pocos estudios evalúan el uso de filtros pasivos como alternativa viable para gestionar los armónicos en múltiples cargas industriales interconectadas mediante una red de distribución de energía (determinando bajo qué consideraciones esta opción de bajo costo podría inclusive eliminar la distorsión en tensión y/o corriente) [17], [18]. Por ende, es necesario evaluar el impacto que podrían representar estos filtros pasivos a nivel de red, surgiendo la siguiente pregunta problema: **¿Cómo evaluar el uso de filtros pasivos para la gestión de contaminación armónica en redes de distribución de energía eléctrica de tipo industrial?**

1.2. Objetivos

Teniendo en cuenta las temáticas que se abarcarán en el desarrollo de este proyecto se plantea un objetivo general y tres objetivos específicos que permitirán organizar de manera objetiva la forma en la que se ejecutará el proyecto en cuestión.

1.2.1. Objetivo General

Evaluar el uso de filtros pasivos para la gestión de contaminación armónica en redes de distribución de energía eléctrica industriales, mediante índices de distorsión armónica total.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Proponer un caso de estudio tomando como modelo de pruebas el sistema IEEE 34 nodos que permita el análisis de filtros pasivos como alternativa de gestión de armónicos en redes de distribución industriales.
2. Modelar fuentes de contaminación armónica, bancos de condensadores y reactancias de rechazo para su integración en el caso de estudio propuesto mediante el software OpenDSS.
3. Validar el impacto que tiene el uso de filtros pasivos para la gestión de armónicos mediante la comparación del índice de distorsión armónica total obtenido en cada escenario del caso de estudio propuesto.

1.3. Justificación

La energía eléctrica es la materia prima esencial en el desarrollo de los países [19]. No cabe duda de que el suministro de electricidad es indispensable en la vida cotidiana de los seres humanos, además de mover efectivamente el comercio y hacer posible el funcionamiento de la industria de la producción [20]. De esta manera, actualmente las fuentes de energía son clave en el grado de industrialización del cual depende el desarrollo de un país [21].

Por ejemplo, en el sector eléctrico colombiano, los sistemas de distribución que hacen parte del sistema de potencia eléctrico tienen toda la atención a lo largo de su proceso, desde el planeamiento hasta la operación, pues es aquí donde la calidad del servicio se deteriora, se presenta el mayor nivel de pérdidas técnicas y el sistema se hace vulnerable (además de quedar expuesto a robos, fraudes y otras pérdidas no técnicas) [22].

Por consiguiente, se requiere mejorar el rendimiento de las redes de distribución, siendo fundamental realizar estudios que permitan la mejora en la calidad de energía (donde juega un papel clave la gestión de armónicos) [23].

Con base en lo anterior, el presente trabajo brinda un aporte al estado del arte pues profundiza en alternativas de bajo costo para gestionar armónicos a nivel de red.

1.4. Impacto Social

El costo asociado a la energía eléctrica juega un papel clave a nivel industrial. Por ende, todo esfuerzo que permita un consumo eficiente de la energía desembocará en mayor productividad y, por lo tanto, mayores beneficios para dicho sector económico.

De esta manera, y considerando que la contaminación armónica afecta el funcionamiento eficiente de los sistemas eléctricos (provocando mayores gastos), las industrias y los operadores de red podrían beneficiarse de este trabajo pues se analiza a profundidad una alternativa mucho más económica que las convencionales para gestionar los armónicos tanto a nivel industrial como a nivel de red en un sistema de distribución de energía eléctrica.

Por último, el grupo MEM de la Universidad Santo Tomás también se verá beneficiado de este proyecto pues el análisis novedoso de los filtros de rechazo como alternativa para la gestión de armónicos en redes de distribución representa un aporte al estado del arte, de acuerdo con lo revisado en la literatura científica.

2. Estado del Arte

En la actualidad, la presencia de armónicos en redes de distribución con carga industrial es un problema consecuencia del amplio desarrollo de la electrónica de potencia y su utilidad crucial en sistemas de energía eléctrica. De esta manera, basados en la obtención de confiabilidad en el suministro de energía con calidad, el objetivo primordial de las industrias es disminuir o inclusive eliminar dichos armónicos en los sistemas eléctricos. Es por esta razón que de acuerdo con la mitigación de armónicos en las redes de distribución varios autores han implementado y dado a conocer algunas de las tecnologías que existen para este proceso actualmente, probadas en softwares de modelado de redes, además de algunas investigaciones referentes al análisis exhaustivo de los armónicos en las redes de distribución. Tal como se muestra en las siguientes categorías:

2.1. Alternativas de tecnologías de mitigación de armónicos

El primer caso es el artículo realizado por [24]. En este se aplica una tecnología para la mitigación de armónicos, pues se propone la implementación de filtros pasivos de sintonización única para mitigar los armónicos individuales y disminuir la distorsión armónica total en las redes de distribución. Los casos de prueba investigados se estudian con la instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la red con tecnología de inversores de 6 pulsos, lo que demuestra la eficacia del filtro pasivo de sintonización propuesto al instalarse en la red, pues este reduce los armónicos en un valor significativo. Además, mejora el factor de potencia y el perfil de voltaje en el bus principal. Dichos resultados se obtienen utilizando módulos de software ETAP (Electrical Transient and Analysis Program), los cuales muestran que los filtros pasivos de armónicos son eficientes en utilizarse para absorber corrientes armónicas debido a su bajo costo y estructura simple. En síntesis, los resultados de este artículo brindan una guía que podría llegar a ser de gran utilidad cuando se evalúen los filtros pasivos como alternativa para la gestión de armónicos en redes de distribución de energía eléctrica industriales.

Otro caso de tecnología de mitigación armónica lo plantea [25], ya que categoriza los filtros pasivos como no eficientes para la mitigación adecuada de los armónicos del sistema. En su lugar, propone que los filtros de potencia activos son una mejor experiencia en disminuir los armónicos de una red. Sin embargo, al ser más costosos, se requiere determinar su tamaño adecuado para extraer un beneficio óptimo de ellos. De esta manera propone un algoritmo de mitigación de armónicos para minimizar la distorsión armónica total al optimizar el tamaño y la ubicación de los filtros de potencia activos con cargas no lineales presentes. Este algoritmo de optimización de evolución diferencial tiene la función objetivo de colocar y dimensionar de manera óptima los filtros activos en una red de distribución con cargas no lineales. Así, el resultado muestra una mejora en la red después de integrar los filtros activos de forma óptima, pues las pérdidas de potencia armónica total se reducen de manera significativa y el perfil de voltaje de cada bus se mejora.

Por lo tanto, el algoritmo de mitigación de armónicos propuesto en este artículo se puede utilizar como una herramienta eficaz para este tipo de problemas. En general, estos autores podrían realizar un aporte a la evaluación de filtros pasivos como alternativa para la mitigación de armónicos en redes de distribución, ya que propone criterios de desarrollo y gestión que podrían llegar a ser de gran utilidad cuando se realice un análisis comparativo en un sistema eléctrico.

Por otro lado, no solo existen los filtros activos y pasivos como tecnologías para la mitigación de contaminación armónica. Pues según [26], la mitigación de armónicos y la mejora de la calidad de la energía en una red eléctrica con penetración solar también puede hacerse mediante el uso de compensadores estáticos de distribución. Este método se basa en la tecnología de dispositivos electrónicos de potencia que se utiliza para suministrar cambios rápidos en la potencia activa y reactiva de las redes de servicios públicos. Es útil para corrección en factor de potencia, balanceo de carga, compensación de corriente y filtrado de armónicos. Por consiguiente, este artículo investiga la mejora de la calidad de la energía de una red de prueba IEEE-13 nodos, ajustada mediante el uso del compensador estático de distribución, que está equipado con una batería e interconectado con la red de distribución con integración de energía solar fotovoltaica. Por tanto, de este artículo se resalta que el DSTATCOM propuesto mejora la potencia en la red de distribución integrada con plantas fotovoltaicas.

En [27] también se propone una asignación óptima de filtros activos de potencia en derivación en la red de distribución, con la diferencia de que se basa en un algoritmo de optimización de enjambre de partículas multiobjetivo (buscando mitigar las distorsiones armónicas y reducir la pérdida de potencia armónica mediante la asignación de filtros activos con menor número y capacidad). Esto surge debido a que las cargas no lineales se distribuyen y dispersan en la red de distribución, por lo que el método tradicional de asignación punto a punto de los filtros activos en derivación requiere múltiples filtros con una gran capacidad total, lo que genera enormes costos de instalación y mantenimiento. De este artículo cabe destacar que este tipo de filtros activos en derivación tienen la función de compensar la corriente armónica de las cargas no lineales, eliminando así la distorsión armónica de la fuente. Por lo tanto, se conoce otra alternativa de mitigación de contaminación armónica la cual se podría tomar como ejemplo cuando se realice un análisis comparativo que lleve al cumplimiento del objetivo general de este proyecto de grado.

Según [28], los problemas de calidad de energía son resultado de la integración de las energías renovables, además del crecimiento de las cargas industriales y comerciales no lineales. De esta manera este artículo propone el compensador estático de distribución (DSTATCOM) como una solución para la mitigación de armónicos, el equilibrio de carga, los desequilibrios de potencia reactiva y la compensación de corriente neutra. En esa misma línea, este DSTATCOM utiliza un controlador de lógica difusa tipo II de intervalo (IT2FLC) con filtro de mínimos cuadrados recursivos (RLS), para generar pulsos de conmutación para interruptores IGBT con el fin de mejorar la calidad de energía en la red de distribución local. De

este artículo se destaca otra alternativa de reducción significativa de la distorsión armónica total en el sistema, que demuestra ser una tecnología eficaz sobre las convencionales. En consecuencia, este artículo se podría tomar en cuenta como otro caso de gestión de armónicos en redes de distribución que genera un análisis comparativo cuando se lleve a cabo este proyecto de grado.

Ahora bien, de acuerdo con otros tipos de tecnologías de mitigación de armónicos, [29] propone un enfoque basado en un algoritmo genético (GA) para determinar el tamaño y la posición óptima de las unidades de filtrado mínimas requeridas que mejoran los escenarios armónicos existentes en la red de distribución industrial con penetración renovable. Esta propuesta parte del cambio de la energía incidente de las fuentes renovables lo que genera armónicos y resulta en un rendimiento deficiente del sistema. Este enfoque propuesto parte de comparar el rendimiento de dos planes de implementación de filtros disponibles, a saber, el filtro de potencia activa en derivación (SAPF) y el filtro sintonizado único (STF) en un sistema industrial penetrado con renovables. Los resultados de esta investigación muestran que el filtro de potencia activa en derivación es mejor opción, pues supera sistemáticamente al filtro sintonizado único en términos de distorsiones de tensión. Luego, con el algoritmo genético se determina el tamaño y ubicación óptimos de los SAPF requeridos para varios niveles de penetración renovable en la red industrial. En definitiva, de este artículo es destacable el método de mitigación de armónicos propuesto ya que brinda una solución consistente en la mejora de la calidad de la energía al tiempo que evita el requisito de dispositivos de filtrado adicionales.

Así mismo, [30] analiza el fenómeno armónico, los estándares armónicos IEEE 519-2014 e IEC 6100-3-2 y la tecnología de mitigación de armónicos. Adicionalmente, debido a la gran variedad de técnicas de mitigación de armónicos disponibles en este artículo, el autor define tres categorías: filtros de armónicos pasivos, activos e híbridos, donde cada grupo se ajusta al nivel de tensión y condiciones del sistema eléctrico de potencia. A partir de los resultados de medición y simulación de este estudio se encuentra que la efectividad del filtro para eliminar armónicos se ve afectada por la calidad de la tensión en el punto de acoplamiento del filtro. Por otro lado, esta investigación da claridad de los criterios a utilizar en la evaluación de la distorsión armónica, observando que la tecnología de mitigación de armónicos no solo se determina en función del nivel de voltaje y la capacidad, sino que existen otros factores de referencia, incluida la condición del sistema de energía eléctrica. Finalmente, este artículo podría llegar a ser de utilidad cuando se desarrolle la simulación planteada en este proyecto de grado, ya que proporciona una descripción general del fenómeno de la distorsión armónica, los armónicos estándar y la tecnología de mitigación para superar la contaminación armónica.

En el desarrollo de la evaluación de filtros pasivos como alternativa para la gestión de armónicos en redes de distribución de energía eléctrica industriales, los filtros armónicos pasivos serán el eje central del estudio, por lo tanto, es necesario indagar más acerca de la utilización de estos como solución a la mejora de calidad de energía en un sistema eléctrico ubicado en un territorio específico. Tal como [31] propone una técnica de mitigación de armónicos en la industria de la fundición

considerando la demanda de carga conectada a la red de distribución activa en Tailandia utilizando los filtros de armónicos pasivos de sintonización simple promedio propuestos. De acuerdo con los resultados de la simulación de este artículo llevados a cabo utilizando el software DigSILENT PowerFactory, estos autores encontraron que tales técnicas propuestas podrían disminuir las distorsiones de corriente. Por tanto, de este estudio cabe resaltar que la reducción armónica podría mejorar la calidad del sistema de energía y reducir las pérdidas de energía en las líneas de distribución, además de disminuir daños en los aparatos asociados a la reducción de los costes de inversión para la instalación de dispositivos y mantenimiento. Así, este es un comportamiento cuya metodología podría ser de gran ayuda cuando se desarrolle el proyecto de grado planteado.

Existen otros casos en los cuales algunos elementos como convertidores pueden funcionar como filtros de mitigación de armónicos, un caso específico son las fuentes de energía renovable distribuidas interconectadas con convertidores (CI-DRES) cuyo análisis de sensibilidad se muestra en [32]. En este se parte de que con una mayor penetración de CI-DRES junto con la existencia de cargas no lineales es posible causar problemas graves de calidad de energía en las redes de distribución. Así, actualmente se han propuesto varios métodos para que los convertidores de fuente de voltaje de los CI-DRES actúen también como filtros de armónicos, no obstante, la mayoría de estos mitigan el problema localmente sin examinar que CI-DRES dentro de la red de distribución sería el más adecuado para proporcionar tal servicio.

En consecuencia, en este artículo se realiza el marco matemático para el análisis de sensibilidad armónica con el fin de evaluar la contribución de cada CI-DRES en el proceso de filtrado armónico descentralizado, con la presencia de cargas no lineales dentro de una red de distribución de baja tensión en función de la ubicación de CI-DRES y la capacidad disponible. Donde la capacidad disponible es un parámetro importante, ya que, en el futuro estos CI-DRES podrían proporcionar simultáneamente varios servicios como potencia reactiva o inercia virtual [32]. Finalmente, del desarrollo analítico propuesto en este artículo, lo más importante a resaltar es que el filtrado activo puede tratarse como un nuevo servicio auxiliar que CI-DRES proporcionará a nivel de la red de distribución e introducirá en los mercados respectivos. Sin duda, una tecnología de mitigación armónica bastante interesante que podría usarse en un análisis comparativo entre los filtros pasivos a diseñar.

2.2. Análisis de armónicos en redes de distribución

Antes de implementar cualquier tipo de tecnología de mitigación de armónicos en una red de distribución con carga industrial, es necesario entender, analizar y modelar la gestión de armónicos. Como lo hace [33], pues hace una revisión de la literatura sobre armónicos, mediciones experimentales, modelado de simulación y discusión de resultados, de modo que, se exploran las técnicas de análisis, modelado y mitigación de armónicos. Para llevar a cabo este proyecto de

investigación estos autores plantean un estudio académico de análisis de armónicos que consiste en modelar cargas no lineales para desarrollar circuitos equivalentes de Norton y Thévenin de dispositivos para integrarlos en software de análisis de armónicos. En esta revisión se describe la física no lineal del fenómeno armónico para explorar sus aplicaciones. Se comparan las tecnologías de mitigación de armónicos, se miden los armónicos, distorsiones de forma de onda y factor de potencia real de cargas electrónicas monofásicas y trifásicas para probar su conformidad con los límites estándar de armónicos [33]. De esta manera, este artículo proporciona las bases para entender cómo funcionan los armónicos dentro de una red de distribución, donde se establece que para conservar la energía es necesaria la reducción de armónicos en cualquier sistema eléctrico. Dicho análisis podría ser de utilidad en el estudio de armónicos que se realiza en este proyecto de grado. Conforme a lo anterior, el análisis de armónicos en redes de distribución es bastante importante, pues ayuda a seleccionar una tecnología de mitigación de armónicos apropiada o incluso permite entender el sistema eléctrico en análisis de potencia.

Por lo tanto, [34] describe los aspectos correctos en la realización de este análisis, presentando una revisión de las técnicas para el modelado y análisis de la propagación de armónicos en los sistemas de potencia con respecto a la usabilidad de los pequeños dispositivos productores de armónicos de baja potencia. Añadiendo también aspectos teóricos de diferentes conceptos para el modelado y simulación de armónicos, incluyendo una discusión de ventajas y desventajas. Además, identificar las necesidades de investigación en el campo de aplicación de las redes de distribución de baja tensión.

Así, de este artículo de investigación se pueden destacar varios aspectos en cuanto a las redes de distribución y su gestión de armónicos, como el caso del flujo de potencia armónica en redes de baja tensión que presenta un desafío en la gran cantidad de fuentes y sumideros de armónicos con una potencia nominal relativamente baja, también se tiene en cuenta que a partir de este estudio, se logra definir que actualmente existen una gran cantidad de métodos para modelar las fuentes y la propagación de armónicos, estableciendo que en un futuro una operación eficiente del sistema eléctrico de baja tensión con solo un mínimo de fallas solo será posible teniendo en cuenta la influencia de los armónicos.

En las redes de distribución de energía eléctrica industriales es importante detectar exhaustivamente los problemas de armónicos y estimar distorsión armónica con técnicas precisas para lograr mitigar los armónicos de una manera eficiente. Actualmente existen muchas técnicas de estimación de armónicos, no obstante, unas son más sofisticadas que otras. En este caso, [35] realiza una revisión detallada con técnicas basadas en inteligencia artificial y tradicional como Machine Learning, teniendo en cuenta que la emisión de armónicos es el reto más importante que superar en las redes de distribución, por lo que, si bien es importante emplear los mejores métodos para mitigar las distorsiones armónicas en los sistemas de energía, es aún más esencial estimar estos armónicos desde el principio mediante el desarrollo de técnicas inteligentes, eficientes y precisas. Estos investigadores

recurren a las tecnologías de inteligencia artificial para la estimación de armónicos en las redes de distribución, debido a su capacidad de aprendizaje, predicción e identificación.

Esta investigación es destacable, debido a que, para mitigar armónicos, lo primero que estos autores hacen es presentar una revisión exhaustiva de los problemas de calidad de la energía, en particular, la distorsión armónica en el caso de estudio, y luego investigan diferentes técnicas de mitigación, observando diferentes estándares IEC e IEEE. Debe recalcar que los autores destacan que, aunque es importante mitigar las emisiones de armónicos en los sistemas de potencia, es de mayor importancia estimar y predecir los niveles de armónicos, por ello es posible tomar como referencia este artículo ya que analiza una exploración a fondo de las técnicas tradicionales y modernas inteligentes de estimación de armónicos en caso de que sea necesario utilizarlas.

Por último, [36] propone una representación simplificada de las redes de distribución y desarrolla un método para determinar los parámetros que se utilizarán en el modelo a través de un método de agrupamiento, pues realiza una evaluación armónica de nuevas conexiones en la red de alta tensión y para ello, debe calcularse la impedancia armónica de la red. En consecuencia, se modelan las redes de distribución aguas abajo que tienen un impacto significativo en la impedancia de la red. Sin embargo, para el operador de red de transmisión es casi imposible modelar estas redes en detalle, puesto que no toda la información de los operadores de la red de distribución está disponible. Finalmente se encuentra que el modelo de carga Tipo-II da el mejor resultado, ya que, si los operadores del sistema de transmisión conocen la información de la red, este modelo se puede construir directamente. De lo contrario, el enfoque basado en el proceso de agrupamiento como se describe en este artículo se puede utilizar como alternativa. De igual forma esta evaluación armónica, podría ser otro de los factores importantes para tener en cuenta en un estudio de tecnologías de mitigación de armónicos, como el que se desarrollará en este proyecto de grado.

3. Marco Teórico

3.1. Sistema de distribución

Un sistema de distribución de energía eléctrica es el conjunto de elementos encargados de conducir la energía desde una subestación de potencia hasta el usuario. Básicamente, la distribución de energía eléctrica comprende las líneas primarias de distribución, los transformadores de distribución, las líneas secundarias de distribución, las acometidas y medidores [37].

Por la tanto, la definición clásica de un sistema de distribución, desde el punto de vista de la ingeniería, incluye lo siguiente:

- a) Subestación principal de potencia.
- b) Sistema de subtransmisión.
- c) Subestación de distribución.
- d) Alimentadores primarios.
- e) Transformadores de distribución.
- f) Secundarios y servicios.

Estos elementos son válidos para cualquier tipo de cargas, tanto en redes aéreas como en las subterráneas [38].

3.2. Análisis de armónicos en instalaciones industriales

Antes que nada, el análisis armónico es una rama de las matemáticas que se ocupa de la representación de funciones o señales como la superposición de ondas básicas. En este análisis, a menudo se comienza con la hipótesis de que una señal distorsionada se compone de una suma de componentes oscilatorios individuales, basado en un enfoque básico de describir el sistema mediante ecuaciones diferenciales para predecir las características esenciales, como la amplitud, la frecuencia y las fases [33]. De esta manera, dicho análisis se puede realizar tanto en el dominio de la frecuencia como en el del tiempo.

De esta manera, un estudio armónico tiene como objetivo la cuantificación de la contaminación de forma de onda en una serie de puntos relevantes en el sistema de potencia y el rendimiento general. Varias técnicas de análisis de armónicos están disponibles para estudiar la generación y propagación de armónicos [34]. Algunas técnicas que se utilizan actualmente para el análisis de armónicos en un sistema de potencia son:

➤ Exploración de frecuencia

Es la técnica más simple y utilizada para el análisis de armónicos. Los requisitos de datos de entrada se reducen al mínimo. Este método proporciona la respuesta en

frecuencia del sistema de potencia en un determinado bus o nodo. Por lo general, se inyecta una corriente sinusoidal por unidad en un cierto nodo de interés y se calcula la respuesta de voltaje. El procedimiento se repite para todas las frecuencias relevantes. El escaneo de frecuencia es un método útil para determinar las condiciones de resonancia en un sistema. Su aplicación es limitada con respecto a los estudios de flujo de potencia armónicos ya que normalmente no considera las impedancias de transferencia de la red [39].

Además de este método en el dominio de la frecuencia descrito anteriormente, también se han desarrollado técnicas para el análisis armónico en el dominio del tiempo.

➤ **Simulación de tiempo alcanzando un estado estable**

Este enfoque es bastante simple, pues se ejecuta una simulación de tiempo hasta que se alcance un estado estable, donde se proponen técnicas complejas, como el método de disparo, para acelerar la convergencia al estado estacionario. Una de las principales desventajas de los métodos basados en el dominio del tiempo es la falta de restricciones de flujo de carga (como la especificación de potencia constante en los buses de carga) a la frecuencia fundamental [39].

3.2.1. Armónico

Componente en frecuencia de la corriente y/o tensión que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental de corriente y/o tensión, normalmente 60 Hz [40]. Los armónicos son originados por cargas no lineales que absorben corriente en impulsos bruscos, a diferencia de hacerlo suavemente en forma sinusoidal, como lo haría una carga resistiva pura. Estos impulsos crean ondas de corriente distorsionadas que originan a su vez corrientes de armónicos de retorno hacia otras partes del sistema de distribución eléctrica [41].

3.2.2. Tipos de armónicos

Cada armónico tiene un nombre, frecuencia y secuencia. La secuencia se refiere a la rotación de la fase con respecto con la frecuencia fundamental [41], los armónicos que se clasifican por su orden y frecuencia se basan en el resultado de multiplicar el número de orden del armónico por la frecuencia fundamental (60 Hz) [42] [43]. A continuación, en la tabla 3.1. se muestran las anteriores clasificaciones partiendo de una frecuencia fundamental de 60 Hz.

Tabla 3.1. Clasificación de armónicos por su orden, frecuencia y secuencia. Adaptado de [43]

Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N
Frecuencia	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	60xn
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	...

3.2.3. Factor de distorsión (DF)

Es el cociente entre el valor eficaz de la componente fundamental de corriente y el valor eficaz de la corriente [44]. Parte de tener lo siguiente:

$$DF = \frac{I_{1\text{ RMS}}}{I_{\text{RMS}}} \quad (3.1.)$$

3.2.4. Distorsión armónica total (THD)

Es el poder calorífico de los armónicos con respecto a la fundamental [33]. En otras palabras, el THD (Total Harmonic Distorsion), o tasa total de distorsión armónica, se define como una consecuencia de la necesidad de poder cuantificar numéricamente los armónicos existentes en un determinado punto de medida [43], siendo la relación entre la suma de la potencia de los armónicos respecto a la fundamental [45].

La siguiente ecuación se utiliza para calcular el THD:

$$THD = \frac{\sqrt{I_{2\text{ RMS}}^2 + I_{3\text{ RMS}}^2 + \dots + I_{n\text{ RMS}}^2}}{I_{1\text{ RMS}}} * 100 \quad (3.2.)$$

3.3. Problemas causados por los armónicos

Los efectos o problemas que producen los armónicos dependen del grado de distorsión total y de la sensibilidad de los equipos. Algunos de estos efectos se pueden ver a simple vista y para otros es necesaria la utilización de equipos de medida [42]. Los problemas más usuales son los siguientes:

3.3.1. Corto plazo

- Disparo inadecuado de protecciones.
- Perturbaciones inducidas en los sistemas de control.
- Vibración y ruido anormal.
- Deterioro por sobrecarga térmica en condensadores.
- Sobre calentamiento de conductores [46].
- Propiedad magnética de efecto pelicular [47].

3.3.2. Largo plazo

- Desgaste mecánico.
- Amplificación de armónicos por resonancia.
- Imposibilidad de uso de motores a plena carga.
- Pérdidas térmicas y químicas en el neutro (3° armónico).
- Pérdidas en el hierro de transformadores debido a corrientes parásitas o de remolino (Foucault) [48] [49].

3.4. Armónicos de tensión

La evaluación de armónicos de tensión se realiza mediante la distorsión total armónica, teniendo en cuenta la ecuación 3.2. para así calcular THD_v [50].

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} V_h^2}}{V_1} * 100 \quad (3.3.)$$

De esta manera, el índice $ITHD_v$ de la ecuación 3.4. evalúa la THD_v , donde $THD_{v_{nodo}}$ es la distorsión armónica total en tensión de cada nodo y $THD_{v_{limite}}$ es el límite propuesto por la norma NTC 5001 [51] / IEEE 519 [52] y que se muestra en la tabla 8.1. [50].

$$ITHD_v = \frac{THD_{v_{nodo}}}{THD_{v_{max}}} \quad (3.4.)$$

Esto quiere decir que:

- Si $THD_v \leq 5\%$, el sistema tiene un buen funcionamiento.
- Si $5\% < THD_v \leq 8\%$, el sistema presenta una contaminación significativa.
- Si $THD_v > 8\%$, el sistema tiene un pésimo funcionamiento [50].

3.5. Armónicos de corriente

La evaluación de armónicos de corriente se realiza mediante la distorsión total armónica, teniendo en cuenta la ecuación 3.2. para así calcular THD_i [50].

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_1} * 100 \quad (3.5.)$$

La evaluación de la distorsión armónica total en corriente (THD_i) recurre a otro índice complementario de distorsión total de la demanda TDD que se muestra en la

ecuación 3.6.; de acuerdo con la norma NTC 5001 [51] / IEEE 519 [52], este índice refleja la importancia de las distorsiones armónicas de corriente respecto a la carga máxima del sistema medido, ya que podrían presentarse altas distorsiones de corriente, es decir una medida de THD_i elevada, con bajos niveles de carga, que no afectarían en igual proporción al sistema [50].

$$TDD = THD_i * \frac{I_1}{IL} \quad (3.6.)$$

Esto quiere decir que:

- Si $THD_i \leq 10\%$, el sistema tiene un buen funcionamiento.
- Si $10\% < THD_i \leq 50\%$, el sistema presenta una contaminación significativa.
- Si $THD_i > 50\%$, el sistema tiene un pésimo funcionamiento [50].

Cabe resaltar que la distorsión total de demanda se define como un indicador de referencia que determina los límites aceptables de distorsión de la onda de corriente. Este índice se representa mediante la relación entre la componente armónica total de corriente y la demanda máxima de corriente de la carga [53].

3.6. Corrección de factor de potencia

El factor de potencia muestra la relación entre la potencia activa, o que produce un trabajo útil, respecto a la potencia total demandada a la red eléctrica. Por tanto, solo se tiene el consumo de potencia activa (**P**) y de potencia reactiva (**Q**). Formando un triángulo de potencias como el de la figura 3.1., donde la hipotenusa será la potencia aparente (**S**) demandada a la red [54].

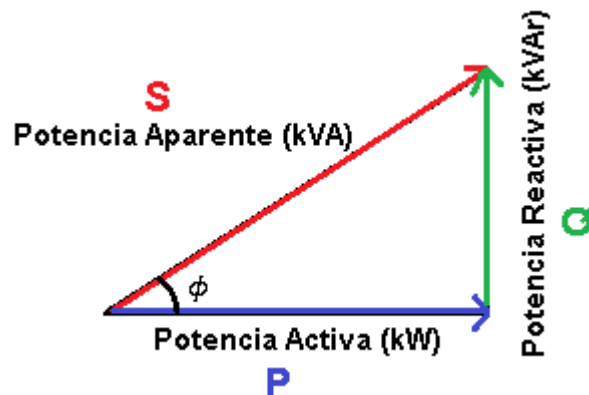


Figura 3.1. Triángulo de Potencias. Fuente elaboración propia.

De acuerdo con esto, y teniendo en cuenta las razones trigonométricas, el coseno se define como la razón entre el cateto adyacente y la hipotenusa [55]. Como en el caso del triángulo de potencias el cateto adyacente es la potencia activa (**P**) y la

hipotenusa es la potencia aparente (**S**), el coseno phi ($\cos \phi$) queda expresado de la siguiente manera:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (3.7.)$$

También es posible definir, basado en el Teorema de Pitágoras que la potencia aparente (**S**) es igual a:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (3.8.)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.9.)$$

La ecuación 3.9., así como la figura 3.1. están establecidas para el caso donde no hay presencia de armónicos, o la forma de onda de la tensión y corriente son totalmente sinusoidales, y no deformadas, por lo tanto, se dice que el factor de potencia es igual al coseno de phi o factor de potencia de desplazamiento [54], tal como se muestra a continuación:

$$FP = \cos \phi \quad (3.10.)$$

Caso contrario, cuando la forma de onda de la tensión y/o la corriente dejan de ser sinusoidales, y por tanto existe una presencia de armónicos eléctricos relevante, aparece una nueva demanda de potencia debido a los armónicos, la cual se denomina potencia reactiva distorsionante (**D**). Esta potencia no genera un trabajo útil, pero sí que es demandada a la red, con lo que hace aumentar la potencia aparente [54].

De esta manera, la potencia aparente ya no será la misma, pasando de tener una potencia aparente sin armónicos a una potencia aparente (**S**) que, si se ve afectada por la presencia de armónicos [54], tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (3.11.)$$

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (3.12.)$$

De esta forma, según la ecuación 3.12. el factor de potencia cuando hay armónicos será inferior al coseno phi, por lo que la potencia aparente será mayor [54].

La corrección del factor de potencia (PFC) es el proceso de compensar una corriente atrasada por una corriente principal, mediante la conexión de capacitancia

al suministro. Los condensadores contenidos en la mayoría de los sistemas de corrección del factor de potencia extraen corriente que se adelanta al voltaje y produce un factor de potencia de adelanto [56].

Partiendo de esta definición, el cálculo de corrección de potencia que se describe a continuación, se basa en el caso donde no hay presencia de armónicos, por lo cual se hará en función de la ecuación 3.10., por tanto, si se presentan cargas que requieren corrección de factor de potencia en las redes de distribución, es necesario conocer potencia activa (**P**), potencia reactiva (**Q**), y voltaje de línea medido directamente donde está conectada la carga, así con estos valores conocidos se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

Primero con estos datos es posible conocer ϕ_1 para posteriormente calcular el factor de potencia de la carga (FP_1), con el fin de verificar si es necesario realizar una corrección o no [57], para ello:

$$FP_1 = \cos \phi_1 \quad (3.13.)$$

De esta manera, si al calcular el factor de potencia FP_1 este es menor a 0.9, quiere decir, que requiere corrección de factor de potencia. Por lo tanto, se tiene que obtener un valor de ϕ_2 partiendo del factor de potencia FP_2 que se desea obtener según el estándar de la resolución CREG 015 de 2018 donde $FP \geq 0.9$ [44].

Por esta razón, si el factor de potencia de la carga se desea corregir y reemplazar por un valor de 0.95 teniendo en cuenta el estándar de la CREG, se utilizan las siguientes ecuaciones para hallar el valor de ϕ_2 , sabiendo que FP_2 es el nuevo factor de potencia corregido de la carga que tendrá un valor de 0.95 [58].

$$FP_2 = \cos \phi_2 \quad (3.14.)$$

$$\phi_2 = \cos^{-1}[0.95] \quad (3.15.)$$

Posteriormente, al haber obtenido los valores de ϕ_1 y ϕ_2 es posible calcular el valor de potencia reactiva del banco de condensadores Q_{BANCO} que se implementará en paralelo a la carga para corregir el factor de potencia [59], utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{BANCO} = P [\tan \phi_1 - \tan \phi_2] \quad (3.16.)$$

Luego con el valor de potencia reactiva del banco de condensadores Q_{BANCO} , paso a seguir se calcula el valor de capacitancia del capacitor que se conectara a la carga para corregir su factor de potencia [59], teniendo que:

$$Q_{BANCO} = \frac{V^2}{Z_C} \quad (3.17.)$$

Donde Z_C es la impedancia capacitiva y el valor de la potencia reactiva del banco será tomada como trifásica es decir que no es necesario dividirla entre tres, salvo que se requiera que está sea monofásica.

$$C_{BANCO} = \frac{Q_{BANCO}}{V_L^2 * 2\pi f} \quad (3.18.)$$

En este caso, en la ecuación 3.18. se conocen todas las variables para calcular la capacitancia trifásica del banco necesaria para corregir el factor de potencia de una carga en una red de distribución, teniendo en cuenta que f es la frecuencia fundamental de 60 Hz [33]. También cabe destacar que el valor de C_{BANCO} se obtendrá en términos de μF (Microfaradios) lo que facilita su implementación en cualquier sistema [60].

3.7. Filtros de rechazo

Para la compensación de energía reactiva de instalaciones con un alto contenido de armónicos es necesario montar bancos de condensadores con reactancias de rechazo. En esta situación se incorpora una reactancia en serie con cada condensador, formando dicho conjunto, un filtro de rechazo cuya frecuencia de resonancia esté suficientemente alejada de las frecuencias de los armónicos presentes en la red [61].

El objetivo del filtro de rechazo es impedir la resonancia entre la impedancia inductiva que resulta de la línea del transformador de alimentación y los condensadores instalados para compensar el factor de potencia, y así evitar la sobrecarga de armónicos en la línea y en los propios condensadores [62].

Para el diseño de banco de condensadores con filtros de rechazo se tiene en cuenta la ecuación 3.16. de la cual se obtiene la potencia reactiva del banco Q_{BANCO} además de valores como: Potencia activa (**P**) en kW, potencia reactiva (**Q**) en kVAr, frecuencia fundamental (**f**) de 60 Hz, voltaje de línea (**V_L**) en voltios medido en el punto donde se conecta la carga, factor de potencia nuevo (FP_2) con valor de 0.95, tal como se observa en la ecuación 3.15. y frecuencia de sintonía (f_{sint}) [63].

3.7.1. Factor de sobretensión (%P)

El factor de sobretensión caracteriza la frecuencia de sintonía del filtro. A continuación, se presenta una tabla que muestra los factores %P más comunes a nivel industrial, en el cual cada uno corresponde a una frecuencia de sintonía en función de la frecuencia de red [63].

Tabla 3.2. Factores de sobretensión %P: Fuente elaboración propia.

f (Hz)	%P (Factor de sobretensión)			
	3 armónico		5 armónico	
	14 %	8,7 %	7 %	5,67 %
60	160	203	227	252

Así, para calcular el factor el factor de sobretensión se utiliza la ecuación:

$$\%P = \left(\frac{f_{nominal}}{f_{sintonía}} \right)^2 * 100 \quad (3.19.)$$

3.7.2. Impedancia del banco

Para calcular la impedancia del banco de condensadores o paso (X_{BANCO}) se parte de la siguiente ecuación [63]:

$$Q_{BANCO} = \frac{V_L^2}{X_{BANCO}} \quad (3.20.)$$

De aquí se puede despejar la impedancia, quedando:

$$X_{BANCO} = \frac{V_L^2}{Q_{BANCO}} \quad (3.21.)$$

3.7.3. Capacidad del condensador

En este punto se debe recuperar lo que se indica acerca del factor de sobretensión calculado en la ecuación 3.19. De esta forma se puede despejar la impedancia del condensador y a su vez la capacidad total [63].

Como se sabe, la ecuación del factor de sobretensión para despejar la impedancia de la reactancia y obtener así el valor de la inductancia [63], es la siguiente:

$$X_L = X_C * \frac{\%P}{100} \quad (3.22.)$$

$$X_C = \frac{X_{BANCO}}{\left(1 - \frac{\%P}{100}\right)} \quad (3.23.)$$

3.7.4. Inductancia

En este caso, se vuelve a la ecuación del factor de sobretensión para despejar la impedancia de la reactancia y obtener así el valor de la inductancia [63], tal como se evidencia en la ecuación 3.22.

Así se obtiene el valor de la impedancia de la reactancia en ohmios, para luego calcular el valor de la inductancia en H (Henrios):

$$L = \frac{X_L}{2\pi * f} \quad (3.24.)$$

3.7.5. Corriente del banco de condensadores o del paso

En este punto se calcula la corriente del banco de condensadores en Amperios, utilizando la siguiente ecuación:

$$I_L = \frac{Q_{BANCO}}{\sqrt{3} * V_L} \quad (3.25.)$$

3.7.6. Tensión en la reactancia y en el condensador

En este aspecto, primero se debe calcular el voltaje de la reactancia, porque al final el voltaje en bornes del condensador va a ser el voltaje del sistema más el voltaje de la reactancia [63].

$$V_{L(Inductancia)} = \sqrt{3} * I_L * X_L \quad (3.26.)$$

Sustituyendo con los valores calculados previamente se obtiene el voltaje en la reactancia en voltios. Por tanto, el voltaje o tensión en bornes del condensador se calcula con [63]:

$$V_C = V_L + V_{L(Inductancia)} \quad (3.27.)$$

Es muy importante tener en cuenta dicha tensión ya que influirá a la hora de escoger el condensador [63]. Debido a que un condensador cuya tensión nominal sea inferior a la calculada, al final acabará dañándose.

3.7.7. Potencia del condensador

Teniendo en cuenta los valores calculados es posible calcular la potencia del condensador, con la siguiente ecuación:

$$Q_{V_C} = \frac{V_C^2}{X_C} \quad (3.28.)$$

3.7.8. Comprobación de la sintonía

Finalmente, se puede comprobar que los valores calculados sean correctos para la frecuencia de sintonía del filtro [63]. Por lo tanto:

$$f_{sintonía} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (3.29.)$$

Así, si se utilizan los valores calculados previamente se obtiene la misma frecuencia de sintonía de la cual se parte cuando se calcula el factor de sobretensión %P al inicio del diseño, dando por validos los cálculos.

4. Diseño Metodológico

El desarrollo del proyecto se segmentó en tres fases, con esto se busca cumplir de forma eficiente el objetivo general del proyecto. Estas fases son descritas en la figura 4.1.

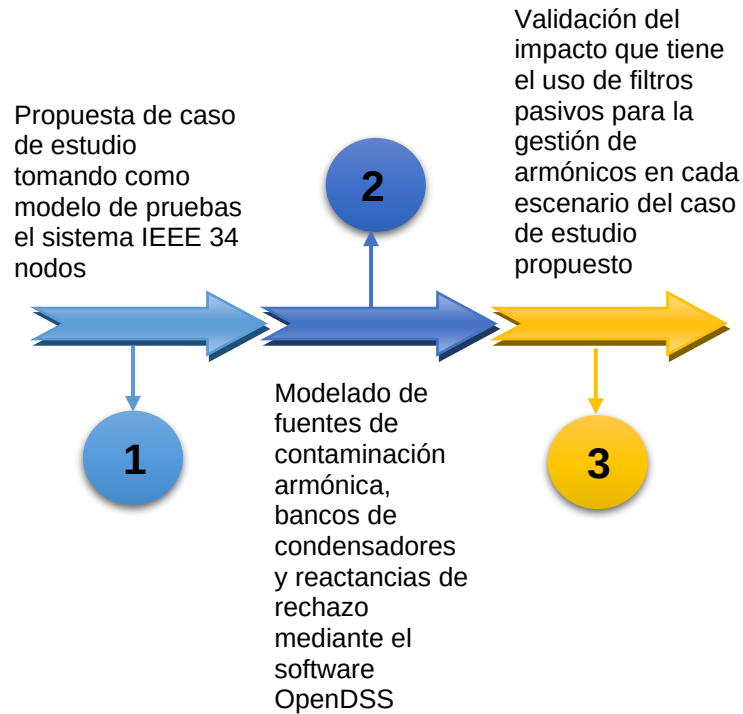


Figura 4.1. Metodología. Fuente elaboración propia.

4.1. Fases y Metodología

4.1.1. Fase I: Propuesta de caso de estudio tomando como modelo de pruebas el sistema IEEE 34 nodos

En primera instancia se identificó una red de distribución de energía con alta carga industrial que permitió estudiar el flujo de carga armónico diario. Para llevar a cabo dicha labor se tomó como modelo de pruebas el sistema IEEE 34 nodos, del cual se propuso un caso de estudio con un número establecido de cargas trifásicas balanceadas tanto spot como distribuidas. Este permitió realizar ajustes referentes a las tendencias típicas de carga colombiana, curvas de carga diaria del sector industrial y espectros de armónicos, que lo vuelven ideal para realizar las pruebas propuestas. Siendo esta una fase de planteamiento y observación sobre la red de distribución de energía eléctrica industrial que se utilizó para el análisis de filtros

pasivos como alternativa de gestión de armónicos en redes de distribución industriales que se trabajó en este proyecto de grado.

4.1.2. Fase II: Modelado de fuentes de contaminación armónica, bancos de condensadores y reactancias de rechazo mediante el software OpenDSS

Una vez realizada la propuesta del caso de estudio con cargas trifásicas balanceadas tomando como modelo de pruebas el sistema IEEE 34 nodos, se elaboró el modelado de la red en un software de simulación de sistemas de distribución de energía eléctrica llamado OpenDSS, el cual se eligió por su plataforma flexible, personalizable y fácil de usar diseñada para realizar análisis complejos en los desafíos actuales y futuros que presentan los sistemas de distribución, modelando sus recursos, elementos y controles [64].

De esta manera, se construyó en el simulador el modelo de red de distribución a manera de líneas de código implementando todos sus componentes y medidores necesarios. Una vez se simuló el modelo de red de distribución en OpenDSS en su caso base, es decir, solo el caso de estudio propuesto con cargas trifásicas balanceadas, se obtuvieron las mediciones de perfil diario de potencia y voltaje, luego se procedió a verificar que cargas tienen un factor de potencia por debajo de 0.9 analizando cada hora en un periodo de 24 horas, en seguida, se realizó corrección de factor de potencia en las industrias con banco de condensadores que se integraron a la red caso de estudio simulada conectándose por hora en paralelo a la carga que requirió corrección de factor de potencia, y se simuló el flujo de carga armónico por hora, de modo que se observó la amplificación de armónicos.

Acto seguido, se procedió a integrar fuentes de contaminación armónica a la red de distribución, conectando generadores de tipo inversor de 6 pulsos en paralelo a cada una de las cargas, para simular nuevamente el flujo de carga armónico y observar la amplificación de armónicos en el sistema. Siguiendo con este análisis, paso a seguir, se quitaron los condensadores de cada una de las cargas que requirieron corrección de factor de potencia en la red de distribución y se mantuvieron las fuentes de armónicos, y así nuevamente se simuló el flujo de carga armónico analizando como los condensadores amplifican los armónicos.

Luego de haber integrado corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos, se diseñaron las reactancias de rechazo para cada banco de condensadores que esté conectado en paralelo a cada carga que requirió corrección de factor de potencia en la red de distribución, a fin de observar el efecto de disminución de armónicos. Para esto se simuló el flujo de carga armónico por hora en las cargas industriales con bancos de condensadores, reactancias de rechazo y fuentes de contaminación armónica.

4.1.3. Fase III: Validación del impacto que tiene el uso de filtros pasivos para la gestión de armónicos en cada escenario del caso de estudio propuesto

La última etapa del proyecto correspondió a la interpretación de cada escenario del caso de estudio propuesto mediante la comparación del índice de distorsión armónica total que se calculó con ayuda del software Matlab. Es decir, que en esta fase se validaron las simulaciones y resultados obtenidos de cada prueba de amplificación armónica por parte de fuentes de contaminación armónica y corrección de factor de potencia, además de mitigación armónica por el impacto de la reactancia de rechazo, determinando los casos en que eliminan armónicos y no sólo evitan que se amplifiquen por culpa de los condensadores. Finalmente, se establecieron conclusiones basadas en el análisis realizado de la evaluación de filtros pasivos como alternativa para la gestión de armónicos en redes de distribución de energía eléctrica industriales.

5. Desarrollo Conceptual

Teniendo en cuenta, todas las características técnicas y conceptuales, el sistema de distribución IEEE 34 nodos es el modelo de pruebas del cual se propuso un caso de estudio. Considerando que, este sistema fue diseñado para evaluar y comparar algoritmos en la resolución de sistemas radiales trifásicos desequilibrados, representando un modelo de orden reducido de un circuito de distribución real [65]. Por tanto, primero se definen características del modelo de pruebas describiendo el número establecido de cargas trifásicas balanceadas tanto spot como distribuidas, entre otros componentes.

También es necesario describir el tipo de modelos de cargas típicos que componen el sistema de prueba IEEE 34 nodos, sus parámetros y espectros armónicos.

5.1. Sistema de prueba IEEE 34 nodos

El sistema IEEE de 34 nodos como el que se muestra en la figura 5.1., es un alimentador real ubicado en Arizona con tensión nominal de 24,9 kV [66]. Se caracteriza por:

- Ser largo y con poca carga.
- Tener dos reguladores en línea para mantener un buen perfil de voltaje.
- Tener un transformador en línea reductor de voltaje a 4.16 kV para una corta sección del alimentador
- Estar desequilibrado con cargas "spot" y "cargas distribuidas". Donde las cargas distribuidas se asumen para ser conectadas en el centro del segmento de línea.
- Tener condensadores de derivación.
- Presenciar un problema de convergencia debido a la longitud del alimentador y la carga desequilibrada [50].

Este modelo es bastante factible ya que permitirá realizar ajustes referentes a las tendencias típicas de carga colombiana, curvas de carga diaria del sector industrial y espectros de armónicos, que lo vuelven ideal para realizar las pruebas propuestas.

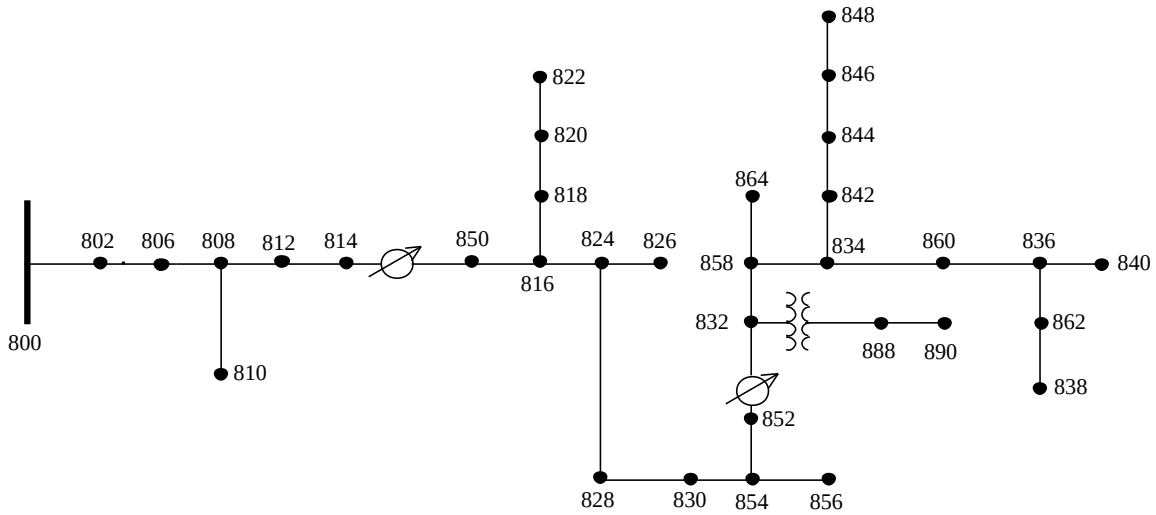


Figura 5.1. Sistema IEEE de 34 nodos [66]

5.2. Modelos de cargas típicas

Las cargas se pueden conectar en un nodo (carga puntual) o suponer que se distribuyen uniformemente a lo largo de una sección de línea (carga distribuida). Las cargas pueden ser trifásicas (equilibradas o desequilibradas) o monofásicas. Las cargas trifásicas se pueden conectar en estrella o delta, mientras que las cargas monofásicas se pueden conectar de línea a tierra o de línea a línea [66]. Todas las cargas se modelan en el sistema de 34 nodos de IEEE de la siguiente manera:

- **Impedancia constante (Z):** Son cargas en las que la potencia varía directamente con el cuadrado de la magnitud del voltaje [50].
- **Corriente constante (I):** La potencia varía directamente con la magnitud del voltaje [67].
- **Potencia constante (PQ):** La potencia no varía con los cambios en la magnitud del voltaje [67].

La ecuación 5.1. muestra el modelo matemático simplificado que representa los modelos de potencia, corriente e impedancia constante [67]:

$$P = P_0 * \left(\frac{V}{V_0}\right)^{np} \quad (5.1.)$$

Donde el exponente np es un parámetro de variación de voltaje del modelo matemático que puede tomar el valor de 0,1 y 2.

En la Tabla 5.1. se muestran los parámetros normalizados np^* para cargas de tipo residencial, comercial e industrial.

Tabla 5.1. Parámetros normalizados para cargas típicas. Adaptado de [50].

Tipo	Estación	np^*
Residencial	Verano	1,9
	Invierno	2,0
Comercial	Verano	0,9
	Invierno	1,1
Industrial	NA	0,1

Al comparar los parámetros normalizados con los modelos matemáticos se pueden hacer las siguientes aproximaciones:

- Los usuarios *Residenciales* tienen un parámetro de variación de voltaje cercano a 2 los cuales los convierten en cargas de impedancia constante [50].
- Los usuarios *Comerciales* tienen un parámetro de variación de voltaje cercano a 1 los cuales los convierten en cargas de corriente constante [50].
- Los usuarios *Industriales* tienen un parámetro de variación de voltaje cercano a 0 los cuales los convierten en cargas de potencia constante [50].

5.3. Espectros armónicos

Los espectros armónicos son componentes sinusoidales de la onda de tensión o corriente que poseen una frecuencia que es múltiplo entero de la frecuencia fundamental. Los espectros armónicos son necesarios a la hora de realizar flujos de carga armónico [50].

El sistema de prueba IEEE 34 nodos cuenta con diferentes espectros armónicos típicos los cuales están acorde al modelo de carga (P, I y Z constante), relacionados con tres tipos de carga armónica: carga fluorescente, variadores de velocidad y otros tipos, tal como se muestra en la Tabla 5.2. [68].

Tabla 5.2. Carga armónica para diferentes modelos de carga en redes de distribución. Adaptado de [68].

Modelo	Carga armónica
PQ - Y (1F)	60% de otros tipos
PQ - Y (3F)	15% fluorescente, 20% ASD, 15% otros tipos
PQ - D (1F y 3F)	30% fluorescente, 60% otros tipos
Z - Y (1F y 3F)	10% fluorescente, 10% ASD, 20% otros tipos
Z - D (1F y 3F)	20% fluorescente, 20% ASD, 20% otros tipos
I - Y (1F y 3F)	15% fluorescente, 20% ASD, 15% otros tipos
I - D (1F y 3F)	15% fluorescente, 20% ASD, 15% otros tipos

5.4. Propuesta de caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos

Para comenzar, el modelo de pruebas de 34 nodos es una red de distribución desequilibrada con cargas "spot" y "cargas distribuidas". Donde cada carga distribuida se conecta en el centro del segmento de línea. No obstante, para esta evaluación fue necesario tener un sistema equilibrado con componentes trifásicas, es decir, tanto sus cargas, transformadores, reguladores como líneas debieron ser trifásicas equilibradas.

Así, los valores que quedaron fijos del modelo de prueba original fueron:

- La tensión nominal de 24,9 kV.
- La tensión base de 69 kV.
- La potencia de cortocircuito trifásico de la red de 200 kW.

Los componentes de la red de distribución que se volvieron trifásicos equilibrados fueron:

- ✓ El transformador de subestación reductor de alto voltaje de 69 kV a 24.9 kV conectado del nodo fuente en delta al nodo 800 en estrella.
- ✓ El transformador de carga Y-Y en línea reductor de voltaje a 4.16 kV para una corta sección del alimentador conectado del nodo 832 en estrella al nodo 888 en estrella.
- ✓ Las 72 líneas tanto las normales como las del centro de segmento de línea.
- ✓ Los dos reguladores de línea.
- ✓ Las 6 cargas tipo spot conectadas en estrella dejando el mismo voltaje, potencia activa y reactiva.
- ✓ Las 17 cargas distribuidas conectadas en estrella dejando el mismo voltaje, potencia activa y reactiva.

En esta evaluación se estudiaron cargas con curvas de carga solamente de tipo industrial, estas variaciones de la demanda de potencia en el tiempo son relevantes debido a que muestran indicios de las características de las cargas del sistema en el sector industrial en un intervalo de tiempo diario de 24 horas, ya que permite analizar de manera técnica el sistema y los fenómenos de calidad de potencia.

Por esta razón, tanto las 6 cargas spot como las 17 cargas distribuidas tenían curvas de carga de tipo industrial. También se modificó el espectro armónico de estas mismas cargas, ya que como se observa en la tabla 5.1. los usuarios con curvas de carga de tipo industrial tienen un parámetro de variación de voltaje cercano a 0 los cuales los convierten en cargas de potencia constante.

Debido a esto se definió el espectro armónico de acuerdo con la tabla 5.2., en donde se muestra que existen tres tipos de modelos de cargas armónicas de potencia constante:

- Potencia constante monofásica conectada en estrella con 60% de carga armónica de otros tipos (PQ - Y (1F)).
- Potencia constante trifásica conectada en estrella con 15% de carga armónica de tipo fluorescente, 20% de tipo variador de frecuencia y 15% de otros tipos (PQ - Y (3F)).
- Potencia constante trifásica y monofásica conectada en delta con 30% de carga armónica de tipo fluorescente y 60% de otros tipos (PQ - D (1F y 3F)).

Por lo tanto, en este caso se quiso emular los variadores de frecuencia como espectros armónicos de cada carga, así que, se eligió el modelo de potencia constante trifásica conectada en estrella que tiene el 20% de tipo variador de frecuencia.

Por último, se quitaron los dos condensadores de derivación que tiene el sistema originalmente, esto por cuestiones del efecto que se desea ver en el caso de estudio propuesto. En síntesis, con estos ajustes realizados se tiene un caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos, el cual se utiliza para el análisis de filtros pasivos como alternativa de gestión de armónicos en redes de distribución industriales.

Una vez realizada la propuesta del caso de estudio con cargas trifásicas balanceadas tomando como modelo de pruebas el sistema IEEE 34 nodos, se elabora el modelado de la red en un software de simulación de sistemas de distribución de energía eléctrica.

5.5. Modelado

5.5.1. Modelado en OpenDSS

OpenDSS está diseñado para leer las instrucciones en formato de texto, siguiendo las indicaciones según el sistema a modelar, aportando flexibilidad al usuario en el diseño, y facilitando la identificación de posibles errores en la codificación. Se debe tener en cuenta que el software simula redes reales, por lo que es necesario colocar monitores y medidores en el sistema de distribución a simular [69].

También es necesario ajustar la frecuencia para garantizar la confiabilidad en los resultados. Así como, limpiar el espacio de memoria de todas las configuraciones anteriores. También se requiere, configurar la ruta de trabajo en el caso de utilizar modelación de tipo modular (varios scripts o llamado de archivos de datos) [70].

5.5.2. Configuración del caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos

Con base en la propuesta del caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos realizada en el ítem 5.4. Se procedió a construirla en el simulador a manera de líneas de código implementando todos sus componentes y medidores necesarios. El código “linecode” permite almacenar la configuración y asignarla a cada una de las líneas que corresponda [70].

```
New linecode.301 nphases=3 basefreq=60 units=kft
~ rmatrix = [0.365530303 | 0.04407197 0.36282197 | 0.04467803 0.043333333 0.363996212]
~ xmatrix = [0.267329545 | 0.122007576 0.270473485 | 0.107784091 0.099204545 0.269109848]
~ cmatrix = [2.572492163 | -0.72160598 2.464381882 | -0.472329395 -0.298961096 2.368881119]
```

Figura 5.2. Línea de comando para definir la configuración de la línea 301. Adaptado de [71].

La Figura 5.2., en tanto, muestra el código para definir la configuración de la línea trifásica 301, se definen las matrices de resistencia y reactancia en ohmios por unidad de longitud, además de capacitancia en nano-faradios por unidad de longitud. Se tomó los kilo pies (kft) como unidad de longitud.

5.5.2.1. Líneas de distribución

Las líneas de distribución se modelan como elementos de carga definidos por su impedancia por medio del comando “line” [70]. Estas impedancias se pueden especificar por medio de las componentes simétricas o del comando “linecode”; también es necesario especificar los nodos entre los cuales se realiza la conexión y la longitud de la acometida, tal como se muestra a continuación:

```
New Line.L24 Phases=3 Bus1=850.1.2.3 Bus2=816.1.2.3 LineCode=301 Length=0.31
```

Figura 5.3. Modelo de la línea trifásica 24 entre el nodo 850 y nodo 816. Adaptado de [72].

5.5.2.2. Transformadores

El transformador se modela como un elemento de suministro de energía con dos o más terminales, es decir de dos o más bobinas conectadas de diferentes configuraciones (por defecto la conexión Y-Y): en monofásicos, bifásicos o trifásicos [68]. Las líneas de código para modelar un transformador trifásico de dos bobinados conectado de la subestación al nodo 800 y esquema de conexión delta-estrella se muestran en la figura 5.4.

```
New Transformer.SubXF Phases=3 Windings=2 Xhl=0.001 ppm=0
~ wdg=1 bus=sourcebus conn=Delta kv=69 kva=25000 %r=0.0005
~ wdg=2 bus=800 conn=wye kv=24.9 kva=25000 %r=0.0005
```

Figura 5.4. Modelo de un transformador trifásico. Adaptado de [72].

5.5.2.3. Cargas

Las cargas son elementos fundamentales en el análisis de sistemas de potencia; en OpenDSS se pueden modelar de tres formas diferentes: kW-PF, kW-kVAR y kVA-PF, y modificarlas mediante multiplicadores para simular su variación en el tiempo [70]. Además, en este caso se modeló el comportamiento de la carga como P y Q constantes, es decir, el modelo 1.

Para simular la operación de la red durante 24 horas se realizó una variación de la carga y disponibilidad de recurso por cada hora, para ello se definió un vector de factores de carga con el comando “loadshape”. Este vector se puede establecer en el espacio de trabajo de OpenDSS o mediante un archivo de extensión csv. De esta manera, en esta red de distribución la curva de carga que se utilizó para modelar todas las cargas fue solamente de tipo industrial, un patrón de comportamiento de las cargas para un ciclo de 24 horas que es típico en el ámbito colombiano, y se muestra en la figura 5.6.

New Load.S860 Bus1=B860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW=60.0 kVAR=48.0 spectrum=PQY3

New Load.D802_806 Bus1=midB806.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 90 kVAR= 45 spectrum=PQY3

Figura 5.5. Modelo de cargas trifásicas balanceadas de tipo spot y distribuidas. Adaptado de [72].

También a cada carga se le añadió un espectro armónico de tipo potencia constante trifásica conectada en estrella (PQY3), utilizando el comando “spectrum”. Este es un arreglo que se establece en un archivo de extensión csv, donde se tienen parámetros de armónicos, numero de armónicos, magnitud y ángulo. Luego se hace el llamado desde el espacio de trabajo de OpenDSS.

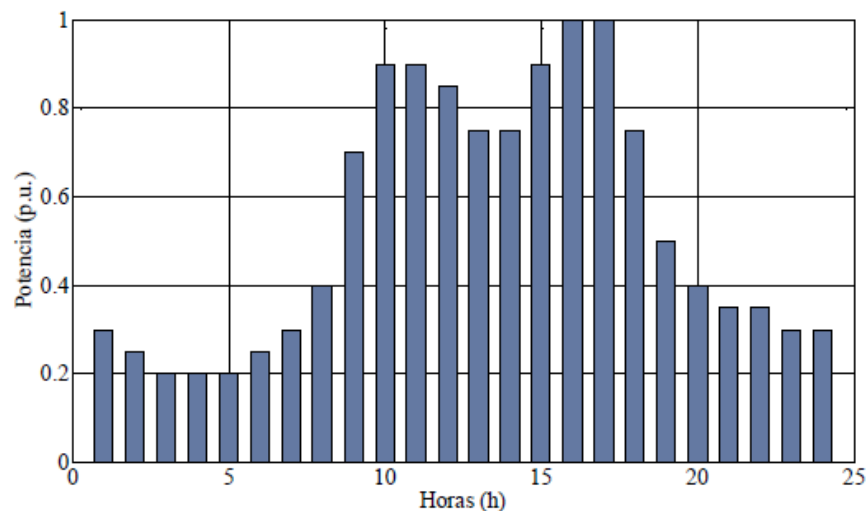


Figura 5.6. Curva de carga industrial [50].

5.5.2.4. Reguladores

El regulador es modelado con un transformador monofásico controlando una de sus bobinas con un elemento “regcontrol”. Sobre este elemento se definen: la tensión de regulación, la relación de transformación, la resistencia y la reactancia del control [70].

En la construcción de este caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos, los dos reguladores se implementaron en el simulador con tres fases independientes, tal como se muestra en la figura 5.7.

```
new transformer.reg1a phases=1 windings=2 buses=(814.1 814r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1a transformer =reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctprim=100
R=2.7 X=1.6
```

Figura 5.7. Líneas de instrucciones para modelar el regulador de tensiones. Adaptado de [50].

5.5.2.5. Elementos de medición

Una vez que se construyó el modelado del caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos en el simulador mediante líneas de código, el paso que se siguió fue simular el sistema con el fin de obtener las mediciones de perfil diario de potencia y voltaje.

Para ello se implementaron elementos de mediciones llamados monitores. El monitor funciona como un monitor de potencia real que se conecta al terminal de algún elemento del circuito al cual se desea almacenar datos de tensión, intensidad o potencia a lo largo de la simulación [70]. Para su configuración se seleccionan el elemento y el terminal a medir, además del tipo de modo de operación del medidor. Estos tipos de operación pueden ser: tensión y corriente, potencias, posición del tap, flicker, cambios de estados, conmutación del capacitor, o combinaciones de las anteriores [70].

```
New monitor.Line1_power element=Line.L1 terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.Line1_voltage element=Line.L1 terminal=1 mode=0
New monitor.Line1_current element=Line.L1 terminal=1 mode=0
```

Figura 5.8. Inclusión de elementos de medición. Fuente elaboración propia.

El primer medidor mostrado en la Figura 5.8. registra la potencia ya que se encuentra en modo 1, mientras el segundo medidor mide la tensión pues está en modo 0, y el tercer medidor mide corriente debido a que también se establece en modo 0; todos están conectados y midiendo en la línea 1 para obtener mediciones de todo el sistema. El comando “mode” define los parámetros que el monitor va a registrar durante la simulación.

Cabe destacar, que en el caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos modelado es necesario medir los valores de voltaje y potencia en un perfil diario de cada carga tanto distribuida como spot. Por tanto, se colocó un monitor siguiendo la codificación que se implementa en la figura 5.8. en cada línea donde se conecta directamente la carga.

El otro elemento de medición, “EnergyMeter”, es un medidor inteligente que simula el comportamiento de un medidor de energía real, el cual se conecta a un elemento del circuito; puede medir potencia, energía, pérdidas y valores de sobrecarga del circuito, además puede registrar el valor de energía o la potencia máxima [69].

5.5.3. Simulación de perfil diario de potencia y voltaje en caso base

Para simular el modelado del caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos en el simulador OpenDSS, es necesario tener en cuenta los modos de solución. Primero como paso previo a seleccionar el modo de solución, se ejecutó la línea de comandos “Set VoltageBases” que sirve para definir las bases de tensiones del circuito y que los informes sean expresados respecto a la unidad, y la línea de comandos “CalcVoltageBases” que genera la lista de buses y calcula sus tensiones base [70]. Posteriormente, para la ejecución de la simulación se ejecutaron los siguientes comandos que resuelven el caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos:

```
set mode=daily
set number=24
set stepsize=1h
solve
```

Figura 5.9. Comandos de modos de solución. Fuente elaboración propia.

De acuerdo con la figura 5.9., el comando “set mode” ejecuta una o varias soluciones, donde la solución es un objeto de DSS asociado al circuito activo y que se puede consultar. Para este caso específico, “mode” establece el modo de solución para el circuito activo, que se elige de tipo diario para que realice una serie de soluciones siguiendo la curva de carga diaria industrial.

Luego con el comando “set number” se fija el número de soluciones que se desea ejecutar, estableciendo en este caso un valor de 24, ya que un día tiene 24 horas y se desea observar el perfil de voltaje y potencia en cada hora. También se colocó un tamaño del paso de 1 hora con el comando “stepsize”, lo que en otras palabras significa, que los valores de potencia y voltaje serán medidos cada hora durante un transcurso de 1 a 24 horas. De esta manera, los monitores se restablecen al comienzo de la solución [69]. Por último, se tiene el comando “solve” con el cual se ejecutó la solución en el modo especificado en el paso anterior. Así se tiene un modo de solución diario capaz de calcular el perfil diario de potencia y voltaje de cada monitor.

5.5.4. Verificación de bajo factor de potencia en cargas industriales

Luego de haber simulado el perfil diario de potencia y voltaje en el caso base del modelado de caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos, se procedió a verificar que cargas tienen un factor de potencia por debajo de 0.9 analizando cada hora en un periodo de 24 horas.

En este proceso, se tomó como referencia la carga trifásica balanceada de tipo spot conectada al nodo 860 en estrella “S860”, cuya tensión nominal es 24.9 kV, potencia activa de 60 kW y potencia reactiva de 48 kVAr con un espectro armónico de potencia constante. Esto con el fin de obtener mediciones de perfil diario de potencia específicamente en esta carga para posteriormente calcular el factor de potencia. Las mediciones de potencia activa y reactiva, además de voltaje de línea de cada hora tomadas con el monitor se presentaron en tres fases, de modo que es una carga trifásica. No obstante, esta carga es balanceada por lo que las mediciones son iguales en las tres fases, por lo cual, se eligió solo una fase para realizar la verificación y esta se muestra en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Perfil diario de potencia y voltaje de la carga S860. Fuente elaboración propia.

Hora	P (kW)	Q (kVAr)	V _L (kV)
1	6.03117	4.55161	14.834
2	5.03135	3.75091	14.840
3	4.03187	2.94765	14.950
4	4.03185	2.94764	14.950
5	4.03185	2.94764	14.950
6	5.03105	3.75156	14.842
7	6.03131	4.55197	14.827
8	8.03156	6.1538	14.790
9	14.0313	10.9516	14.867
10	18.0291	14.154	14.838
11	18.0291	14.154	14.838
12	17.0303	13.3488	14.980
13	15.0324	11.7489	14.960
14	15.0321	11.7486	14.960
15	18.0291	14.154	14.838
16	20.0289	15.7572	14.812
17	20.0274	15.7561	14.812
18	15.0315	11.7482	14.960
19	10.0319	7.74769	14.969
20	8.0319	6.14642	15.001
21	7.03178	5.34615	15.012
22	7.0316	5.34602	15.012
23	6.03136	4.54821	14.931
24	6.03166	4.54845	14.931

Por consiguiente, se realizó el cálculo del factor de potencia en cada hora en un periodo de 24 horas del día, con el fin de verificar si esta carga tenía un factor de potencia por debajo de 0.9, para ello se utilizaron las ecuaciones del ítem 3.6. y se siguió la metodología plasmada en este. En este caso para ejemplificar el cálculo se muestra la obtención del factor de potencia en la hora específica 15, de la siguiente manera:

Primero es necesario encontrar el valor de ϕ_1 , para ello en la hora 15 se tiene una potencia activa (P) de 18.03 kW, potencia reactiva (Q) de 14.154 kVAr, y un voltaje de línea (V_L) de 14.84 kV:

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left[\frac{Q}{P} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{14.154 \text{ kVAr}}{18.03 \text{ kW}} \right] = 38.134^\circ$$

Luego para calcular el factor de potencia se utiliza la ecuación 3.13., tal como se muestra a continuación:

$$FP_1 = \cos \phi_1 = \cos(38.134^\circ) = 0.786$$

De esta manera, el factor de potencia FP_1 calculado es menor a 0.9, lo que quiere decir, que requiere corrección de factor de potencia.

5.5.5. Cálculo de corrección de factor de potencia para carga S860

Por lo tanto, se tiene que obtener un valor de ϕ_2 partiendo del factor de potencia FP_2 que se desea obtener según el estándar de la resolución CREG 015 de 2018 donde el $FP \geq 0.9$, por tanto, se utiliza la ecuación 3.15.:

$$\phi_2 = \cos^{-1}[0.95] = 18.195^\circ$$

Luego al haber obtenido los valores de ϕ_1 y ϕ_2 es posible calcular el valor de potencia reactiva del banco de condensadores Q_{BANCO} , que se implementa en paralelo a la carga para corregir el factor de potencia, utilizando la ecuación 3.16.

$$Q_{BANCO} = 18.03 \text{ kW} [\tan(38.134^\circ) - \tan(18.195^\circ)] = 8.228 \text{ kVAr}$$

Basado en este cálculo, esta potencia reactiva de banco es para una fase, lo que quiere decir, que es necesario multiplicar por 3 para calcular el valor de capacitancia del capacitor trifásico, teniendo en cuenta la ecuación 3.18.:

$$C_{BANCO} = \frac{8.228 \text{ kVAr} * 3}{14.838^2 * 2\pi(60 \text{ Hz})} = 297 \mu F$$

En síntesis, el condensador de 297 μF es necesario para corregir el factor de potencia bajo que tiene la carga S860, por lo tanto, este mismo proceso se realizó para cada hora en una duración de 24 horas del día.

5.5.6. Modelado de condensadores en OpenDSS

El banco de condensadores que se integra a la red caso de estudio simulada se debió conectar por hora en paralelo a la carga que requirió corrección de factor de potencia [73]. El modelo de condensador se implementó en derivación ya que un terminal se conecta a un nodo y el otro no se especifica, lo que quiere decir que se toma por defecto como referencia a tierra. Teniendo en cuenta el anterior cálculo de la capacitancia trifásica para corregir el factor de potencia bajo en la carga S860 a la hora 15, es necesario implementar este banco en la simulación. Para ello se tiene la siguiente línea de código para un banco de condensadores de 24.684 kVAR, que se muestra en la figura 5.10.

```
New Capacitor.CS860 Bus1=B860 Phases=3 kVAR=24.684 kV=14.838
```

Figura 5.10. Línea de código para banco de condensadores. Fuente elaboración propia.

La línea de código describe un banco de condensadores trifásico de 297 μF conectado en el nodo 860 a un nivel de tensión de 14.838 kV. Cabe resaltar que se implementó el modelo del condensador para todas las demás horas y cargas de la misma manera, siguiendo la codificación que se presenta en la figura 5.10.

5.5.7. Modelado de fuentes de contaminación armónica en OpenDSS

Para este caso el generador se modeló como un elemento de conversión de energía, definido bien sea por su potencia nominal y factor de potencia, o su potencia activa y reactiva; estas potencias pueden ser modificadas por medio de un vector de factores (loadshape) [73]. En el caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos, primero se definió un vector de espectro armónico de tipo 6 pulsos para que el generador emule un inversor, utilizando el comando “spectrum”. Este es un arreglo que se establece en un archivo de extensión csv, donde se tienen parámetros de armónicos, número de armónicos, magnitud y ángulo. Luego se hace el llamado desde el espacio de trabajo de OpenDSS.

Posteriormente, se implementó el generador con el comando “Generator”, especificando el modo de operación del generador por medio de la instrucción “model” [73]; donde se utilizó modelo 7 con P y Q constantes, pero corriente limitada por debajo del voltaje mínimo en pu, donde se aproxima a un inversor simple y P sigue el patrón definido por la instrucción spectrum. La figura 5.11. muestra el modelo del generador inversor de 6 pulsos conectado en paralelo a la carga en el nodo 860 en la hora 15 del caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos.

```
New Generator.GS1 Bus1=B860.1.2.3 kV=14.838 kW=37.856 PF=1 phases=3 model=7  
enabled=yes spectrum=6PULSOS
```

Figura 5.11. Línea de código de modelo de generador de 6 PULSOS en carga S860 de hora 15. Fuente elaboración propia.

Teniendo en cuenta esta línea de código, al generador se le asignó el mismo nivel de tensión que tenía la carga en la correspondiente hora, en este caso, hora 15; tensión que tiene un valor de 14.838 kV. Además, se le colocó una potencia activa de 37.856 kW, cuyo valor es el 70% de la potencia activa de la carga. Esto para nuevamente simular el flujo de carga armónico analizando como los condensadores amplifican los armónicos, con o sin fuentes de armónicos.

5.5.8. Diseño de banco de condensadores con filtros de reactancias de rechazo

Luego de integrar corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos, se diseñaron las reactancias de rechazo para cada banco de condensadores que estaba conectado en paralelo a cada carga que requirió corrección de factor de potencia en el caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos. Para ello se utilizó la metodología del ítem 3.7. En este caso para ejemplificar el cálculo se muestra el diseño de filtros de rechazo en la hora específica 15, teniendo en cuenta los valores de potencia activa (P) en kW, potencia reactiva (Q) en kVAr y voltaje de línea (V_L) en Voltios medido en el punto donde se conecta la carga, que se muestran en el perfil diario de la carga S860 en la tabla 5.3., también se debe tener en cuenta la potencia reactiva Q_{BANCO} calculada previamente en el ítem 5.5.5.

Por consiguiente, previamente se debe simular el caso de estudio red de distribución 34 nodos, ejecutando la simulación, pero no en el modo de solución diario que se muestra en la figura 5.9., sino en un modo de solución de armónicos. Este modo debe estar precedido por una solución exitosa de flujo de energía para que las máquinas y las fuentes de armónicos puedan inicializarse. También en el tipo armónicos, las cargas se convierten en fuentes de corriente armónica y se inicializan en función de la solución de flujo de potencia de acuerdo con el objeto "Spectrum" asociado con cada carga, además los generadores se convierten en una fuente de voltaje detrás de la reactancia subtransitoria con el espectro de voltaje especificado para cada generador [73].

Este modo de solución se ejecutó con el fin de conocer cuál es el armónico preponderante después del armónico fundamental de 60 Hz de cada carga, con el propósito de establecer a que frecuencia de sintonía (f_{sint}) se debe sintonizar el filtro de rechazo. Para ejemplificar este proceso se simula el perfil de armónicos de voltaje en la carga S860. Por lo tanto, es posible graficar el espectro armónico para observar el armónico preponderante en la carga S860.

En la figura 5.12. se muestra el grafico de espectro armónico donde se evidencia que el armónico preponderante es el tercer armónico, ya que en términos de magnitud tiene el valor de voltaje mayor, después del primer armónico. Por tanto, la frecuencia de sintonía a la que se sintoniza el filtro debe estar en el tercer armónico para posteriormente calcular el factor de sobretensión.

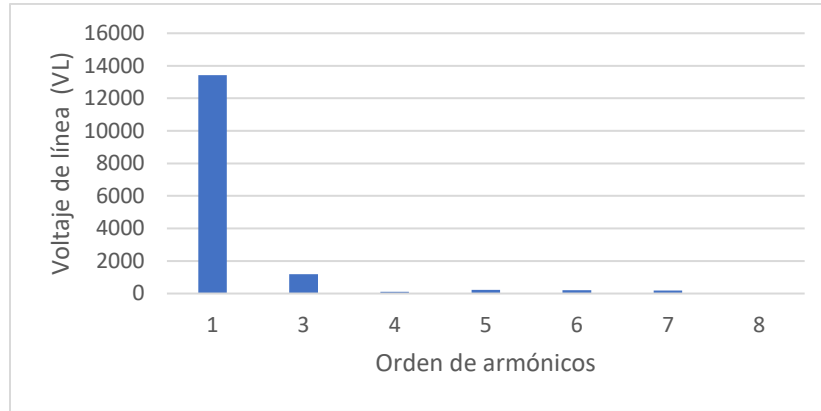


Figura 5.12. Gráfico de espectro armónico para carga S860. Fuente elaboración propia.

De esta manera, teniendo en cuenta lo anterior y la tabla 3.2., al ser el tercer armónico el preponderante, la frecuencia de sintonía (f_{sint}) es 160 Hz, por lo que su factor de sobretensión (%P) está en 14%, lo que se comprueba haciendo uso de la ecuación 3.19.

$$\%P = \left(\frac{60 \text{ Hz}}{160 \text{ Hz}} \right)^2 * 100 = 14\%$$

Luego se calcula la impedancia del banco de condensadores (X_{BANCO}) con la ecuación 3.21., teniendo en cuenta los valores previamente calculados en la corrección de factor de potencia de la carga S860 en la hora 15, y que la potencia reactiva del banco Q_{BANCO} se debe multiplicar por 3, para que el diseño del filtro sea en base trifásica, por ende:

$$X_{BANCO} = \frac{14838^2}{24.684 \text{ kVAr}} = 8919.62 \Omega$$

Así pues, se calcula la capacidad del condensador utilizando el factor de sobretensión (%P) previamente calculado y la ecuación 3.23.

$$X_C = \frac{8919.62 \Omega}{\left(1 - \frac{14\%}{100}\right)} = 10379.19 \Omega$$

$$C_y = \frac{1}{2\pi * 60 \text{ Hz} * 10379.19 \Omega} = 0.255 \mu F$$

Acto seguido, utilizando la ecuación 3.22. se calcula la impedancia de la reactancia y obtener así el valor de la inductancia con la ecuación 3.24., basado en los valores calculados anteriormente.

$$X_L = 10379.19 \Omega * \frac{7\%}{100} = 1459.57 \Omega$$

$$L = \frac{1459.57 \, \Omega}{2\pi * 60 \, \text{Hz}} = 3.8716 \, \text{H}$$

Ahora se calcula la corriente del banco de condensadores, utilizando la ecuación 3.25.:

$$I_L = \frac{24.684 \, \text{kVAr}}{\sqrt{3} * 14838^2} = 0.9605 \, \text{A}$$

De inmediato, se calcula el voltaje de la reactancia utilizando la ecuación 3.23.:

$$V_{L(\text{Inductancia})} = \sqrt{3} * 0.9605 \, \text{A} * 1459.57 \, \Omega = 2428.085 \, \text{V}$$

Sustituyendo con los valores calculados previamente se calcula el voltaje en bornes del condensador con la ecuación 3.27.:

$$V_C = 14838 \, \text{V} + 2428.085 \, \text{V} = 17266.4 \, \text{V}$$

Teniendo en cuenta los valores calculados es posible calcular la potencia del condensador con la ecuación 3.28.:

$$Q_{V_C} = \frac{(17266.4 \, \text{V})^2}{10379.19 \, \Omega} = 28.724 \, \text{kVAr}$$

Finalmente, se puede comprobar que los valores calculados son correctos para la frecuencia de sintonía del filtro. Por lo tanto, con la ecuación 3.29. se tiene:

$$f_{\text{sintonía}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{3.8716 \, \text{H} * 0.255 \, \mu\text{F}}} = 160 \, \text{Hz}$$

Así, se obtiene la misma frecuencia de sintonía de la cual se parte cuando se calcula el factor de sobretensión %P al inicio del diseño, dando por valido los cálculos. Cabe destacar que el anterior diseño de filtro de rechazo solo es para la carga S860 en la hora 15, esto quiere decir, que la anterior metodología de diseño debió realizarse para cada una de las horas en una duración de 24 horas en un día y con cada una de las cargas tanto distribuidas como puntuales (spot).

5.5.9. Modelado de filtros de reactancias de rechazo en OpenDSS

Para implementar los filtros de rechazo en OpenDSS, se debió tener en cuenta que cuando se representa un banco de filtros, hay que seleccionar la propiedad "XL" del comando "capacitor" de la línea de código que se muestra en la figura 5.10. [73]. Por lo tanto, es básicamente tener un banco de condensadores y a este se le añade en la misma línea de código el valor de la impedancia de la reactancia, dependiendo del valor de inductancia que se quiera colocar en serie. De esta manera, el modelo de filtros de rechazo quedó de la siguiente manera:

```
New Capacitor.CS860 Bus1=B860 Phases=3 kVAR=24.684 kV=14.838 XL=1459.57
```

Figura 5.13. Línea de código para banco de condensadores con reactivas de rechazo. Fuente elaboración propia.

La línea de código describe un filtro de rechazo conectado al nodo 860, en paralelo a la carga, en este se implementa un capacitor de 297 μF y una reactancia de 3.8716 H con una impedancia de 1459.57 Ω , de acuerdo con los valores obtenidos en el cálculo de diseño anterior.

5.5.10. Cálculo del índice de distorsión armónica total en Matlab

Finalmente, para la validación del impacto que tiene el uso de filtros pasivos previamente calculados en el ítem anterior para la gestión de armónicos en cada escenario del caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos, fue necesario el cálculo del índice de distorsión armónica total realizando un algoritmo basado en las ecuaciones matemáticas utilizando el software Matlab.

De esta manera se utilizó la ecuación 3.2. para calcular el THD, plasmando esta ecuación a manera de algoritmo, para esto primero se codificó la evaluación de armónicos de tensión mediante la distorsión total armónica calculando el THD_V con la ecuación 3.3. No obstante, previamente se debió establecer una conexión entre el software Matlab y el simulador OpenDSS (ver el código 8.1.2. del anexo A), con el objetivo de que el algoritmo realice un ciclo for el número de veces que se refiere a número de líneas que tiene el caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos, realizando así un barrido en el modo de solución de armónicos para almacenar el archivo en el workspace de Matlab y guardar los datos que se utilizarán en el cálculo de acuerdo con las ecuaciones, tal como se observa en el código completo que se muestra en el ítem 8.3.1. del anexo C.

Luego también se codificó en algoritmo la ecuación 3.4. para obtener el índice I_{THDV} . En este caso se dividió el valor de distorsión armónica total en tensión de cada nodo entre el límite propuesto por la norma NTC 5001 [51] / IEEE 519 [52], que utilizando la tabla 8.1. se tomó con índice del 5%. También se realizó un algoritmo para la evaluación de armónicos de corriente mediante la distorsión total armónica de la ecuación 3.2., es decir se calculó THD_i codificando la ecuación 3.5., no obstante, se recurrió a otro índice complementario de distorsión total de la demanda TDD de la ecuación 3.6. para completar el código, que se observa completo en el ítem 8.3.2. del anexo C.

Por último, con el comando plot en Matlab, se graficó tanto el índice de distorsión armónica total de tensión como el índice de distorsión armónica total de corriente, que se compararon con el fin de verificar en cada escenario la amplificación de armónicos por parte de fuentes de contaminación armónica y corrección de factor de potencia, interpretando las simulaciones y resultados obtenidos de cada prueba.

6. Resultados y Discusión

Teniendo en cuenta la propuesta de caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos que se describió en el ítem 5.4. y su posterior construcción del modelado en OpenDSS basado en el ítem 5.5.1., a continuación, se exponen los resultados obtenidos de acuerdo con lo propuesto en la metodología.

Para comenzar, estos resultados parten del modelado del caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos en caso base, es decir, solo teniendo en cuenta la propuesta inicial descrita en el ítem 5.4. sin hacerle ningún ajuste. Esto con el fin de observar el perfil diario de potencia y voltaje para todas las cargas verificando cuales tienen un factor de potencia bajo analizando cada hora en un periodo de 24 horas, tal como se muestra en la tabla 5.3. el ejemplo de la carga spot conectada al nodo 860 "S860".

6.1. Caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos caso base

Partiendo de que este caso de estudio es una red de distribución de energía con alta carga industrial. La simulación en caso base utilizando el código 8.2.1. del anexo B, también permite conocer el comportamiento del flujo de carga armónico mediante los índices de distorsión armónica total tanto en voltaje como en corriente, utilizando los algoritmos descritos en el ítem 5.5.10. para su respectivo calculo y representación gráfica en el software Matlab. Esto con el objetivo de analizar los armónicos presentes en el sistema propuesto IEEE 34 nodos.

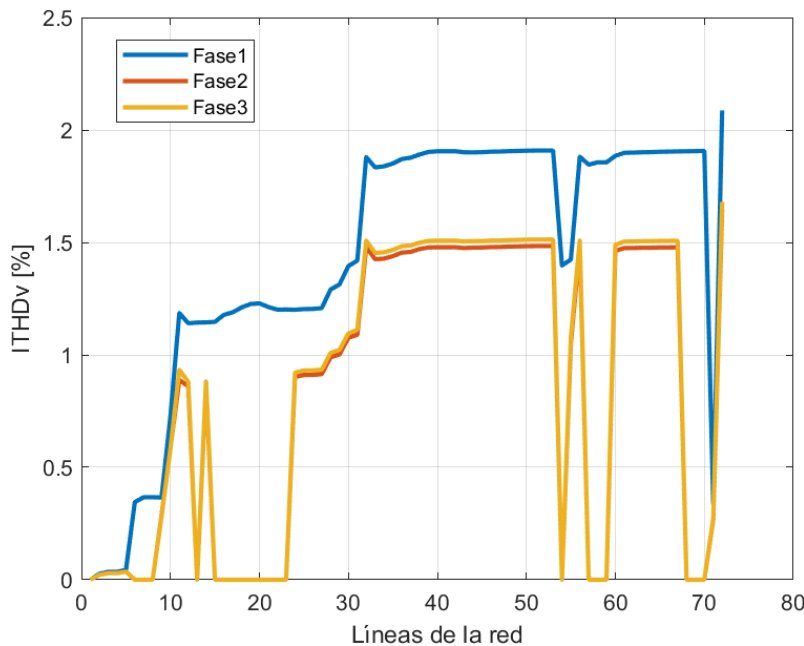


Figura 6.1. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Fuente elaboración propia.

En la figura 6.1. se muestra el comportamiento de $ITHD_v$ de la red de distribución en caso base realizado, tomando datos del modo de solución de armónicos para cada una de las 72 líneas presentes, sobre las cuales están colocados los 34 nodos. Por tanto, en esta figura se observan todos los armónicos existentes en cada línea cuantificados numéricamente mediante la suma de la potencia de los armónicos respecto a la fundamental. Donde se destaca un valor promedio de $ITHD_v$ del 1.9% para la fase 1 y de 1.5% en las fases 2 y 3 de las respectivas líneas trifásicas.

También es posible cuantificar los armónicos de la red, utilizando el $ITHD_i$, midiendo la suma de amplitudes de armónicos en corriente e implementando el algoritmo descrito en el ítem 5.5.10. para obtener el siguiente grafico:

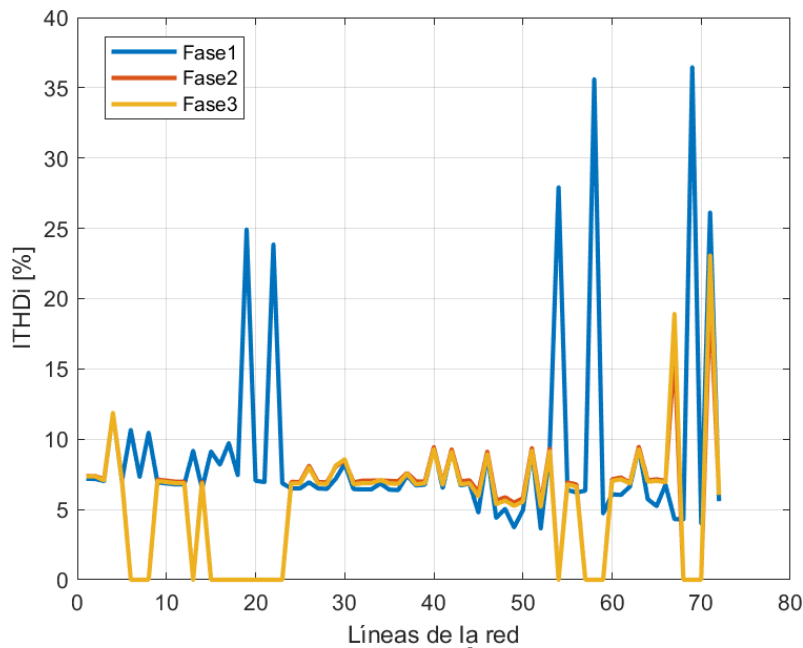


Figura 6.2. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente ($ITHD_i$) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Fuente elaboración propia.

En la figura 6.2. se muestra el comportamiento de $ITHD_i$ de la red de distribución en caso base realizado, tomando datos del modo de solución de armónicos para cada una de las 72 líneas presentes, sobre las cuales están colocados los 34 nodos. Por tanto, en esta figura se observan todos los armónicos existentes respecto a la corriente, donde se destaca un valor promedio de $ITHD_i$ del 36.4% en las tres fases de las respectivas líneas trifásicas.

Los anteriores comportamientos explican cómo está la red de distribución en términos de un análisis armónico. Pues para este caso base es necesario corregir factor de potencia en algunas cargas que presentan uno bajo. No obstante, para este cálculo se requiere obtener el perfil diario de potencia y voltaje de cada carga, tal como se evidencia en la Tabla 5.3. al obtener el perfil específicamente de la carga spot en el nodo 860. De esta manera, es importante notar que la figura 6.1.

y 6.2. describen comportamientos de índices totales en 24 horas. Por lo que, como en este caso se hará un análisis evaluativo por cada hora empezando desde la hora 1 hasta la hora 24, en cuestiones de mejora de factor de potencia y mitigación de armónicos; es necesario tomar los valores de potencia y voltaje de cada hora, tal como se evidenció para el caso de la hora 15 en los cálculos realizados en los ítems 5.5.5. y 5.5.8. respectivamente.

Basado en esto, es de suma importancia obtener gráficos de comportamientos de índices de distorsión armónica total tanto en voltaje como en corriente para cada hora, con el fin de comparar dichos resultados con los diseños que ajustan el sistema en cuestión de armónicos por cada hora. Así, tal como se hicieron anteriormente los diseños y modelados de corrección de FP mediante condensadores, además de los filtros de rechazo para cada hora, en cuyo caso en este documento solo se mostró la hora específica 15 para ejemplificar el cálculo. También se hace lo mismo con los gráficos de índice de THD donde siguiendo con la metodología de la hora 15, esta se sigue tomando como referencia para mostrar los resultados en cuanto a un análisis evaluativo a manera de ejemplo, teniendo en cuenta que el procedimiento de análisis de índices THD que se realiza en esta hora es el mismo para todas las horas en una día (24 horas).

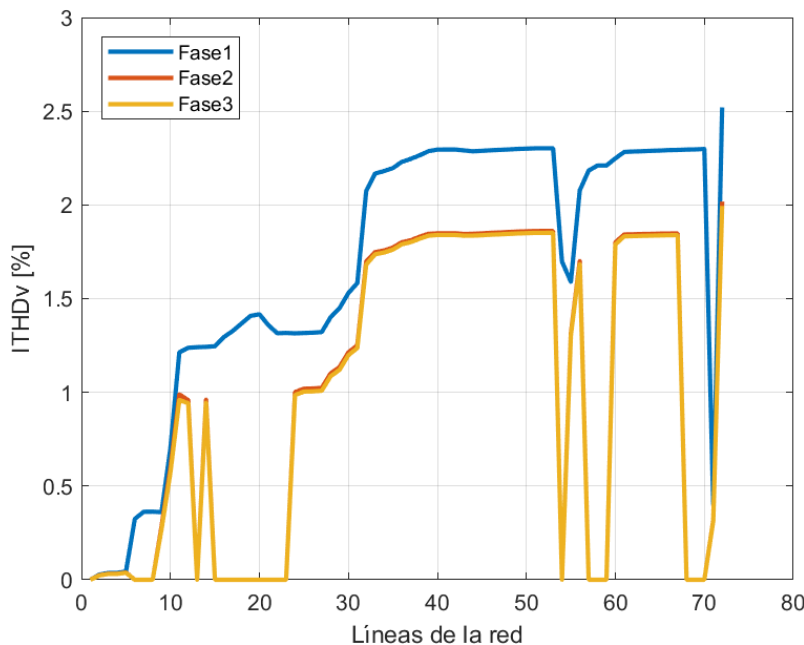


Figura 6.3. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 15.
Fuente elaboración propia.

Por consiguiente, al caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos caso base se le hace una modificación en cuanto a valores de voltaje para cada carga, pues solo se coloca el valor exacto para la hora 15, tal como se observa en el código 8.2.2. del anexo B. Luego nuevamente utilizando los algoritmos descritos en el ítem

5.5.10. para su respectivo calculo y representación gráfica en el software Matlab se obtiene el comportamiento de $ITHD_v$ y $ITHD_i$.

En la figura 6.3. se muestra el comportamiento de $ITHD_v$ de la red de distribución en caso base para la hora 15 realizado, donde se observan todos los armónicos existentes en cada línea cuantificados numéricamente destacando un valor promedio del 2.3% para la fase 1 y de 1.8% en las fases 2 y 3 de las respectivas líneas trifásicas.

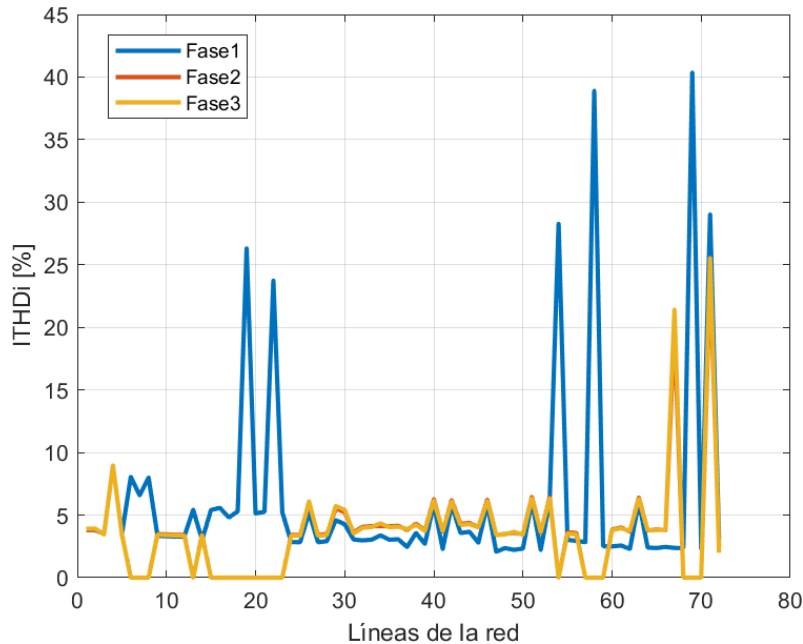


Figura 6.4. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente ($ITHD_i$) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 15. Fuente elaboración propia.

Asimismo, en la figura 6.4. se muestra el comportamiento de $ITHD_i$ de la red de distribución en caso base para la hora 15 realizado, donde se observan todos los armónicos existentes respecto a la corriente destacando un valor promedio del 39% en las tres fases de las respectivas líneas trifásicas.

De acuerdo con el cálculo para encontrar el valor de ϕ_1 y luego el factor de potencia de la carga S860 en la hora 15 utilizando la ecuación 3.13., este último, tiene un valor de 0.786, que se tendrá muy en cuenta al compararse con los resultados de simulación de flujo de carga armónico en potencia cuando se corrige el factor de potencia o se diseñen los filtros de rechazo, y se desea verificar si el diseño se cumplió fielmente a cabalidad.

6.2. Escenario 1: Caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia

Como el factor de potencia calculado en las cargas para la hora 15 es menor a 0.9, como es el caso de la carga S860; se requirió corregirlo, lo que se hizo e implementó en OpenDSS basado en los ítems 5.5.5. y 5.5.6., obteniendo un código de la red de distribución como el que se muestra en 8.2.3. del anexo B. Luego nuevamente utilizando los algoritmos descritos en el ítem 5.5.10. para el respectivo calculo y representación gráfica en el software Matlab se obtiene el comportamiento de $ITHD_v$ y $ITHD_i$.

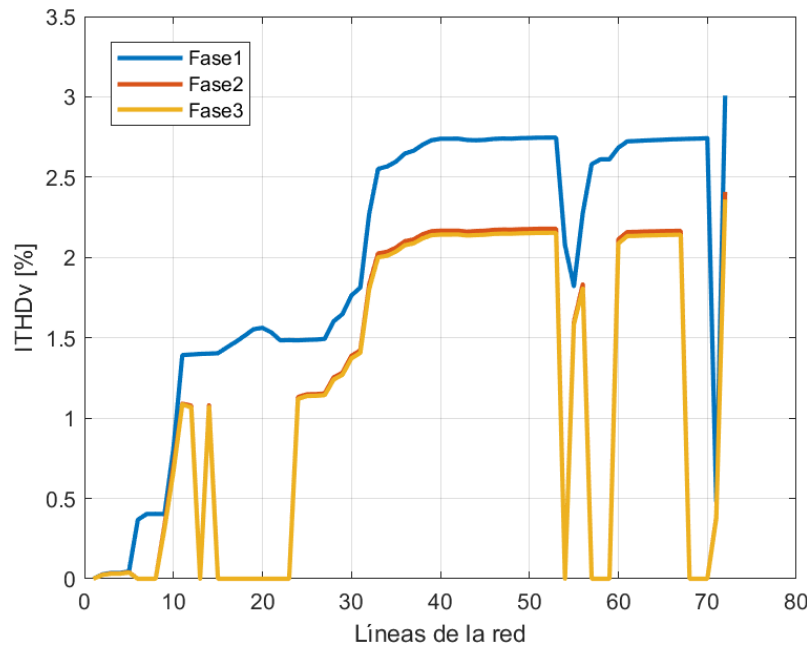


Figura 6.5. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 15. Fuente elaboración propia.

En la figura 6.5. se muestra el comportamiento de $ITHD_v$ de la red de distribución con banco de condensadores para corrección de factor de potencia en la hora 15, donde se observa un aumento del 0.5% en el $ITHD_v$ para la fase 1 y del 0.4% en las fases 2 y 3, respecto al caso base anterior.

En la figura 6.6. se muestra el comportamiento de $ITHD_i$ de la red de distribución con banco de condensadores para corrección de factor de potencia en la hora 15, donde se observa un aumento del 5% en el $ITHD_i$ de las tres fases respecto al caso base anterior.

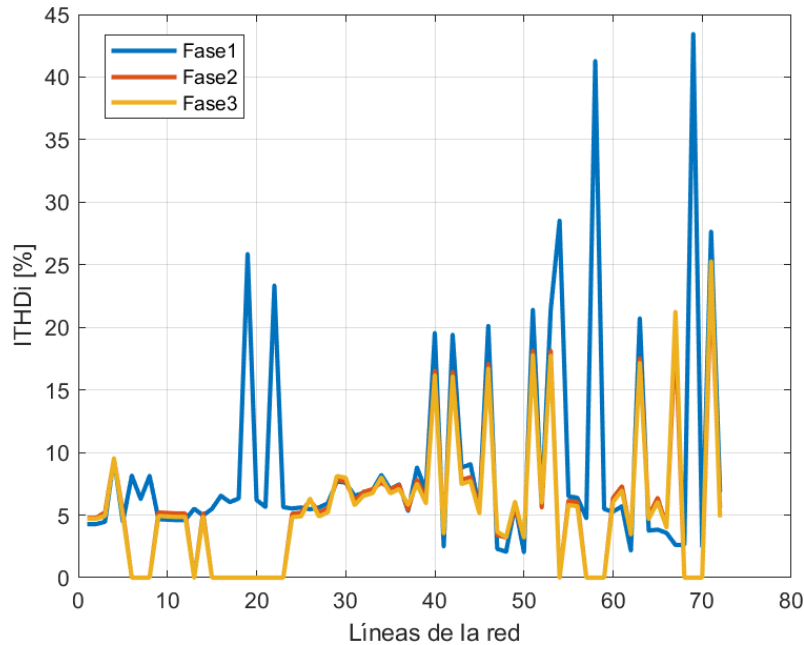


Figura 6.6. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 15. Fuente elaboración propia.

Por lo tanto, es posible deducir que los armónicos tanto en voltaje como en corriente de la red se amplifican en un bajo porcentaje respecto al caso base de la misma red. No obstante, este efecto de amplificación se observa mejor en el siguiente escenario.

Bus	Phase	kW	+j	kvar	kVA	PF
ELEMENT = "Line.L17D"						
860	1	21.7	+j	7.0	22.9	0.9514
860	2	30.5	+j	9.9	32.1	0.9513
860	3	27.8	+j	9.0	29.2	0.9512
TERMINAL TOTAL .		80.1	+j	26.0	84.2	0.9513
B860	1	-21.8	+j	-7.2	22.9	0.9500
B860	2	-30.5	+j	-10.0	32.1	0.9500
B860	3	-27.8	+j	-9.1	29.3	0.9500
TERMINAL TOTAL .		-80.1	+j	-26.3	84.3	0.9500

Figura 6.7. Resultados de simulación de flujo de carga armónico en potencia de la carga S860 de la red de distribución 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 15. Fuente elaboración propia.

Incluso, con el fin de verificar si la corrección del factor de potencia fue correcta, se simuló el flujo de carga armónico en potencia para todas las cargas que la requirieron. Para ejemplificar, se toma la carga Spot conectada al nodo 860 ubicado en la línea 17d de la red de distribución 34 nodos, de la cual se obtienen los resultados de la figura 6.7., acá se puede evidenciar que efectivamente se corrigió el factor de potencia pues tiene un valor de 0.95 con respecto al caso base anterior en donde se calculó que era de 0.786.

6.3. Escenario 2: Caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y con fuentes de armónicos 6PULSOS

En el escenario 1 previamente se simuló el modelado de la red de distribución 34 nodos con bancos de condensadores para corrección de potencia donde se evidencia a través de los índices THD una pequeña amplificación de los armónicos. De esta manera, en este escenario se colocaron fuentes de armónicos de tipo inversor de 6 pulsos emuladas con base en el ítem 5.5.7., conectadas en paralelo al banco de condensadores y la carga utilizando OpenDSS, quedando un código como el que se muestra en 8.2.4. del anexo B. Luego nuevamente utilizando los algoritmos descritos en el ítem 5.5.10. para el respectivo calculo y representación gráfica en el software Matlab se obtiene el comportamiento de $ITHD_v$ y $ITHD_i$.

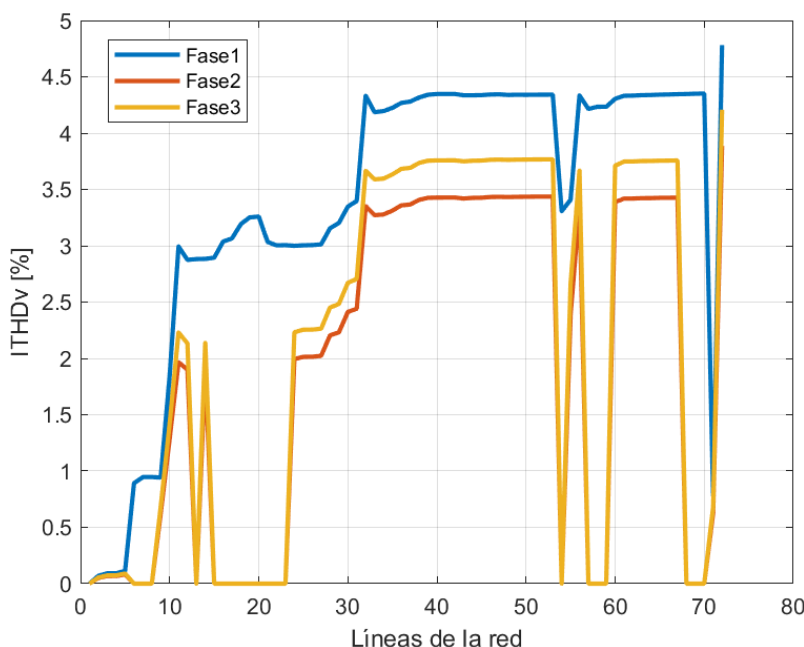


Figura 6.8. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.

En la figura 6.8. se observa un aumento del 1.6% en el $ITHD_v$ en las tres fases, con respecto al escenario 1, y un aumento del 2.05% en el $ITHD_v$ con respecto al caso base.

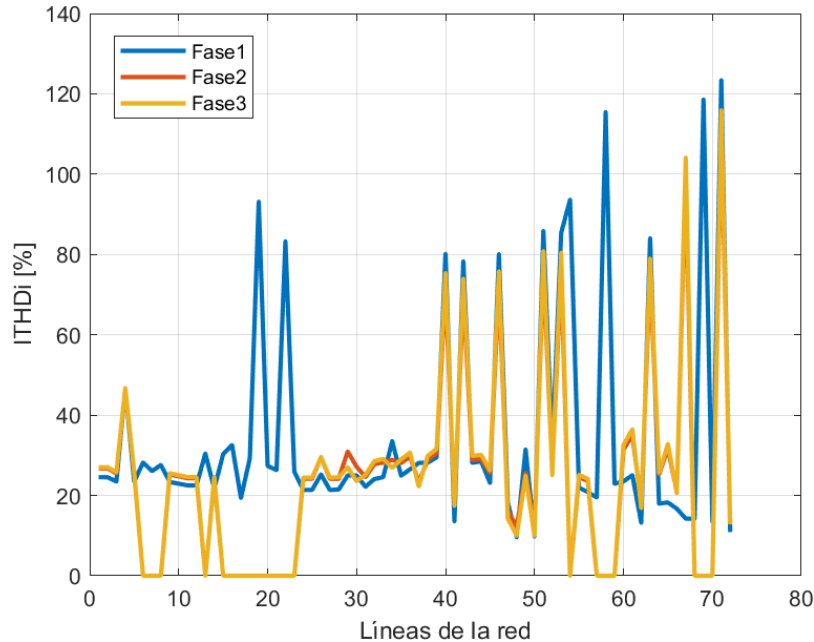


Figura 6.9. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.

En la figura 6.9. se observa un aumento del 76% en el $ITHD_i$ de las tres fases con respecto al escenario 1, y un aumento del 81% en el $ITHD_v$ con respecto al caso base.

Por lo tanto, es posible deducir que los armónicos tanto en voltaje como en corriente de la red se amplifican en un alto porcentaje respecto al escenario 1 y al caso base de la red de distribución 34 nodos, cuando se le inyectan fuentes de armónicos al sistema.

Incluso, con el fin de observar cómo se comporta el factor de potencia al añadir las fuentes de armónicos a la red, se simuló el flujo de carga armónico en potencia para todas las cargas que la requirieron. Para ejemplificar, se toma la carga Spot conectada al nodo 860 ubicado en la línea 17d de la red de distribución 34 nodos, de la cual se obtienen los resultados de la figura 6.10., donde se muestra que el factor de potencia previamente corregido se redujo a un valor de 0.674 por el efecto de las fuentes de armónicos, lo que claramente demuestra el alto nivel de carga armónica.

Bus	Phase	kW	+j	kvar	kVA	PF
ELEMENT = "Line.L17D"						
860	1	10.7	+j	11.5	15.7	0.6793
860	2	12.6	+j	13.6	18.6	0.6798
860	3	12.1	+j	13.1	17.8	0.6786
TERMINAL TOTAL .		35.4	+j	38.3	52.2	0.6793
B860	1	-10.7	+j	-11.7	15.9	0.6741
B860	2	-12.6	+j	-13.8	18.7	0.6741
B860	3	-12.1	+j	-13.3	18.0	0.6741
TERMINAL TOTAL .		-35.4	+j	-38.8	52.6	0.6741

Figura 6.10. Resultados de simulación de flujo de carga armónico en potencia de la carga S860 de la red de distribución 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.

6.4. Escenario 3: Caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos sin banco de condensadores para corrección de factor de potencia y con fuentes de armónicos 6PULSOS

En el escenario 2 previamente se simuló el modelado de la red de distribución 34 nodos con bancos de condensadores para corrección de potencia y con fuentes de armónicos de 6 pulsos donde se evidencia a través de los índices THD una alta amplificación de los armónicos.

De esta manera, para analizar como los condensadores amplifican los armónicos, en este escenario se quitaron los bancos de condensadores que corrigen el factor de potencia, dejando solamente las fuentes de armónicos de tipo inversor de 6 pulsos emuladas con base en el ítem 5.5.7., conectadas en paralelo a la carga utilizando OpenDSS, manteniendo así la carga armónica, quedando un código como el que se muestra en 8.2.5. del anexo B.

Luego nuevamente utilizando los algoritmos descritos en el ítem 5.5.10. para su respectivo calculo y representación gráfica en el software Matlab se obtiene el comportamiento de $ITHD_v$ y $ITHD_i$.

En la figura 6.11. se observa una disminución del 1.8% en el $ITHD_v$ en las tres fases, con respecto al escenario 2, y un aumento del 0.311% en el $ITHD_v$ con respecto al caso base.

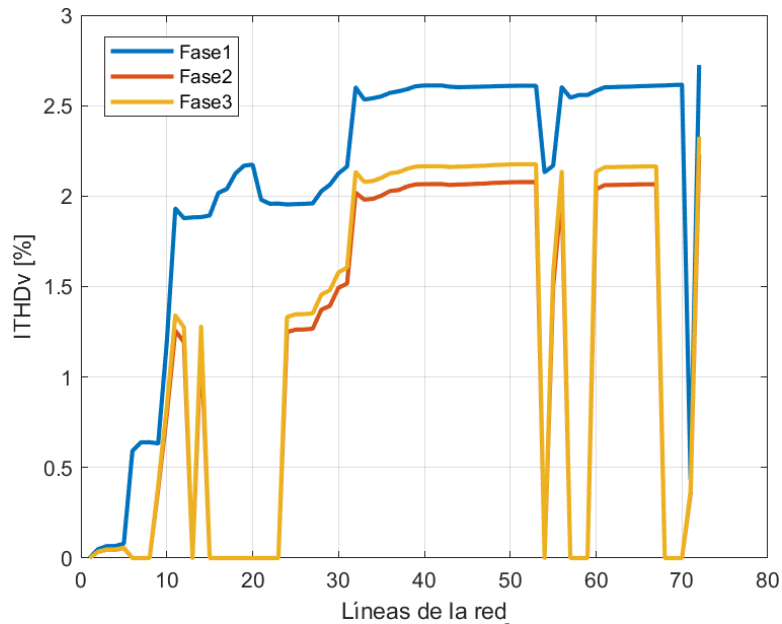


Figura 6.11. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.

En la figura 6.12. se observa una disminución del 38% en el ITHDi en las tres fases, con respecto al escenario 2, y un aumento del 43% en el ITHDi con respecto al caso base.

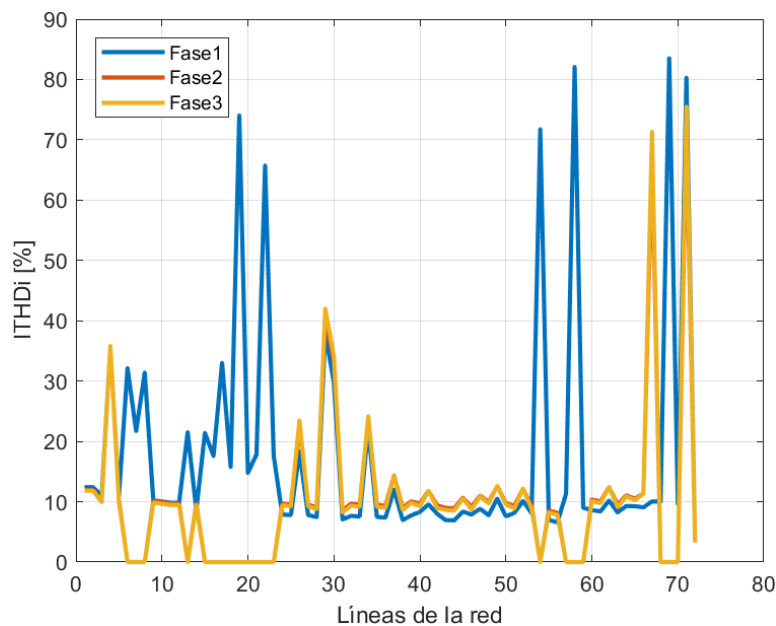


Figura 6.12. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.

Por lo tanto, es posible deducir que los armónicos tanto en voltaje como en corriente de la red se disminuyen en un alto porcentaje respecto al escenario 2, lo que quiere decir, que los condensadores tienen un gran efecto amplificador de armónicos en la red. Sin embargo, con respecto al caso base de la red de distribución 34 nodos, en este escenario se observa un aumento de porcentaje medio al tener presencia de carga armónica debido a las fuentes de armónicos, así no se tengan bancos de condensadores.

Por consiguiente, con el fin de observar cómo se comporta el factor de potencia al quitar los bancos de condensadores y dejar solamente las fuentes de armónicos en la red, se simuló el flujo de carga armónico en potencia de todas las cargas que requirieron PFC. Para ejemplificar, se toma la carga Spot conectada al nodo 860, de la cual se obtienen los resultados de la figura 6.13., donde se muestra que el factor de potencia se redujo excesivamente a 0.357, ya que se le quitó el banco de condensadores para corrección de factor de potencia y por el efecto de las fuentes de armónicos se tiene un nivel de carga relativamente bajo.

Bus	Phase	kW	+j	kvar	kVA	PF
ELEMENT = "Line.L17D"						
860	1	9.7	+j	25.1	26.9	0.3586
860	2	11.7	+j	30.3	32.5	0.3593
860	3	11.1	+j	29.0	31.1	0.3585
TERMINAL TOTAL .		32.5	+j	84.5	90.5	0.3588
B860	1	-9.7	+j	-25.3	27.1	0.3569
B860	2	-11.7	+j	-30.5	32.7	0.3569
B860	3	-11.1	+j	-29.2	31.2	0.3569
TERMINAL TOTAL .		-32.5	+j	-85.0	91.0	0.3569

Figura 6.13. Resultados de simulación de flujo de carga armónico en potencia de la carga S860 de la red de distribución 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 15. Fuente elaboración propia.

6.5. Escenario 4: Caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos con filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores y con fuentes de armónicos 6PULSOS

En el escenario 3 previamente se simuló el modelado de la red de distribución 34 nodos quitando los bancos de condensadores demostrando como aumentan en exceso los armónicos así corrijan el factor de potencia de las cargas que lo requieran, dejando solamente las fuentes de armónicos de 6 pulsos donde se evidencia a través de los índices THD una baja amplificación de los armónicos con respecto al escenario 2 y una alta amplificación con respecto al caso base. En este escenario se quiere observar el efecto de disminución de armónicos teniendo banco de condensadores para corrección de factor de potencia y a la vez fuentes de armónicos de 6 pulsos, para ello, se diseñaron filtros de reactancias de rechazo

siguiendo la metodología que se muestra en el ítem 5.5.8. con el ejemplo para la carga S860, y se implementaron en el modelado de caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos construido en OpenDSS, tal como se describe en el ítem 5.5.9., quedando un código como el que se muestra en 8.2.6. del anexo B.

Luego nuevamente utilizando los algoritmos descritos en el ítem 5.5.10. para su respectivo calculo y representación gráfica en el software Matlab se obtiene el comportamiento de $ITHD_v$ y $ITHD_i$.

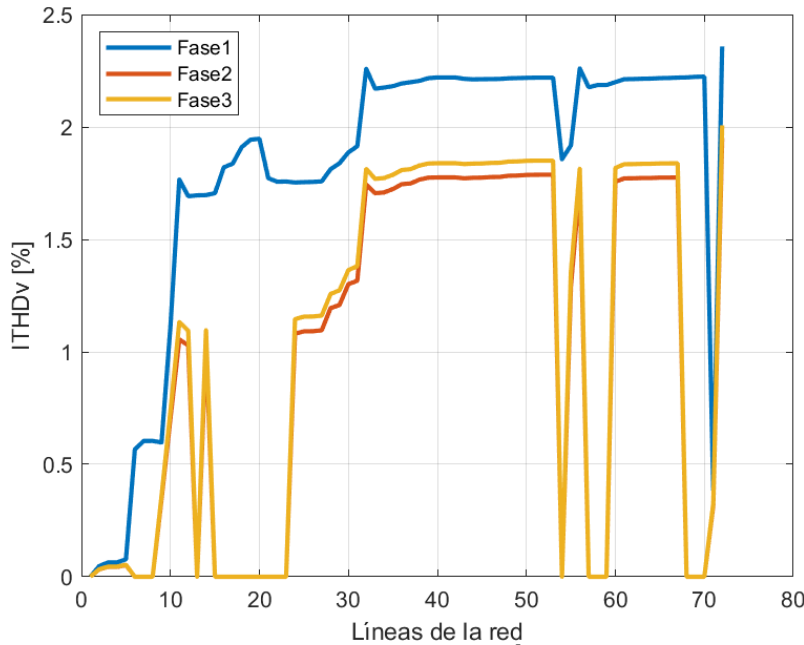


Figura 6.14. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en voltaje ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 15. Fuente elaboración propia.

En la figura 6.14. se observa una disminución del 0.39% en el $ITHD_v$ en las tres fases, con respecto al escenario 3, y una disminución del 0.08% en el $ITHD_v$ con respecto al caso base. De esta manera, se evidencia que los filtros de reactancias de rechazo disminuyen e inclusive alcanzan a eliminar los armónicos de voltaje en un bajo porcentaje si se compara con el caso base de la red, así se tengan banco de condensadores con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Por tanto, se probó la eficacia de los filtros de reactancias de rechazo para eliminar levemente los armónicos de voltaje de cada línea del caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos específicamente para la hora 15.

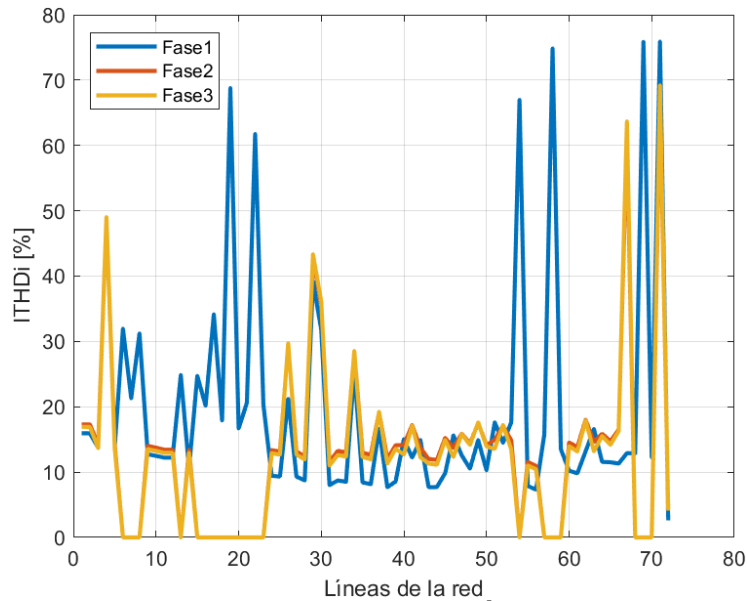


Figura 6.15. Gráfico de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en corriente (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 15. Fuente elaboración propia.

En la figura 6.15. se observa una disminución del 6% en el ITHDi en las tres fases, con respecto al escenario 3, y un aumento del 37% en el ITHDi con respecto al caso base. Por lo tanto, es posible deducir que los armónicos en corriente de la red se disminuyen en un bajo porcentaje respecto al escenario 3, lo que quiere decir, que las fuentes de armónicos ante el efecto de los filtros de rechazo no amplifican los armónicos de la red. Sin embargo, con respecto al caso base de la red de distribución 34 nodos, en este escenario se observa un aumento de alto porcentaje de armónicos en corriente, así se tengan filtros de rechazo. De este modo, comparando con los armónicos de corriente del caso base, los filtros de reactancias de rechazo conectados a las cargas que requieren corrección de factor de potencia del caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos específicamente para la hora 15, no mitigan este tipo de armónicos, es más los aumentan en un porcentaje medio cuando se tiene presencia de carga armónica ocasionada por las fuentes de armónicos de 6 pulsos.

Esto se debe, a que al implementar las reactancias de rechazo en el modelado de la red de distribución IEEE 34 nodos a través de OpenDSS, tal como se muestra en el código 8.2.6. del anexo B, se colocaron a los condensadores los valores de voltaje [kV] y potencia reactiva del banco [kVAr] calculados, no en el diseño de los filtros, sino en el cálculo de corrección de factor de potencia, debido a que están bastante aproximados, pues los bancos de condensadores que se calcularon en el diseño de filtros de reactancias de rechazo tienen un valor tanto de voltaje como potencia reactiva aproximadamente un poco más alto, que los que se calcularon para la corrección de factor de potencia, por efectos de la frecuencia de sintonía y el factor de sobretensión.

No obstante, para este análisis se usaron los valores de potencia exactos que se hallaron en la corrección de factor de potencia siguiendo la metodología presentada en el ítem 5.5.5., junto con las impedancias de las reactancias obtenidas en el diseño de los filtros siguiendo la metodología presentada en el ítem 5.5.8., por lo que, el efecto de disminución de armónicos en corriente utilizando los filtros de rechazo partiendo del caso base, no se evidencia claramente haciendo que aumenten algunos porcentajes de armónicos de corriente en la red de distribución IEEE 34 nodos.

Bus	Phase	kW	+j	kvar	kVA	PF
ELEMENT = "Line.L17D"						
860	1	10.9	+j	8.5	13.8	0.7877
860	2	12.9	+j	10.0	16.3	0.7880
860	3	12.3	+j	9.6	15.6	0.7869
TERMINAL TOTAL .		36.0	+j	28.2	45.8	0.7875
B860	1	-10.9	+j	-8.7	14.0	0.7817
B860	2	-12.8	+j	-10.2	16.4	0.7817
B860	3	-12.3	+j	-9.8	15.7	0.7817
TERMINAL TOTAL .		-36.0	+j	-28.8	46.1	0.7817

Figura 6.16. Resultados de simulación de flujo de carga armónico en potencia de la carga S860 de la red de distribución 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 15. Fuente elaboración propia.

Finalmente, se simuló el flujo de carga armónico en potencia para todas las cargas. Para ejemplificar, se toma la carga Spot conectada al nodo 860, de la cual se obtienen los resultados de la figura 6.16., donde se evidencia que el factor de potencia se aumentó a 0.7817, después de estar en 0.357 en el escenario 3, comprobando que los filtros de reactancias de rechazo si disminuyen los armónicos en la red de distribución analizada en la hora 15. Sin embargo, no los elimina del todo, como se observó en los índices de armónicos en corriente, de tal manera que el factor de potencia no llega a estar igual o mayor a 0.9 como lo establece el estándar de la resolución CREG 015 de 2018.

Los cuatro escenarios mostrados realizados para la hora 15 muestran efectos de amplificación y disminución armónica, también se llevaron a cabo para cada una de las horas durante un día (24 horas), donde se verificó el mismo comportamiento de los índices de distorsión armónica total, sin embargo no se observó el efecto de eliminación de armónicos en todas las horas (ver anexo D), para ello, se ejecutaron los mismos cálculos de diseño de corrección de factor de potencia y filtros de reactancias de rechazo que se hicieron para el ejemplo de la carga "S860", en las otras cargas restantes del caso de estudio red de distribución para cada hora, realizando los respectivos modelados y simulaciones en OpenDSS, siguiendo la ruta metodológica que se estableció en este documento para la hora 15.

7. Conclusiones y Trabajos futuros

Una de las principales razones de hacer la propuesta de caso de estudio con el modelo de pruebas sistema IEEE 34 nodos, es que este tiene un bajo factor de potencia en la mayoría de las cargas (valores entre 0.7 y 0.8) lo cual permitió realizar un análisis del factor de potencia en diferentes componentes de la red.

El software de simulación OpenDSS se eligió para implementar el caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos propuesto, debido a que al modelar sistemas de distribución en líneas de código y comandos se tiene una perspectiva de modelado diferente a la esquemática, lo que ofrece una oportunidad novedosa en investigación y aprendizaje. Además, tiene en cuenta cargas que varían con el tiempo durante un día, lo que provee la posibilidad de presenciar condiciones en tiempo real para el sistema.

El caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodos en caso base para cada hora, presentó una contaminación armónica en corriente y voltaje relativamente baja, que es cuantificada a través de los índices de distorsión armónica total. Esto se debe a tener un $ITHD_i$ mayor al 10% y menor al 50%, ya que esto significa que el sistema presentó una contaminación significativa según estándares normativos propuestos por IEEE 519.

El cálculo de corrección de factor de potencia es necesario en los sistemas de distribución, ya que trae consigo numerosos beneficios tanto económicos como técnicos, no obstante, al haberse integrado a cada carga que lo requirió en la red, el banco de condensadores se convirtió en un gran amplificador de armónicos, ya que entró en efecto de resonancia por la bobina del transformador, haciendo que los índices de $ITHD_v$ y $ITHD_i$ se incrementen en un 0.5% y un 5% respectivamente respecto al caso base, por lo cual, los armónicos se amplificaron cuantitativamente en un porcentaje bajo.

La instalación de fuentes de armónicos de cualquier tipo refleja un impacto severo en una red de distribución, por alto nivel de carga armónico ligado a contrarrestar la corrección de factor de potencia cuya implementación habría resuelto el problema de un bajo indicador en las cargas.

En el escenario 2 para la hora 15 se observó un alto porcentaje de incremento en $ITHD_v$ de 1.6% y $ITHD_i$ de 76% con respecto al escenario 1, donde previamente ya se tenía presencia de armónicos por efecto de los condensadores. Igualmente, con respecto al caso base también se evidenció alta amplificación armónica debido a que los rectificadores de tipo inversor de 6 pulsos generaron gran cantidad de armónicos con el quinto armónico como preponderante, teniendo corrientes consumidas de alta presencia armónica e $ITHD_i$.

De acuerdo con estándares límites propuestos por la norma IEEE 519, en el escenario 2 el $ITHD_v$ fue de 4.4%, valor que es menor al 5%, por lo que aún con

fuentes de armónicos y bancos de condensadores para PFC el sistema tuvo buen funcionamiento en términos de voltaje, pero funcionó casi a la máxima capacidad. Caso contrario con el $ITHD_i$ pues al haber tenido un valor de 120%, el cual es mayor al 50%, se tuvo un sistema con pésimo funcionamiento en corriente.

El efecto de amplificación armónica a la red de distribución por parte de los condensadores para corrección de factor de potencia se pudo observar en el escenario 3 cuando estos se quitaron y solo se dejaron las fuentes de armónicos de 6 pulsos. Debido a que, para la hora 15 se observó un alto porcentaje de disminución en $ITHD_v$ de 1.8% e $ITHD_i$ de 38% con respecto al escenario 2, donde previamente ya se tenía alta presencia de armónicos.

En el escenario 3 el $ITHD_v$ se redujo a un valor de 2.6%, que es menor al 5%, por lo que al haber quitado los condensadores el sistema mejoró en cuanto a su funcionamiento en términos de voltaje según norma IEEE 519. El $ITHD_i$ también se redujo a un valor de 82%, pero este es mayor al 50%, por lo que aun habiendo quitado los condensadores el sistema siguió teniendo pésimo funcionamiento en cuanto a armónicos de corriente, lo que hizo reducir aún más el factor de potencia de cada una de las cargas.

Con la aplicación de los filtros pasivos de reactancias de rechazo, se observó un efecto de disminución armónica en el escenario 4. El $ITHD_v$ se redujo a un valor de 2.21%, que es mucho menor a 5%, por lo cual, el sistema presentó un mejor funcionamiento que el mismo caso base según norma IEEE 519, ya que con el filtro pasivo no solo se disminuyeron armónicos producidos por las fuentes de 6 pulsos, sino que también se eliminaron pocos armónicos de voltaje que estaban presentes originalmente en la red de distribución IEEE 34 nodos; cabe resaltar que dicho fenómeno no se observó en todas las horas, esto debido a que cada hora tuvo una variación distinta en armónicos de acuerdo al perfil de voltaje y potencia.

Los filtros pasivos presentaron desventajas en corriente, ya que, cuando se disminuyó el $ITHD_i$ colocando los filtros LC, lo hizo en un porcentaje bajo quedando un valor de 76% para la hora 15, donde según los estándares propuestos por la norma IEEE 519 es mayor a 50%, por lo que, el sistema aún tenía un pésimo funcionamiento, empeorando incluso el $ITHD_i$ original del caso base. Este problema se debió a que se usaron los valores de capacitancia que se hallaron en PFC junto con las impedancias de las reactancias obtenidas en el diseño de los filtros, sin haber usado los valores de condensadores que aquí también se calcularon y tuvieron una capacitancia poco mayor a la calculada en PFC.

El efecto de disminución de armónicos en corriente utilizando los filtros de rechazo partiendo del caso base, no se evidenció claramente haciendo que aumente algunos porcentajes de armónicos de corriente en la red de distribución IEEE 34 nodos. Otra forma de verlo es con el factor de potencia pues al haber colocado los filtros pasivos este mejoró significativamente con respecto al escenario 3, pero nunca llegó a estar igual o mayor a 0.9, que es el límite según resolución CREG 015 de 2018. Por lo que una futura investigación estaría enfocada en colocar solamente los valores de

condensadores e impedancias de reactancias que se hallaron en el diseño de reactancias de rechazo, para ver si mejora la gestión de armónicos de corriente y si se logra disminuir el $ITHD_i$ menor al 10%, con el objetivo de tener un correcto funcionamiento del sistema según normativas propuestas por norma IEEE 519.

Los filtros pasivos LC con reactancias de rechazo mitigaron armónicos de voltaje así se hayan tenido bancos de condensadores y fuentes de armónicos, lo que los convierte en la forma más factible y económica de obtener calidad energética.

Con respecto a filtros pasivos usados para gestión de armónicos, existen en la actualidad pocos proyectos avanzados con OpenDSS en la implementación de este tipo de sistemas, por lo que es de especial interés el modelado de redes de distribución con alta carga industrial, mucho menos investigadas con este software. Por lo que algunos de los trabajos futuros podrían ser:

Partiendo de que la evaluación de filtros pasivos realizada en este proyecto de grado está enfocada en un análisis diario por horas, es decir, que solo se observaron índices de THD por hora. Un trabajo futuro estaría encaminado a obtener índices normalizados de THD, pero no por hora en un análisis diario, sino más bien encontrar la manera de verificar la mitigación de armónicos por parte de los filtros pasivos en un sistema en tiempo completo.

Probar otros modelos de pruebas sistemas IEEE con un número mayor de nodos. Haciendo más interesante el estudio de evaluativo de gestión armónico con filtros pasivos LC.

Modelar el comportamiento dinámico de las temperaturas de los elementos de la red. Para considerar las pérdidas en forma de calor y la variación en la eficiencia de los dispositivos, pues esto también podría ser una causa de afectación en amplificación de armónicos en corriente por parte de los filtros LC.

Utilizar otros modos de solución que ofrece OpenDSS como el Duty cycle, que simula ciclos de trabajo con incrementos de 1 a 5 segundos, útil para el análisis de la generación de energía de las renovables o el comportamiento transitorio de ciertos dispositivos, con el objetivo de realizar una evaluación de filtros pasivos para la gestión de armónicos en redes de distribución con penetración de energías renovables, obteniendo resultados que van enfocados a la eficiencia energética.

Realizar esta misma evaluación de filtros pasivos para gestionar armónicos en redes de distribución industriales IEEE 34 nodos, con otro software de simulación basado en líneas de código, como por ejemplo pandapower, con el fin de poder tener otro tipo de resultados aptos que comparar con los obtenidos en este proyecto de grado.

Optimizar los filtros pasivos LC utilizando un algoritmo con un tipo determinado de técnicas de optimización, para saber en qué momento es necesario aplicarse la gestión armónica y a que cargas industriales en específico, con el objetivo de que la red de distribución sea más eficiente y se reduzcan costos económicos.

8. Referencias Bibliográficas

- [1] José Izquierdo Franco. «Estudio de flujos de potencia y análisis de fallas en sistemas eléctricos de distribución radial». Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica - División de Estudios de Post-grado. Master's thesis. Monterrey, Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2002.
- [2] Gustavo L. Ferro. «Circuitos de corriente alterna». En: Electrotecnia - Universidad Nacional de Mar del Plata (2016), págs. 1-23.
- [3] Edison Alexander Rosero Rosero. «Corrección del factor de potencia en micro-redes eléctricas ante el peligro de resonancia por alta penetración de cargas no lineales». Facultad de Ingeniería Eléctrica. B.S. thesis. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [4] José María Maza Ortega. «Optimización de filtros pasivos para la compensación de reactiva y mitigación de armónicos en instalaciones industriales». Departamento de Ingeniería Eléctrica. Doctoral thesis. Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2001.
- [5] Resolución 09 de 1996 - Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) - 30 de enero, 1996. URL: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0009_1996.htm#:~:text=ARTICULO%5C%203o.-,ENERG%5C%C3%5C%8DA%5C%20REACTIVA.,de%5C%20la%5C%20respectiva%5C%20energ%5C%C3%5C%ADa%5C%20activa. (visitado 03-05-2023).
- [6] Alberto Rodríguez Hernández. «Gestión del flujo de potencia reactiva». En: Comisión de Regulación de Energía y Gas, Bogotá Colombia (2010).
- [7] Andrés Insuasty. «La penalización por reactivos según la CREG 015-2018: Un tema para no descuidar y mantener los costos de energía bajo control». En: Línea Productiva – Tercera Entrega - ISAGEN: Energía Productiva (2019).
- [8] Asea Brown Boveri S.A. «Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas». En: Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 8 - ABB (2010).
- [9] Mora Barajas y P Bañuelos-Sánchez. «Contaminación armónica producida por cargas no lineales de baja potencia: modelo matemático y casos prácticos». En: Ingeniería Investigación y Tecnología 11.002 (2010).
- [10] Aranda Mendoza y Jacob Rolando. «Análisis descriptivo de la amortiguación y eliminación de armónicos en sistemas eléctricos de potencia». En: Universidad Nacional del Centro del Perú (2015).

[11] Carlos Alberto Ríos Reyes, Ramón Alfonso Gallego Rendón y Marcelo Aristizábal Naranja. «ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS.» En: Scientia et technica 1.21 (2003), págs. 21-26.

[12] Estrella Esperanza Parra López. Análisis de armónicos en sistemas de distribución. 1ª edición. Vol. 14. Bogotá, Colombia: Univ. Nacional de Colombia, 2004.

[13] Gabriel López Solar. «Medida de armónicos en ambientes industriales». En: Técnica industrial 258 (2005), pág. 46.

[14] J Arrillaga, Jesús Arrillaga Garmendia y Luis Ignacio Eguiluz Morán. Armónicos en sistemas de potencia. Ed. por S.A. Electra de Viesgo. Cantabria, España: Servicio de publicaciones de la Universidad de Cantabria, 1994.

[15] Daphne Schwanz, Math Bollen y Anders Larsson. «A review of solutions for harmonic mitigation». En: 2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP). 2016, págs. 30-35. DOI: 10.1109/ICHQP.2016.7783422.

[16] Omar Cruz Hernández. «Mitigación de la distorsión armónica en redes eléctricas mediante filtrado híbrido activo-pasivo». Facultad de Ingeniería Eléctrica - División de estudios de posgrado - Maestría en ciencias en Ingeniería Eléctrica. B.S. thesis. Michoacán, Morelia, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2015.

[17] Sandile Dlamini, Innocent E. Davidson y Abayomi A. Adebisi. «Design and Application of the Passive Filters for Improved Power Quality in Stand-alone PV Systems». En: 2023 31st Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC). 2023, págs. 1-6. DOI: 10.1109/SAUPEC57889.2023.10057777.

[18] David Fernando Montoya Céspedes. «Mitigación del nivel de armónicos en un sistema eléctrico industrial mediante un filtro de armónico pasivo». Especialización en transmisión y distribución de energía. B.S. thesis. Medellín, Colombia: Escuela de Ingenierías - Universidad Pontificia Bolivariana, 2016.

[19] Samuel Ramírez Castaño. «Redes de distribución de energía». En: Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación (2004).

[20] Daniel Felipe Niño Fuentes. «Incidencia de las energías renovables no convencionales en la generación de energía eléctrica en Colombia sobre el nivel de cumplimiento del ODS 7 para el año 2030 mediante un análisis de escenarios». En: Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB - Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y contables (2020).

[21] L. Karsenti y M. Casanovas. «INDUSTRIALIZATION OF FRENCH SMART GRID SOLUTIONS FOR A MORE EFFICIENT, DIGITALIZED DISTRIBUTION

GRID». En: CIRED 2021 - The 26th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution. Vol. 2021. 2021, págs. 1361-1365. DOI: 10.1049/icp.2021.2189.

[22] Leonardo Xavier Álvarez Quito. «Impacto de la Generación Distribuida en la Red de Distribución». Disertación - Máster Universitario en Ingeniería Energética y Medioambiental. B.S. thesis. Leiria, Portugal: Instituto Politécnico de Leiria (Portugal), 2017.

[23] MohamadAli Amini, Alireza Jalilian y Milad Rahimi Pour Behbahani. «Fast network reconfiguration in harmonic polluted distribution network based on developed backward/forward sweep harmonic load flow». En: Electric Power Systems Research 168 (2019), págs. 295-304. ISSN: 0378-7796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.12.006>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779618304036>.

[24] Sayed Aldebawy, Abdelmonem Draz y Attia El-Fergany. «Harmonics Mitigation Using Passive Filters in Distribution Networks Penetrated with Photovoltaic power». En: 2022 23rd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON). 2022, págs. 1-5. DOI: 10.1109/MEPCON55441.2022.10021757.

[25] Rupali Brahmachary, Aniruddha Bhattacharya e Irfan Ahmed. «Allocation of Active Power Filter in Distribution Network Considering Nonlinear Loads». En: 2021 IEEE 2nd International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and Control (STPEC). 2021, págs. 1-6. DOI: 10.1109/STPEC52385.2021.9718732.

[26] O. P. Mahela et al. «Harmonic mitigation and power quality improvement in utility grid with solar energy penetration using distribution static compensator». English. En: IET Power Electronics 14.5 (2021). Cited By :10, págs. 912-922. URL: www.scopus.com.

[27] Qing Wang et al. «Optimal Allocation Method of SAPFs for Harmonic Loss Reduction in Distribution Networks Based on Multi-objective Particle Swarm Optimization». En: 2021 International Conference on Power System Technology (POWERCON). 2021, págs. 1769-1774. DOI: 10.1109/POWERCON53785.2021.9697777.

[28] Sathish Babu Pandu et al. «Power Quality Enhancement in Sensitive Local Distribution Grid Using Interval Type-II Fuzzy Logic Controlled DSTATCOM». En: IEEE Access 9 (2021), págs. 59888-59899. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3072865.

[29] M. Ahmed, N. -. Masood y T. Aziz. «An approach of incorporating harmonic mitigation units in an industrial distribution network with renewable penetration». English. En: Energy Reports 7 (2021). Cited By :10, págs. 6273-6291. URL: www.scopus.com.

[30] Rudi Darussalam et al. «Study of Harmonic Mitigation Techniques Based on Ranges Level Voltage Refer to IEEE 519-2014». En: 2020 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA). 2020, págs. 1-8. DOI: 10.1109/ICSEEA50711.2020.9306137.

[31] Sermsak Kor.srisuwan et al. «The Harmonic Mitigation in the Smelting Industry Connected to Active Distribution Network in Phetchaburi Province Using Single-Tuned Passive Harmonic Filters Considering Load Demand». En: 2022 International Conference on Power, Energy, and Innovations (ICPEI). 2022, págs. 1-4. DOI: 10.1109/ICPEI55293.2022.9986542.

[32] Kyriaki-Nefeli Malamaki, Georgios C. Kryonidis y Charis S. Demoulias. «Harmonic Mitigation in Low-Voltage Distribution Networks: Sensitivity Analysis». En: 2022 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST). 2022, págs. 1-6. DOI: 10.1109/SEST53650.2022.9898457.

[33] A. Kalair et al. «Review of harmonic analysis, modeling and mitigation techniques». English. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews 78 (2017). Cited By :162, págs. 1152-1187. URL: www.scopus.com.

[34] Anke Fröbel y Ralf Vick. «Chosen aspects for harmonic analysis in distribution networks». En: 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013). 2013, págs. 1-4. DOI: 10.1049/cp.2013.1148.

[35] Amir Taghvaie et al. «A Comprehensive Review of Harmonic Issues and Estimation Techniques in Power System Networks Based on Traditional and Artificial Intelligence/Machine Learning». En: IEEE Access 11 (2023), págs. 31417-31442. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3260768.

[36] Gu Ye et al. «Downstream Network Modeling With Generalized Distribution Networks for Harmonic Studies». En: IEEE Transactions on Power Delivery 35.5 (2020), págs. 2495-2505. DOI: 10.1109/TPWRD.2020.2970228.

[37] J. A. Yebra Morón. *Sistemas eléctricos de distribución*, 4ª ed., Barcelona, España: Reverté, 2021, pp. 2-3.

[38] J. D. Juárez Cervantes. *Sistemas de distribución de energía eléctrica*, 1ª ed., México, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco: Sans Serif, 1995, pp. 11-13.

[39] "Modeling and simulation of the propagation of harmonics in electric power networks. I. Concepts, models, and simulation techniques," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 11, no. 1, pp. 452-465, Jan. 1996, doi: 10.1109/61.484130.

[40] K. J. O'Reilly, *Análisis de la distorsión armónica en cargas no lineales aisladas y combinadas en los rangos 0-2 kHz y 2-9 kHz*, Master's thesis, Escuela Técnica

Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Universidad de Cantabria, Santander, España, 2020.

[41] F. Acevedo Donoso. (2002). “Componentes armónicas en redes de distribución eléctricas: conceptos, norma vigente en Chile y alternativas de solución al problema”, *Revista Marina*. [PDF]. Vol. 1; pp 2-3. Disponible en [<https://www.revistamarina.cl/revistas/2001/5/Acevedo.pdf>]

[42] G. López Solar. (2005). “Medida de armónicos en ambientes industriales”, *Técnica Industrial*. [PDF]. Vol. 258; pp 46-49. Disponible en [<https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/18/37/a37.pdf>]

[43] A. F. Aspano, *Análisis de anomalías eléctricas en instalaciones con cargas no lineales*, B. S. thesis, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, 2017.

[44] G. D. Fuentes y F. Martínez González, *Análisis de calidad de potencia mediante sistema de adquisición de datos*, thesis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile, 2016.

[45] Distorsión armónica total URL: <https://academia-lab.com/enciclopedia/distorsion-armonica-total/> (visitado 26-05-2023).

[46] S. C. Becerra, *Análisis de armónicos en redes residenciales*, B. S. thesis, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2017.

[47] R. Pinyol. (2016). “Armónicos: causas, efectos y minimización”, *SALICRU*. [PDF]. Vol. 4; pp 12-13. Disponible en [https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a00_whitepaper-armonics_.pdf]

[48] V. Gonzales Zamora. (2020). “Tipos de perdidas en transformadores”, *CITE energía: Lima / Silicon Technology*. [PDF]. Vol. 7; pp 3-4. Disponible en [http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2020/12/Ing.-Victor-Gonzales-Zamora_compressed-7.pdf]

[49] (2017). “Pérdidas magnéticas por corrientes de Foucault”, *UCO: Teoría y Tema*. [PDF]. Vol. 11; pp 1-2. Disponible en [http://www.uco.es/grupos/giie/cirweb/teoria/tema_11/tema_11_18.pdf]

[50] G. A. Luna Russi y D. L. González Herrera, *Evaluación del impacto de la generación distribuida en redes de distribución basado en la normatividad colombiana y estándares IEEE; caso de estudio: modelo de pruebas IEEE 34 nodos en OPENDSS*, thesis, Facultad de Ingeniería, Proyecto curricular de Ingeniería Eléctrica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia, 2013.

[51] ICONTEC, *NTC 5001 CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA. LÍMITES Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN EN PUNTO DE CONEXIÓN COMÚN*. Colombia, 2008.

[52] IEEE, IEEE 519 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems IEEE Recommended Practices and. 1992.

[53] K. G. Genovez Ramírez y B. F. Ureña Torres, *Modelo y análisis de armónicos en sistemas de distribución*, thesis, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2018.

[54] Diferencia entre coseno de phi y factor de potencia URL: <https://fornieles.es/perturbaciones-electricas/diferencia-coseno-phi-y-factor-potencia/> (visitado 27-05-2023).

[55] RAZONES TRIGONOMÉTRICAS URL: <https://www.universoformulas.com/matematicas/trigonometria/razones-trigonometricas/> (visitado 27-05-2023).

[56] Y. Kabir, Y. M. Mohsin and M. M. Khan, "Automated power factor correction and energy monitoring system," 2017 Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), Coimbatore, India, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICECCT.2017.8117969.

[57] A. Ortega Hernández, *corrección del factor de potencia y eliminación de corrientes armónicas en sistemas de baja tensión*, thesis, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, 2017.

[58] S. J. Méndez. (2015). "Capítulo 1: Corrección del factor de potencia", *Catarina: UDLAP*. [PDF]. Vol. 1; pp 6-20. Disponible en [\[http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/mendez_s_j/capitulo1.pdf\]](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/mendez_s_j/capitulo1.pdf)

[59] International Capacitors, S.A. (2016). "Corrección del factor de potencia", *Lifasa: REACTIVE POWER SOLUTIONS*. [PDF]. Vol. 3; pp 1-11. Disponible en [\[https://lifasa.com/pdf/CORRECCIÓN_FACTOR_POTENCIA.pdf\]](https://lifasa.com/pdf/CORRECCIÓN_FACTOR_POTENCIA.pdf)

[60] ABB: Power and productivity for a better world. (2020). "Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas", *Cuaderno de aplicaciones técnicas*. [PDF]. Vol. 8; pp 3-5. Disponible en [\[https://library.e.abb.com/public/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/1TXA007107G0701_CT8.pdf\]](https://library.e.abb.com/public/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/1TXA007107G0701_CT8.pdf)

[61] R. P. Perafan y I. Romero Sastoque, *Análisis de armónicos y su reducción por filtros*, thesis, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia, 1996.

[62] (2016). "Reactancias de filtrado", *CIRCUTOR: Protección y Control*. [PDF]. Vol. 7; pp 7-13. Disponible en https://www.cirsoft.com.bo/descargas/catalogos/cat_p7.pdf

[63] Batería de condensadores con FILTRO de RECHAZO. [Cálculo PASO a PASO] URL: <https://fornieles.es/energia-reactiva/%E2%9A%A1-bateria-de-condensadores-con-filtro-de-rechazo-calculo-paso-a-paso/> (visitado 26-05-2023).

[64] ¿Qué es OpenDSS? URL: <https://www.epri.com/pages/sa/opensdss> (visitado 03-05-2023).

[65] J. C. Ramírez Acero, *Desarrollo de una aplicación en el software Open DSS orientada a la simulación de un sistema de distribución en diferentes la simulación de un sistema de distribución en diferentes escenarios de operación escenarios de operación*, thesis, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de La Salle, Bogotá D.C., Colombia, 2019.

[66] W. H. Kersting, "Radial distribution test feeders," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 6, no. 3, pp. 975–985, 1991.

[67] "IEEE TASK FORCE ON LOAD REPRESENTATION FOR DYNAMIC PERFORMANCE," *IEEE, Trans. Power Syst.*, vol. 8, no. 2, pp. 472–482, 1995.

[68] R. Abu-Hashim and R. Burch, "Test systems for harmonics modeling and simulation," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 14, no. 2, pp. 579–587, 1999.

[69] EPRI, "OpenDSS Manual" marzo 2017. [En línea]. Disponible en: <https://sourceforge.net/projects/electricdss/files/OpenDSS/>.

[70] C. D. Vera Silva y A. R. Marulanda Guerra, «OPENDSS aplicado al modelamiento y simulación dinámica de microrredes», *VISIÓN ELECTRÓNICA: algo más que un estado sólido*, vol. 12, n.º 2, pp. 149–161, oct. 2018.

[71] L. de Melo Macedo, T. C. Severo, D. de Lima Oliveira y A. M. Bemardes (2021). "Análisis do aumento de consumidores do grupo A4 com geração distribuída fotovoltaica no sistema de distribuição", *SEPOC 2021: Studies in Multidisciplinary Review*. [PDF]. Vol. 3; pp 359-375. Disponible en <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/8877/TCC%20Leandro%20de%20Melo%20Macedo.pdf?isAllowed=y&sequence=1.pdf>

[72] Códigos de simulação da Rede Teste IEEE 34 Barras URL: <https://1library.org/article/arquivos-opensdss-c%C3%B3digos-simula%C3%A7%C3%A3o-rede-teste-ieee-barras.qmowvo5y> (visitado 09-06-2023).

[73] J. P. Claro Báez, *Modelado y simulación de Smart Grid con OpenDSS y Matlab*, thesis, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2016.

[74] tshort / OpenDSS / ieee34Mod2_SC_Case_II.dss URL:
[https://github.com/tshort/OpenDSS/blob/master/Distrib/IEEETestCases/ShortCircuitCases/ieee34Mod2_SC_Case_II.dss](https://github.com/tshort/OpenDSS/blob/master/Distrib/IEEE%20TestCases/ShortCircuitCases/ieee34Mod2_SC_Case_II.dss) (visitado 13-06-2023).

9. Anexos

9.1. Anexo A

9.1.1. Tablas de referencia para límites de índices de distorsión armónica total en corriente y voltaje

Tabla 9.1. Valores de referencia de THD_v. Adaptado de [50].

Rango de tensión	Distorsión armónica individual (%)	Distorsión armónica total THD _v (%)
1 kV < V _n ≤ 69 kV	3,0	5,0
69 kV < V _n ≤ 161 kV	1,5	2,5
V _n ≥ 161 kV	1,0	1,5

Tabla 9.2. Valores límite de distorsión de corriente armónica individual (D_i) y de distorsión total de demanda (TDD) en porcentaje de la corriente de carga (Armónicos Impares). Adaptado de [50].

Límites de distorsión en corriente para sistemas de distribución 120 V < V_n ≤ 69 kV

Relación I _{sc} /I _l	<11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 < h < 35	h ≥ 35	TDD
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

9.1.2. Código Interfaz COM: Matlab y OpenDSS

```
function [Start,Obj,Text] = DSSStartup
    % Función para poner en marcha el DSS

    % instanciar el objeto DSS
    Obj = actxserver('OpenDSEngine.DSS');
    %
    % Inicie el DSS. Solo necesita ser ejecutado la primera vez
    dentro de una
    % sesión de Matlab
    Start = Obj.Start(0);

    % Definir la interfaz de texto
    Text = Obj.Text;
```

9.2. Anexo B

9.2.1. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos caso base

La construcción del script del caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos caso base, se hace en base a las versiones actualizadas de ejemplo tomadas de los códigos de líneas IEEE que vienen por defecto en las referencias [50], [72] y [74], en los cuales se adaptan cargas balanceadas, curvas de carga y espectros armónicos, además de la configuración de simulación entre otros elementos descritos en la metodología de los ítems 5.4. y 5.5.

Clear //Limpiar antes de comenzar

New object= circuit.ieee34

~ basekv=69 pu=1.05 angle=30

MVAsc3=200000 //potencia de cortocircuito trifasico de la red//

MVAsc1=210000 //potencia de cortocircuito monofasica de la red//

! CURVAS DE DEMANDA

new loadshape.industrial 24 1.0

~ mult=(0.3 0.25 0.2 0.2 0.2 0.25 0.3 0.4 0.7 0.9 0.9 0.85 0.75 0.75 0.9 1 1 0.75 0.5 0.4 0.35 0.35 0.3 0.3)

! ESPECTROS ARMONICOS

New "Spectrum.PQY3" NumHarm=15 CSVFile=PQY3.csv

New "Spectrum.6PULSOS" NumHarm=15 CSVFile=6PULSOS.csv

! Transformador de subestación

New Transformer.SubXF Phases=3 Windings=2 Xhl=0.001 ppm=0 //Z muy bajo y sin reactancia de derivación añadida//

~ wdg=1 bus=sourcebus conn=Delta kv=69 kva=25000 %r=0.0005 //Establecer el %r muy bajo//

~ wdg=2 bus=800 conn=wye kv=24.9 kva=25000 %r=0.0005

! Transformador de carga Y-Y

New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08

~ wdg=1 bus=832 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95

~ wdg=2 bus=888 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95

! importar códigos de línea con matrices de impedancia de fase

Redirect IEEELineCodes34.dss

! Líneas

! Definir líneas y buses de punto medio

! NOTA: Dado que las unidades no se especifican para la longitud, se supone que coinciden con las unidades del código de línea

New Line.L1 Phases=3 Bus1=800.1.2.3 Bus2=802.1.2.3 LineCode=300 Length=2.58

! usar matemáticas en línea para dividir la longitud por 2

New Line.L2a Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=mid806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L2b Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L2c Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=midB806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L3 Phases=3 Bus1=806.1.2.3 Bus2=808.1.2.3 LineCode=300 Length=32.23

New Line.L4a Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=Mid810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L4b Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L4c Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=MidB810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L5 Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=812.1.2.3 LineCode=300 Length=37.5

New Line.L6 Phases=3 Bus1=812.1.2.3 Bus2=814.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73

New Line.L7 Phases=3 Bus1=814r.1.2.3 Bus2=850.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

New Line.L24 Phases=3 Bus1=850.1.2.3 Bus2=816.1.2.3 LineCode=301 Length=0.31

New Line.L8 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=818.1.2.3 LineCode=302 Length=1.71

New Line.L9 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)

New Line.L10a Phases=3 Bus1=818.1.2.3 Bus2=mid820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)

New Line.L10b Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)

New Line.L10c Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=midB820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)

New Line.L11a Phases=3 Bus1=820.1.2.3 Bus2=mid822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)

New Line.L11b Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)

New Line.L11c Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=midB822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)

New Line.L12a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)

New Line.L12b Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)

New Line.L12c Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=midB826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)

New Line.L13a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

New Line.L13b Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

New Line.L13c Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=midB828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

New Line.L14a Phases=3 Bus1=828.1.2.3 Bus2=mid830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L14b Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L14c Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=midB830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L14d Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=B830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L15 Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=854.1.2.3 LineCode=301 Length=0.52

New Line.L16a Phases=3 Bus1=832.1.2.3 Bus2=mid858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)

New Line.L16b Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)

New Line.L16c Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=midB858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)

New Line.L29a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)

New Line.L29b Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)

New Line.L29c Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=midB834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)

New Line.L18 Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=842.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L19a Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=mid840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L19b Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L19c Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=midB840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L19d Phases=3 Bus1=840.1.2.3 Bus2=B840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L21a Phases=3 Bus1=842.1.2.3 Bus2=mid844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L21b Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L21c Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=midB844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L21d Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=B844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L22a Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=mid846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L22b Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L22c Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=midB846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L23a Phases=3 Bus1=846.1.2.3 Bus2=mid848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L23b Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L23c Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=midB848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L23d Phases=3 Bus1=848.1.2.3 Bus2=B848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L26 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=856.1.2.3 LineCode=303 Length=(23.33 2 /)

New Line.L27 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=852.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83

! regulador aquí

New Line.L25 Phases=3 Bus1=852r.1.2.3 Bus2=832.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

! 9-17-10 858-864 cambiado a la fase A por informe de error

New Line.L28a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L28b Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L28c Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=midB864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L17a Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=mid860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L17b Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L17c Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=midB860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L17d Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=B860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L30a Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=mid836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L30b Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L30c Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=midB836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L20 Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=862.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L31a Phases=3 Bus1=862.1.2.3 Bus2=mid838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L31b Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L31c Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=midB838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L32 Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

New Line.L32a Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=B890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

! Reguladores - tres fases independientes

! Regulador 1

```

new transformer.reg1a phases=1 windings=2 buses=(814.1 814r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1a transformer =reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.7 X=1.6
new transformer.reg1b phases=1 windings=2 buses=(814.2 814r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1b transformer =reg1b winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.7 X=1.6
new transformer.reg1c phases=1 windings=2 buses=(814.3 814r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg1c transformer =reg1c winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.7 X=1.6

```

! Regulador 2

```

new transformer.reg2a phases=1 windings=2 buses=(852.1 852r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2a transformer =reg2a winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.5 X=1.5 delay=30
new transformer.reg2b phases=1 windings=2 buses=(852.2 852r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2b transformer =reg2b winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.5 X=1.5 delay=30
new transformer.reg2c phases=1 windings=2 buses=(852.3 852r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2c transformer =reg2c winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.5 X=1.5 delay=30

```

! cargas spot

```

New Load.S860 Bus1=B860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW=60.0 kVAR=48.0
spectrum=PQY3
New Load.S840 Bus1=B840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 27.0 kVAR=
21.0 spectrum=PQY3
New Load.S844 Bus1=B844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 405.0 kVAR=
315.0 spectrum=PQY3
New Load.S848 Bus1=B848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60.0 kVAR=
48.0 spectrum=PQY3
New Load.S830 Bus1=B830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 75.0 kVAR=
30.0 spectrum=PQY3
New Load.S890 Bus1=B890.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 4.160 kW= 450.0 kVAR=
225.0 spectrum=PQY3

```

! cargas distribuidas en medio de las líneas

```

New Load.D802_806 Bus1=midB806.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 90
kVAR= 45 spectrum=PQY3
New Load.D808_810 Bus1=midB810.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 48
kVAR= 24 spectrum=PQY3
New Load.D818_820 Bus1=midB820.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 34
kVAR= 17 spectrum=PQY3
New Load.D820_822 Bus1=midB822.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 135
kVAR= 70 spectrum=PQY3
New Load.D824_826 Bus1=midB826.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 120
kVAR= 60 spectrum=PQY3
New Load.D824_828 Bus1=midB828.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 12
kVAR= 6 spectrum=PQY3
New Load.D828_830 Bus1=midB830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 21
kVAR= 9 spectrum=PQY3

```

New Load.D832_858 Bus1=midB858.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 21
 kVAR= 9 spectrum=PQY3
 New Load.D858_864 Bus1=midB864.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 6
 kVAR= 3 spectrum=PQY3
 New Load.D858_834 Bus1=midB834.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 45
 kVAR= 24 spectrum=PQY3
 New Load.D834_860 Bus1=midB860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 60.0
 kVAR= 30 spectrum=PQY3
 New Load.D860_836 Bus1=midB836.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 126
 kVAR= 66 spectrum=PQY3
 New Load.D836_840 Bus1=midB840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 24.900 kW= 66
 kVAR= 33 spectrum=PQY3
 New Load.D862_838 Bus1=midB838.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 84
 kVAR= 42 spectrum=PQY3
 New Load.D842_844 Bus1=midB844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 27
 kVAR= 15 spectrum=PQY3
 New Load.D844_846 Bus1=midB846.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 75
 kVAR= 36 spectrum=PQY3
 New Load.D846_848 Bus1=midB848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV= 14.376 kW= 69
 kVAR= 33 spectrum=PQY3

! Vminpu.

! Definir la forma de carga diaria al valor predeterminado de DSS

Load.s860.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s840.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s844.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s848.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s830.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s890.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d802_806.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d808_810.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d818_820.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d820_822.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d824_826.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d824_828.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d828_830.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d832_858.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d858_864.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d858_834.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d834_860.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d860_836.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d836_840.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d862_838.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d842_844.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d844_846.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d846_848.vminpu=0.85 daily=industrial

! Vmax

Load.s860.vmaxpu=1.15
 Load.s840.vmaxpu=1.15
 Load.s844.vmaxpu=1.15
 Load.s848.vmaxpu=1.15
 Load.s830.vmaxpu=1.15
 Load.s890.vmaxpu=1.15
 Load.d802_806.vmaxpu=1.15
 Load.d808_810.vmaxpu=1.15
 Load.d818_820.vmaxpu=1.15

Load.d820_822.vmaxpu=1.15
 Load.d824_826.vmaxpu=1.15
 Load.d824_828.vmaxpu=1.15
 Load.d828_830.vmaxpu=1.15
 Load.d832_858.vmaxpu=1.15
 Load.d858_864.vmaxpu=1.15
 Load.d858_834.vmaxpu=1.15
 Load.d834_860.vmaxpu=1.15
 Load.d860_836.vmaxpu=1.15
 Load.d836_840.vmaxpu=1.15
 Load.d862_838.vmaxpu=1.15
 Load.d842_844.vmaxpu=1.15
 Load.d844_846.vmaxpu=1.15
 Load.d846_848.vmaxpu=1.15

New energymeter.M1 element=Line.L1 terminal=1

New monitor.TransSubXF_power element=Transformer.SubXF terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.TransSubXF_voltage element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0
 New monitor.TransSubXF_current element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0

New monitor.Line1_power element=Line.L1 terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.Line1_voltage element=Line.L1 terminal=1 mode=0
 New monitor.Line1_current element=Line.L1 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS860_power element=Line.L17d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS860_voltage element=Line.L17d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS840_power element=Line.L19d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS840_voltage element=Line.L19d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS844_power element=Line.L21d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS844_voltage element=Line.L21d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS848_power element=Line.L23d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS848_voltage element=Line.L23d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS830_power element=Line.L14d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS830_voltage element=Line.L14d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS890_power element=Line.L32a terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS890_voltage element=Line.L32a terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD802_806_power element=Line.L2c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD802_806_voltage element=Line.L2c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD808_810_power element=Line.L4c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD808_810_voltage element=Line.L4c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD818_820_power element=Line.L10c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD818_820_voltage element=Line.L10c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD820_822_power element=Line.L11c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD820_822_voltage element=Line.L11c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_826_power element=Line.L12c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_826_voltage element=Line.L12c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_828_power element=Line.L13c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_828_voltage element=Line.L13c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD828_830_power element=Line.L14c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD828_830_voltage element=Line.L14c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD832_858_power element=Line.L16c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD832_858_voltage element=Line.L16c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_864_power element=Line.L28c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD858_864_voltage element=Line.L28c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_834_power element=Line.L29c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD858_834_voltage element=Line.L29c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD834_860_power element=Line.L17c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD834_860_voltage element=Line.L17c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD860_836_power element=Line.L30c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD860_836_voltage element=Line.L30c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD836_840_power element=Line.L19c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD836_840_voltage element=Line.L19c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD862_838_power element=Line.L31c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD862_838_voltage element=Line.L31c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD842_844_power element=Line.L21c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD842_844_voltage element=Line.L21c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD844_846_power element=Line.L22c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD844_846_voltage element=Line.L22c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD846_848_power element=Line.L23c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD846_848_voltage element=Line.L23c terminal=1 mode=0

Set VoltageBases = "69,24.9,4.16"
 CalcVoltageBases

set controlmode=Static

! set mode=daily
 ! set number=24
 ! set stepsize=1h

! solve

!set mode=snapshot
 !solve

!set mode = harmonics

!solve

BusCoords IEEE34_BusXY.csv

9.2.2. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos caso base en la hora 15

La construcción del script del caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos caso base en la hora 15, se hace en base a las versiones actualizadas de ejemplo tomadas de los códigos de líneas IEEE que vienen por defecto en las referencias [50], [72] y [74], en los cuales se adaptan cargas balanceadas, curvas de carga y espectros armónicos, además de la configuración de simulación entre otros elementos descritos en la metodología de los ítems 5.4. y 5.5.

Clear

New object= circuit.ieee34

~ basekv=69 pu=1.05 angle=30

MVAsc3=200000

MVAsc1=210000

! CURVAS DE DEMANDA

new loadshape.industrial 24 1.0

~ mult=(0.3 0.25 0.2 0.2 0.2 0.25 0.3 0.4 0.7 0.9 0.9 0.85 0.75 0.75 0.9 1 1 0.75 0.5 0.4 0.35 0.35 0.3 0.3)

! ESPECTROS ARMONICOS

New "Spectrum.PQY3" NumHarm=15 CSVFile=PQY3.csv

New "Spectrum.6PULSOS" NumHarm=15 CSVFile=6PULSOS.csv

! Transformador de subestación

New Transformer.SubXF Phases=3 Windings=2 Xhl=0.001 ppm=0

~ wdg=1 bus=sourcebus conn=Delta kv=69 kva=25000 %r=0.0005

~ wdg=2 bus=800 conn=wye kv=24.9 kva=25000 %r=0.0005

! Transformador de carga Y-Y

New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08

~ wdg=1 bus=832 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95

~ wdg=2 bus=888 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95

Redirect IEEELineCodes34.dss

! Líneas

New Line.L1 Phases=3 Bus1=800.1.2.3 Bus2=802.1.2.3 LineCode=300 Length=2.58

New Line.L2a Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=mid806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L2b Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L2c Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=midB806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L3 Phases=3 Bus1=806.1.2.3 Bus2=808.1.2.3 LineCode=300 Length=32.23

New Line.L4a Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=Mid810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L4b Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L4c Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=MidB810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L5 Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=812.1.2.3 LineCode=300 Length=37.5

New Line.L6 Phases=3 Bus1=812.1.2.3 Bus2=814.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73
 New Line.L7 Phases=3 Bus1=814r.1.2.3 Bus2=850.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01
 New Line.L24 Phases=3 Bus1=850.1.2.3 Bus2=816.1.2.3 LineCode=301 Length=0.31
 New Line.L8 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=818.1.2.3 LineCode=302 Length=1.71

New Line.L9 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)

New Line.L10a Phases=3 Bus1=818.1.2.3 Bus2=mid820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
 New Line.L10b Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
 New Line.L10c Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=midB820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)

New Line.L11a Phases=3 Bus1=820.1.2.3 Bus2=mid822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
 New Line.L11b Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
 New Line.L11c Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=midB822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)

New Line.L12a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
 New Line.L12b Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
 New Line.L12c Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=midB826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)

New Line.L13a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
 New Line.L13b Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
 New Line.L13c Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=midB828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

New Line.L14a Phases=3 Bus1=828.1.2.3 Bus2=mid830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14b Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14c Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=midB830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14d Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=B830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L15 Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=854.1.2.3 LineCode=301 Length=0.52

New Line.L16a Phases=3 Bus1=832.1.2.3 Bus2=mid858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
 New Line.L16b Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
 New Line.L16c Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=midB858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)

New Line.L29a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
 New Line.L29b Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
 New Line.L29c Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=midB834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)

New Line.L18 Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=842.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L19a Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=mid840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19b Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19c Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=midB840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19d Phases=3 Bus1=840.1.2.3 Bus2=B840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L21a Phases=3 Bus1=842.1.2.3 Bus2=mid844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
 New Line.L21b Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
 New Line.L21c Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=midB844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
 New Line.L21d Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=B844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L22a Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=mid846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
 New Line.L22b Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
 New Line.L22c Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=midB846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L23a Phases=3 Bus1=846.1.2.3 Bus2=mid848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
 New Line.L23b Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
 New Line.L23c Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=midB848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
 New Line.L23d Phases=3 Bus1=848.1.2.3 Bus2=B848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L26 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=856.1.2.3 LineCode=303 Length=(23.33 2 /)

New Line.L27 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=852.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83
 New Line.L25 Phases=3 Bus1=852r.1.2.3 Bus2=832.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

New Line.L28a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
 New Line.L28b Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
 New Line.L28c Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=midB864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L17a Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=mid860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
 New Line.L17b Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
 New Line.L17c Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=midB860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
 New Line.L17d Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=B860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L30a Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=mid836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
 New Line.L30b Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
 New Line.L30c Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=midB836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L20 Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=862.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L31a Phases=3 Bus1=862.1.2.3 Bus2=mid838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
 New Line.L31b Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
 New Line.L31c Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=midB838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L32 Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56
 New Line.L32a Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=B890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

! Reguladores - tres fases independientes

! Regulador 1

new transformer.reg1a phases=1 windings=2 buses=(814.1 814r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg1a transformer =reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.7 X=1.6

new transformer.reg1b phases=1 windings=2 buses=(814.2 814r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg1b transformer =reg1b winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.7 X=1.6

new transformer.reg1c phases=1 windings=2 buses=(814.3 814r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg1c transformer =reg1c winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.7 X=1.6

! Regulador 2

new transformer.reg2a phases=1 windings=2 buses=(852.1 852r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg2a transformer =reg2a winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.5 X=1.5 delay=30

new transformer.reg2b phases=1 windings=2 buses=(852.2 852r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg2b transformer =reg2b winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.5 X=1.5 delay=30

new transformer.reg2c phases=1 windings=2 buses=(852.3 852r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg2c transformer =reg2c winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.5 X=1.5 delay=30

! cargas spot

New Load.S860 Bus1=B860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.838 kW=54.08
kVAR=42.462 spectrum=PQY3

New Load.S840 Bus1=B840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.836 kW=24.33
kVAR=18.58 spectrum=PQY3

New Load.S844 Bus1=B844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.850 kW=364.641
kVAR=283.05 spectrum=PQY3

New Load.S848 Bus1=B848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.840 kW=54.02
kVAR=43.0 spectrum=PQY3

New Load.S830 Bus1=B830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.304 kW=68.28
kVAR=20.08 spectrum=PQY3

New Load.S890 Bus1=B890.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=2.416 kW=431.9
kVAR=225.2 spectrum=PQY3

! cargas distribuidas en medio de las líneas

New Load.D802_806 Bus1=midB806.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=15.061 kW=201.69
kVAR=100.119 spectrum=PQY3

New Load.D808_810 Bus1=midB810.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.200 kW=96.178
kVAR=46.67 spectrum=PQY3

New Load.D818_820 Bus1=midB820.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.891 kW=64.68
kVAR=21.215 spectrum=PQY3

New Load.D820_822 Bus1=midB822.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.766 kW=252.18
kVAR=127.65 spectrum=PQY3

New Load.D824_826 Bus1=midB826.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.770 kW=224.68
kVAR=111.65 spectrum=PQY3

New Load.D824_828 Bus1=midB828.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.577 kW=25.22
kVAR=12.29 spectrum=PQY3

New Load.D828_830 Bus1=midB830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.414 kW=43.87
kVAR=11.41 spectrum=PQY3

New Load.D832_858 Bus1=midB858.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.892 kW=19.096
kVAR=6.295 spectrum=PQY3

New Load.D858_864 Bus1=midB864.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.797 kW=11.28
kVAR=5.27 spectrum=PQY3

New Load.D858_834 Bus1=midB834.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.840 kW=40.733
kVAR=19.47 spectrum=PQY3

New Load.D834_860 Bus1=midB860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.811 kW=54.08
kVAR=26.265 spectrum=PQY3

New Load.D860_836 Bus1=midB836.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.808 kW=113.51
kVAR=58.43 spectrum=PQY3

New Load.D836_840 Bus1=midB840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.807 kW=59.43
 kVAR=29.38 spectrum=PQY3
 New Load.D862_838 Bus1=midB838.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.852 kW=159.16
 kVAR=78.43 spectrum=PQY3
 New Load.D842_844 Bus1=midB844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.806 kW=58.52
 kVAR=31.99 spectrum=PQY3
 New Load.D844_846 Bus1=midB846.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.796 kW=162.3
 kVAR=76.5 spectrum=PQY3
 New Load.D846_848 Bus1=midB848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.792 kW=149.15
 kVAR=71.13 spectrum=PQY3

! Vminpu.

Load.s860.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s840.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s844.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s848.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s830.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s890.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d802_806.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d808_810.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d818_820.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d820_822.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d824_826.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d824_828.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d828_830.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d832_858.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d858_864.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d858_834.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d834_860.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d860_836.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d836_840.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d862_838.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d842_844.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d844_846.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d846_848.vminpu=0.85 daily=industrial

! Vmax

Load.s860.vmaxpu=1.15
 Load.s840.vmaxpu=1.15
 Load.s844.vmaxpu=1.15
 Load.s848.vmaxpu=1.15
 Load.s830.vmaxpu=1.15
 Load.s890.vmaxpu=1.15
 Load.d802_806.vmaxpu=1.15
 Load.d808_810.vmaxpu=1.15
 Load.d818_820.vmaxpu=1.15
 Load.d820_822.vmaxpu=1.15
 Load.d824_826.vmaxpu=1.15
 Load.d824_828.vmaxpu=1.15
 Load.d828_830.vmaxpu=1.15
 Load.d832_858.vmaxpu=1.15
 Load.d858_864.vmaxpu=1.15
 Load.d858_834.vmaxpu=1.15
 Load.d834_860.vmaxpu=1.15
 Load.d860_836.vmaxpu=1.15
 Load.d836_840.vmaxpu=1.15
 Load.d862_838.vmaxpu=1.15

Load.d842_844.vmaxpu=1.15
 Load.d844_846.vmaxpu=1.15
 Load.d846_848.vmaxpu=1.15

New energymeter.M1 element=Line.L1 terminal=1

New monitor.TransSubXF_power element=Transformer.SubXF terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.TransSubXF_voltage element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0
 New monitor.TransSubXF_current element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0

New monitor.Line1_power element=Line.L1 terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.Line1_voltage element=Line.L1 terminal=1 mode=0
 New monitor.Line1_current element=Line.L1 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS860_power element=Line.L17d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS860_voltage element=Line.L17d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS840_power element=Line.L19d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS840_voltage element=Line.L19d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS844_power element=Line.L21d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS844_voltage element=Line.L21d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS848_power element=Line.L23d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS848_voltage element=Line.L23d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS830_power element=Line.L14d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS830_voltage element=Line.L14d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS890_power element=Line.L32a terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS890_voltage element=Line.L32a terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD802_806_power element=Line.L2c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD802_806_voltage element=Line.L2c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD808_810_power element=Line.L4c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD808_810_voltage element=Line.L4c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD818_820_power element=Line.L10c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD818_820_voltage element=Line.L10c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD820_822_power element=Line.L11c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD820_822_voltage element=Line.L11c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_826_power element=Line.L12c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_826_voltage element=Line.L12c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_828_power element=Line.L13c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_828_voltage element=Line.L13c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD828_830_power element=Line.L14c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD828_830_voltage element=Line.L14c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD832_858_power element=Line.L16c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD832_858_voltage element=Line.L16c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_864_power element=Line.L28c terminal=1 ppolar=no mode=1

```

New monitor.CargaD858_864_voltage element=Line.L28c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_834_power element=Line.L29c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD858_834_voltage element=Line.L29c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD834_860_power element=Line.L17c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD834_860_voltage element=Line.L17c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD860_836_power element=Line.L30c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD860_836_voltage element=Line.L30c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD836_840_power element=Line.L19c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD836_840_voltage element=Line.L19c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD862_838_power element=Line.L31c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD862_838_voltage element=Line.L31c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD842_844_power element=Line.L21c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD842_844_voltage element=Line.L21c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD844_846_power element=Line.L22c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD844_846_voltage element=Line.L22c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD846_848_power element=Line.L23c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD846_848_voltage element=Line.L23c terminal=1 mode=0

Set VoltageBases = "69,24.9,4.16"
CalcVoltageBases

set controlmode=Static

set mode=direct
solve

set mode = harmonics

solve

BusCoords IEEE34_BusXY.csv

```

9.2.3. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia en la hora 15

La construcción del script del caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia en la hora 15, se hace en base a las versiones actualizadas de ejemplo tomadas de los códigos de líneas IEEE que vienen por defecto en las referencias [50], [72] y [74], en los cuales se adaptan cargas balanceadas, curvas de carga y espectros armónicos,

además de la configuración de simulación entre otros elementos descritos en la metodología de los ítems 5.4. y 5.5.

Clear

New object= circuit.ieee34

~ basekv=69 pu=1.05 angle=30

MVAsc3=200000

MVAsc1=210000

! CURVAS DE DEMANDA

new loadshape.industrial 24 1.0

~ mult=(0.3 0.25 0.2 0.2 0.2 0.25 0.3 0.4 0.7 0.9 0.9 0.85 0.75 0.75 0.9 1 1 0.75 0.5 0.4 0.35 0.35 0.3 0.3)

! ESPECTROS ARMONICOS

New "Spectrum.PQY3" NumHarm=15 CSVFile=PQY3.csv

New "Spectrum.6PULSOS" NumHarm=15 CSVFile=6PULSOS.csv

! Transformador de subestación

New Transformer.SubXF Phases=3 Windings=2 Xhl=0.001 ppm=0

~ wdg=1 bus=sourcebus conn=Delta kv=69 kva=25000 %r=0.0005

~ wdg=2 bus=800 conn=wye kv=24.9 kva=25000 %r=0.0005

! Transformador de carga Y-Y

New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08

~ wdg=1 bus=832 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95

~ wdg=2 bus=888 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95

Redirect IEEELineCodes34.dss

! Líneas

New Line.L1 Phases=3 Bus1=800.1.2.3 Bus2=802.1.2.3 LineCode=300 Length=2.58

New Line.L2a Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=mid806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L2b Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L2c Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=midB806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L3 Phases=3 Bus1=806.1.2.3 Bus2=808.1.2.3 LineCode=300 Length=32.23

New Line.L4a Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=Mid810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L4b Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L4c Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=MidB810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L5 Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=812.1.2.3 LineCode=300 Length=37.5

New Line.L6 Phases=3 Bus1=812.1.2.3 Bus2=814.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73

New Line.L7 Phases=3 Bus1=814r.1.2.3 Bus2=850.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

New Line.L24 Phases=3 Bus1=850.1.2.3 Bus2=816.1.2.3 LineCode=301 Length=0.31

New Line.L8 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=818.1.2.3 LineCode=302 Length=1.71

New Line.L9 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)

New Line.L10a Phases=3 Bus1=818.1.2.3 Bus2=mid820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)

New Line.L10b Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)

New Line.L10c Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=midB820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)

New Line.L11a Phases=3 Bus1=820.1.2.3 Bus2=mid822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)

New Line.L11b Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)

New Line.L11c Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=midB822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)

New Line.L12a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)

New Line.L12b Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)

New Line.L12c Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=midB826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)

New Line.L13a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

New Line.L13b Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

New Line.L13c Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=midB828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

New Line.L14a Phases=3 Bus1=828.1.2.3 Bus2=mid830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L14b Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L14c Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=midB830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L14d Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=B830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L15 Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=854.1.2.3 LineCode=301 Length=0.52

New Line.L16a Phases=3 Bus1=832.1.2.3 Bus2=mid858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)

New Line.L16b Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)

New Line.L16c Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=midB858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)

New Line.L29a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)

New Line.L29b Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)

New Line.L29c Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=midB834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)

New Line.L18 Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=842.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L19a Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=mid840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L19b Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L19c Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=midB840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L19d Phases=3 Bus1=840.1.2.3 Bus2=B840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L21a Phases=3 Bus1=842.1.2.3 Bus2=mid844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L21b Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L21c Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=midB844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L21d Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=B844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L22a Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=mid846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L22b Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L22c Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=midB846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L23a Phases=3 Bus1=846.1.2.3 Bus2=mid848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L23b Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L23c Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=midB848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L23d Phases=3 Bus1=848.1.2.3 Bus2=B848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L26 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=856.1.2.3 LineCode=303 Length=(23.33 2 /)

New Line.L27 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=852.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83

New Line.L25 Phases=3 Bus1=852r.1.2.3 Bus2=832.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

New Line.L28a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L28b Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L28c Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=midB864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L17a Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=mid860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L17b Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L17c Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=midB860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L17d Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=B860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L30a Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=mid836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L30b Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L30c Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=midB836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L20 Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=862.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L31a Phases=3 Bus1=862.1.2.3 Bus2=mid838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L31b Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L31c Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=midB838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L32 Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

New Line.L32a Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=B890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

! Reguladores - tres fases independientes

! Regulador 1

new transformer.reg1a phases=1 windings=2 buses=(814.1 814r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg1a transformer =reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100 R=2.7 X=1.6

new transformer.reg1b phases=1 windings=2 buses=(814.2 814r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg1b transformer =reg1b winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100 R=2.7 X=1.6

new transformer.reg1c phases=1 windings=2 buses=(814.3 814r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg1c transformer =reg1c winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100 R=2.7 X=1.6

! Regulador 2

new transformer.reg2a phases=1 windings=2 buses=(852.1 852r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg2a transformer =reg2a winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100 R=2.5 X=1.5 delay=30

```

new transformer.reg2b phases=1 windings=2 buses=(852.2 852r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2b transformer =reg2b winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.5 X=1.5 delay=30
new transformer.reg2c phases=1 windings=2 buses=(852.3 852r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376
14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
new regcontrol.creg2c transformer =reg2c winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
R=2.5 X=1.5 delay=30

```

! cargas spot

```

New Load.S860 Bus1=B860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.838 kW=54.08
kVAR=42.462 spectrum=PQY3
New Load.S840 Bus1=B840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.836 kW=24.33
kVAR=18.58 spectrum=PQY3
New Load.S844 Bus1=B844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.850 kW=364.641
kVAR=283.05 spectrum=PQY3
New Load.S848 Bus1=B848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.840 kW=54.02
kVAR=43.0 spectrum=PQY3
New Load.S830 Bus1=B830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.304 kW=68.28
kVAR=20.08 spectrum=PQY3
New Load.S890 Bus1=B890.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=2.416 kW=431.9
kVAR=225.2 spectrum=PQY3

```

! cargas distribuidas en medio de las líneas

```

New Load.D802_806 Bus1=midB806.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=15.061 kW=201.69
kVAR=100.119 spectrum=PQY3
New Load.D808_810 Bus1=midB810.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.200 kW=96.178
kVAR=46.67 spectrum=PQY3
New Load.D818_820 Bus1=midB820.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.891 kW=64.68
kVAR=21.215 spectrum=PQY3
New Load.D820_822 Bus1=midB822.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.766 kW=252.18
kVAR=127.65 spectrum=PQY3
New Load.D824_826 Bus1=midB826.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.770 kW=224.68
kVAR=111.65 spectrum=PQY3
New Load.D824_828 Bus1=midB828.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.577 kW=25.22
kVAR=12.29 spectrum=PQY3
New Load.D828_830 Bus1=midB830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.414 kW=43.87
kVAR=11.41 spectrum=PQY3
New Load.D832_858 Bus1=midB858.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.892 kW=19.096
kVAR=6.295 spectrum=PQY3
New Load.D858_864 Bus1=midB864.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.797 kW=11.28
kVAR=5.27 spectrum=PQY3
New Load.D858_834 Bus1=midB834.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.840 kW=40.733
kVAR=19.47 spectrum=PQY3
New Load.D834_860 Bus1=midB860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.811 kW=54.08
kVAR=26.265 spectrum=PQY3
New Load.D860_836 Bus1=midB836.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.808 kW=113.51
kVAR=58.43 spectrum=PQY3
New Load.D836_840 Bus1=midB840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.807 kW=59.43
kVAR=29.38 spectrum=PQY3
New Load.D862_838 Bus1=midB838.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.852 kW=159.16
kVAR=78.43 spectrum=PQY3
New Load.D842_844 Bus1=midB844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.806 kW=58.52
kVAR=31.99 spectrum=PQY3
New Load.D844_846 Bus1=midB846.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.796 kW=162.3
kVAR=76.5 spectrum=PQY3

```

New Load.D846_848 Bus1=midB848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.792 kW=149.15
kVAR=71.13 spectrum=PQY3

! Vminpu.

Load.s860.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.s840.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.s844.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.s848.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.s830.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.s890.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d802_806.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d808_810.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d818_820.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d820_822.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d824_826.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d824_828.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d828_830.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d832_858.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d858_864.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d858_834.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d834_860.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d860_836.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d836_840.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d862_838.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d842_844.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d844_846.vminpu=0.85 daily=industrial
Load.d846_848.vminpu=0.85 daily=industrial

! Vmax

Load.s860.vmaxpu=1.15
Load.s840.vmaxpu=1.15
Load.s844.vmaxpu=1.15
Load.s848.vmaxpu=1.15
Load.s830.vmaxpu=1.15
Load.s890.vmaxpu=1.15
Load.d802_806.vmaxpu=1.15
Load.d808_810.vmaxpu=1.15
Load.d818_820.vmaxpu=1.15
Load.d820_822.vmaxpu=1.15
Load.d824_826.vmaxpu=1.15
Load.d824_828.vmaxpu=1.15
Load.d828_830.vmaxpu=1.15
Load.d832_858.vmaxpu=1.15
Load.d858_864.vmaxpu=1.15
Load.d858_834.vmaxpu=1.15
Load.d834_860.vmaxpu=1.15
Load.d860_836.vmaxpu=1.15
Load.d836_840.vmaxpu=1.15
Load.d862_838.vmaxpu=1.15
Load.d842_844.vmaxpu=1.15
Load.d844_846.vmaxpu=1.15
Load.d846_848.vmaxpu=1.15

! Diseño de Corrección de Factor de Potencia por 15° hora para cada carga

New Capacitor.CS860 Bus1=B860 Phases=3 kVAR=24.684 kV=14.838

New Capacitor.CS840 Bus1=B840 Phases=3 kVAR=10.58 kV=14.836

New Capacitor.CS844 Bus1=B844 Phases=3 kVAR=163.207 kV=14.850
 New Capacitor.CS848 Bus1=B848 Phases=3 kVAR=25.25 kV=14.840
 New Capacitor.CS890 Bus1=B890 Phases=3 kVAR=83.23 kV=2.416

New Capacitor.CD802_806 Bus1=midB806.1.2.3 Phases=3 kVAR=33.826 kV=15.061
 New Capacitor.CD820_822 Bus1=midB822.1.2.3 Phases=3 kVAR=44.76 kV=13.766
 New Capacitor.CD824_826 Bus1=midB826.1.2.3 Phases=3 kVAR=37.805 kV=13.770
 New Capacitor.CD824_828 Bus1=midB828.1.2.3 Phases=3 kVAR=4.007 kV=14.577
 New Capacitor.CD834_860 Bus1=midB860.1.2.3 Phases=3 kVAR=8.490 kV=14.811
 New Capacitor.CD860_836 Bus1=midB836.1.2.3 Phases=3 kVAR=21.119 kV=14.808
 New Capacitor.CD836_840 Bus1=midB840.1.2.3 Phases=3 kVAR=9.852 kV=14.807
 New Capacitor.CD862_838 Bus1=midB838.1.2.3 Phases=3 kVAR=26.123 kV=13.852
 New Capacitor.CD842_844 Bus1=midB844.1.2.3 Phases=3 kVAR=12.756 kV=14.806

New energymeter.M1 element=Line.L1 terminal=1

New monitor.TransSubXF_power element=Transformer.SubXF terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.TransSubXF_voltage element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0
 New monitor.TransSubXF_current element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0

New monitor.Line1_power element=Line.L1 terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.Line1_voltage element=Line.L1 terminal=1 mode=0
 New monitor.Line1_current element=Line.L1 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS860_power element=Line.L17d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS860_voltage element=Line.L17d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS840_power element=Line.L19d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS840_voltage element=Line.L19d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS844_power element=Line.L21d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS844_voltage element=Line.L21d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS848_power element=Line.L23d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS848_voltage element=Line.L23d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS830_power element=Line.L14d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS830_voltage element=Line.L14d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS890_power element=Line.L32a terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS890_voltage element=Line.L32a terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD802_806_power element=Line.L2c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD802_806_voltage element=Line.L2c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD808_810_power element=Line.L4c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD808_810_voltage element=Line.L4c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD818_820_power element=Line.L10c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD818_820_voltage element=Line.L10c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD820_822_power element=Line.L11c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD820_822_voltage element=Line.L11c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_826_power element=Line.L12c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_826_voltage element=Line.L12c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_828_power element=Line.L13c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_828_voltage element=Line.L13c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD828_830_power element=Line.L14c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD828_830_voltage element=Line.L14c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD832_858_power element=Line.L16c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD832_858_voltage element=Line.L16c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_864_power element=Line.L28c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD858_864_voltage element=Line.L28c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_834_power element=Line.L29c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD858_834_voltage element=Line.L29c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD834_860_power element=Line.L17c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD834_860_voltage element=Line.L17c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD860_836_power element=Line.L30c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD860_836_voltage element=Line.L30c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD836_840_power element=Line.L19c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD836_840_voltage element=Line.L19c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD862_838_power element=Line.L31c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD862_838_voltage element=Line.L31c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD842_844_power element=Line.L21c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD842_844_voltage element=Line.L21c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD844_846_power element=Line.L22c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD844_846_voltage element=Line.L22c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD846_848_power element=Line.L23c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD846_848_voltage element=Line.L23c terminal=1 mode=0

Set VoltageBases = "69,24.9,4.16"
 CalcVoltageBases

set controlmode=Static

set mode=direct
 solve

set mode = harmonics
 solve

BusCoords IEEE34_BusXY.csv

9.2.4. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos en la hora 15

La construcción del script del caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos en la hora 15, se hace en base a las versiones actualizadas de ejemplo tomadas de los códigos de líneas IEEE que vienen por defecto en las referencias [50], [72] y [74], en los cuales se adaptan cargas balanceadas, curvas de carga y espectros armónicos, además de la configuración de simulación entre otros elementos descritos en la metodología de los ítems 5.4. y 5.5.

Clear

New object= circuit.ieee34

~ basekv=69 pu=1.05 angle=30

MVAsc3=200000

MVAsc1=210000

! CURVAS DE DEMANDA

new loadshape.industrial 24 1.0

~ mult=(0.3 0.25 0.2 0.2 0.2 0.25 0.3 0.4 0.7 0.9 0.9 0.85 0.75 0.75 0.9 1 1 0.75 0.5 0.4 0.35 0.35 0.3 0.3)

! ESPECTROS ARMONICOS

New "Spectrum.PQY3" NumHarm=15 CSVFile=PQY3.csv

New "Spectrum.6PULSOS" NumHarm=15 CSVFile=6PULSOS.csv

! Transformador de subestación

New Transformer.SubXF Phases=3 Windings=2 Xhl=0.001 ppm=0

~ wdg=1 bus=sourcebus conn=Delta kv=69 kva=25000 %r=0.0005

~ wdg=2 bus=800 conn=wye kv=24.9 kva=25000 %r=0.0005

! Transformador de carga Y-Y

New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08

~ wdg=1 bus=832 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95

~ wdg=2 bus=888 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95

Redirect IEEELineCodes34.dss

! Líneas

New Line.L1 Phases=3 Bus1=800.1.2.3 Bus2=802.1.2.3 LineCode=300 Length=2.58

New Line.L2a Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=mid806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L2b Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L2c Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=midB806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L3 Phases=3 Bus1=806.1.2.3 Bus2=808.1.2.3 LineCode=300 Length=32.23

New Line.L4a Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=Mid810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L4b Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L4c Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=MidB810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L5 Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=812.1.2.3 LineCode=300 Length=37.5
 New Line.L6 Phases=3 Bus1=812.1.2.3 Bus2=814.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73
 New Line.L7 Phases=3 Bus1=814r.1.2.3 Bus2=850.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01
 New Line.L24 Phases=3 Bus1=850.1.2.3 Bus2=816.1.2.3 LineCode=301 Length=0.31
 New Line.L8 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=818.1.2.3 LineCode=302 Length=1.71

New Line.L9 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)

New Line.L10a Phases=3 Bus1=818.1.2.3 Bus2=mid820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
 New Line.L10b Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
 New Line.L10c Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=midB820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)

New Line.L11a Phases=3 Bus1=820.1.2.3 Bus2=mid822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
 New Line.L11b Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
 New Line.L11c Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=midB822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)

New Line.L12a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
 New Line.L12b Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
 New Line.L12c Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=midB826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)

New Line.L13a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
 New Line.L13b Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
 New Line.L13c Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=midB828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

New Line.L14a Phases=3 Bus1=828.1.2.3 Bus2=mid830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14b Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14c Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=midB830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14d Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=B830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L15 Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=854.1.2.3 LineCode=301 Length=0.52

New Line.L16a Phases=3 Bus1=832.1.2.3 Bus2=mid858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
 New Line.L16b Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
 New Line.L16c Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=midB858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)

New Line.L29a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
 New Line.L29b Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
 New Line.L29c Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=midB834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)

New Line.L18 Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=842.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L19a Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=mid840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19b Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19c Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=midB840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19d Phases=3 Bus1=840.1.2.3 Bus2=B840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L21a Phases=3 Bus1=842.1.2.3 Bus2=mid844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L21b Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
 New Line.L21c Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=midB844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
 New Line.L21d Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=B844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L22a Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=mid846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
 New Line.L22b Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
 New Line.L22c Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=midB846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L23a Phases=3 Bus1=846.1.2.3 Bus2=mid848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
 New Line.L23b Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
 New Line.L23c Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=midB848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
 New Line.L23d Phases=3 Bus1=848.1.2.3 Bus2=B848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L26 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=856.1.2.3 LineCode=303 Length=(23.33 2 /)

New Line.L27 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=852.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83
 New Line.L25 Phases=3 Bus1=852r.1.2.3 Bus2=832.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

New Line.L28a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
 New Line.L28b Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
 New Line.L28c Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=midB864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L17a Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=mid860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
 New Line.L17b Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
 New Line.L17c Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=midB860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
 New Line.L17d Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=B860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L30a Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=mid836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
 New Line.L30b Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
 New Line.L30c Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=midB836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L20 Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=862.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L31a Phases=3 Bus1=862.1.2.3 Bus2=mid838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
 New Line.L31b Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
 New Line.L31c Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=midB838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L32 Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56
 New Line.L32a Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=B890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

! Reguladores - tres fases independientes

! Regulador 1

new transformer.reg1a phases=1 windings=2 buses=(814.1 814r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg1a transformer =reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.7 X=1.6

new transformer.reg1b phases=1 windings=2 buses=(814.2 814r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg1b transformer =reg1b winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.7 X=1.6
 new transformer.reg1c phases=1 windings=2 buses=(814.3 814r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376
 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg1c transformer =reg1c winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.7 X=1.6

! Regulador 2

new transformer.reg2a phases=1 windings=2 buses=(852.1 852r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376
 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg2a transformer =reg2a winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.5 X=1.5 delay=30
 new transformer.reg2b phases=1 windings=2 buses=(852.2 852r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376
 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg2b transformer =reg2b winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.5 X=1.5 delay=30
 new transformer.reg2c phases=1 windings=2 buses=(852.3 852r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376
 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg2c transformer =reg2c winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.5 X=1.5 delay=30

! cargas spot

New Load.S860 Bus1=B860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.838 kW=54.08
 kVAR=42.462 spectrum=PQY3
 New Load.S840 Bus1=B840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.836 kW=24.33
 kVAR=18.58 spectrum=PQY3
 New Load.S844 Bus1=B844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.850 kW=364.641
 kVAR=283.05 spectrum=PQY3
 New Load.S848 Bus1=B848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.840 kW=54.02
 kVAR=43.0 spectrum=PQY3
 New Load.S830 Bus1=B830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.304 kW=68.28
 kVAR=20.08 spectrum=PQY3
 New Load.S890 Bus1=B890.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=2.416 kW=431.9
 kVAR=225.2 spectrum=PQY3

! cargas distribuidas en medio de las líneas

New Load.D802_806 Bus1=midB806.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=15.061 kW=201.69
 kVAR=100.119 spectrum=PQY3
 New Load.D808_810 Bus1=midB810.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.200 kW=96.178
 kVAR=46.67 spectrum=PQY3
 New Load.D818_820 Bus1=midB820.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.891 kW=64.68
 kVAR=21.215 spectrum=PQY3
 New Load.D820_822 Bus1=midB822.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.766 kW=252.18
 kVAR=127.65 spectrum=PQY3
 New Load.D824_826 Bus1=midB826.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.770 kW=224.68
 kVAR=111.65 spectrum=PQY3
 New Load.D824_828 Bus1=midB828.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.577 kW=25.22
 kVAR=12.29 spectrum=PQY3
 New Load.D828_830 Bus1=midB830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.414 kW=43.87
 kVAR=11.41 spectrum=PQY3
 New Load.D832_858 Bus1=midB858.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.892 kW=19.096
 kVAR=6.295 spectrum=PQY3
 New Load.D858_864 Bus1=midB864.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.797 kW=11.28
 kVAR=5.27 spectrum=PQY3
 New Load.D858_834 Bus1=midB834.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.840 kW=40.733
 kVAR=19.47 spectrum=PQY3

New Load.D834_860 Bus1=midB860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.811 kW=54.08
 kVAR=26.265 spectrum=PQY3
 New Load.D860_836 Bus1=midB836.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.808 kW=113.51
 kVAR=58.43 spectrum=PQY3
 New Load.D836_840 Bus1=midB840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.807 kW=59.43
 kVAR=29.38 spectrum=PQY3
 New Load.D862_838 Bus1=midB838.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.852 kW=159.16
 kVAR=78.43 spectrum=PQY3
 New Load.D842_844 Bus1=midB844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.806 kW=58.52
 kVAR=31.99 spectrum=PQY3
 New Load.D844_846 Bus1=midB846.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.796 kW=162.3
 kVAR=76.5 spectrum=PQY3
 New Load.D846_848 Bus1=midB848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.792 kW=149.15
 kVAR=71.13 spectrum=PQY3

! Vminpu.

Load.s860.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s840.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s844.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s848.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s830.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s890.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d802_806.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d808_810.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d818_820.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d820_822.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d824_826.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d824_828.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d828_830.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d832_858.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d858_864.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d858_834.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d834_860.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d860_836.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d836_840.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d862_838.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d842_844.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d844_846.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d846_848.vminpu=0.85 daily=industrial

! Vmax

Load.s860.vmaxpu=1.15
 Load.s840.vmaxpu=1.15
 Load.s844.vmaxpu=1.15
 Load.s848.vmaxpu=1.15
 Load.s830.vmaxpu=1.15
 Load.s890.vmaxpu=1.15
 Load.d802_806.vmaxpu=1.15
 Load.d808_810.vmaxpu=1.15
 Load.d818_820.vmaxpu=1.15
 Load.d820_822.vmaxpu=1.15
 Load.d824_826.vmaxpu=1.15
 Load.d824_828.vmaxpu=1.15
 Load.d828_830.vmaxpu=1.15
 Load.d832_858.vmaxpu=1.15
 Load.d858_864.vmaxpu=1.15
 Load.d858_834.vmaxpu=1.15

Load.d834_860.vmaxpu=1.15
 Load.d860_836.vmaxpu=1.15
 Load.d836_840.vmaxpu=1.15
 Load.d862_838.vmaxpu=1.15
 Load.d842_844.vmaxpu=1.15
 Load.d844_846.vmaxpu=1.15
 Load.d846_848.vmaxpu=1.15

! Diseño de Corrección de Factor de Potencia por 15° hora para cada carga
 New Capacitor.CS860 Bus1=B860 Phases=3 kVAR=24.684 kV=14.838
 New Capacitor.CS840 Bus1=B840 Phases=3 kVAR=10.58 kV=14.836
 New Capacitor.CS844 Bus1=B844 Phases=3 kVAR=163.207 kV=14.850
 New Capacitor.CS848 Bus1=B848 Phases=3 kVAR=25.25 kV=14.840
 New Capacitor.CS890 Bus1=B890 Phases=3 kVAR=83.23 kV=2.416

New Capacitor.CD802_806 Bus1=midB806.1.2.3 Phases=3 kVAR=33.826 kV=15.061
 New Capacitor.CD820_822 Bus1=midB822.1.2.3 Phases=3 kVAR=44.76 kV=13.766
 New Capacitor.CD824_826 Bus1=midB826.1.2.3 Phases=3 kVAR=37.805 kV=13.770
 New Capacitor.CD824_828 Bus1=midB828.1.2.3 Phases=3 kVAR=4.007 kV=14.577
 New Capacitor.CD834_860 Bus1=midB860.1.2.3 Phases=3 kVAR=8.490 kV=14.811
 New Capacitor.CD860_836 Bus1=midB836.1.2.3 Phases=3 kVAR=21.119 kV=14.808
 New Capacitor.CD836_840 Bus1=midB840.1.2.3 Phases=3 kVAR=9.852 kV=14.807
 New Capacitor.CD862_838 Bus1=midB838.1.2.3 Phases=3 kVAR=26.123 kV=13.852
 New Capacitor.CD842_844 Bus1=midB844.1.2.3 Phases=3 kVAR=12.756 kV=14.806

! Fuentes de armónicos 6 PULSOS

New Generator.GS1 Bus1=B860.1.2.3 kV=14.838 kW=37.856 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GS2 Bus1=B840.1.2.3 kV=14.836 kW=17.031 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GS3 Bus1=B844.1.2.3 kV=14.850 kW=255.248 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GS4 Bus1=B848.1.2.3 kV=14.840 kW=37.814 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GS5 Bus1=B830.1.2.3 kV=14.304 kW=47.796 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GS6 Bus1=B890.1.2.3 kV=2.416 kW=302.33 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD1 Bus1=midB806.1.2.3 kV=15.061 kW=141.183 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD2 Bus1=midB810.1.2.3 kV=14.200 kW=67.324 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD3 Bus1=midB820.1.2.3 kV=13.891 kW=45.276 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD4 Bus1=midB822.1.2.3 kV=13.766 kW=176.526 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD5 Bus1=midB826.1.2.3 kV=13.770 kW=157.276 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD6 Bus1=midB828.1.2.3 kV=14.577 kW=17.654 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD7 Bus1=midB830.1.2.3 kV=14.414 kW=30.709 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD8 Bus1=midB858.1.2.3 kV=14.892 kW=13.367 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD9 Bus1=midB864.1.2.3 kV=14.797 kW=7.896 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD10 Bus1=midB834.1.2.3 kV=14.840 kW=28.513 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD11 Bus1=midB860.1.2.3 kV=14.811 kW=37.856 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD12 Bus1=midB836.1.2.3 kV=14.808 kW=79.457 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD13 Bus1=midB840.1.2.3 kV=14.807 kW=41.601 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD14 Bus1=midB838.1.2.3 kV=13.852 kW=111.412 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD15 Bus1=midB844.1.2.3 kV=14.806 kW=40.964 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD16 Bus1=midB846.1.2.3 kV=14.796 kW=113.61 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD17 Bus1=midB848.1.2.3 kV=14.792 kW=104.405 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS

New energymeter.M1 element=Line.L1 terminal=1

New monitor.TransSubXF_power element=Transformer.SubXF terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.TransSubXF_voltage element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0
 New monitor.TransSubXF_current element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0

New monitor.Line1_power element=Line.L1 terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.Line1_voltage element=Line.L1 terminal=1 mode=0
 New monitor.Line1_current element=Line.L1 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS860_power element=Line.L17d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS860_voltage element=Line.L17d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS840_power element=Line.L19d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS840_voltage element=Line.L19d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS844_power element=Line.L21d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS844_voltage element=Line.L21d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS848_power element=Line.L23d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS848_voltage element=Line.L23d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS830_power element=Line.L14d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS830_voltage element=Line.L14d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS890_power element=Line.L32a terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS890_voltage element=Line.L32a terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD802_806_power element=Line.L2c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD802_806_voltage element=Line.L2c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD808_810_power element=Line.L4c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD808_810_voltage element=Line.L4c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD818_820_power element=Line.L10c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD818_820_voltage element=Line.L10c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD820_822_power element=Line.L11c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD820_822_voltage element=Line.L11c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_826_power element=Line.L12c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_826_voltage element=Line.L12c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_828_power element=Line.L13c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_828_voltage element=Line.L13c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD828_830_power element=Line.L14c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD828_830_voltage element=Line.L14c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD832_858_power element=Line.L16c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD832_858_voltage element=Line.L16c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_864_power element=Line.L28c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD858_864_voltage element=Line.L28c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_834_power element=Line.L29c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD858_834_voltage element=Line.L29c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD834_860_power element=Line.L17c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD834_860_voltage element=Line.L17c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD860_836_power element=Line.L30c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD860_836_voltage element=Line.L30c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD836_840_power element=Line.L19c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD836_840_voltage element=Line.L19c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD862_838_power element=Line.L31c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD862_838_voltage element=Line.L31c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD842_844_power element=Line.L21c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD842_844_voltage element=Line.L21c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD844_846_power element=Line.L22c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD844_846_voltage element=Line.L22c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD846_848_power element=Line.L23c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD846_848_voltage element=Line.L23c terminal=1 mode=0

Set VoltageBases = "69,24.9,4.16"
 CalcVoltageBases

set controlmode=Static

set mode=direct
 solve

set mode = harmonics
 solve

BusCoords IEEE34_BusXY.csv

9.2.5. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos en la hora 15

La construcción del script del caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos en la hora 15, se hace en base a las versiones actualizadas de ejemplo tomadas de los códigos de líneas IEEE que vienen por defecto en las referencias [50], [72] y [74], en los cuales se adaptan cargas balanceadas, curvas de carga y espectros armónicos, además de la configuración de simulación entre otros elementos descritos en la metodología de los ítems 5.4. y 5.5.

Clear

```
New object= circuit.ieee34
~ basekv=69 pu=1.05 angle=30
MVAsc3=200000
MVAsc1=210000
```

! CURVAS DE DEMANDA

```
new loadshape.industrial 24 1.0
~ mult=(0.3 0.25 0.2 0.2 0.2 0.25 0.3 0.4 0.7 0.9 0.9 0.85 0.75 0.75 0.9 1 1 0.75 0.5 0.4 0.35 0.35
0.3 0.3)
```

! ESPECTROS ARMONICOS

```
New "Spectrum.PQY3" NumHarm=15 CSVFile=PQY3.csv
New "Spectrum.6PULSOS" NumHarm=15 CSVFile=6PULSOS.csv
```

! Transformador de subestación

```
New Transformer.SubXF Phases=3 Windings=2 Xhl=0.001 ppm=0
~ wdg=1 bus=sourcebus conn=Delta kv=69 kva=25000 %r=0.0005
~ wdg=2 bus=800 conn=wye kv=24.9 kva=25000 %r=0.0005
```

! Transformador de carga Y-Y

```
New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08
~ wdg=1 bus=832 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95
~ wdg=2 bus=888 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95
```

Redirect IEEELineCodes34.dss

! Líneas

```
New Line.L1 Phases=3 Bus1=800.1.2.3 Bus2=802.1.2.3 LineCode=300 Length=2.58
```

```
New Line.L2a Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=mid806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)
```

```
New Line.L2b Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)
```

```
New Line.L2c Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=midB806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)
```

```
New Line.L3 Phases=3 Bus1=806.1.2.3 Bus2=808.1.2.3 LineCode=300 Length=32.23
```

```
New Line.L4a Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=Mid810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
```

```
New Line.L4b Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
```

```
New Line.L4c Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=MidB810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
```

)

New Line.L5 Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=812.1.2.3 LineCode=300 Length=37.5
 New Line.L6 Phases=3 Bus1=812.1.2.3 Bus2=814.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73
 New Line.L7 Phases=3 Bus1=814r.1.2.3 Bus2=850.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01
 New Line.L24 Phases=3 Bus1=850.1.2.3 Bus2=816.1.2.3 LineCode=301 Length=0.31
 New Line.L8 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=818.1.2.3 LineCode=302 Length=1.71

New Line.L9 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)

New Line.L10a Phases=3 Bus1=818.1.2.3 Bus2=mid820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
 New Line.L10b Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
 New Line.L10c Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=midB820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)

New Line.L11a Phases=3 Bus1=820.1.2.3 Bus2=mid822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
 New Line.L11b Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
 New Line.L11c Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=midB822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)

New Line.L12a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
 New Line.L12b Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
 New Line.L12c Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=midB826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)

New Line.L13a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
 New Line.L13b Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
 New Line.L13c Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=midB828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

New Line.L14a Phases=3 Bus1=828.1.2.3 Bus2=mid830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14b Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14c Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=midB830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14d Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=B830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L15 Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=854.1.2.3 LineCode=301 Length=0.52

New Line.L16a Phases=3 Bus1=832.1.2.3 Bus2=mid858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
 New Line.L16b Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
 New Line.L16c Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=midB858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)

New Line.L29a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
 New Line.L29b Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
 New Line.L29c Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=midB834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)

New Line.L18 Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=842.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L19a Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=mid840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19b Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19c Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=midB840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19d Phases=3 Bus1=840.1.2.3 Bus2=B840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L21a Phases=3 Bus1=842.1.2.3 Bus2=mid844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
 New Line.L21b Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L21c Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=midB844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L21d Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=B844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L22a Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=mid846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L22b Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L22c Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=midB846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L23a Phases=3 Bus1=846.1.2.3 Bus2=mid848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L23b Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L23c Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=midB848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L23d Phases=3 Bus1=848.1.2.3 Bus2=B848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L26 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=856.1.2.3 LineCode=303 Length=(23.33 2 /)

New Line.L27 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=852.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83

New Line.L25 Phases=3 Bus1=852r.1.2.3 Bus2=832.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

New Line.L28a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L28b Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L28c Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=midB864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L17a Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=mid860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L17b Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L17c Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=midB860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L17d Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=B860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L30a Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=mid836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L30b Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L30c Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=midB836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L20 Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=862.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L31a Phases=3 Bus1=862.1.2.3 Bus2=mid838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L31b Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L31c Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=midB838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L32 Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

New Line.L32a Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=B890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

! Reguladores - tres fases independientes

! Regulador 1

new transformer.reg1a phases=1 windings=2 buses=(814.1 814r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg1a transformer =reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100 R=2.7 X=1.6

new transformer.reg1b phases=1 windings=2 buses=(814.2 814r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0

new regcontrol.creg1b transformer =reg1b winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100 R=2.7 X=1.6

new transformer.reg1c phases=1 windings=2 buses=(814.3 814r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg1c transformer =reg1c winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.7 X=1.6

! Regulador 2

new transformer.reg2a phases=1 windings=2 buses=(852.1 852r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg2a transformer =reg2a winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.5 X=1.5 delay=30
 new transformer.reg2b phases=1 windings=2 buses=(852.2 852r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg2b transformer =reg2b winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.5 X=1.5 delay=30
 new transformer.reg2c phases=1 windings=2 buses=(852.3 852r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg2c transformer =reg2c winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.5 X=1.5 delay=30

! cargas spot

New Load.S860 Bus1=B860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.838 kW=54.08
 kVAR=42.462 spectrum=PQY3
 New Load.S840 Bus1=B840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.836 kW=24.33
 kVAR=18.58 spectrum=PQY3
 New Load.S844 Bus1=B844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.850 kW=364.641
 kVAR=283.05 spectrum=PQY3
 New Load.S848 Bus1=B848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.840 kW=54.02
 kVAR=43.0 spectrum=PQY3
 New Load.S830 Bus1=B830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.304 kW=68.28
 kVAR=20.08 spectrum=PQY3
 New Load.S890 Bus1=B890.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=2.416 kW=431.9
 kVAR=225.2 spectrum=PQY3

! cargas distribuidas en medio de las líneas

New Load.D802_806 Bus1=midB806.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=15.061 kW=201.69
 kVAR=100.119 spectrum=PQY3
 New Load.D808_810 Bus1=midB810.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.200 kW=96.178
 kVAR=46.67 spectrum=PQY3
 New Load.D818_820 Bus1=midB820.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.891 kW=64.68
 kVAR=21.215 spectrum=PQY3
 New Load.D820_822 Bus1=midB822.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.766 kW=252.18
 kVAR=127.65 spectrum=PQY3
 New Load.D824_826 Bus1=midB826.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.770 kW=224.68
 kVAR=111.65 spectrum=PQY3
 New Load.D824_828 Bus1=midB828.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.577 kW=25.22
 kVAR=12.29 spectrum=PQY3
 New Load.D828_830 Bus1=midB830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.414 kW=43.87
 kVAR=11.41 spectrum=PQY3
 New Load.D832_858 Bus1=midB858.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.892 kW=19.096
 kVAR=6.295 spectrum=PQY3
 New Load.D858_864 Bus1=midB864.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.797 kW=11.28
 kVAR=5.27 spectrum=PQY3
 New Load.D858_834 Bus1=midB834.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.840 kW=40.733
 kVAR=19.47 spectrum=PQY3
 New Load.D834_860 Bus1=midB860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.811 kW=54.08
 kVAR=26.265 spectrum=PQY3

New Load.D860_836 Bus1=midB836.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.808 kW=113.51
 kVAR=58.43 spectrum=PQY3
 New Load.D836_840 Bus1=midB840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.807 kW=59.43
 kVAR=29.38 spectrum=PQY3
 New Load.D862_838 Bus1=midB838.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.852 kW=159.16
 kVAR=78.43 spectrum=PQY3
 New Load.D842_844 Bus1=midB844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.806 kW=58.52
 kVAR=31.99 spectrum=PQY3
 New Load.D844_846 Bus1=midB846.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.796 kW=162.3
 kVAR=76.5 spectrum=PQY3
 New Load.D846_848 Bus1=midB848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.792 kW=149.15
 kVAR=71.13 spectrum=PQY3

! Vminpu.

Load.s860.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s840.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s844.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s848.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s830.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s890.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d802_806.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d808_810.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d818_820.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d820_822.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d824_826.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d824_828.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d828_830.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d832_858.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d858_864.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d858_834.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d834_860.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d860_836.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d836_840.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d862_838.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d842_844.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d844_846.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d846_848.vminpu=0.85 daily=industrial

! Vmax

Load.s860.vmaxpu=1.15
 Load.s840.vmaxpu=1.15
 Load.s844.vmaxpu=1.15
 Load.s848.vmaxpu=1.15
 Load.s830.vmaxpu=1.15
 Load.s890.vmaxpu=1.15
 Load.d802_806.vmaxpu=1.15
 Load.d808_810.vmaxpu=1.15
 Load.d818_820.vmaxpu=1.15
 Load.d820_822.vmaxpu=1.15
 Load.d824_826.vmaxpu=1.15
 Load.d824_828.vmaxpu=1.15
 Load.d828_830.vmaxpu=1.15
 Load.d832_858.vmaxpu=1.15
 Load.d858_864.vmaxpu=1.15
 Load.d858_834.vmaxpu=1.15
 Load.d834_860.vmaxpu=1.15
 Load.d860_836.vmaxpu=1.15

Load.d836_840.vmaxpu=1.15
 Load.d862_838.vmaxpu=1.15
 Load.d842_844.vmaxpu=1.15
 Load.d844_846.vmaxpu=1.15
 Load.d846_848.vmaxpu=1.15

! Fuentes de armónicos 6 PULSOS

New Generator.GS1 Bus1=B860.1.2.3 kV=14.838 kW=37.856 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GS2 Bus1=B840.1.2.3 kV=14.836 kW=17.031 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GS3 Bus1=B844.1.2.3 kV=14.850 kW=255.248 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GS4 Bus1=B848.1.2.3 kV=14.840 kW=37.814 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GS5 Bus1=B830.1.2.3 kV=14.304 kW=47.796 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GS6 Bus1=B890.1.2.3 kV=2.416 kW=302.33 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD1 Bus1=midB806.1.2.3 kV=15.061 kW=141.183 PF=1 phases=3 model=7
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD2 Bus1=midB810.1.2.3 kV=14.200 kW=67.324 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD3 Bus1=midB820.1.2.3 kV=13.891 kW=45.276 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD4 Bus1=midB822.1.2.3 kV=13.766 kW=176.526 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD5 Bus1=midB826.1.2.3 kV=13.770 kW=157.276 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD6 Bus1=midB828.1.2.3 kV=14.577 kW=17.654 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD7 Bus1=midB830.1.2.3 kV=14.414 kW=30.709 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD8 Bus1=midB858.1.2.3 kV=14.892 kW=13.367 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD9 Bus1=midB864.1.2.3 kV=14.797 kW=7.896 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD10 Bus1=midB834.1.2.3 kV=14.840 kW=28.513 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD11 Bus1=midB860.1.2.3 kV=14.811 kW=37.856 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD12 Bus1=midB836.1.2.3 kV=14.808 kW=79.457 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD13 Bus1=midB840.1.2.3 kV=14.807 kW=41.601 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD14 Bus1=midB838.1.2.3 kV=13.852 kW=111.412 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD15 Bus1=midB844.1.2.3 kV=14.806 kW=40.964 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD16 Bus1=midB846.1.2.3 kV=14.796 kW=113.61 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS
 New Generator.GD17 Bus1=midB848.1.2.3 kV=14.792 kW=104.405 PF=1 phases=3 model=1
 enabled=yes spectrum=6PULSOS

New energymeter.M1 element=Line.L1 terminal=1

New monitor.TransSubXF_power element=Transformer.SubXF terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.TransSubXF_voltage element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0
 New monitor.TransSubXF_current element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0

New monitor.Line1_power element=Line.L1 terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.Line1_voltage element=Line.L1 terminal=1 mode=0
 New monitor.Line1_current element=Line.L1 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS860_power element=Line.L17d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS860_voltage element=Line.L17d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS840_power element=Line.L19d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS840_voltage element=Line.L19d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS844_power element=Line.L21d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS844_voltage element=Line.L21d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS848_power element=Line.L23d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS848_voltage element=Line.L23d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS830_power element=Line.L14d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS830_voltage element=Line.L14d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS890_power element=Line.L32a terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS890_voltage element=Line.L32a terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD802_806_power element=Line.L2c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD802_806_voltage element=Line.L2c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD808_810_power element=Line.L4c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD808_810_voltage element=Line.L4c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD818_820_power element=Line.L10c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD818_820_voltage element=Line.L10c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD820_822_power element=Line.L11c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD820_822_voltage element=Line.L11c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_826_power element=Line.L12c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_826_voltage element=Line.L12c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_828_power element=Line.L13c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_828_voltage element=Line.L13c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD828_830_power element=Line.L14c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD828_830_voltage element=Line.L14c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD832_858_power element=Line.L16c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD832_858_voltage element=Line.L16c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_864_power element=Line.L28c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD858_864_voltage element=Line.L28c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_834_power element=Line.L29c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD858_834_voltage element=Line.L29c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD834_860_power element=Line.L17c terminal=1 ppolar=no mode=1

```

New monitor.CargaD834_860_voltage element=Line.L17c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD860_836_power element=Line.L30c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD860_836_voltage element=Line.L30c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD836_840_power element=Line.L19c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD836_840_voltage element=Line.L19c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD862_838_power element=Line.L31c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD862_838_voltage element=Line.L31c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD842_844_power element=Line.L21c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD842_844_voltage element=Line.L21c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD844_846_power element=Line.L22c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD844_846_voltage element=Line.L22c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD846_848_power element=Line.L23c terminal=1 ppolar=no mode=1
New monitor.CargaD846_848_voltage element=Line.L23c terminal=1 mode=0

Set VoltageBases = "69,24.9,4.16"
CalcVoltageBases

set controlmode=Static

set mode=direct
solve

set mode = harmonics

solve

BusCoords IEEE34_BusXY.csv

```

9.2.6. Código en OpenDSS de caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores en la hora 15

La construcción del script del caso de estudio de red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de rechazo para cada banco de condensadores en la hora 15, se hace en base a las versiones actualizadas de ejemplo tomadas de los códigos de líneas IEEE que vienen por defecto en las referencias [50], [72] y [74], en los cuales se adaptan cargas balanceadas, curvas de carga y espectros armónicos, además de la configuración de simulación entre otros elementos descritos en la metodología de los ítems 5.4. y 5.5.

Clear

New object= circuit.ieee34
 ~ basekv=69 pu=1.05 angle=30
 MVAsc3=200000
 MVAsc1=210000

! CURVAS DE DEMANDA
 new loadshape.industrial 24 1.0
 ~ mult=(0.3 0.25 0.2 0.2 0.2 0.25 0.3 0.4 0.7 0.9 0.9 0.85 0.75 0.75 0.9 1 1 0.75 0.5 0.4 0.35 0.35
 0.3 0.3)

! ESPECTROS ARMONICOS
 New "Spectrum.PQY3" NumHarm=15 CSVFile=PQY3.csv
 New "Spectrum.6PULSOS" NumHarm=15 CSVFile=6PULSOS.csv

! Transformador de subestación
 New Transformer.SubXF Phases=3 Windings=2 Xhl=0.001 ppm=0
 ~ wdg=1 bus=sourcebus conn=Delta kv=69 kva=25000 %r=0.0005
 ~ wdg=2 bus=800 conn=wye kv=24.9 kva=25000 %r=0.0005

! Transformador de carga Y-Y
 New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=4.08
 ~ wdg=1 bus=832 conn=wye kv=24.9 kva=500 %r=0.95
 ~ wdg=2 bus=888 conn=wye kv=4.16 kva=500 %r=0.95

Redirect IEEELineCodes34.dss

! Líneas
 New Line.L1 Phases=3 Bus1=800.1.2.3 Bus2=802.1.2.3 LineCode=300 Length=2.58

New Line.L2a Phases=3 Bus1=802.1.2.3 Bus2=mid806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)
 New Line.L2b Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)
 New Line.L2c Phases=3 Bus1=mid806.1.2.3 Bus2=midB806.1.2.3 LineCode=300 Length=(1.73 2 /)

New Line.L3 Phases=3 Bus1=806.1.2.3 Bus2=808.1.2.3 LineCode=300 Length=32.23

New Line.L4a Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=Mid810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
 New Line.L4b Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)
 New Line.L4c Phases=3 Bus1=Mid810.1.2.3 Bus2=MidB810.1.2.3 LineCode=303 Length=(5.804 2 /)

New Line.L5 Phases=3 Bus1=808.1.2.3 Bus2=812.1.2.3 LineCode=300 Length=37.5
 New Line.L6 Phases=3 Bus1=812.1.2.3 Bus2=814.1.2.3 LineCode=300 Length=29.73
 New Line.L7 Phases=3 Bus1=814r.1.2.3 Bus2=850.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01
 New Line.L24 Phases=3 Bus1=850.1.2.3 Bus2=816.1.2.3 LineCode=301 Length=0.31
 New Line.L8 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=818.1.2.3 LineCode=302 Length=1.71

New Line.L9 Phases=3 Bus1=816.1.2.3 Bus2=824.1.2.3 LineCode=301 Length=(10.21 2 /)

New Line.L10a Phases=3 Bus1=818.1.2.3 Bus2=mid820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
 New Line.L10b Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)
 New Line.L10c Phases=3 Bus1=mid820.1.2.3 Bus2=midB820.1.2.3 LineCode=302 Length=(48.15 2 /)

New Line.L11a Phases=3 Bus1=820.1.2.3 Bus2=mid822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
 New Line.L11b Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)
 New Line.L11c Phases=3 Bus1=mid822.1.2.3 Bus2=midB822.1.2.3 LineCode=302 Length=(13.74 2 /)

New Line.L12a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
 New Line.L12b Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)
 New Line.L12c Phases=3 Bus1=mid826.1.2.3 Bus2=midB826.1.2.3 LineCode=303 Length=(3.03 2 /)

New Line.L13a Phases=3 Bus1=824.1.2.3 Bus2=mid828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
 New Line.L13b Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)
 New Line.L13c Phases=3 Bus1=mid828.1.2.3 Bus2=midB828.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.84 2 /)

New Line.L14a Phases=3 Bus1=828.1.2.3 Bus2=mid830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14b Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14c Phases=3 Bus1=mid830.1.2.3 Bus2=midB830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)
 New Line.L14d Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=B830.1.2.3 LineCode=301 Length=(20.44 2 /)

New Line.L15 Phases=3 Bus1=830.1.2.3 Bus2=854.1.2.3 LineCode=301 Length=0.52

New Line.L16a Phases=3 Bus1=832.1.2.3 Bus2=mid858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
 New Line.L16b Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)
 New Line.L16c Phases=3 Bus1=mid858.1.2.3 Bus2=midB858.1.2.3 LineCode=301 Length=(4.9 2 /)

New Line.L29a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
 New Line.L29b Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)
 New Line.L29c Phases=3 Bus1=mid834.1.2.3 Bus2=midB834.1.2.3 LineCode=301 Length=(5.83 2 /)

New Line.L18 Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=842.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L19a Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=mid840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19b Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19c Phases=3 Bus1=mid840.1.2.3 Bus2=midB840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)
 New Line.L19d Phases=3 Bus1=840.1.2.3 Bus2=B840.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.86 2 /)

New Line.L21a Phases=3 Bus1=842.1.2.3 Bus2=mid844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
 New Line.L21b Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
 New Line.L21c Phases=3 Bus1=mid844.1.2.3 Bus2=midB844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)
 New Line.L21d Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=B844.1.2.3 LineCode=301 Length=(1.35 2 /)

New Line.L22a Phases=3 Bus1=844.1.2.3 Bus2=mid846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
 New Line.L22b Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)
 New Line.L22c Phases=3 Bus1=mid846.1.2.3 Bus2=midB846.1.2.3 LineCode=301 Length=(3.64 2 /)

New Line.L23a Phases=3 Bus1=846.1.2.3 Bus2=mid848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
 New Line.L23b Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
 New Line.L23c Phases=3 Bus1=mid848.1.2.3 Bus2=midB848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)
 New Line.L23d Phases=3 Bus1=848.1.2.3 Bus2=B848.1.2.3 LineCode=301 Length=(0.53 2 /)

New Line.L26 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=856.1.2.3 LineCode=303 Length=(23.33 2 /)

New Line.L27 Phases=3 Bus1=854.1.2.3 Bus2=852.1.2.3 LineCode=301 Length=36.83
 New Line.L25 Phases=3 Bus1=852r.1.2.3 Bus2=832.1.2.3 LineCode=301 Length=0.01

New Line.L28a Phases=3 Bus1=858.1.2.3 Bus2=mid864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
 New Line.L28b Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)
 New Line.L28c Phases=3 Bus1=mid864.1.2.3 Bus2=midB864.1.2.3 LineCode=303 Length=(1.62 2 /)

New Line.L17a Phases=3 Bus1=834.1.2.3 Bus2=mid860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
 New Line.L17b Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
 New Line.L17c Phases=3 Bus1=mid860.1.2.3 Bus2=midB860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)
 New Line.L17d Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=B860.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.02 2 /)

New Line.L30a Phases=3 Bus1=860.1.2.3 Bus2=mid836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
 New Line.L30b Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)
 New Line.L30c Phases=3 Bus1=mid836.1.2.3 Bus2=midB836.1.2.3 LineCode=301 Length=(2.68 2 /)

New Line.L20 Phases=3 Bus1=836.1.2.3 Bus2=862.1.2.3 LineCode=301 Length=0.28

New Line.L31a Phases=3 Bus1=862.1.2.3 Bus2=mid838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
 New Line.L31b Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)
 New Line.L31c Phases=3 Bus1=mid838.1.2.3 Bus2=midB838.1.2.3 LineCode=304 Length=(4.86 2 /)

New Line.L32 Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56
 New Line.L32a Phases=3 Bus1=888.1.2.3 Bus2=B890.1.2.3 LineCode=300 Length=10.56

! Reguladores - tres fases independientes

! Regulador 1

new transformer.reg1a phases=1 windings=2 buses=(814.1 814r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg1a transformer =reg1a winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.7 X=1.6
 new transformer.reg1b phases=1 windings=2 buses=(814.2 814r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg1b transformer =reg1b winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.7 X=1.6
 new transformer.reg1c phases=1 windings=2 buses=(814.3 814r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg1c transformer =reg1c winding=2 vreg=122 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.7 X=1.6

! Regulador 2

new transformer.reg2a phases=1 windings=2 buses=(852.1 852r.1) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg2a transformer =reg2a winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.5 X=1.5 delay=30
 new transformer.reg2b phases=1 windings=2 buses=(852.2 852r.2) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg2b transformer =reg2b winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.5 X=1.5 delay=30
 new transformer.reg2c phases=1 windings=2 buses=(852.3 852r.3) conns= 'wye wye' kvs="14.376 14.376" kvas="2000 2000" XHL=.01 wdg=1 %r=.0001 wdg=2 %r=.0001 ppm=0
 new regcontrol.creg2c transformer =reg2c winding=2 vreg=124 band=2 ptratio =120 ctpri=100
 R=2.5 X=1.5 delay=30

! cargas spot

New Load.S860 Bus1=B860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.838 kW=54.08
 kVAR=42.462 spectrum=PQY3
 New Load.S840 Bus1=B840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.836 kW=24.33
 kVAR=18.58 spectrum=PQY3
 New Load.S844 Bus1=B844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.850 kW=364.641
 kVAR=283.05 spectrum=PQY3
 New Load.S848 Bus1=B848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.840 kW=54.02
 kVAR=43.0 spectrum=PQY3
 New Load.S830 Bus1=B830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.304 kW=68.28
 kVAR=20.08 spectrum=PQY3
 New Load.S890 Bus1=B890.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=2.416 kW=431.9
 kVAR=225.2 spectrum=PQY3

! cargas distribuidas en medio de las líneas

New Load.D802_806 Bus1=midB806.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=15.061 kW=201.69
 kVAR=100.119 spectrum=PQY3
 New Load.D808_810 Bus1=midB810.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.200 kW=96.178
 kVAR=46.67 spectrum=PQY3
 New Load.D818_820 Bus1=midB820.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.891 kW=64.68
 kVAR=21.215 spectrum=PQY3
 New Load.D820_822 Bus1=midB822.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.766 kW=252.18
 kVAR=127.65 spectrum=PQY3
 New Load.D824_826 Bus1=midB826.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.770 kW=224.68
 kVAR=111.65 spectrum=PQY3
 New Load.D824_828 Bus1=midB828.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.577 kW=25.22
 kVAR=12.29 spectrum=PQY3
 New Load.D828_830 Bus1=midB830.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.414 kW=43.87
 kVAR=11.41 spectrum=PQY3
 New Load.D832_858 Bus1=midB858.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.892 kW=19.096
 kVAR=6.295 spectrum=PQY3
 New Load.D858_864 Bus1=midB864.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.797 kW=11.28
 kVAR=5.27 spectrum=PQY3
 New Load.D858_834 Bus1=midB834.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.840 kW=40.733
 kVAR=19.47 spectrum=PQY3
 New Load.D834_860 Bus1=midB860.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.811 kW=54.08
 kVAR=26.265 spectrum=PQY3
 New Load.D860_836 Bus1=midB836.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.808 kW=113.51
 kVAR=58.43 spectrum=PQY3
 New Load.D836_840 Bus1=midB840.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.807 kW=59.43
 kVAR=29.38 spectrum=PQY3
 New Load.D862_838 Bus1=midB838.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=13.852 kW=159.16
 kVAR=78.43 spectrum=PQY3
 New Load.D842_844 Bus1=midB844.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.806 kW=58.52
 kVAR=31.99 spectrum=PQY3
 New Load.D844_846 Bus1=midB846.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.796 kW=162.3
 kVAR=76.5 spectrum=PQY3
 New Load.D846_848 Bus1=midB848.1.2.3 Phases=3 Conn=Wye Model=1 kV=14.792 kW=149.15
 kVAR=71.13 spectrum=PQY3

! Vminpu.

Load.s860.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s840.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s844.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s848.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s830.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.s890.vminpu=0.85 daily=industrial

Load.d802_806.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d808_810.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d818_820.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d820_822.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d824_826.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d824_828.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d828_830.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d832_858.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d858_864.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d858_834.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d834_860.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d860_836.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d836_840.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d862_838.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d842_844.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d844_846.vminpu=0.85 daily=industrial
 Load.d846_848.vminpu=0.85 daily=industrial

! Vmax

Load.s860.vmaxpu=1.15
 Load.s840.vmaxpu=1.15
 Load.s844.vmaxpu=1.15
 Load.s848.vmaxpu=1.15
 Load.s830.vmaxpu=1.15
 Load.s890.vmaxpu=1.15
 Load.d802_806.vmaxpu=1.15
 Load.d808_810.vmaxpu=1.15
 Load.d818_820.vmaxpu=1.15
 Load.d820_822.vmaxpu=1.15
 Load.d824_826.vmaxpu=1.15
 Load.d824_828.vmaxpu=1.15
 Load.d828_830.vmaxpu=1.15
 Load.d832_858.vmaxpu=1.15
 Load.d858_864.vmaxpu=1.15
 Load.d858_834.vmaxpu=1.15
 Load.d834_860.vmaxpu=1.15
 Load.d860_836.vmaxpu=1.15
 Load.d836_840.vmaxpu=1.15
 Load.d862_838.vmaxpu=1.15
 Load.d842_844.vmaxpu=1.15
 Load.d844_846.vmaxpu=1.15
 Load.d846_848.vmaxpu=1.15

! Diseño de Reactancias y Banco de condensadores para Filtros de Rechazo por 15° hora para cada carga

New Capacitor.CS860 Bus1=B860 Phases=3 kVAR=24.684 kV=14.838 XL=1459.57

New Capacitor.CS840 Bus1=B840 Phases=3 kVAR=10.58 kV=14.836 XL=3402.26

New Capacitor.CS844 Bus1=B844 Phases=3 kVAR=163.207 kV=14.850 XL=221.088

New Capacitor.CS848 Bus1=B848 Phases=3 kVAR=25.25 kV=14.840 XL=1426.99

New Capacitor.CS890 Bus1=B890 Phases=3 kVAR=83.23 kV=2.416 XL=11.476

New Capacitor.CD802_806 Bus1=midB806.1.2.3 Phases=3 kVAR=33.826 kV=15.061 XL=1097.26

New Capacitor.CD820_822 Bus1=midB822.1.2.3 Phases=3 kVAR=44.76 kV=13.766 XL=692.757

New Capacitor.CD824_826 Bus1=midB826.1.2.3 Phases=3 kVAR=37.805 kV=13.770 XL=820.745

New Capacitor.CD824_828 Bus1=midB828.1.2.3 Phases=3 kVAR=4.007 kV=14.577 XL=8676.65

New Capacitor.CD834_860 Bus1=midB860.1.2.3 Phases=3 kVAR=8.490 kV=14.811 XL=4228.17

New Capacitor.CD860_836 Bus1=midB836.1.2.3 Phases=3 kVAR=21.119 kV=14.808 XL=1698.89

New Capacitor.CD836_840 Bus1=midB840.1.2.3 Phases=3 kVAR=9.852 kV=14.807 XL=3641.54
 New Capacitor.CD862_838 Bus1=midB838.1.2.3 Phases=3 kVAR=26.123 kV=13.852 XL=1201.95
 New Capacitor.CD842_844 Bus1=midB844.1.2.3 Phases=3 kVAR=12.756 kV=14.806 XL=2812.12

!Fuentes de armónicos 6 PULSOS

New Generator.GS1 Bus1=B860.1.2.3 kV=14.838 kW=37.856 PF=1 phases=3 model=7

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GS2 Bus1=B840.1.2.3 kV=14.836 kW=17.031 PF=1 phases=3 model=7

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GS3 Bus1=B844.1.2.3 kV=14.850 kW=255.248 PF=1 phases=3 model=7

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GS4 Bus1=B848.1.2.3 kV=14.840 kW=37.814 PF=1 phases=3 model=7

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GS5 Bus1=B830.1.2.3 kV=14.304 kW=47.796 PF=1 phases=3 model=7

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GS6 Bus1=B890.1.2.3 kV=2.416 kW=302.33 PF=1 phases=3 model=7

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD1 Bus1=midB806.1.2.3 kV=15.061 kW=141.183 PF=1 phases=3 model=7

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD2 Bus1=midB810.1.2.3 kV=14.200 kW=67.324 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD3 Bus1=midB820.1.2.3 kV=13.891 kW=45.276 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD4 Bus1=midB822.1.2.3 kV=13.766 kW=176.526 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD5 Bus1=midB826.1.2.3 kV=13.770 kW=157.276 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD6 Bus1=midB828.1.2.3 kV=14.577 kW=17.654 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD7 Bus1=midB830.1.2.3 kV=14.414 kW=30.709 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD8 Bus1=midB858.1.2.3 kV=14.892 kW=13.367 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD9 Bus1=midB864.1.2.3 kV=14.797 kW=7.896 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD10 Bus1=midB834.1.2.3 kV=14.840 kW=28.513 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD11 Bus1=midB860.1.2.3 kV=14.811 kW=37.856 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD12 Bus1=midB836.1.2.3 kV=14.808 kW=79.457 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD13 Bus1=midB840.1.2.3 kV=14.807 kW=41.601 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD14 Bus1=midB838.1.2.3 kV=13.852 kW=111.412 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD15 Bus1=midB844.1.2.3 kV=14.806 kW=40.964 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD16 Bus1=midB846.1.2.3 kV=14.796 kW=113.61 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New Generator.GD17 Bus1=midB848.1.2.3 kV=14.792 kW=104.405 PF=1 phases=3 model=1

enabled=yes spectrum=6PULSOS

New energymeter.M1 element=Line.L1 terminal=1

New monitor.TransSubXF_power element=Transformer.SubXF terminal=1 ppolar=no mode=1

New monitor.TransSubXF_voltage element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0
 New monitor.TransSubXF_current element=Transformer.SubXF terminal=1 mode=0

New monitor.Line1_power element=Line.L1 terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.Line1_voltage element=Line.L1 terminal=1 mode=0
 New monitor.Line1_current element=Line.L1 terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS860_power element=Line.L17d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS860_voltage element=Line.L17d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS840_power element=Line.L19d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS840_voltage element=Line.L19d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS844_power element=Line.L21d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS844_voltage element=Line.L21d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS848_power element=Line.L23d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS848_voltage element=Line.L23d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS830_power element=Line.L14d terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS830_voltage element=Line.L14d terminal=1 mode=0

New monitor.CargaS890_power element=Line.L32a terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaS890_voltage element=Line.L32a terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD802_806_power element=Line.L2c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD802_806_voltage element=Line.L2c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD808_810_power element=Line.L4c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD808_810_voltage element=Line.L4c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD818_820_power element=Line.L10c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD818_820_voltage element=Line.L10c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD820_822_power element=Line.L11c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD820_822_voltage element=Line.L11c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_826_power element=Line.L12c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_826_voltage element=Line.L12c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD824_828_power element=Line.L13c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD824_828_voltage element=Line.L13c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD828_830_power element=Line.L14c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD828_830_voltage element=Line.L14c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD832_858_power element=Line.L16c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD832_858_voltage element=Line.L16c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_864_power element=Line.L28c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD858_864_voltage element=Line.L28c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD858_834_power element=Line.L29c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD858_834_voltage element=Line.L29c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD834_860_power element=Line.L17c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD834_860_voltage element=Line.L17c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD860_836_power element=Line.L30c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD860_836_voltage element=Line.L30c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD836_840_power element=Line.L19c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD836_840_voltage element=Line.L19c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD862_838_power element=Line.L31c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD862_838_voltage element=Line.L31c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD842_844_power element=Line.L21c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD842_844_voltage element=Line.L21c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD844_846_power element=Line.L22c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD844_846_voltage element=Line.L22c terminal=1 mode=0

New monitor.CargaD846_848_power element=Line.L23c terminal=1 ppolar=no mode=1
 New monitor.CargaD846_848_voltage element=Line.L23c terminal=1 mode=0
 Set VoltageBases = "69,24.9,4.16"
 CalcVoltageBases

set controlmode=Static

set mode=direct
 solve

set mode = harmonics

solve

BusCoords IEEE34_BusXY.csv

9.3. Anexo C

9.3.1. Código en Matlab para cálculo de Índice de distorsión armónica total de tensión (THDv)

```
[DSSStartOK, DSSObj, DSSText] = DSSStartup;
if DSSStartOK
DSSText.command='Compile (C:\Users\Usuario\Documents\Asignaturas
Decimo Semestre\OpenDSS\CasoIEEE34_Reactancias_Hora24.dss)';
DSSCircuit=DSSObj.ActiveCircuit;
DSSSolution=DSSCircuit.Solution;
DSSLines = DSSCircuit.Lines; % Objeto para Lineas
Lines=DSSLines.All; %Nombre de todas la lineas

DSSText.Command='New monitor.line element=Line.L1 terminal=1';
%Definir nuevo monitor
DSSSolution.Solve;

%Recorrer todas las lineas
for i=1:72
    DSSText.Command = 'solve mode=snapshot';%Resetear cada pasada
    L=Lines{i};
    x=sprintf('monitor.line.element=Line.%s',L);
    DSSText.Command=x;
    DSSText.Command = 'solve mode=Harmonics';%Resolver para
armonicos
    DSSText.Command = 'export mon line';
    %DSSText.Command = 'show mon line';
    file = DSSText.Result; %Almacena el archivo
    arm = csvread(file,1,1);%Guarda los datos
    DSSLines.Name = L; % Activar una linea para mirar propiedades
    fases = DSSLines.phases;
    switch fases
        %3 fases
        case 3
            f1=sqrt(sum(arm(2:11,2).^2))/(arm(1,2))*100;%Calcula
el THDV de fase 1
            f2=sqrt(sum(arm(2:11,4).^2))/(arm(1,4))*100;%Calcula
el THDV de fase 2
            f3=sqrt(sum(arm(2:11,6).^2))/(arm(1,6))*100;%Calcula
el THDV de fase 3
        %2 fases
        case 2
            f1=sqrt(sum(arm(2:11,2).^2))/(arm(1,2))*100;%Calcula
el THDV de fase 1
            f2=sqrt(sum(arm(2:11,4).^2))/(arm(1,4))*100;%Calcula
el THDV de fase 2
            f3=0;
        %1 fases
        case 1
```

```

        f1=sqrt(sum(arm(2:11,2).^2))/(arm(1,2))*100;%Calcula
el THDV de fase 1 OJO posicion de V en el monitor
        f2=0;
        f3=0;
        otherwise
            disp('Unknown method.')
        end
        h=cat(2,f1,f2,f3); %Armar Tabla
        THDV(i,:)=h(:); %THDV en %
        THDVind=THDV/5; %THDV con indice del 5%
        %figure(1)
        %plot(THDVind)
        %hold on
        %legend('F1','F2','F3')
        %xlabel('Nodos')
        %ylabel('Ithdv')
    end
else
a='DSS No se inició'
disp(a)
end

```

9.3.2. Código en Matlab para cálculo de Índice de distorsión armónica total de corriente (THDi)

```

[DSSStartOK, DSSObj, DSSText] = DSSStartup;
if DSSStartOK
DSSText.command='Compile (C:\Users\Usuario\Documents\Asignaturas
Decimo Semestre\OpenDSS\CasoIEEE34_Reactancias_Horal.dss)';
DSSCircuit=DSSObj.ActiveCircuit;
DSSSolution=DSSCircuit.Solution;
DSSLines = DSSCircuit.Lines; % Objeto para Lineas
Lines=DSSLines.All; %Nombre de todas la lineas

DSSText.Command='New monitor.line element=Line.L1 terminal=1';
%Definir nuevo monitor
DSSSolution.Solve;
%Recorrer todas las lineas
    for i=1:72
        DSSText.Command = 'solve mode=snapshot';%Resetear cada pasada
        L=Lines{i};
        x=sprintf('monitor.line.element=Line.%s',L);
        DSSText.Command=x;
        DSSText.Command = 'solve mode=Harmonics';%Resolver para
armonicos
        DSSText.Command = 'export mon line';
        %DSSText.Command = 'show mon line';
        file = DSSText.Result; %Almacena el archivo
        arm = csvread(file,1,1);%Guarda los datos
    end
end

```

```

DSSLines.Name = L; % Activar una linea para mirar propiedades
fases = DSSLines.phases;
switch fases
    %3 fases
    case 3
        f1=sqrt(sum(arm(2:16,8).^2))/(arm(1,8))*100;%Calcula
el THD de fase 1
        f2=sqrt(sum(arm(2:16,10).^2))/(arm(1,10))*100;%Calcula
el THD de fase 2
        f3=sqrt(sum(arm(2:16,12).^2))/(arm(1,12))*100;%Calcula
el THD de fase 3
    %2 fases
    case 2
        f1=sqrt(sum(arm(2:16,6).^2))/(arm(1,6))*100;%Calcula
el THD de fase 1
        f2=sqrt(sum(arm(2:16,8).^2))/(arm(1,8))*100;%Calcula
el THD de fase 2
        f3=0;
    %1 fases
    case 1
        f1=sqrt(sum(arm(2:16,4).^2))/(arm(1,4))*100;%Calcula
el THD de fase 1 OJO posicion de I en el monitor 4
        f2=0;
        f3=0;
    otherwise
        disp('Unknown method.')
end
h=cat(2,f1,f2,f3);
THDi(i,:)=h(:);
%figure(1)
%plot(THDi)
end
else
a='DSS No se inició'
disp(a)
end

```

9.4. Anexo D

9.4.1. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 1

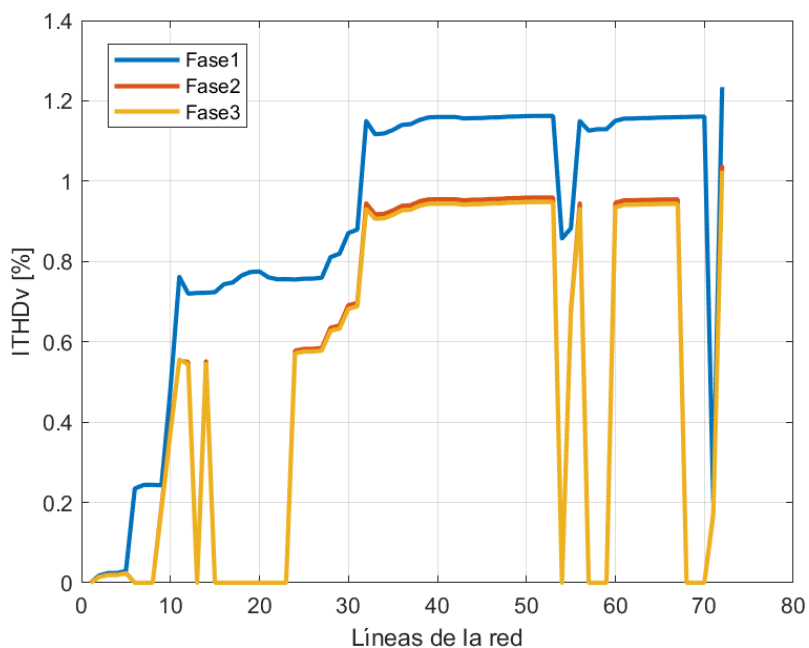


Figura 9.1. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 1. Fuente elaboración propia.

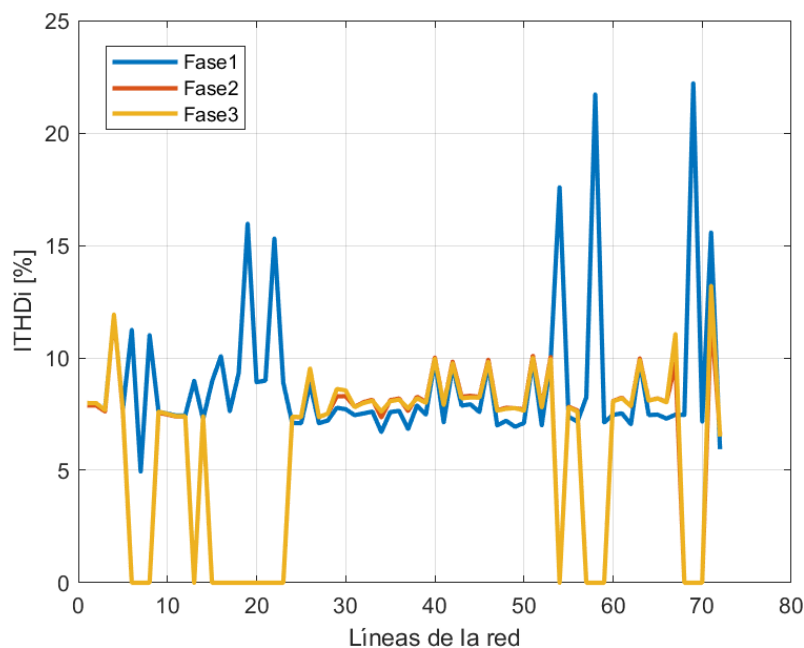


Figura 9.2. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 1. Fuente elaboración propia.

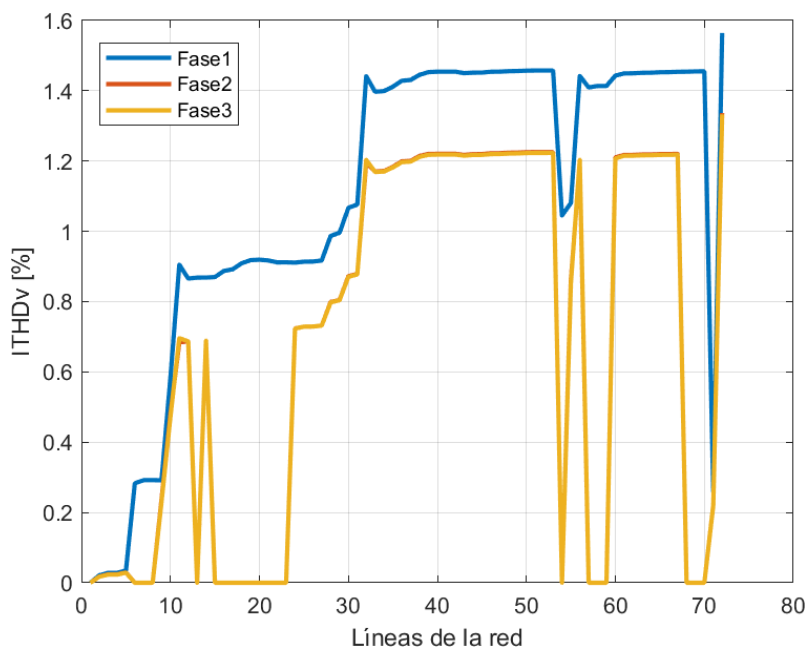


Figura 9.3. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 1. Fuente elaboración propia.

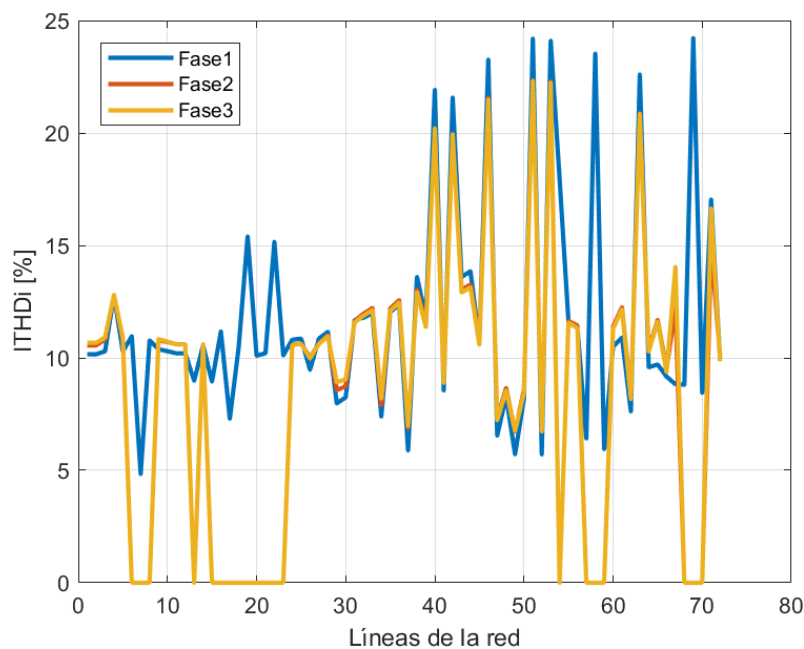


Figura 9.4. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 1. Fuente elaboración propia.

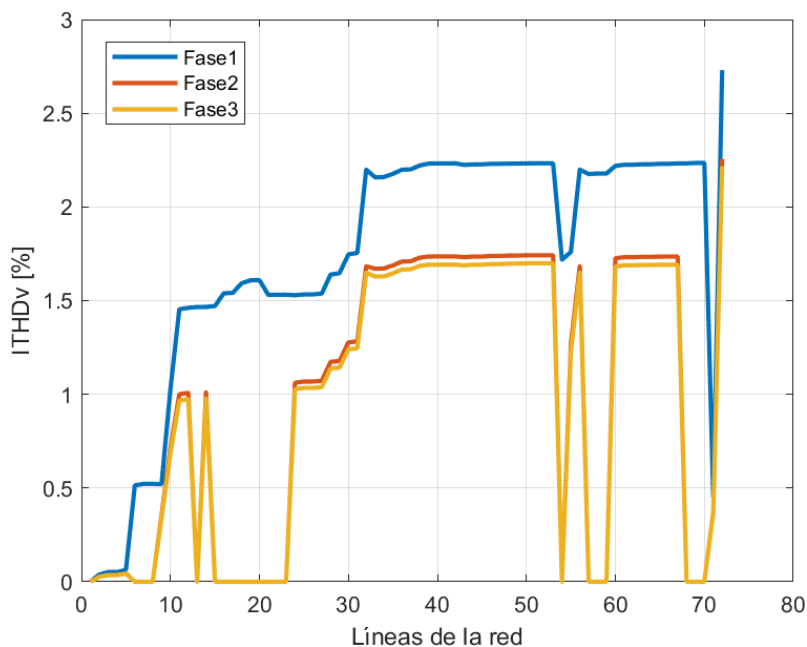


Figura 9.5. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 1. Fuente elaboración propia.

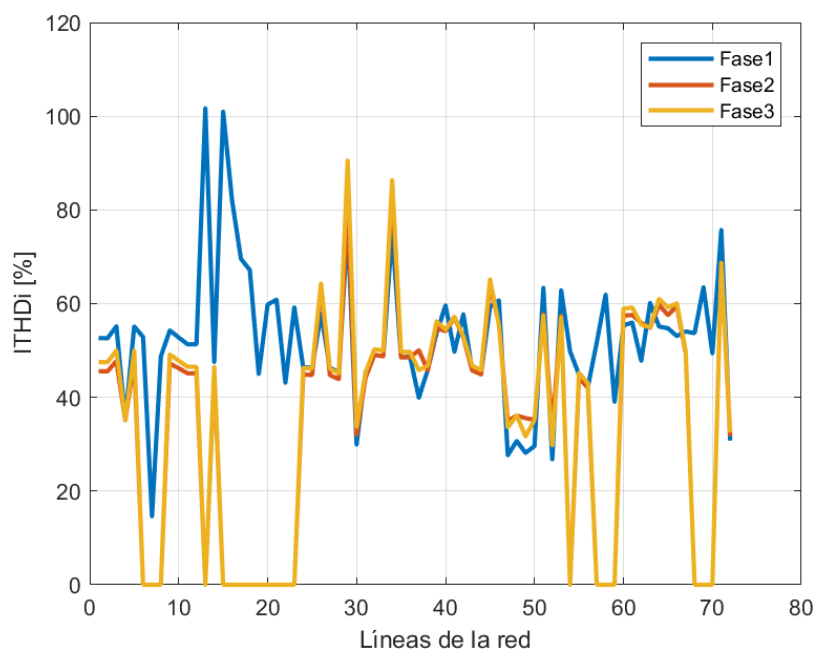


Figura 9.6. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 1. Fuente elaboración propia.

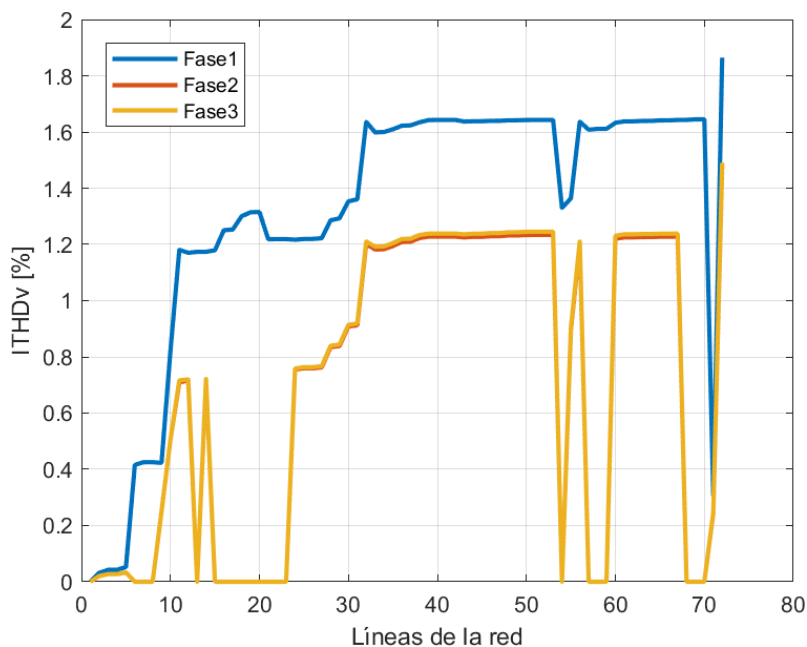


Figura 9.7. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 1. Fuente elaboración propia.

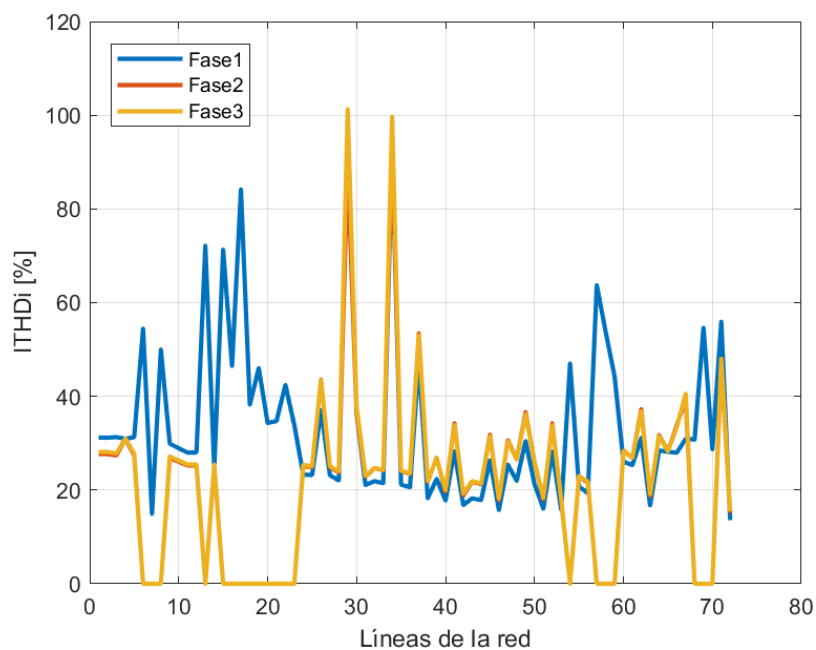


Figura 9.8. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 1. Fuente elaboración propia.

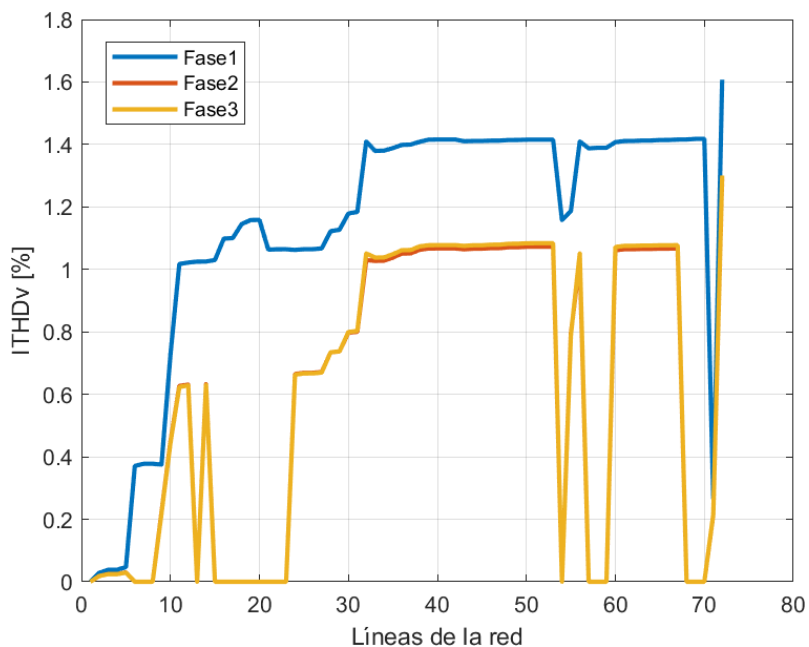


Figura 9.9. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 1. Fuente elaboración propia.

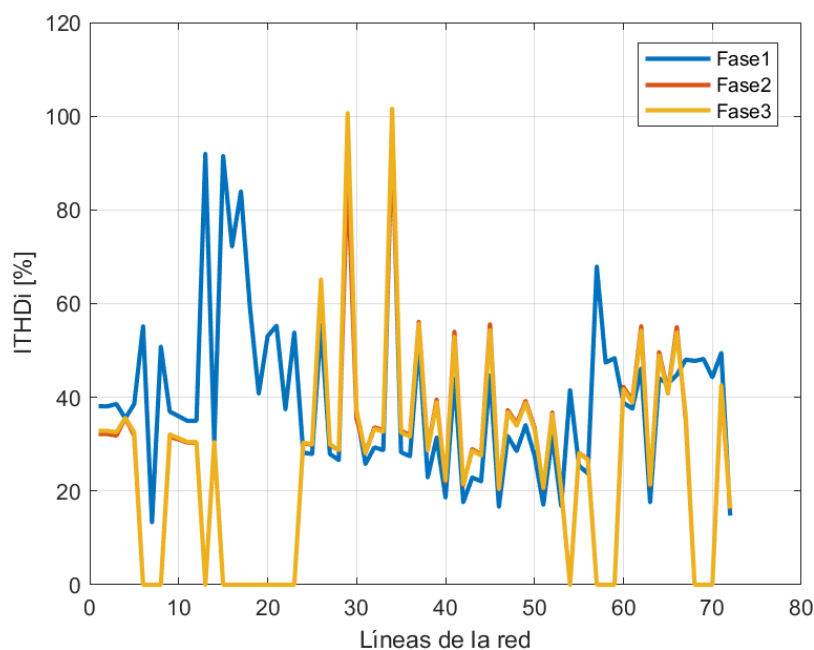


Figura 9.10. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 1. Fuente elaboración propia.

9.4.2. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 2

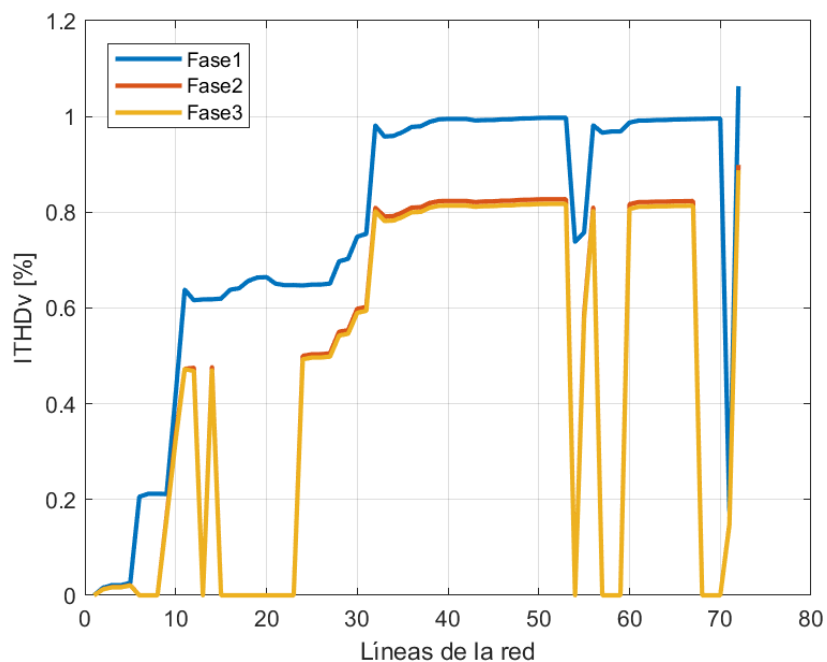


Figura 9.11. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 2. Fuente elaboración propia.

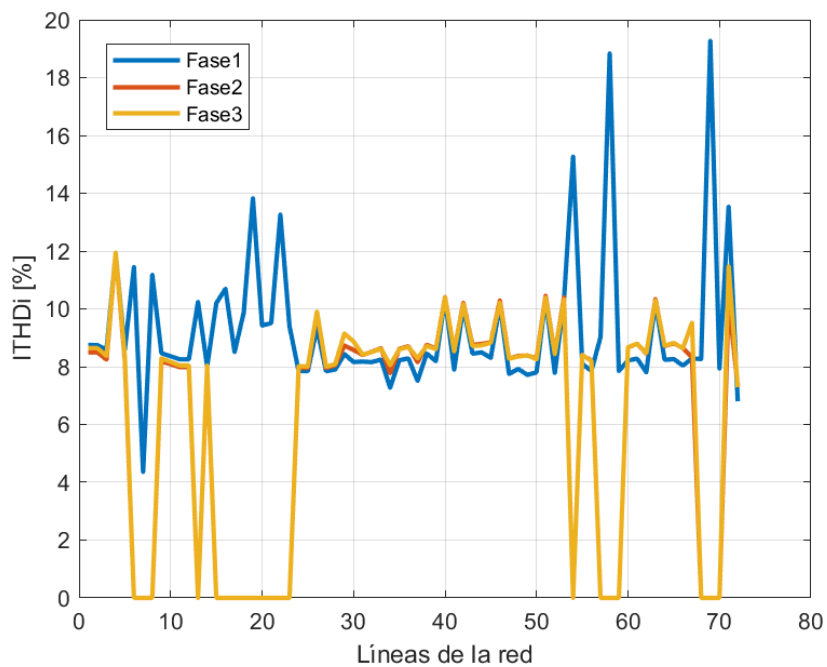


Figura 9.12. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 2. Fuente elaboración propia.

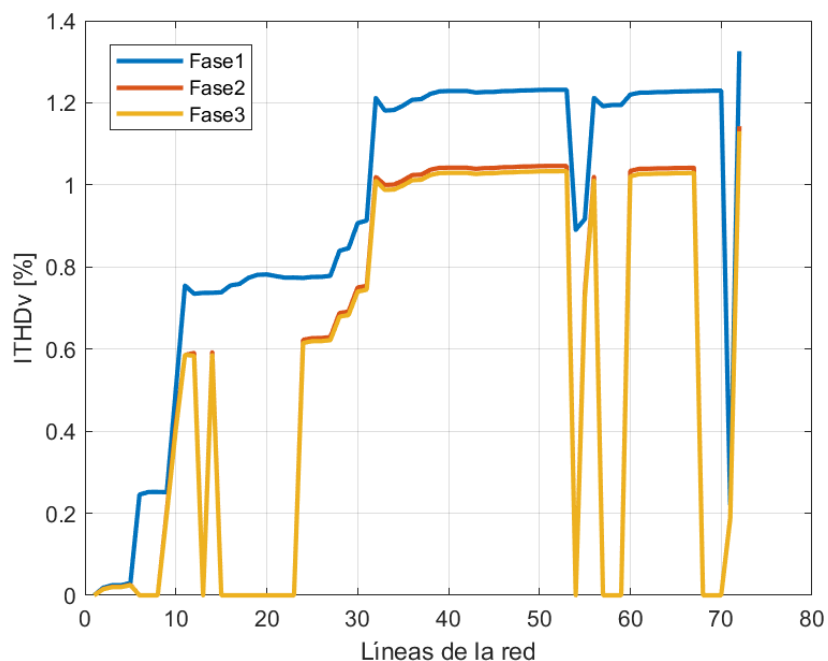


Figura 9.13. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 2. Fuente elaboración propia.

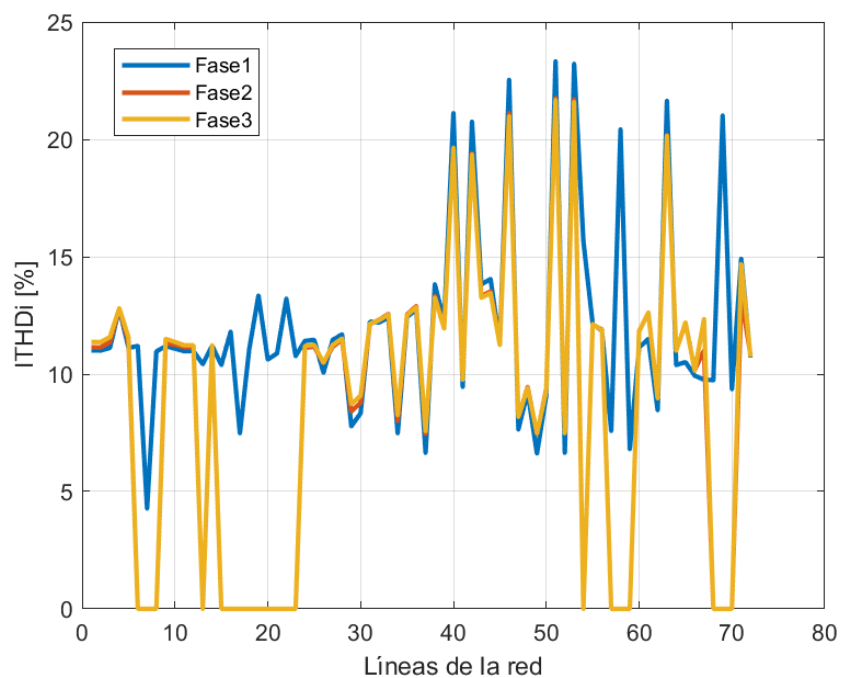


Figura 9.14. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 2. Fuente elaboración propia.

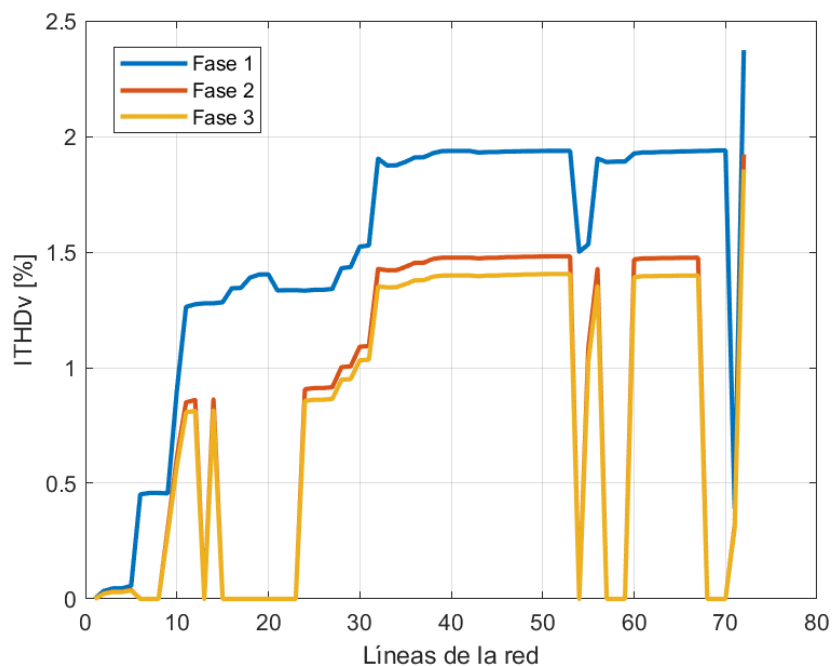


Figura 9.15. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 2. Fuente elaboración propia.

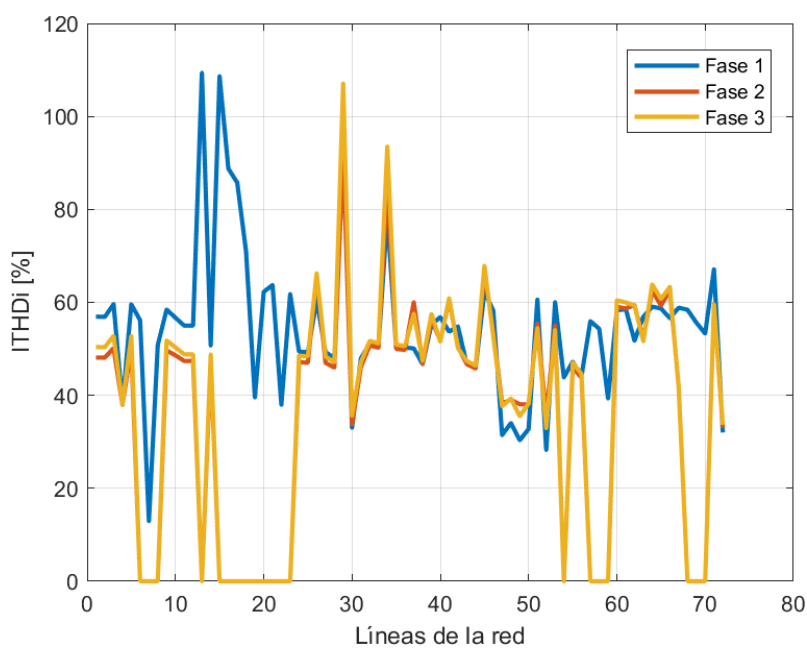


Figura 9.16. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 2. Fuente elaboración propia.

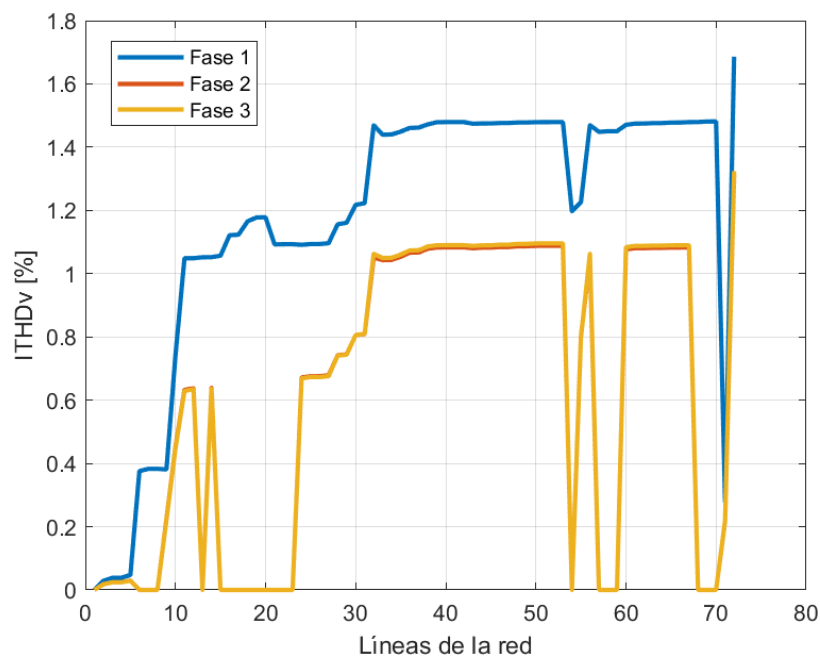


Figura 9.17. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 2. Fuente elaboración propia.

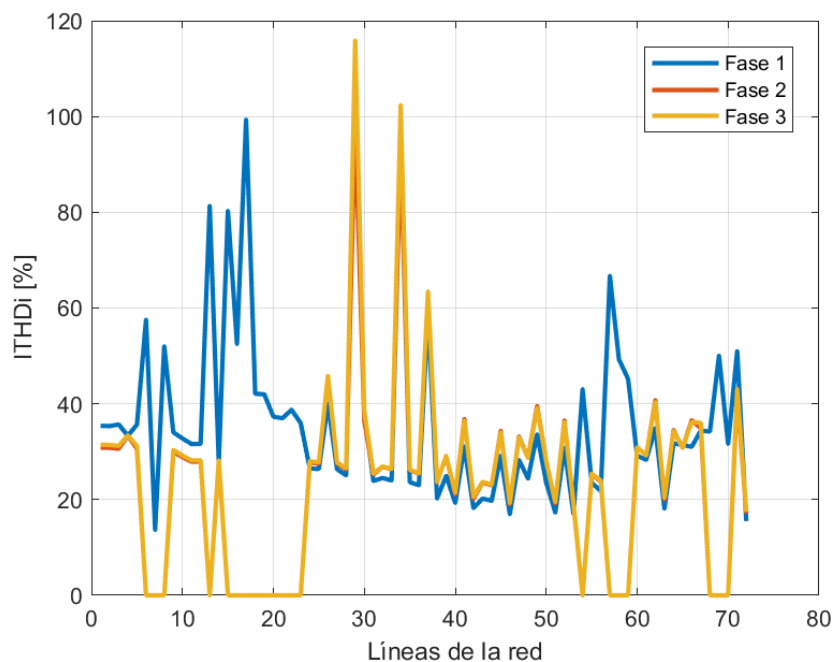


Figura 9.18. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 2. Fuente elaboración propia.

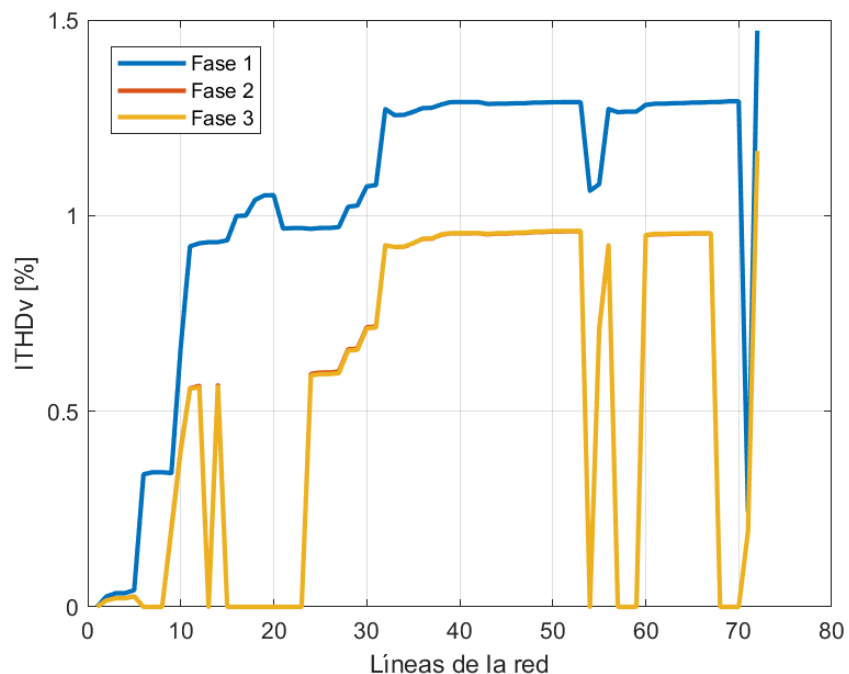


Figura 9.19. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 2. Fuente elaboración propia.

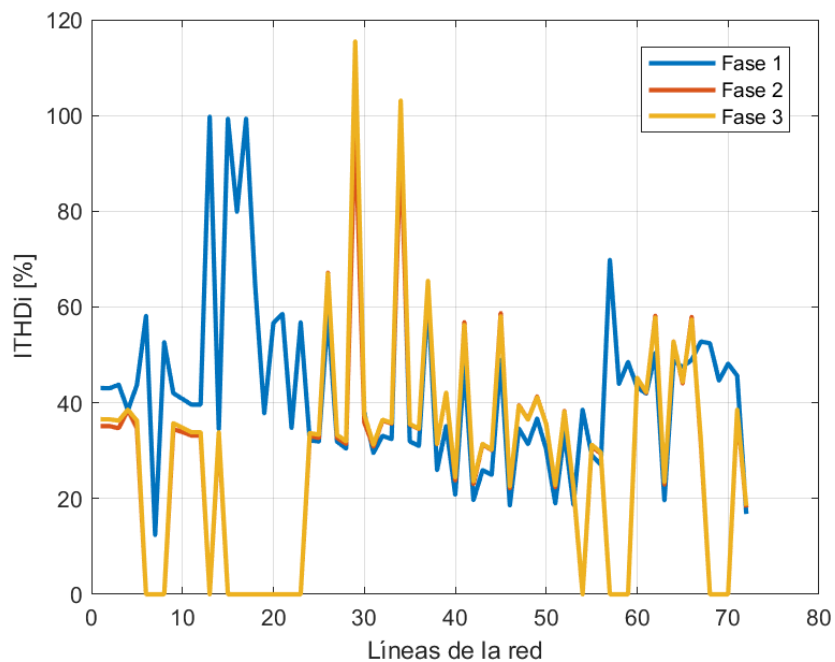


Figura 9.20. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 2. Fuente elaboración propia.

9.4.3. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 3

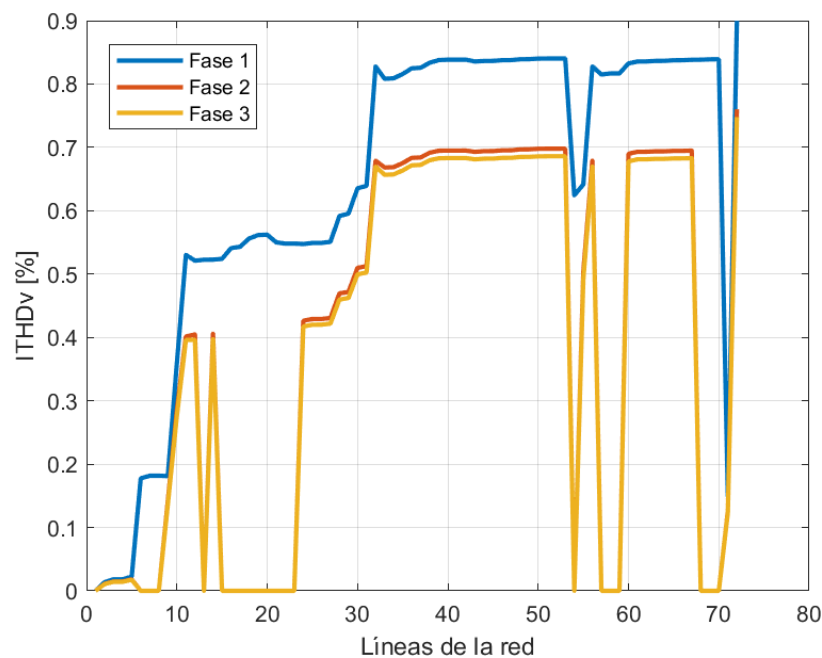


Figura 9.21. Gráfico de comportamiento ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 3. Fuente elaboración propia.

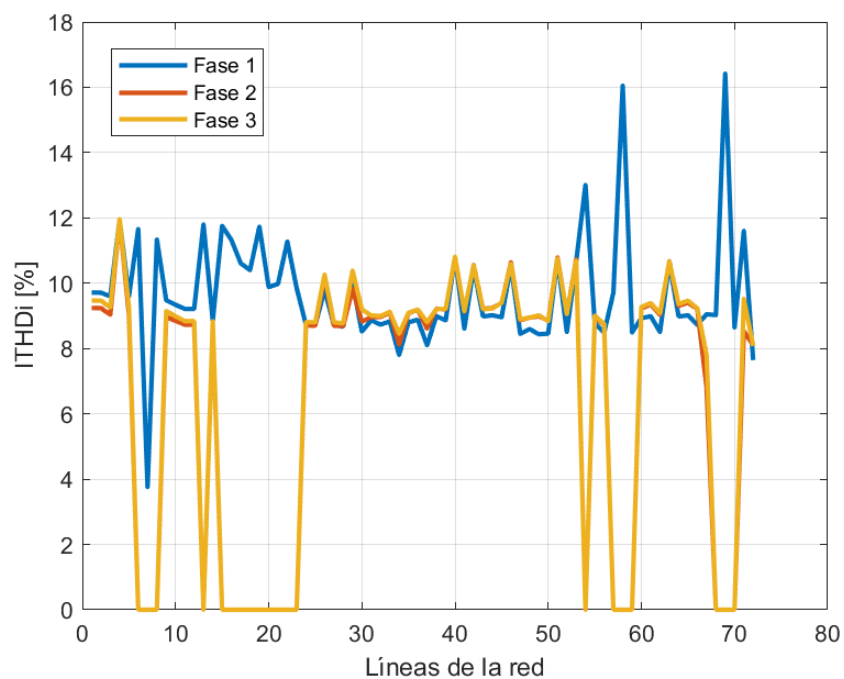


Figura 9.22. Gráfico de comportamiento ($ITHD_i$) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 3. Fuente elaboración propia.

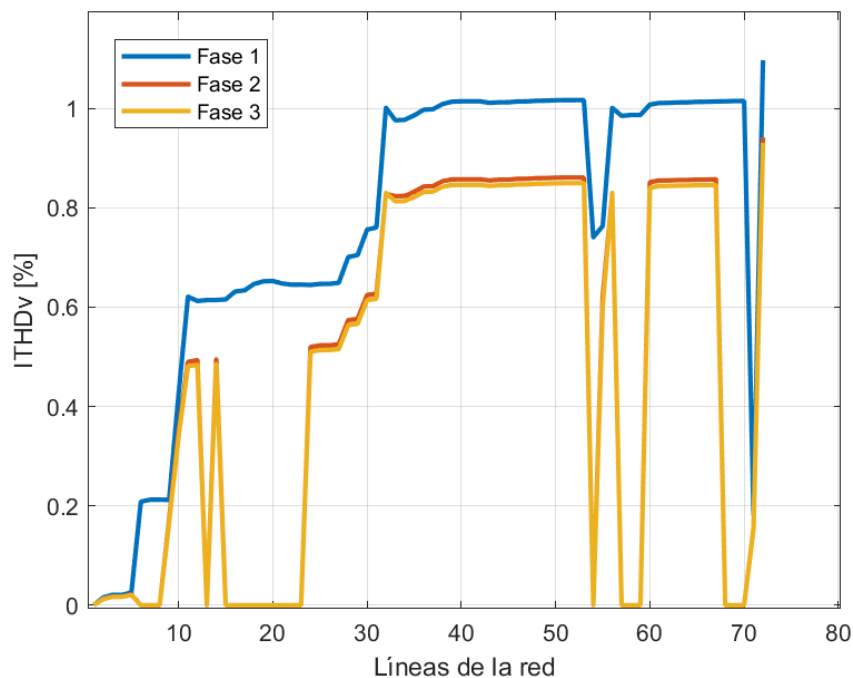


Figura 9.23. Gráfico de comportamiento ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 3. Fuente elaboración propia.

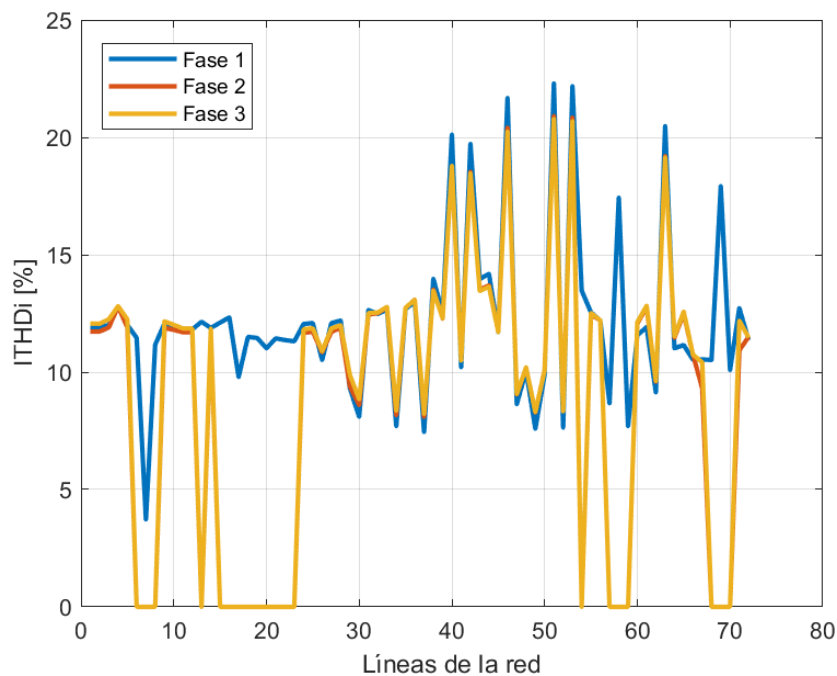


Figura 9.24. Gráfico de comportamiento ($ITHD_i$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 3. Fuente elaboración propia.

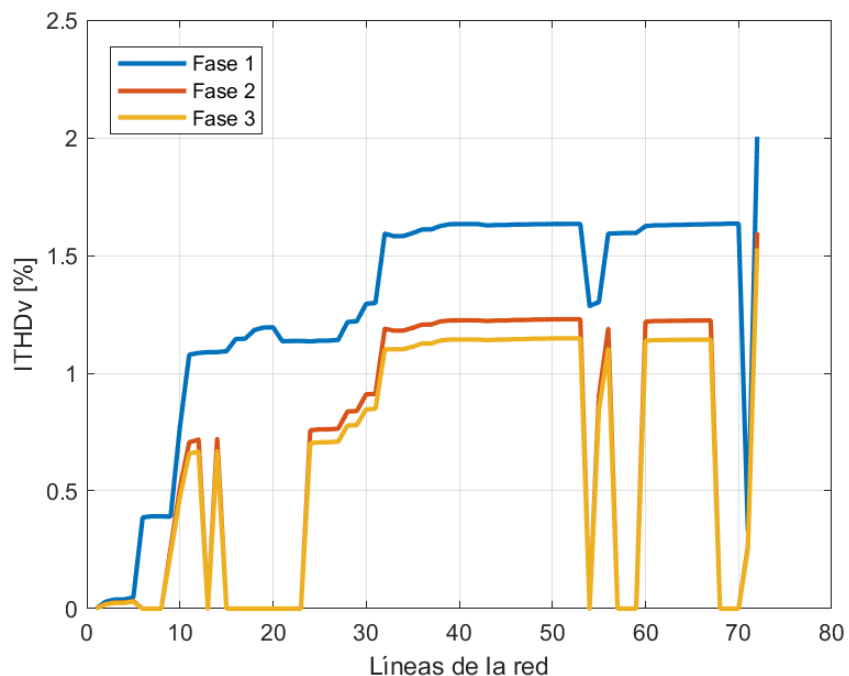


Figura 9.25. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 3. Fuente elaboración propia.

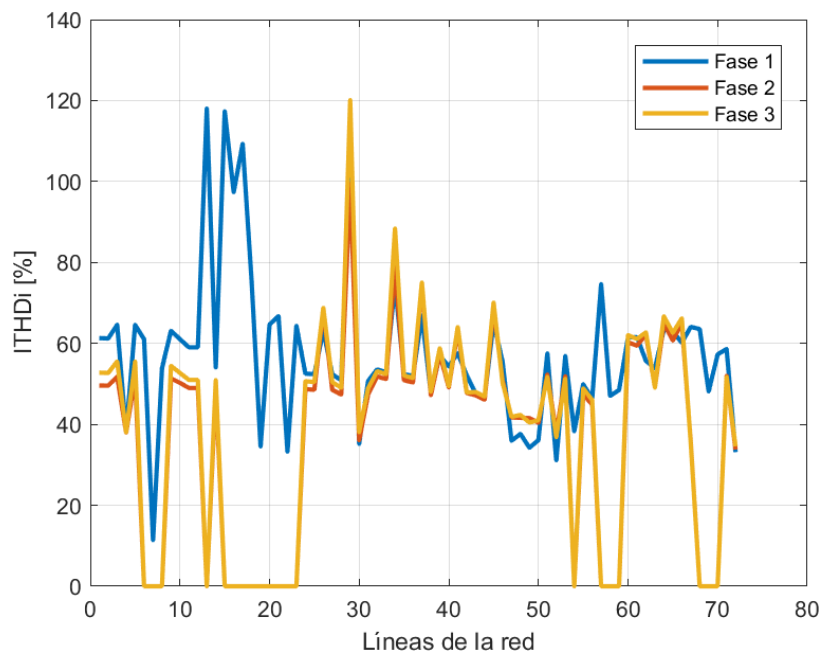


Figura 9.26. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 3. Fuente elaboración propia.

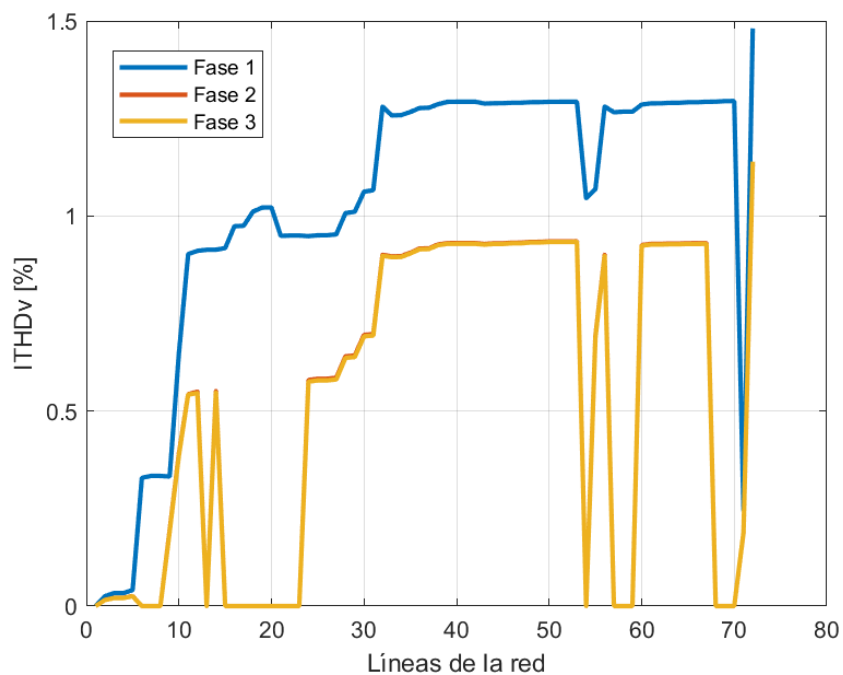


Figura 9.27. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 3. Fuente elaboración propia.

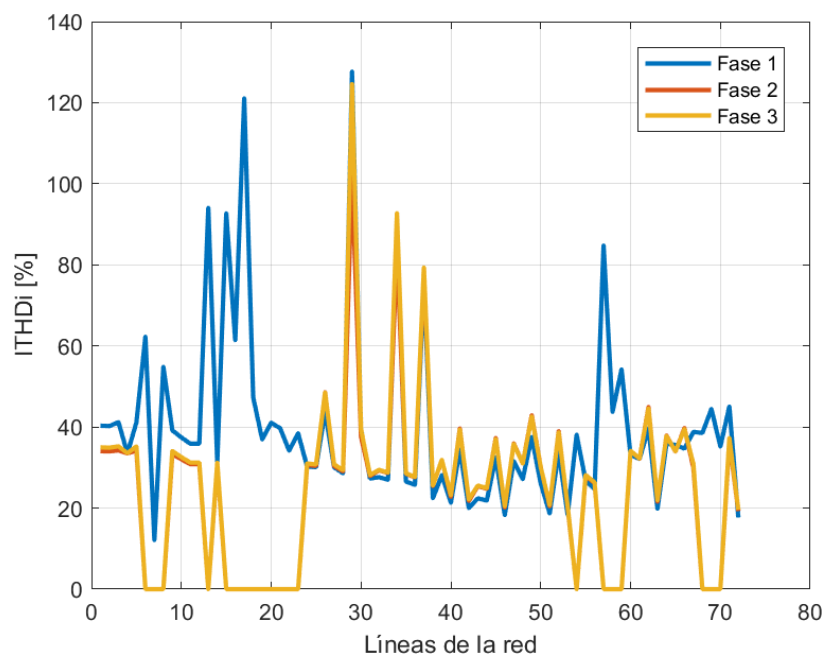


Figura 9.28. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 3. Fuente elaboración propia.

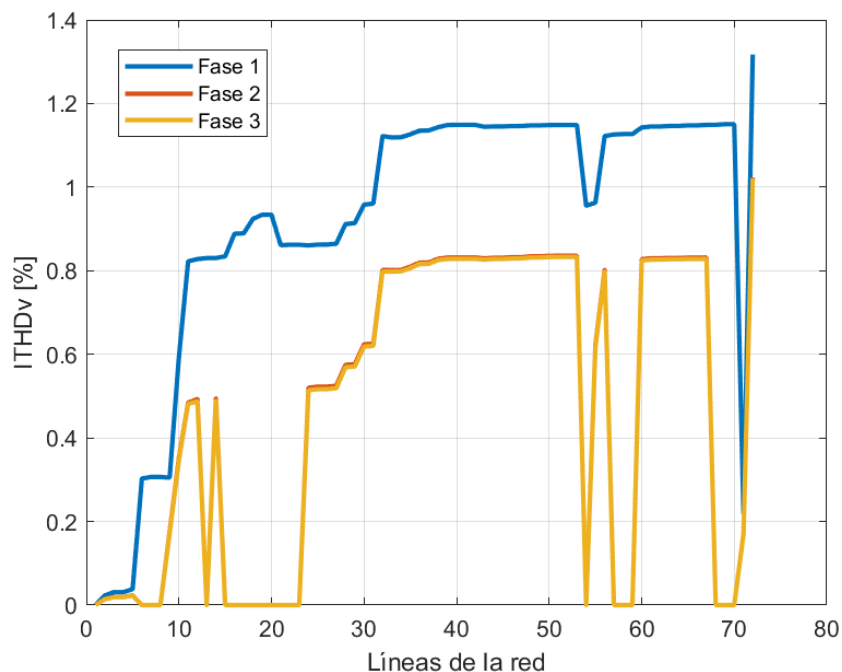


Figura 9.29. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 3. Fuente elaboración propia.

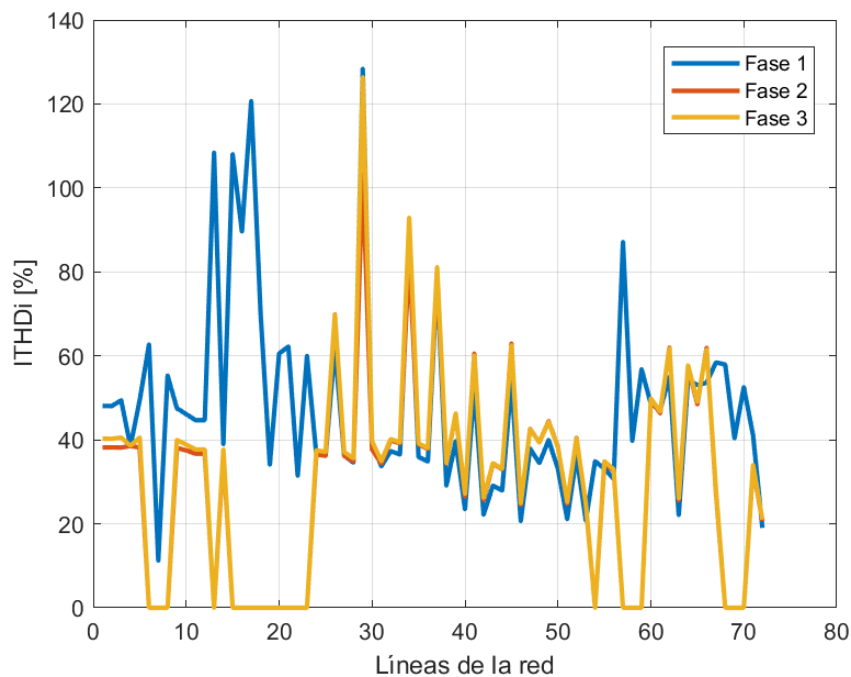


Figura 9.30. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 3. Fuente elaboración propia.

9.4.4. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 4

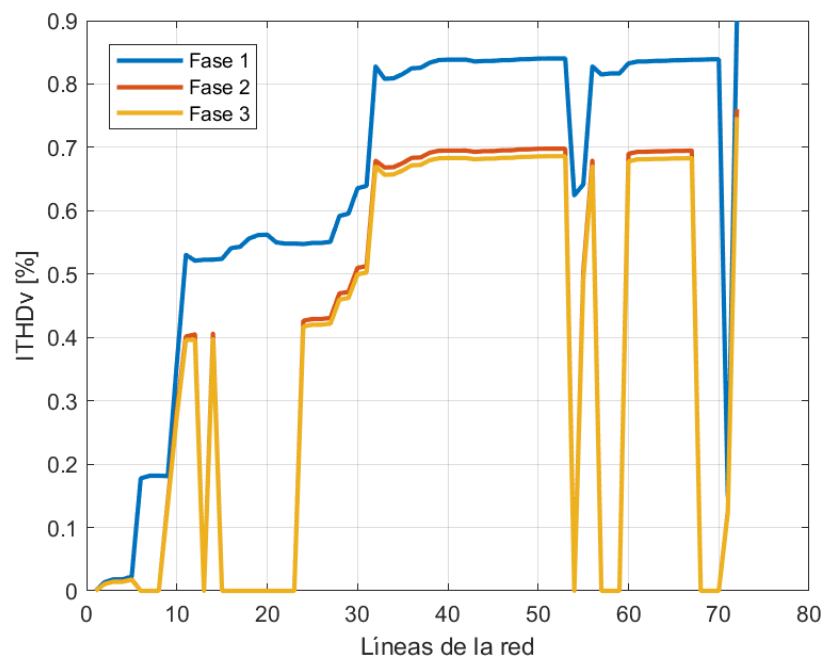


Figura 9.31. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 4. Fuente elaboración propia.

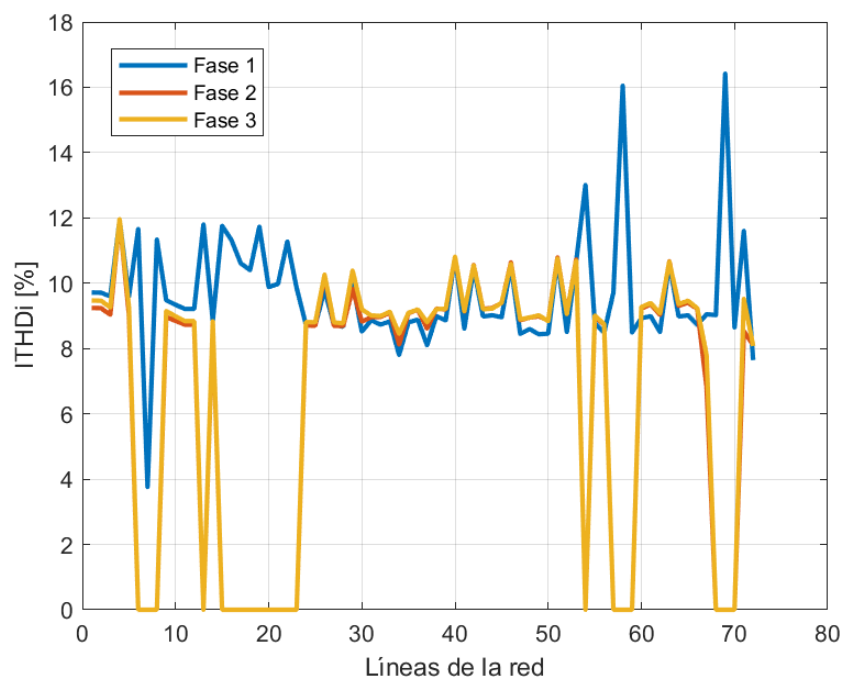


Figura 9.32. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 4. Fuente elaboración propia.

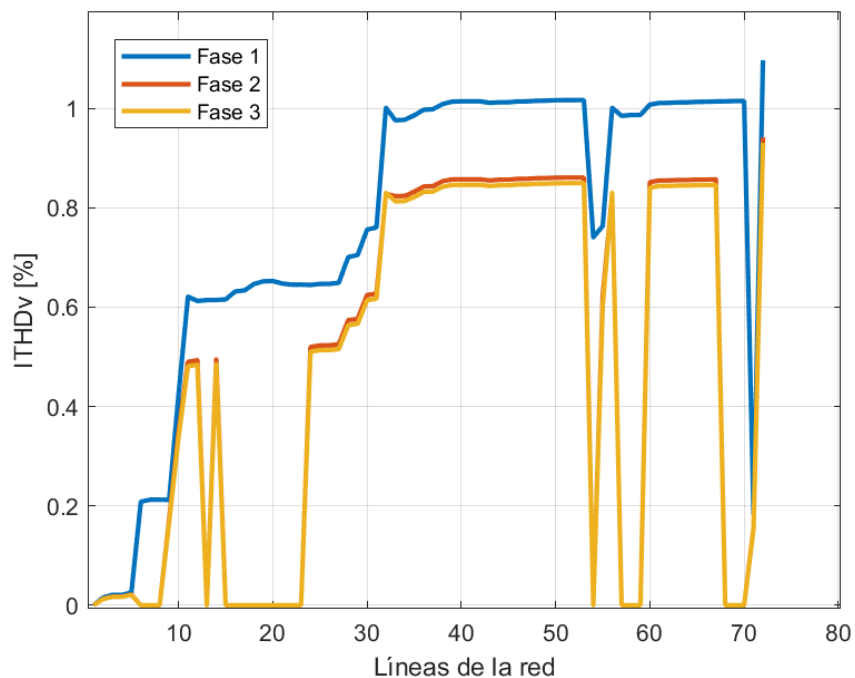


Figura 9.33. Gráfico de comportamiento ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 4. Fuente elaboración propia.

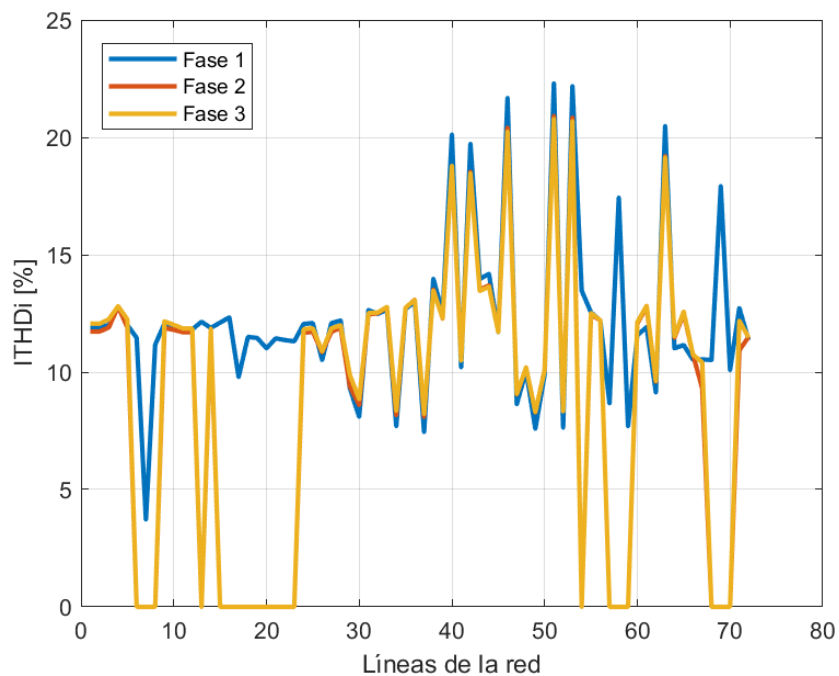


Figura 9.34. Gráfico de comportamiento ($ITHD_i$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 4. Fuente elaboración propia.

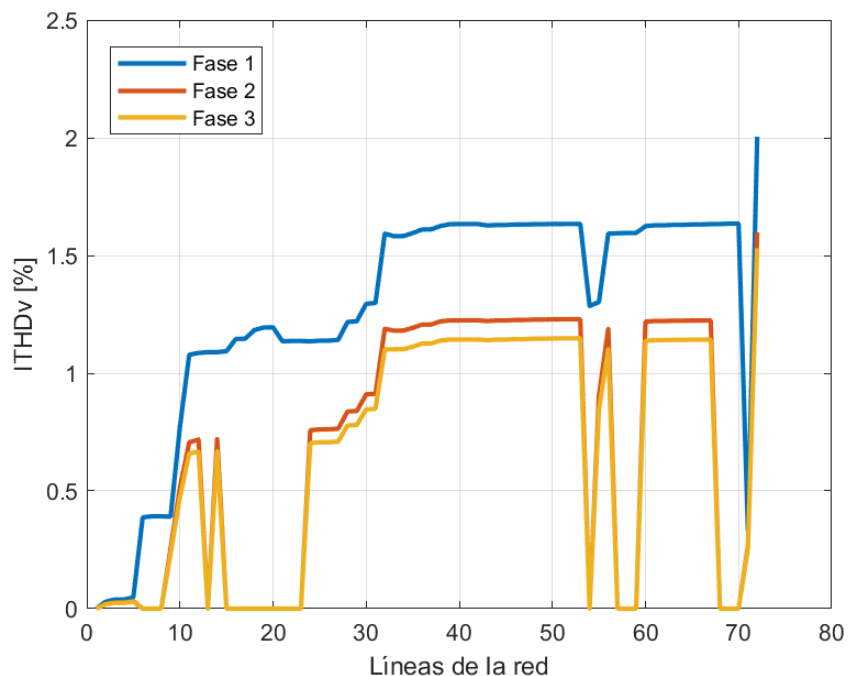


Figura 9.35. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 4. Fuente elaboración propia.

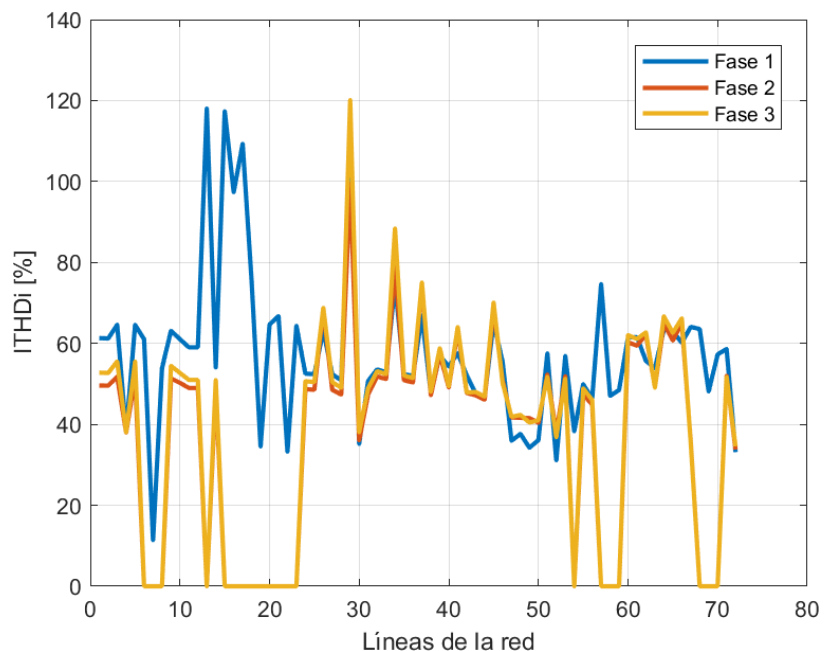


Figura 9.36. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 4. Fuente elaboración propia.

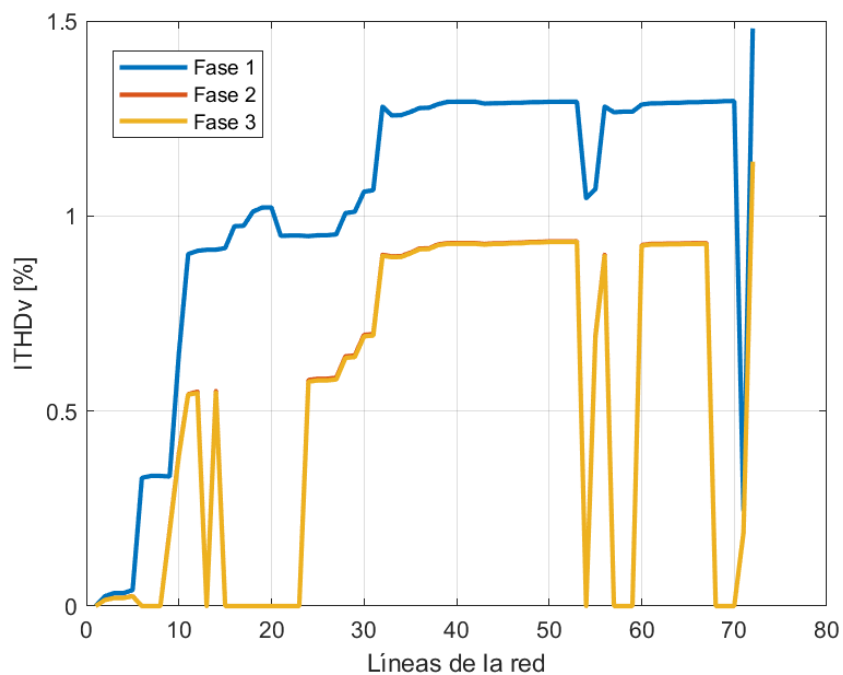


Figura 9.37. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 4. Fuente elaboración propia.

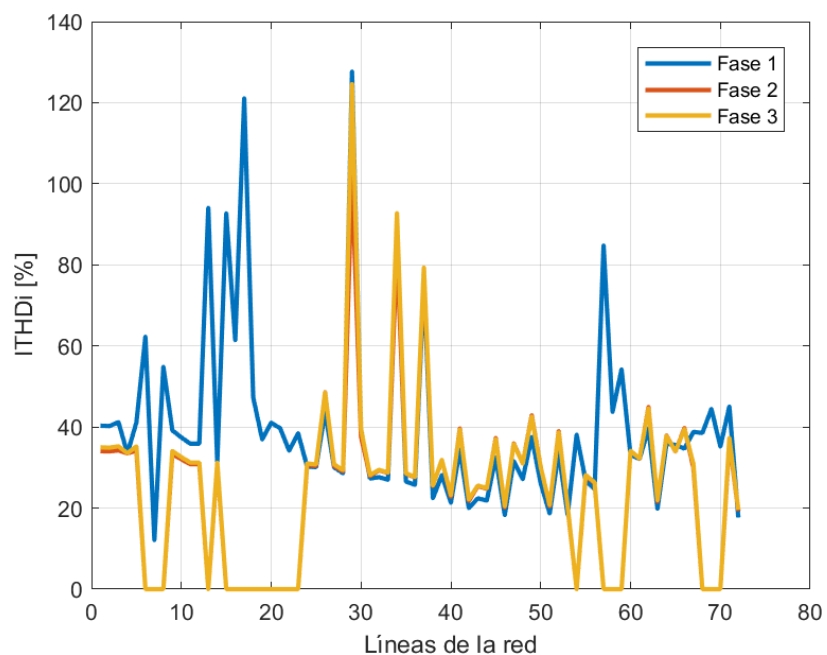


Figura 9.38. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 4. Fuente elaboración propia.

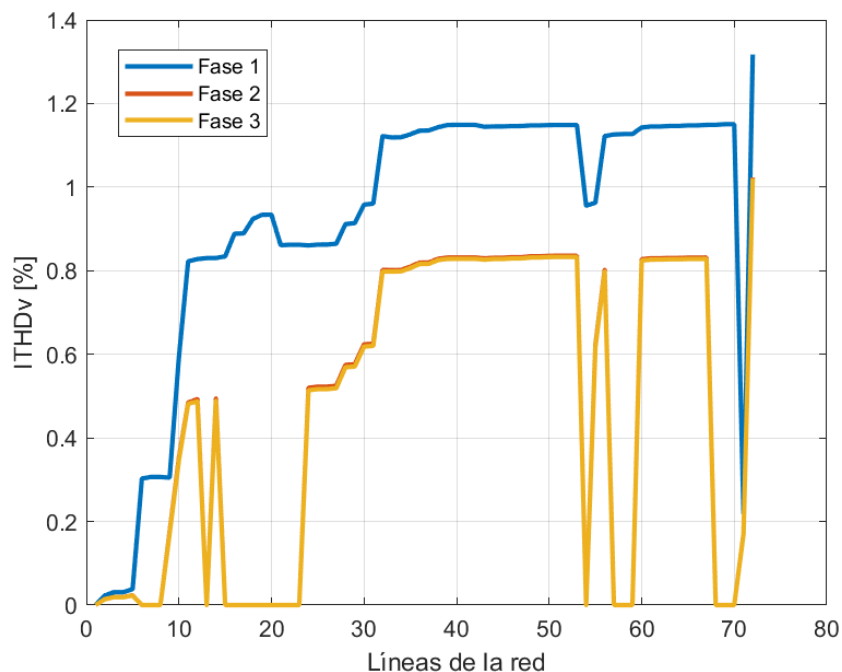


Figura 9.39. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 4. Fuente elaboración propia.

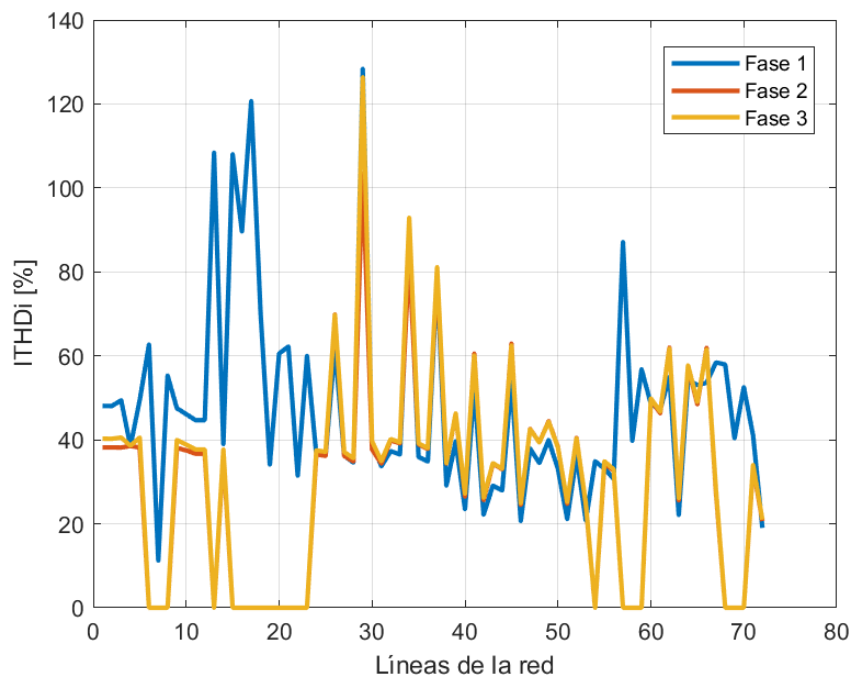


Figura 9.40. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 4. Fuente elaboración propia.

9.4.5. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 5.

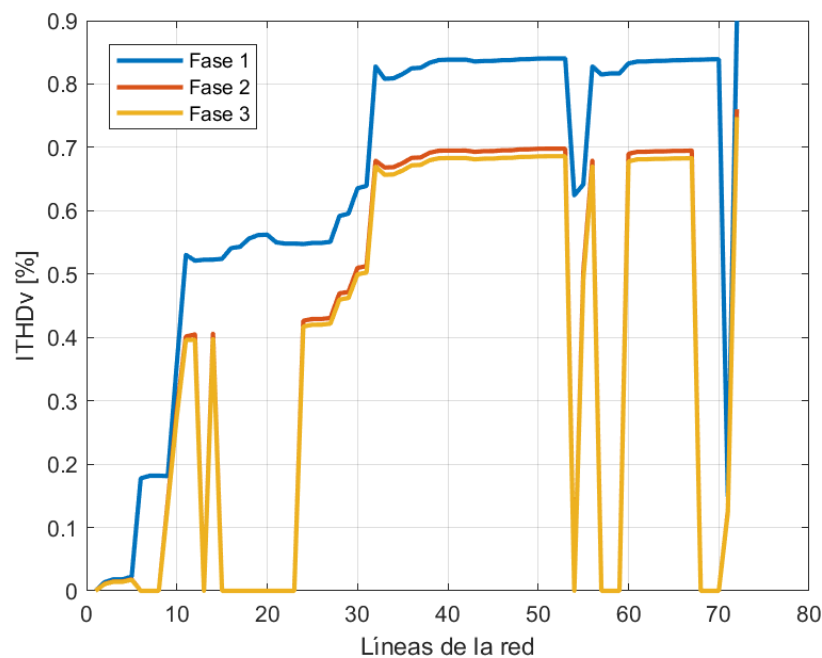


Figura 9.41. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 5. Fuente elaboración propia.

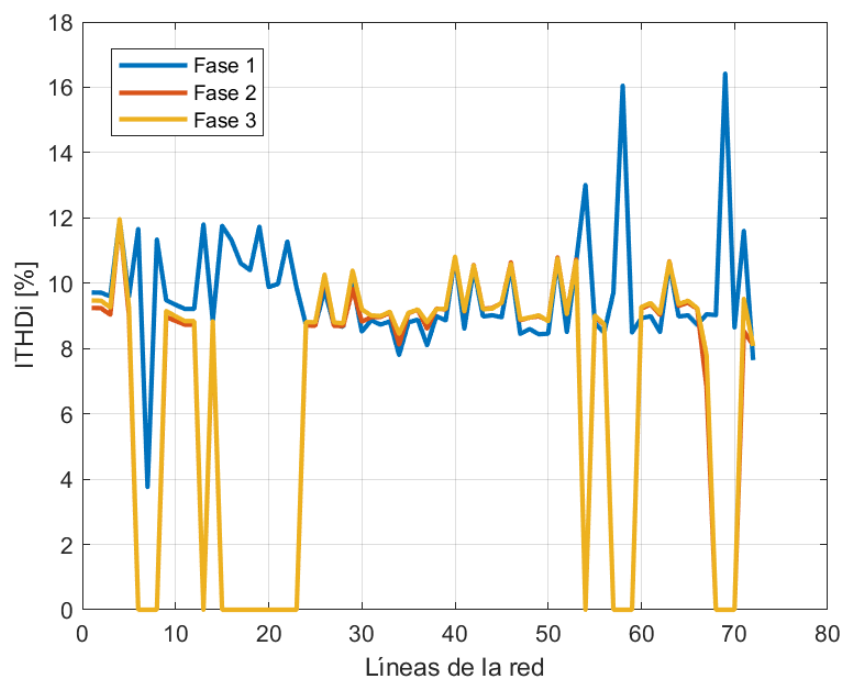


Figura 9.42. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 5. Fuente elaboración propia.

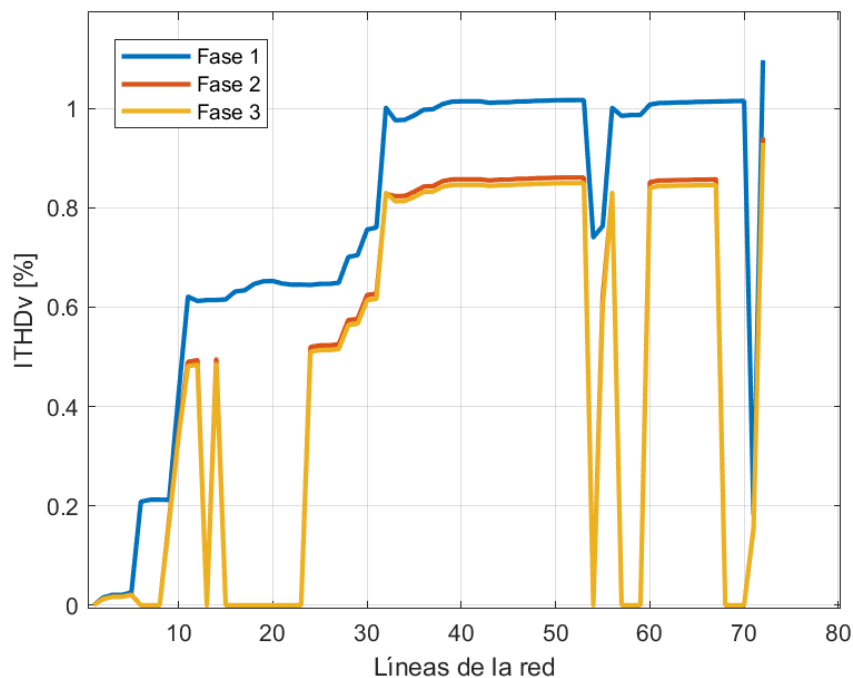


Figura 9.43. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 5. Fuente elaboración propia.

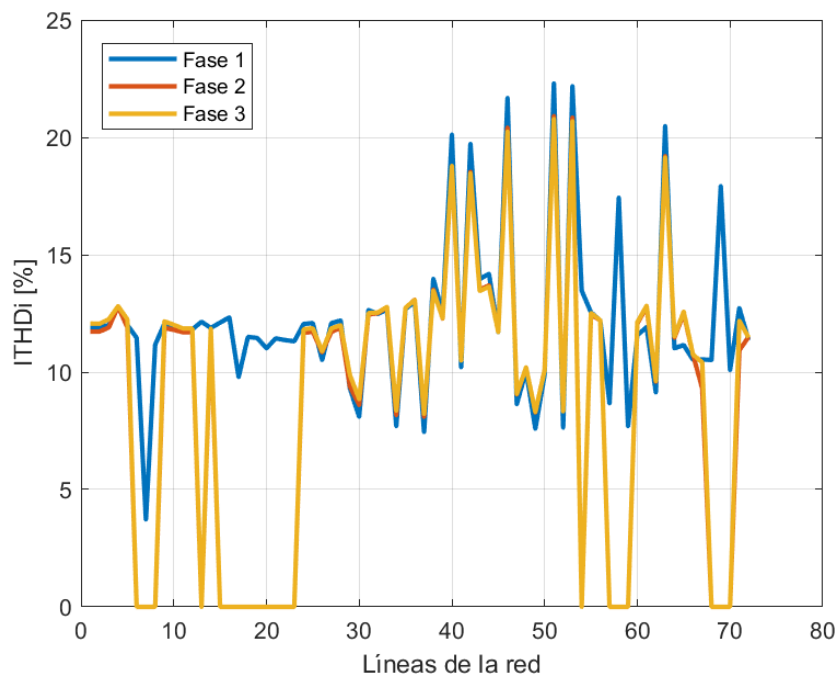


Figura 9.44. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 5. Fuente elaboración propia.

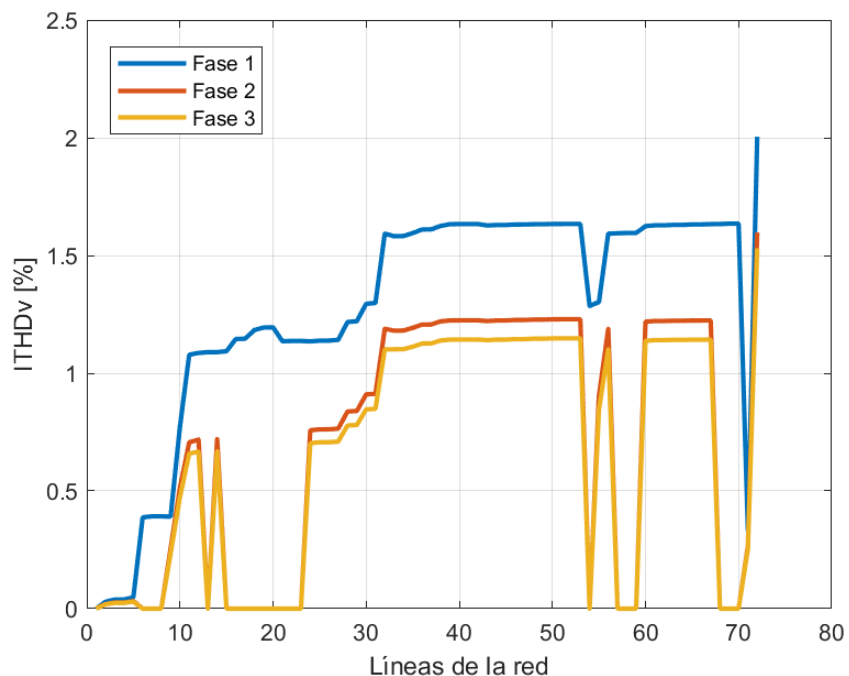


Figura 9.45. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 5. Fuente elaboración propia.

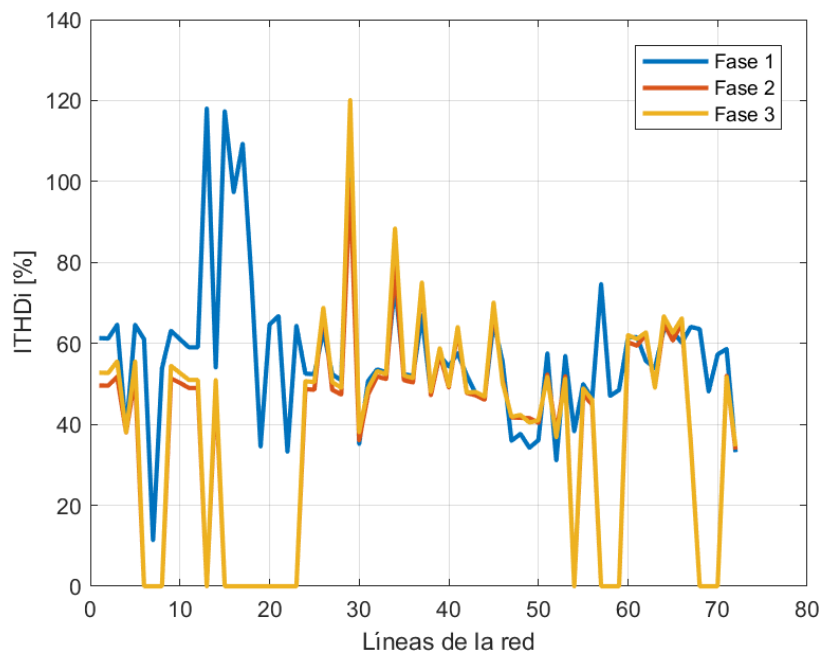


Figura 9.46. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 5. Fuente elaboración propia.

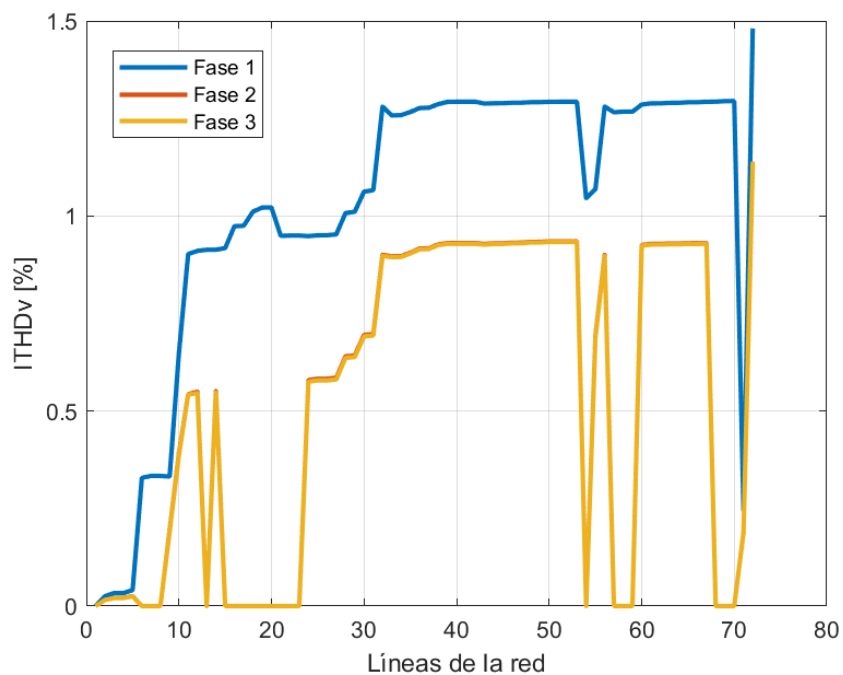


Figura 9.47. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 5. Fuente elaboración propia.

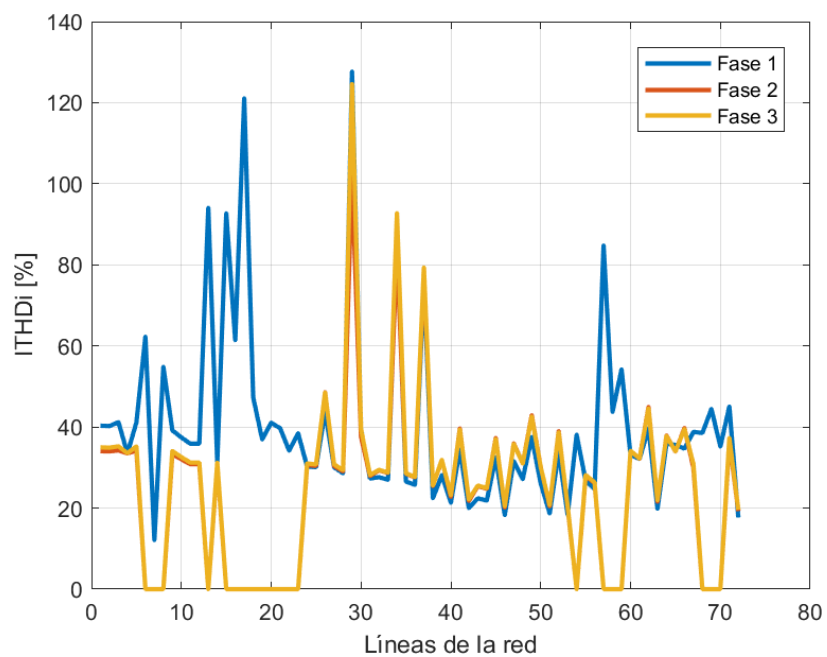


Figura 9.48. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 5. Fuente elaboración propia.

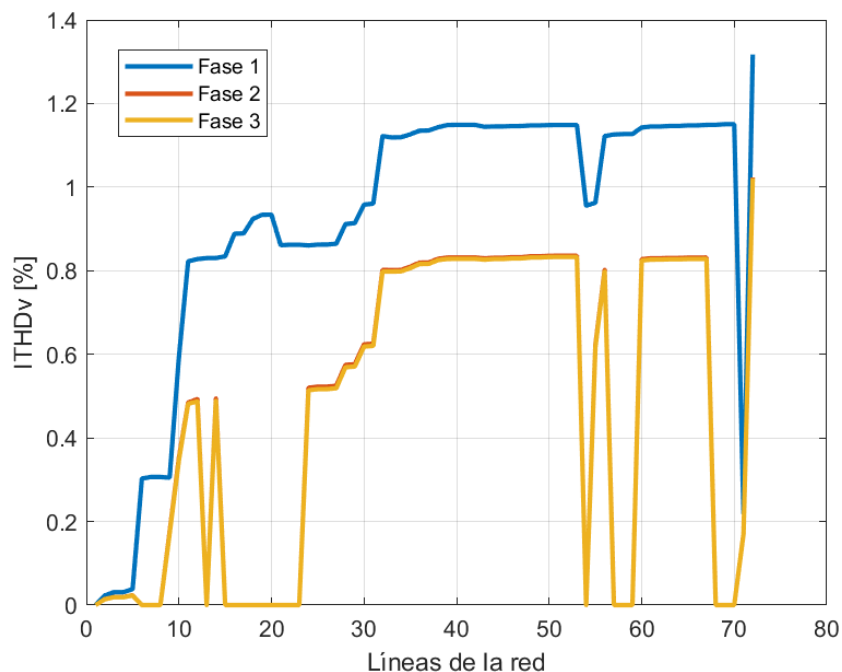


Figura 9.49. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 5. Fuente elaboración propia.

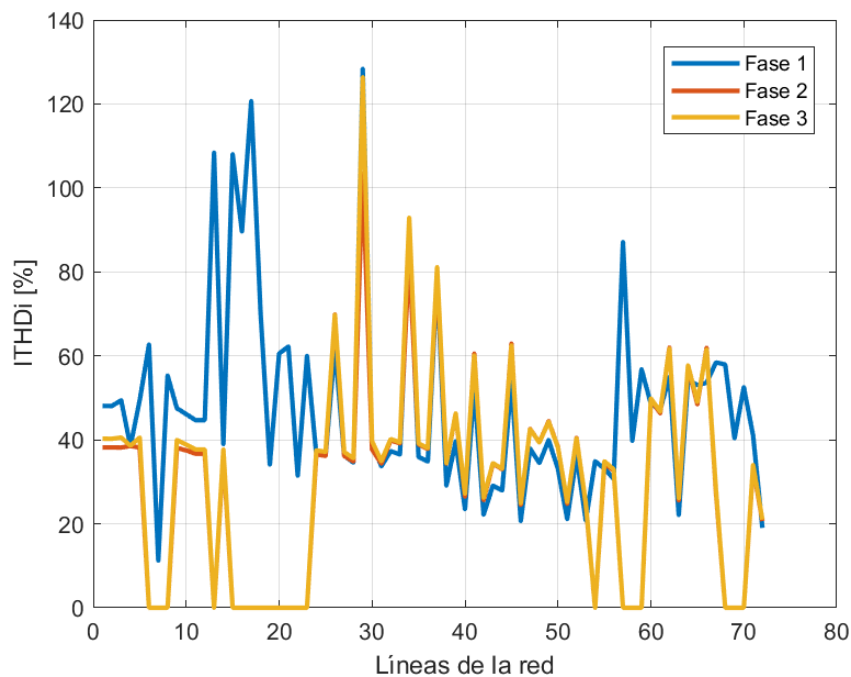


Figura 9.50. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 5. Fuente elaboración propia.

9.4.6. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 6

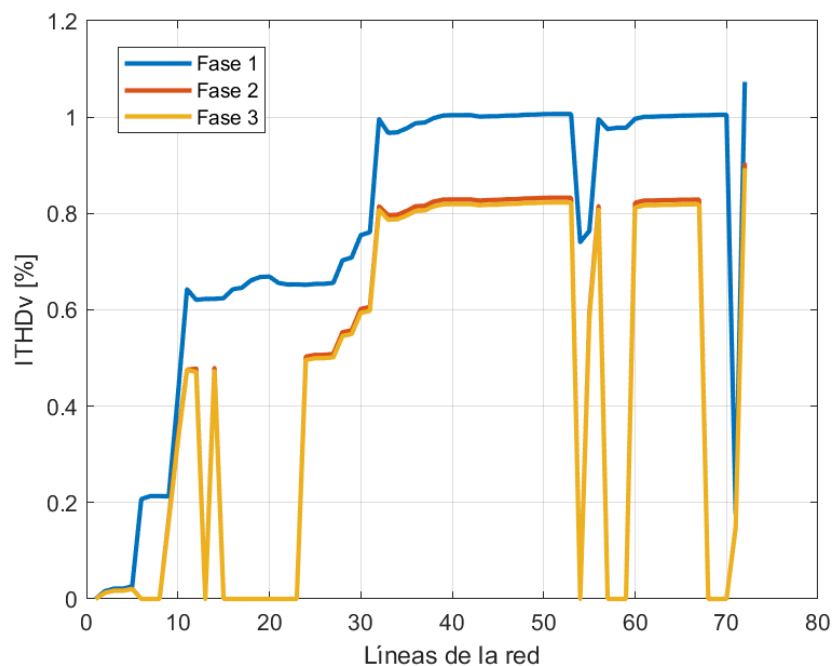


Figura 9.51. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 6. Fuente elaboración propia.

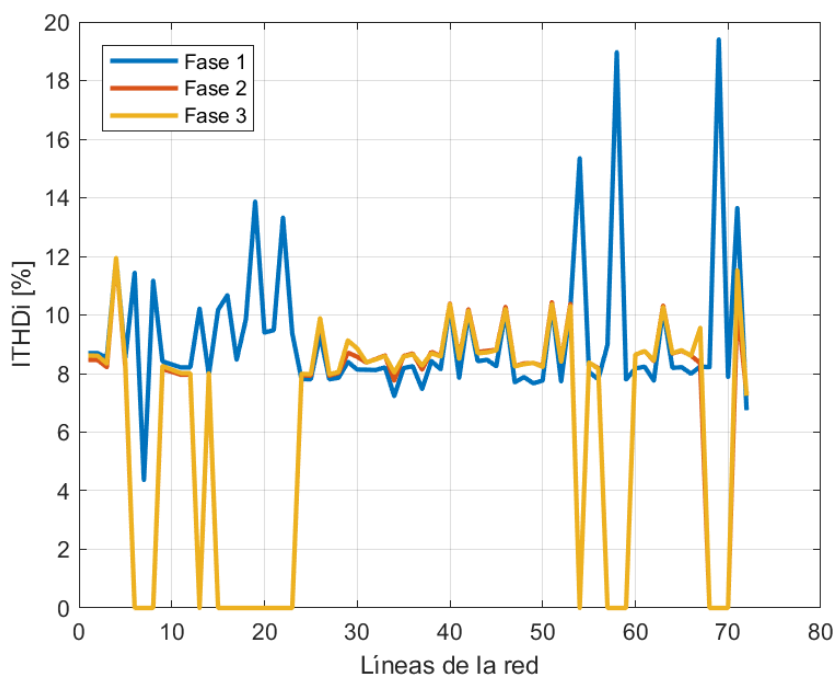


Figura 9.52. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 6. Fuente elaboración propia.

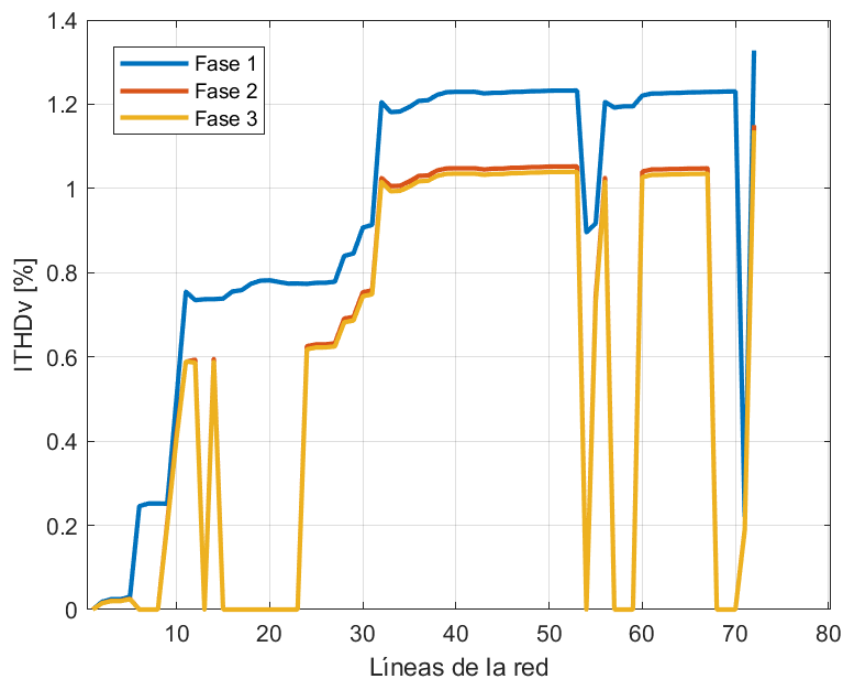


Figura 9.53. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 6. Fuente elaboración propia.

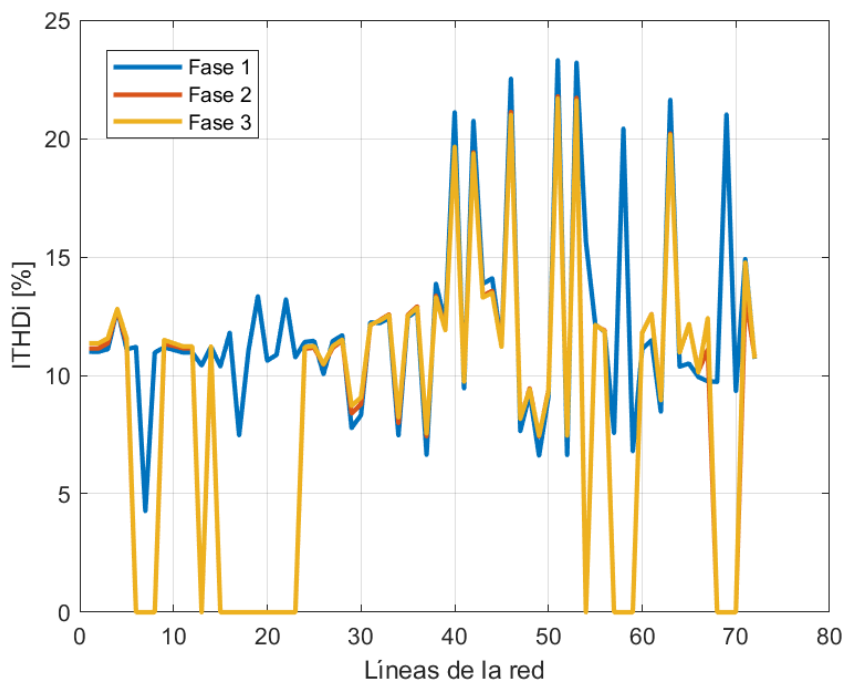


Figura 9.54. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 6. Fuente elaboración propia.

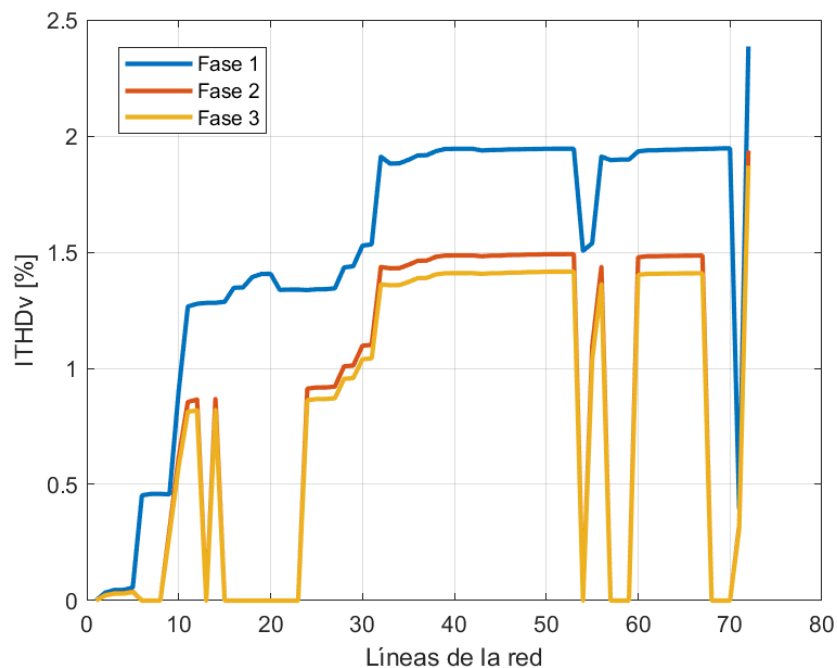


Figura 9.55. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 6. Fuente elaboración propia.

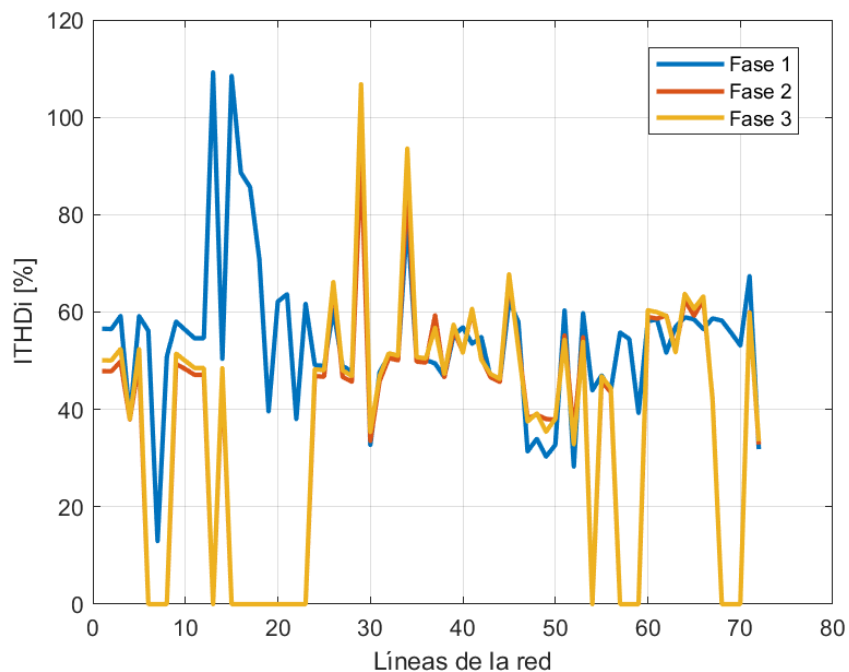


Figura 9.56. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 6. Fuente elaboración propia.

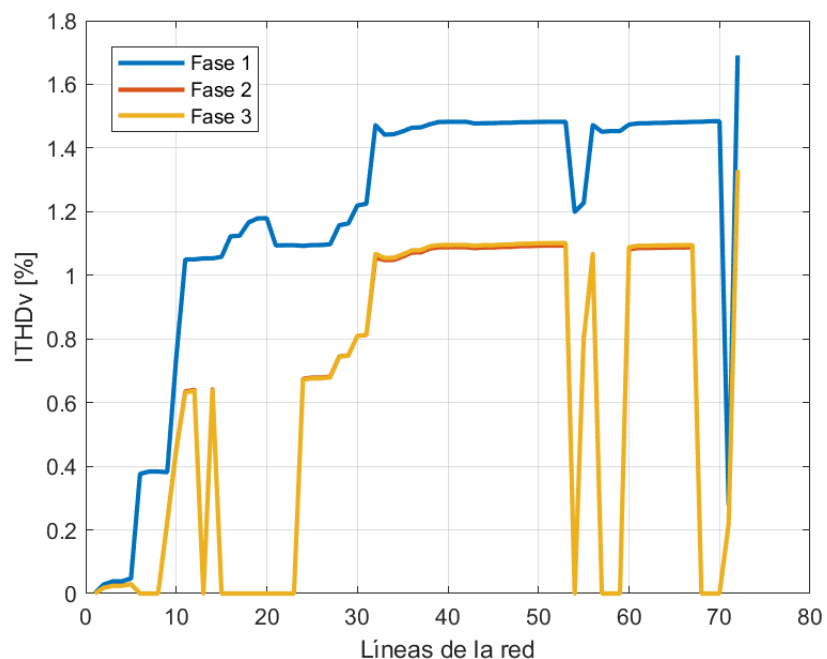


Figura 9.57. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 6. Fuente elaboración propia.

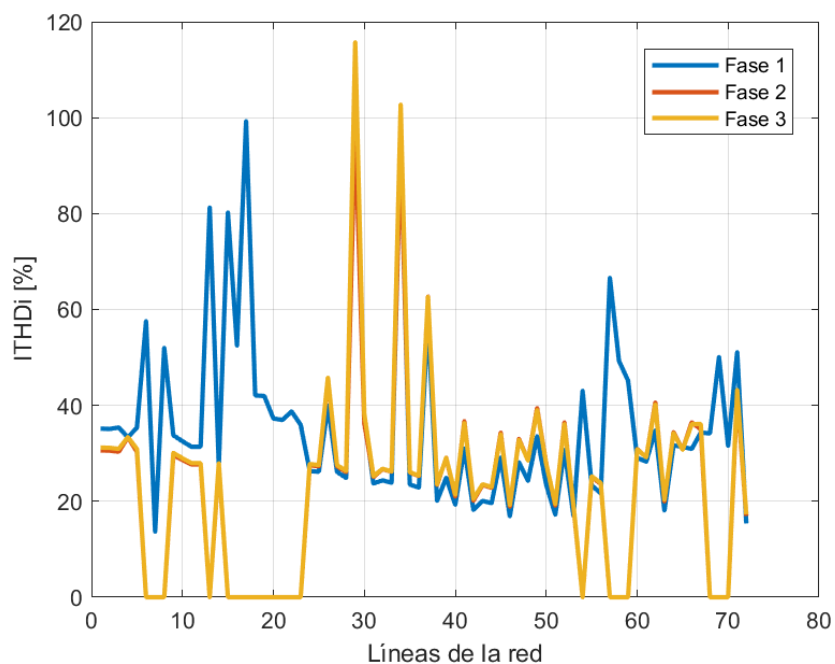


Figura 9.58. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 6. Fuente elaboración propia.

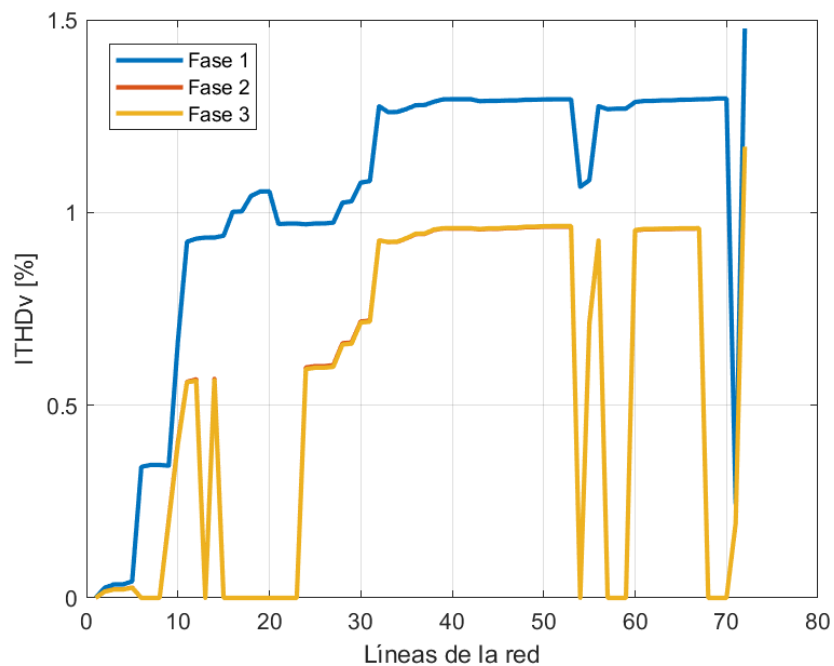


Figura 9.59. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 6. Fuente elaboración propia.

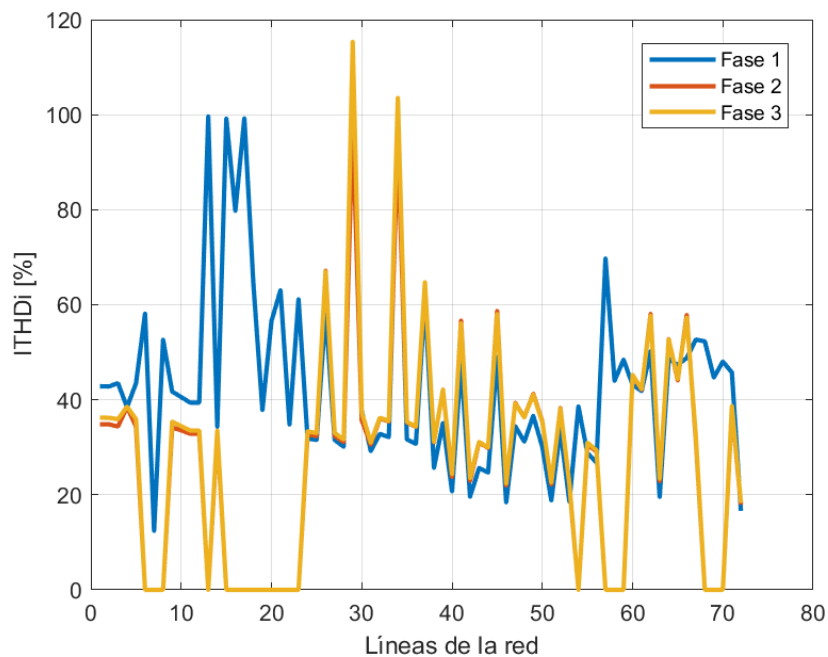


Figura 9.60. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 6. Fuente elaboración propia.

9.4.7. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 7

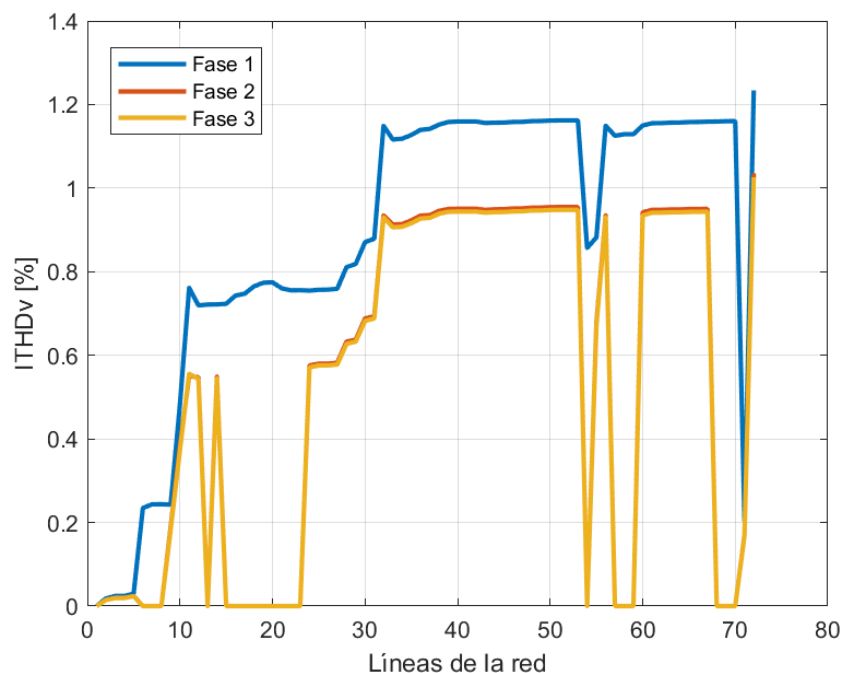


Figura 9.61. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 7. Fuente elaboración propia.

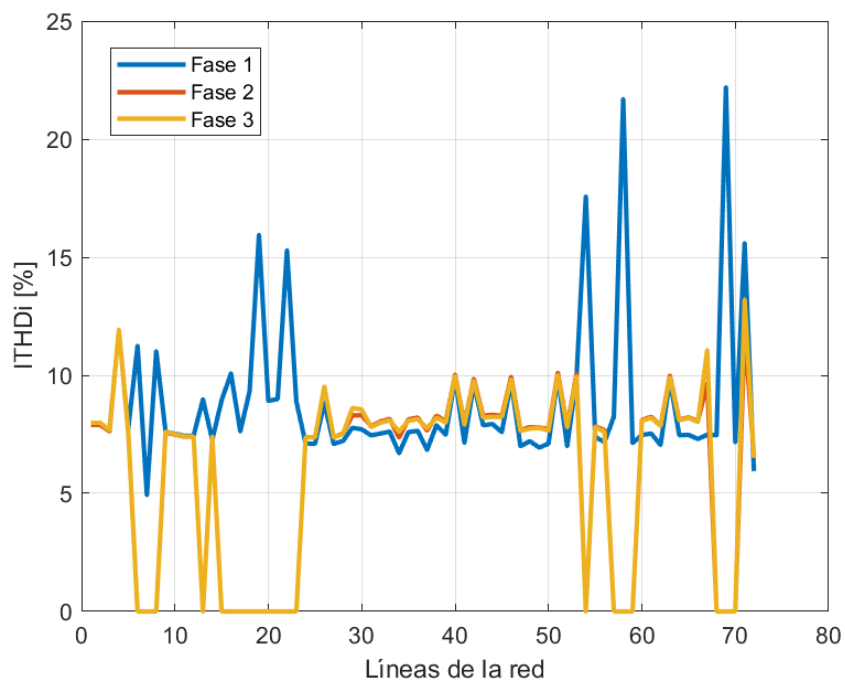


Figura 9.62. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 7. Fuente elaboración propia.

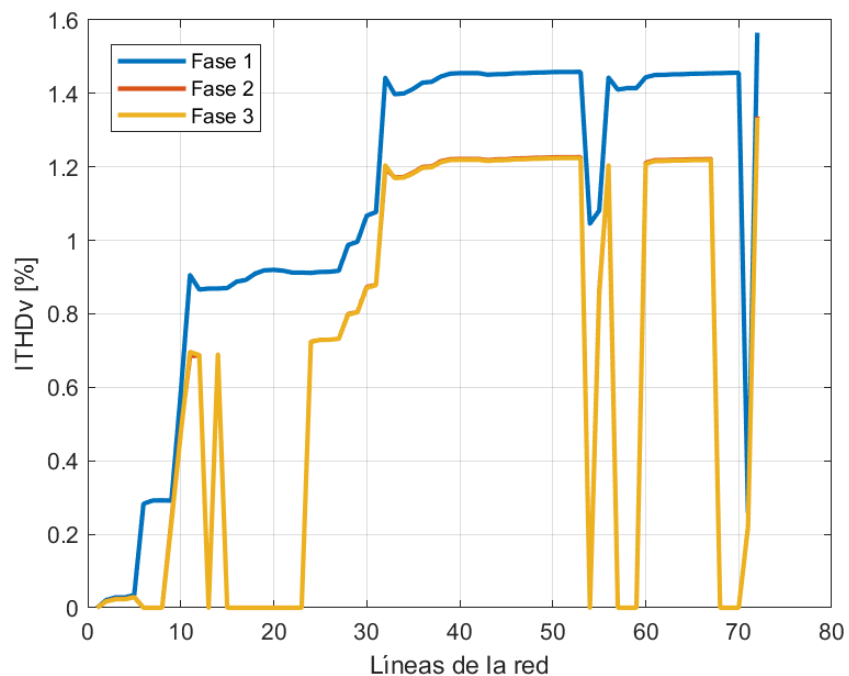


Figura 9.63. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 7. Fuente elaboración propia.

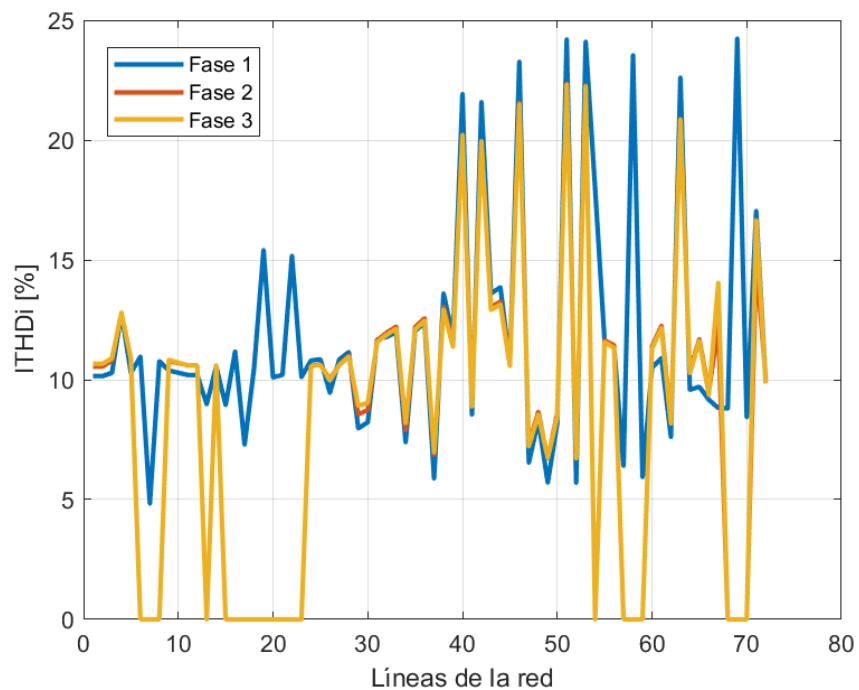


Figura 9.64. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 7. Fuente elaboración propia.

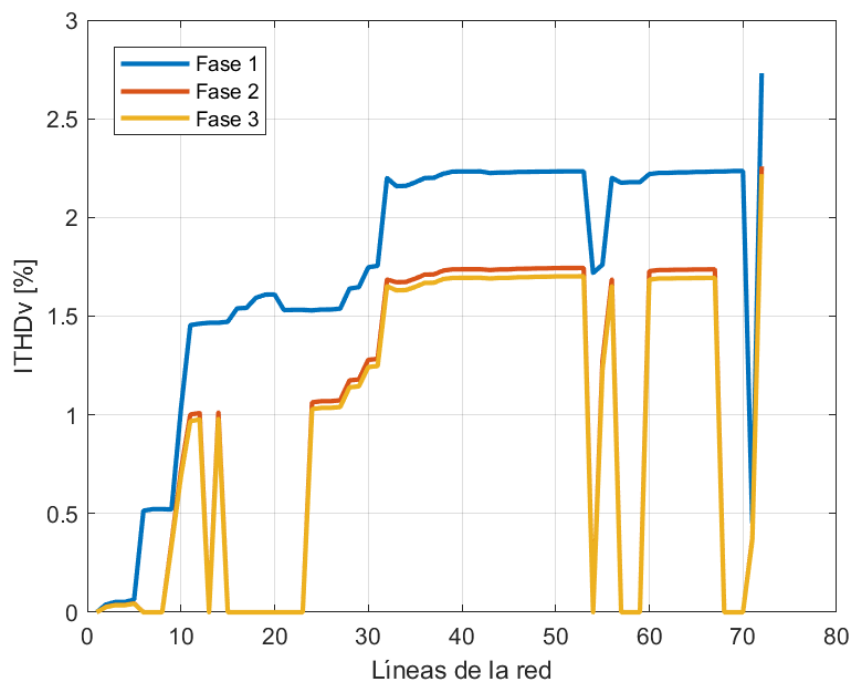


Figura 9.65. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 7. Fuente elaboración propia.

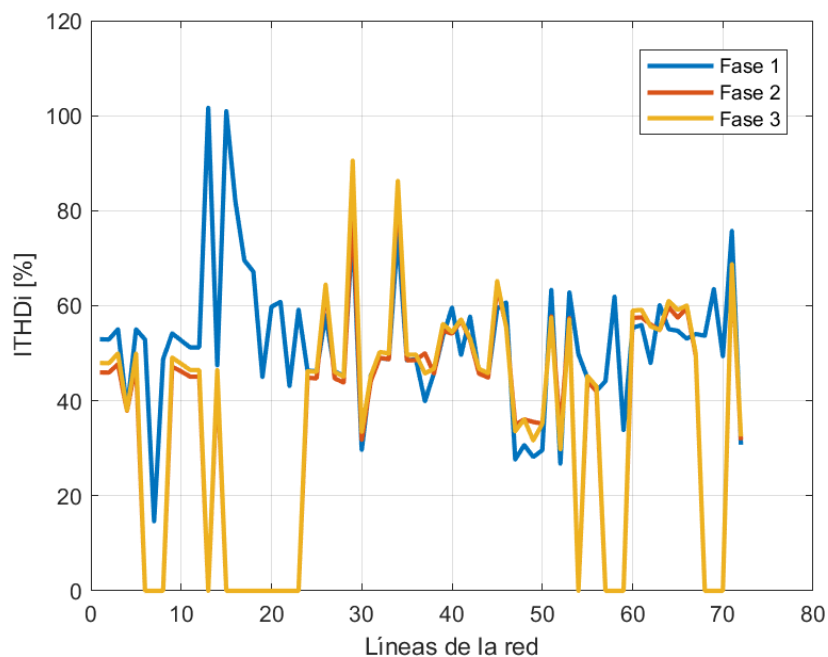


Figura 9.66. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 7. Fuente elaboración propia.

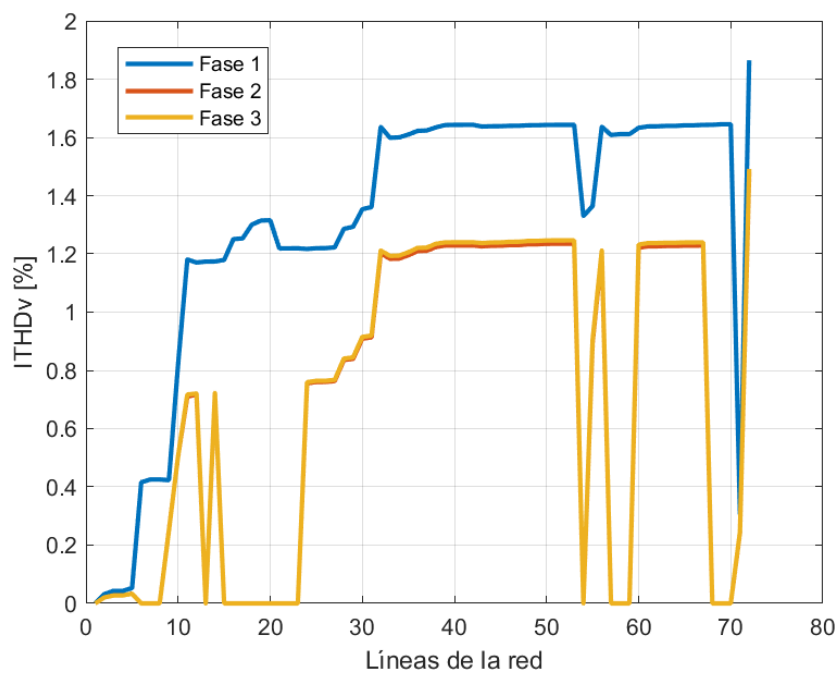


Figura 9.67. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 7. Fuente elaboración propia.

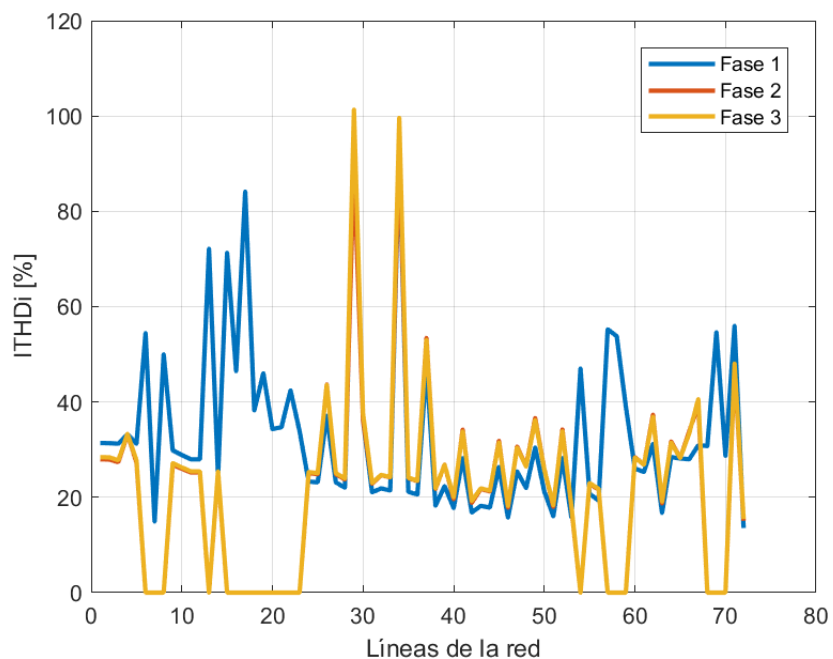


Figura 9.68. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 7. Fuente elaboración propia.

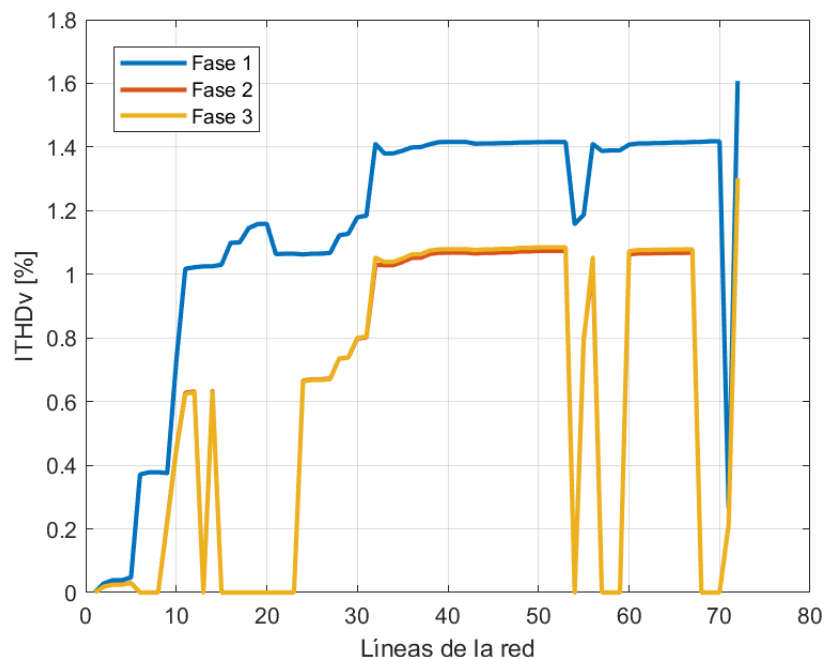


Figura 9.69. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 7. Fuente elaboración propia.

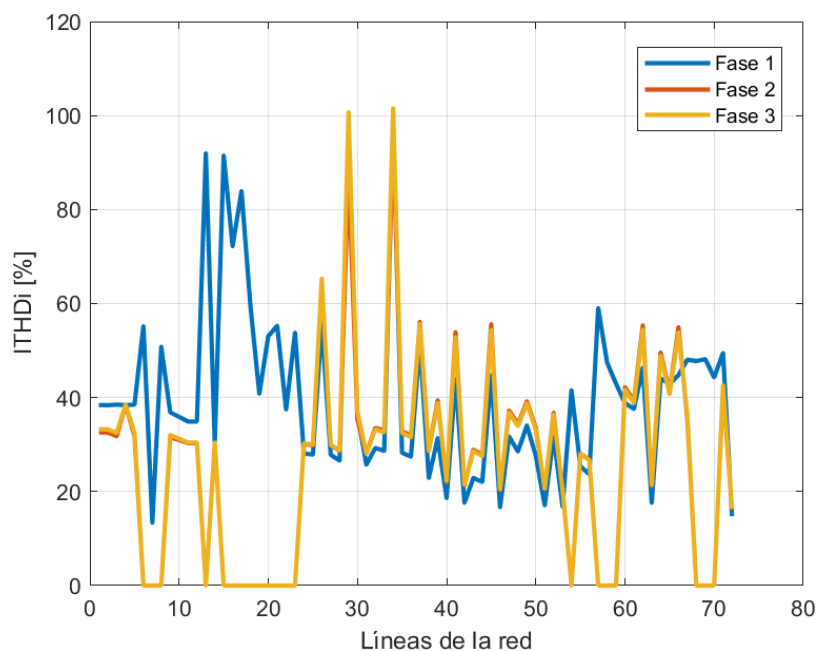


Figura 9.70. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 7. Fuente elaboración propia.

9.4.8. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 8

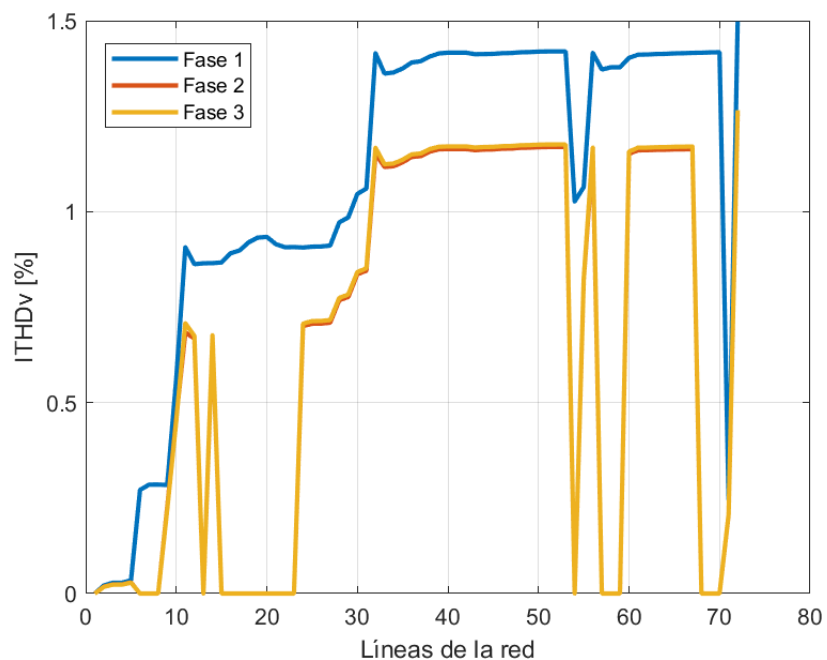


Figura 9.71. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 8. Fuente elaboración propia.

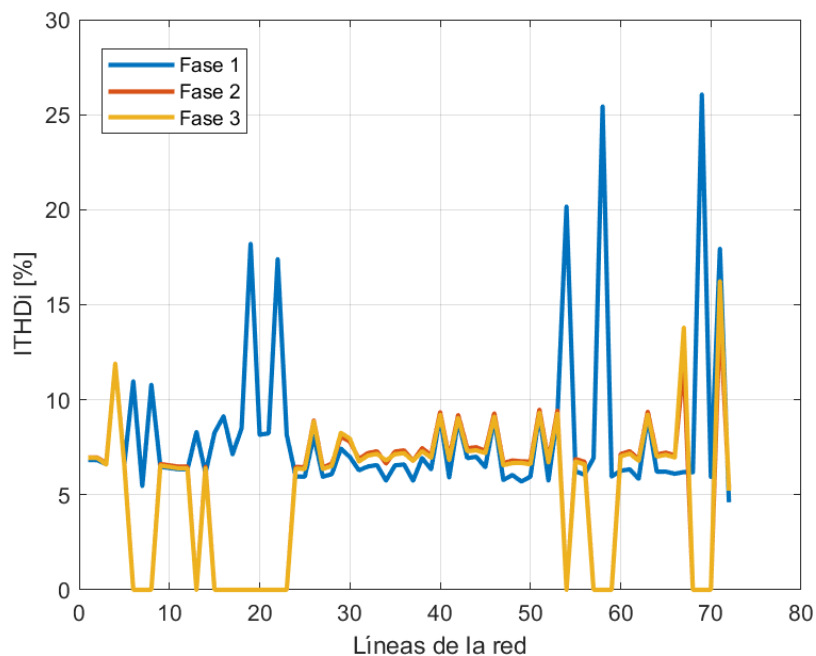


Figura 9.72. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 8. Fuente elaboración propia.

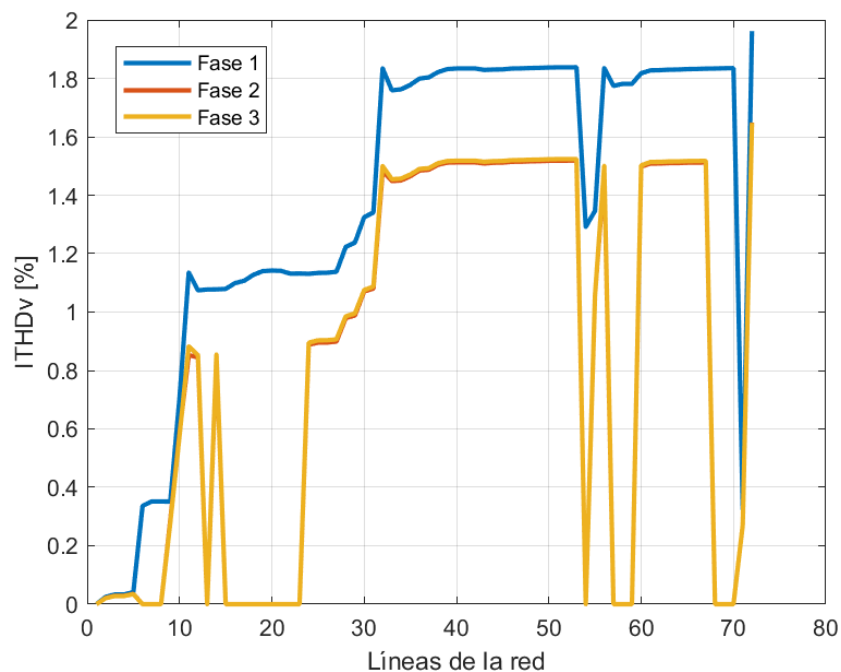


Figura 9.73. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 8. Fuente elaboración propia.

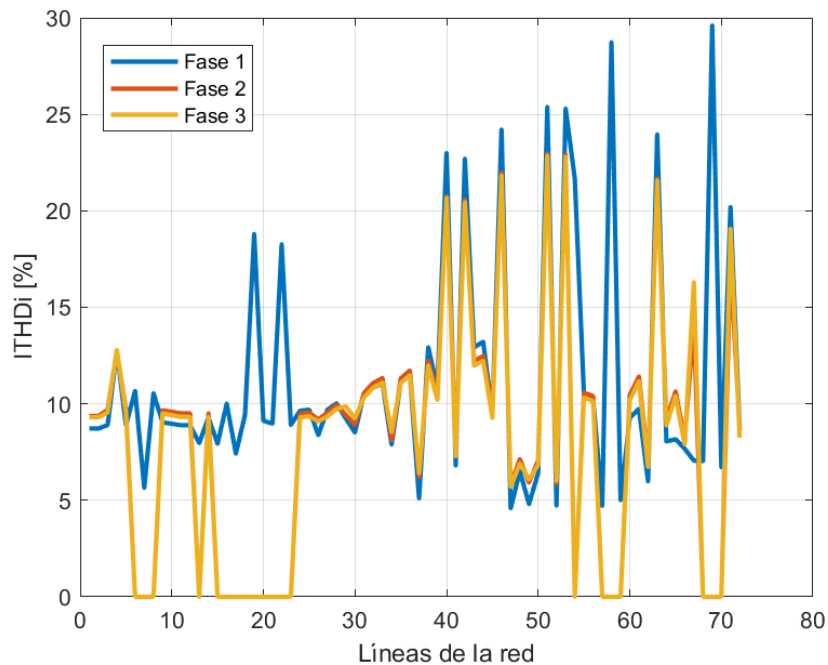


Figura 9.74. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 8. Fuente elaboración propia.

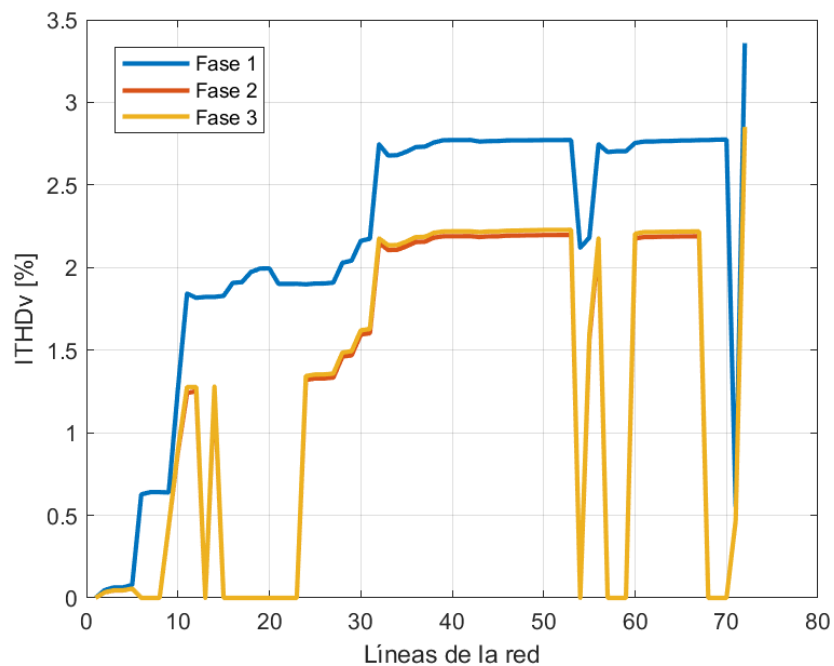


Figura 9.75. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 8. Fuente elaboración propia.

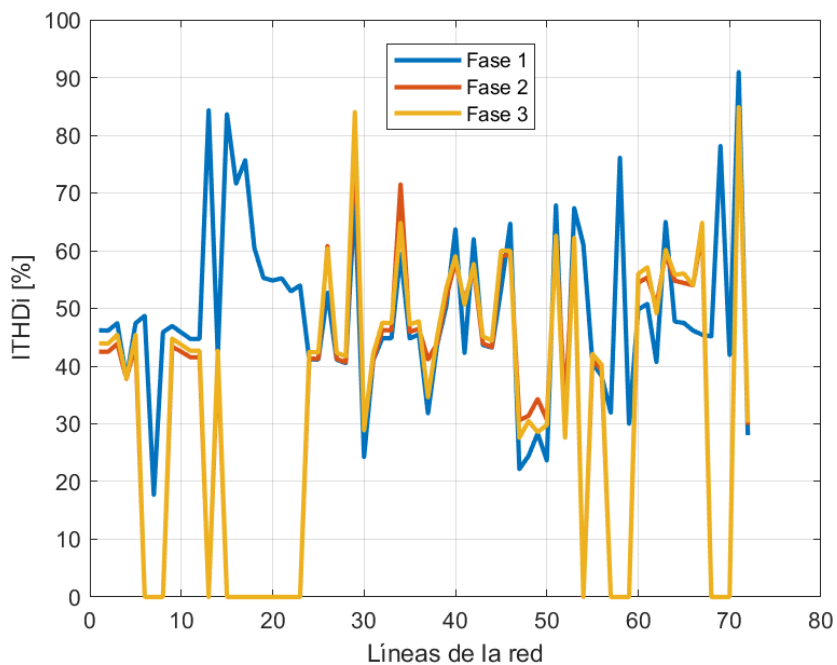


Figura 9.76. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 8. Fuente elaboración propia.

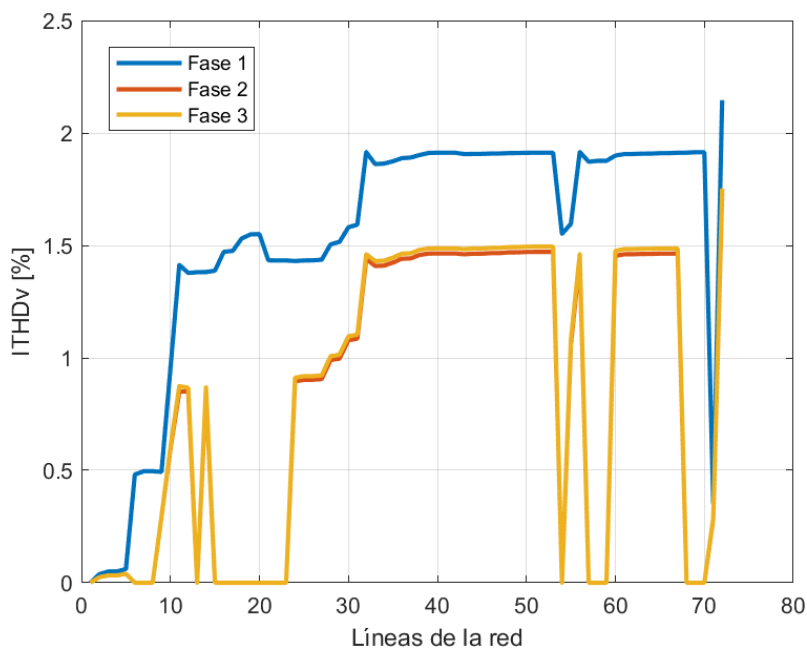


Figura 9.77. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 8. Fuente elaboración propia.

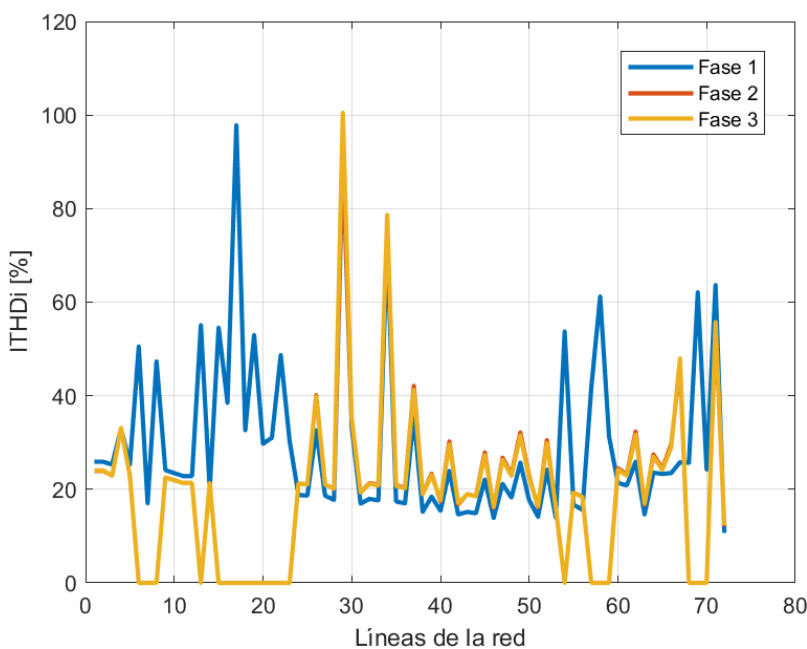


Figura 9.78. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 8. Fuente elaboración propia.

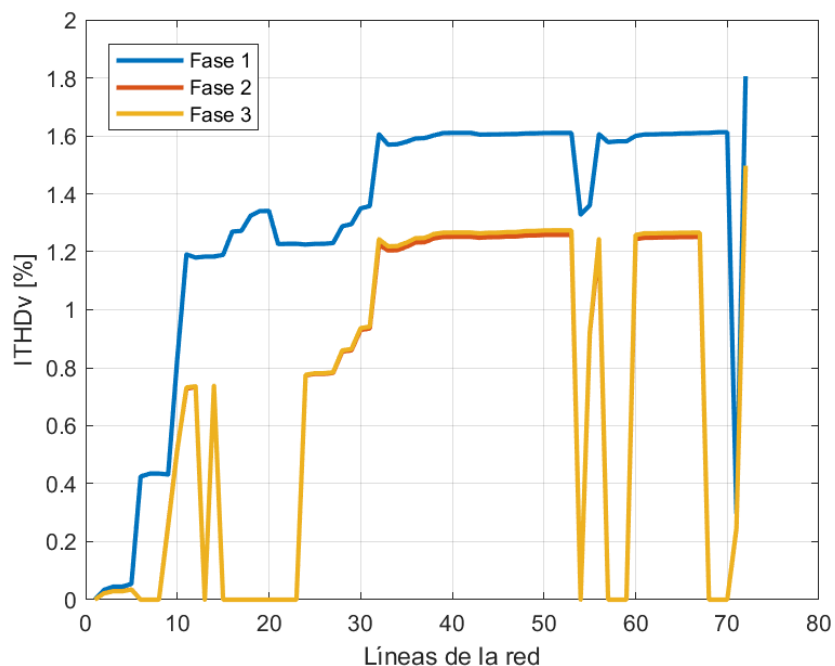


Figura 9.79. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 8. Fuente elaboración propia.

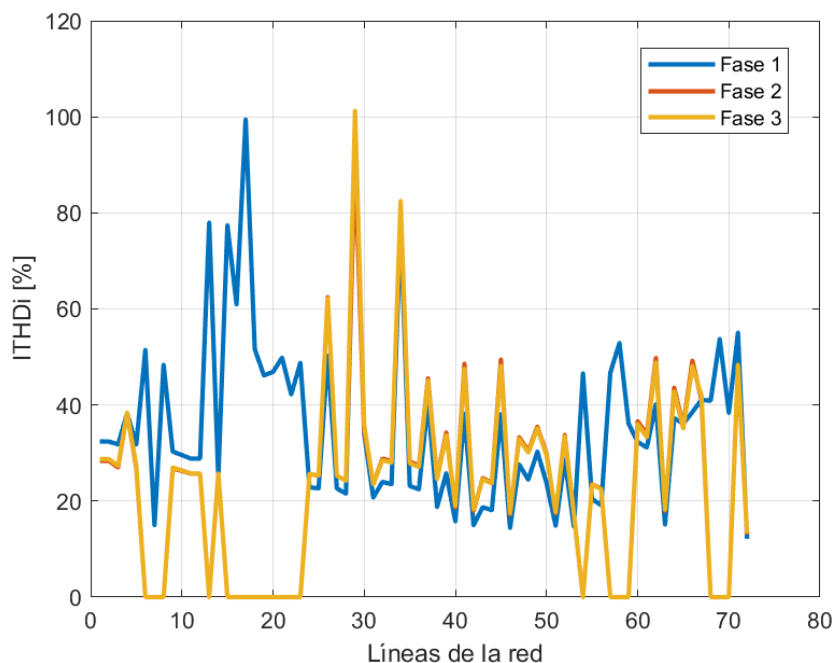


Figura 9.80. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 8. Fuente elaboración propia.

9.4.9. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 9

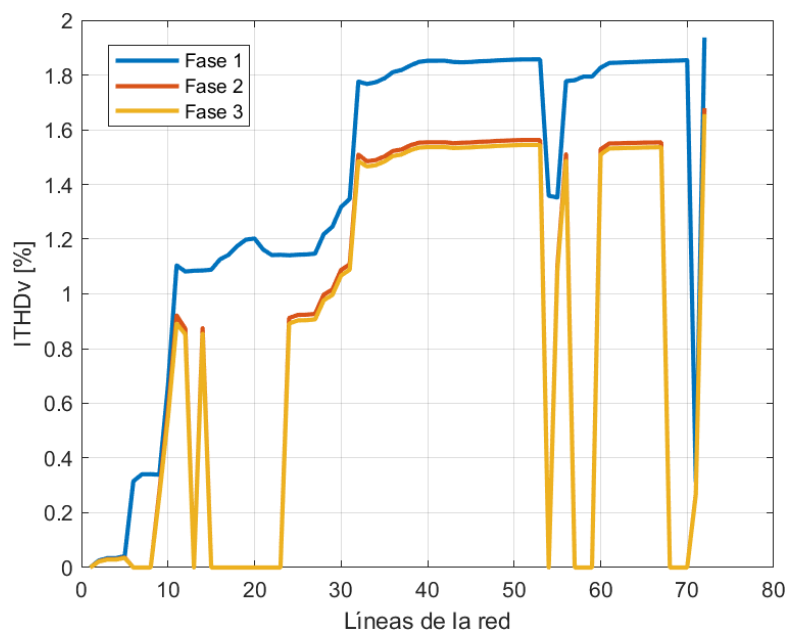


Figura 9.81. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 9. Fuente elaboración propia.

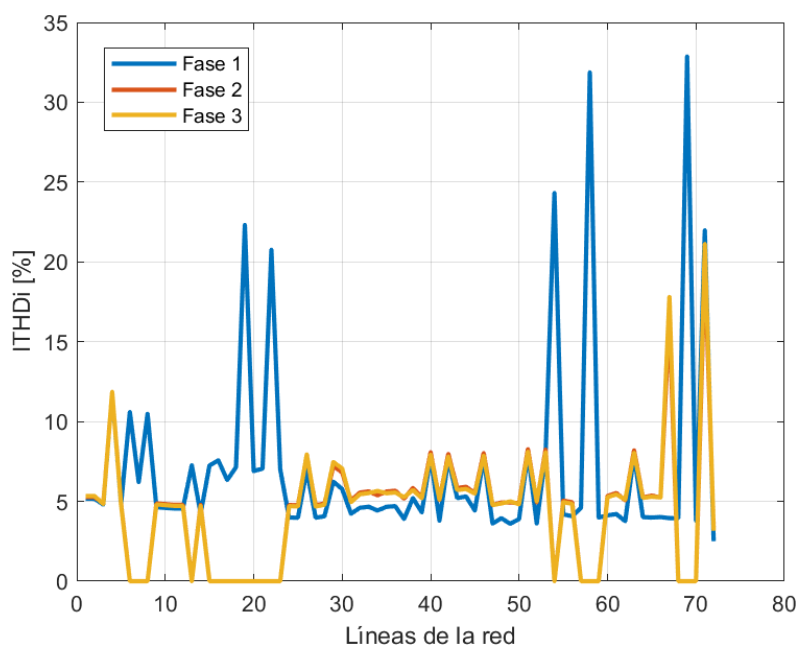


Figura 9.82. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 9. Fuente elaboración propia.

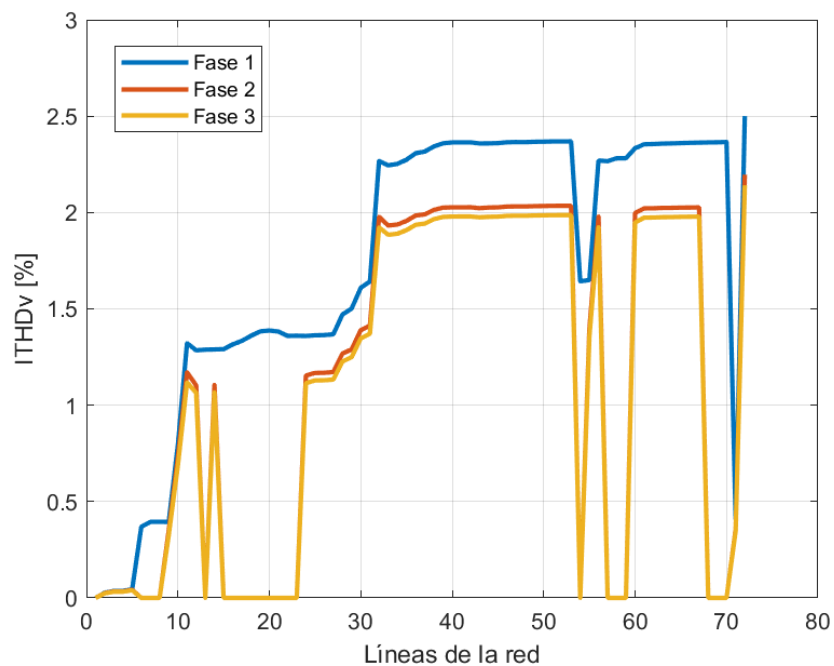


Figura 9.83. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 9. Fuente elaboración propia.

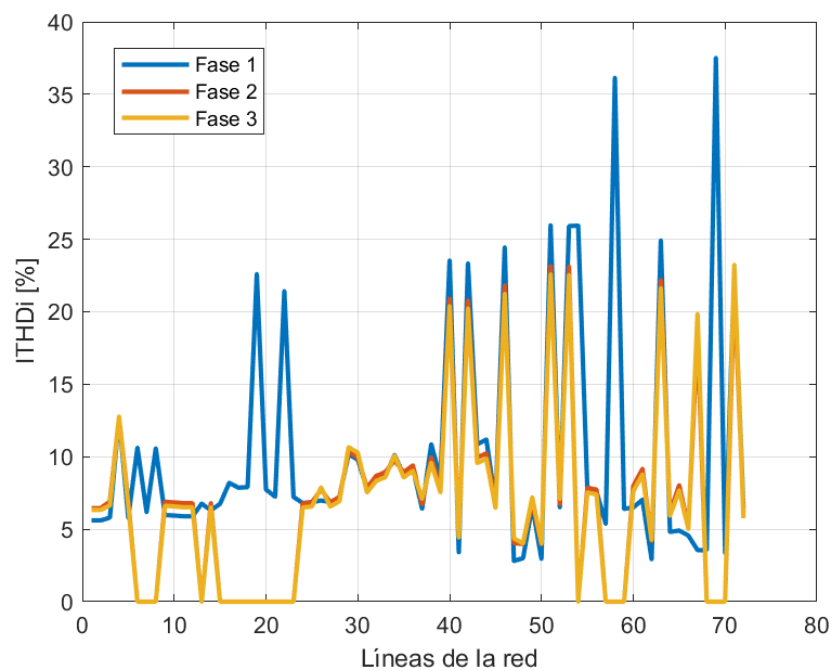


Figura 9.84. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 9. Fuente elaboración propia.

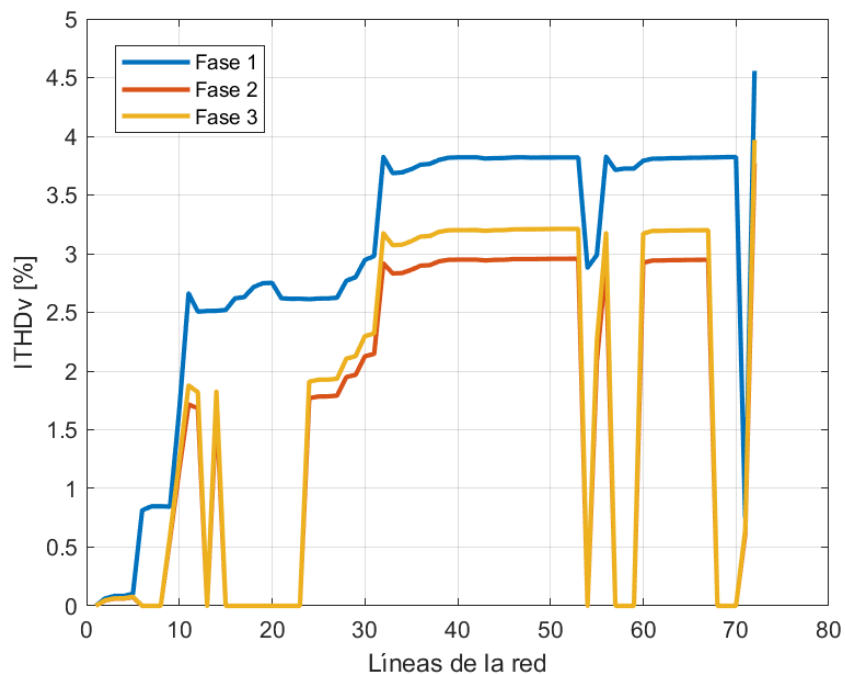


Figura 9.85. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 9. Fuente elaboración propia.

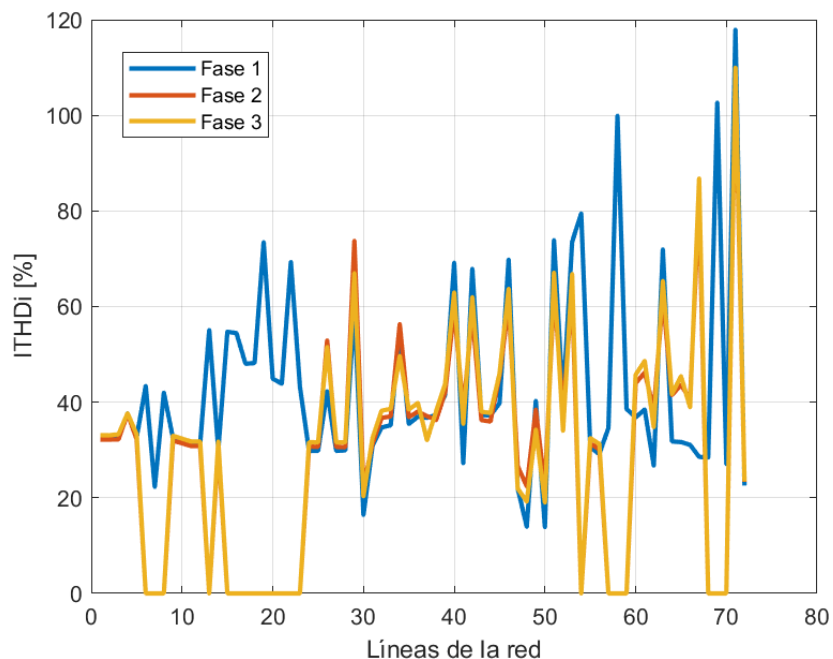


Figura 9.86. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 9. Fuente elaboración propia.

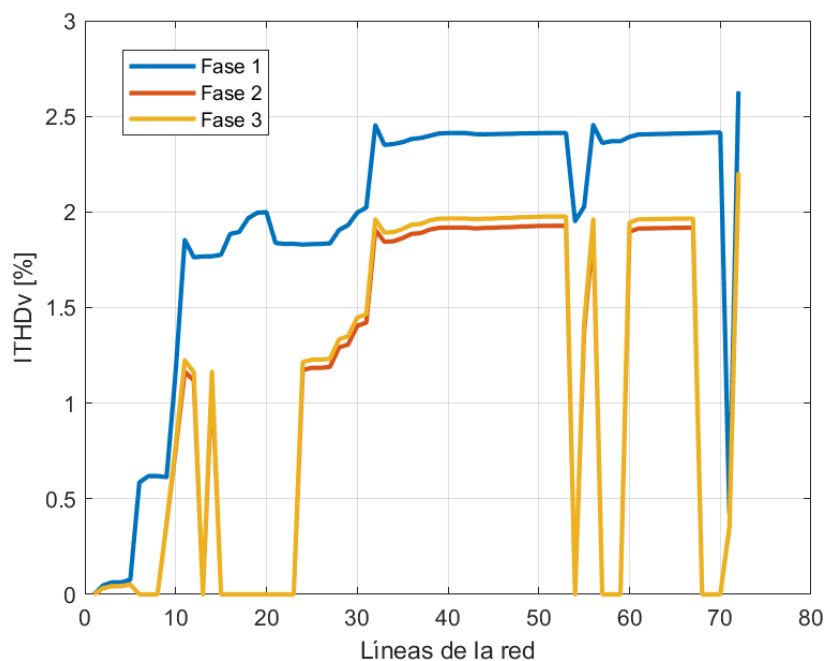


Figura 9.87. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 9. Fuente elaboración propia.

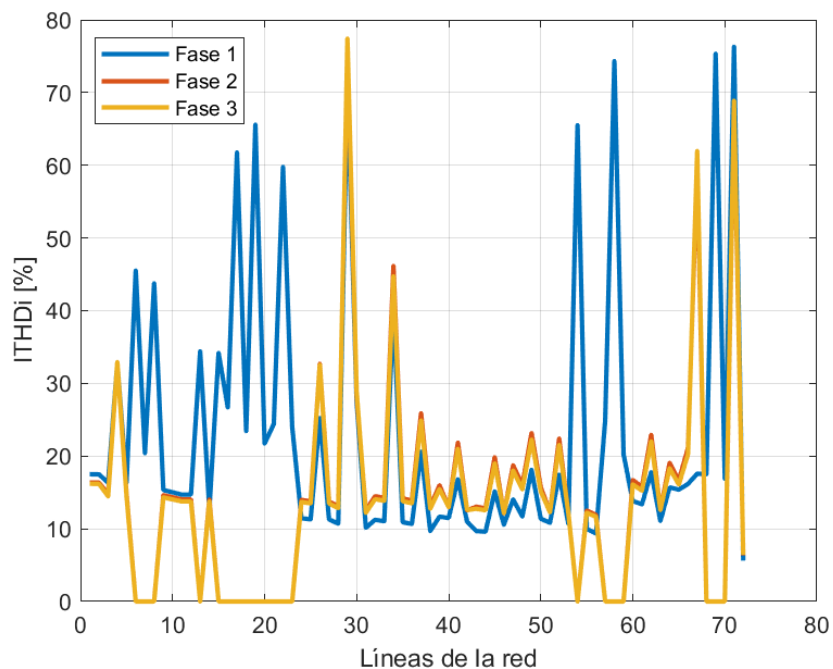


Figura 9.88. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 9. Fuente elaboración propia.

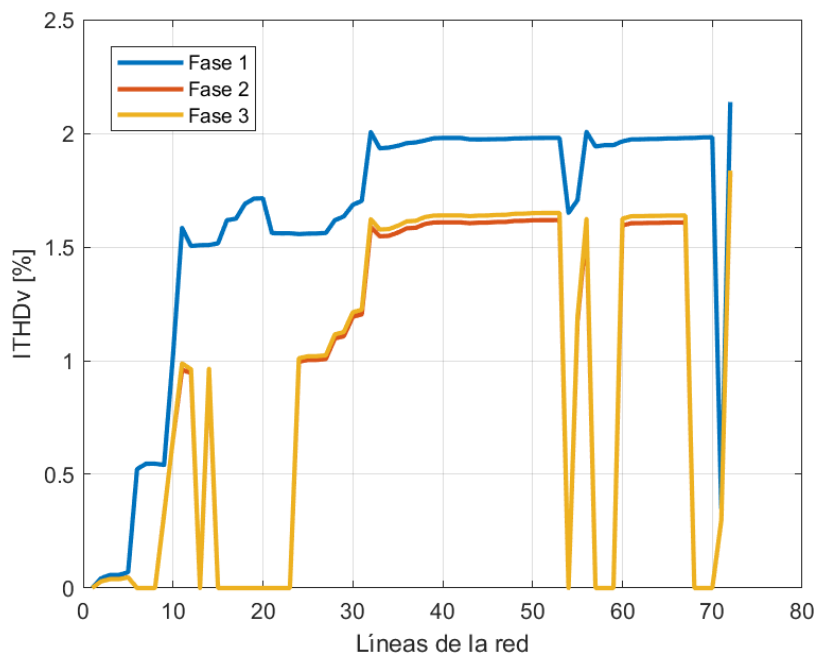


Figura 9.89. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 9. Fuente elaboración propia.

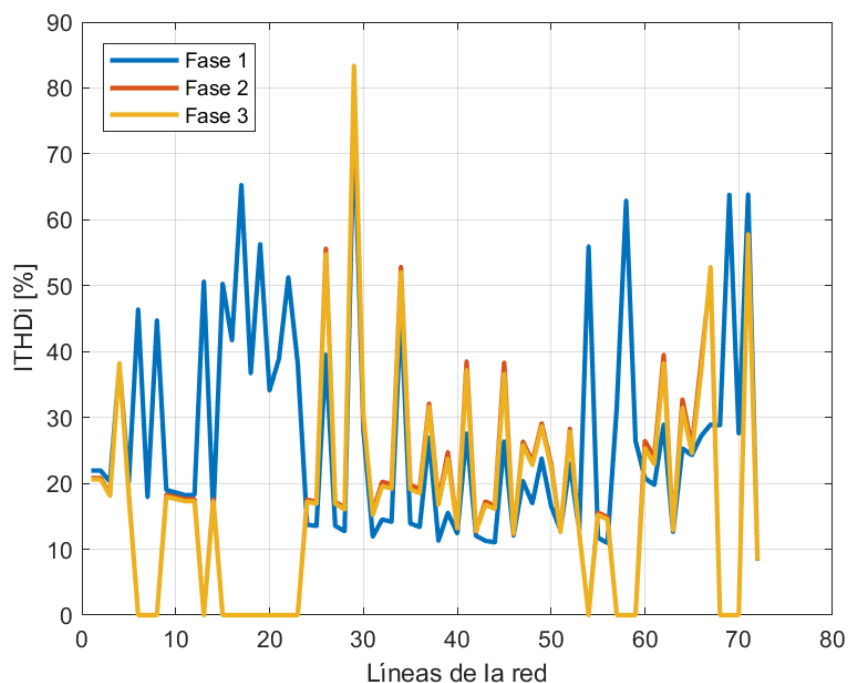


Figura 9.90. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 9. Fuente elaboración propia.

9.4.10. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 10

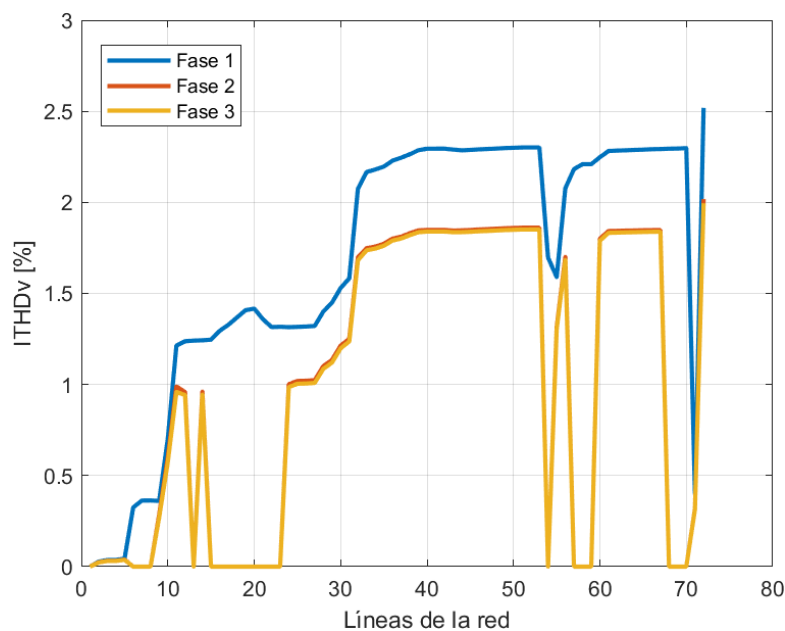


Figura 9.91. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 10. Fuente elaboración propia.

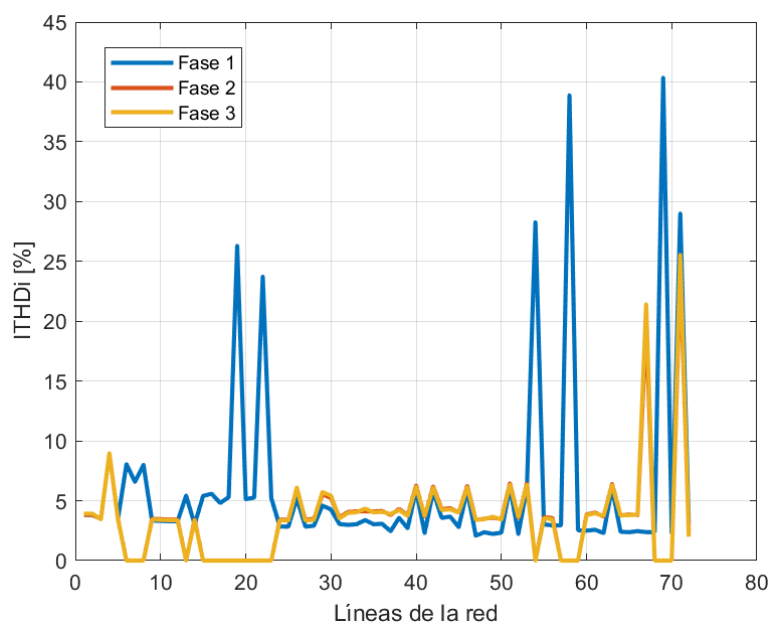


Figura 9.92. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 10. Fuente elaboración propia.

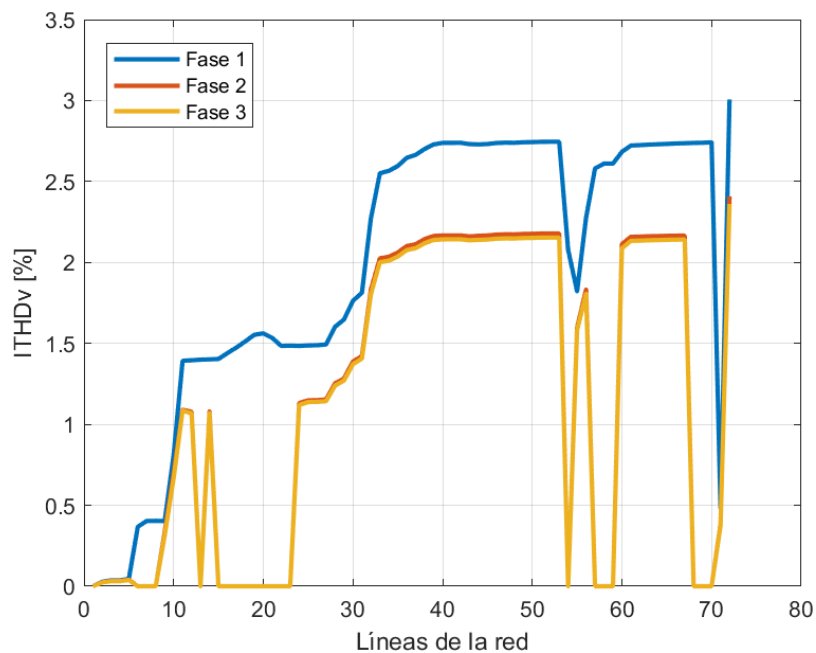


Figura 9.93. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 10. Fuente elaboración propia.

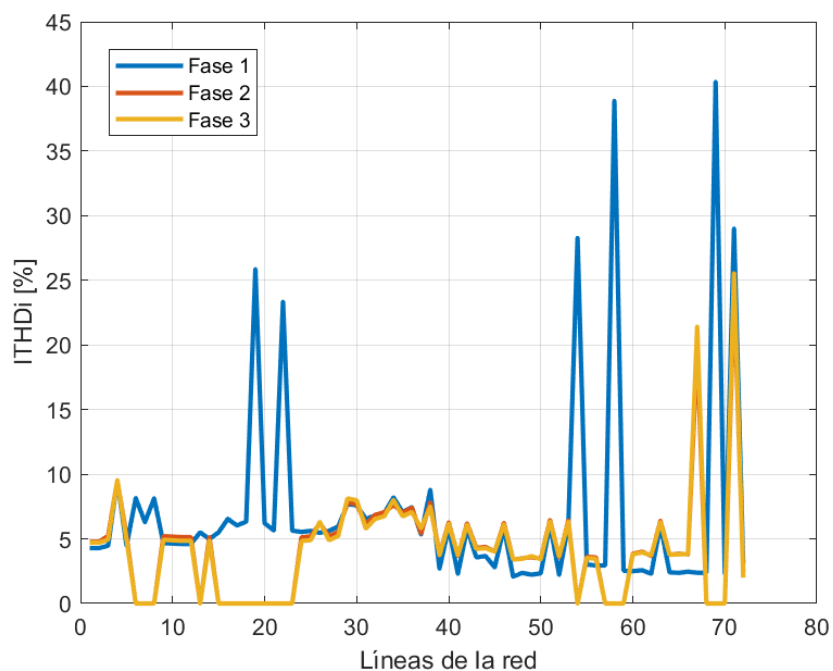


Figura 9.94. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 10. Fuente elaboración propia.

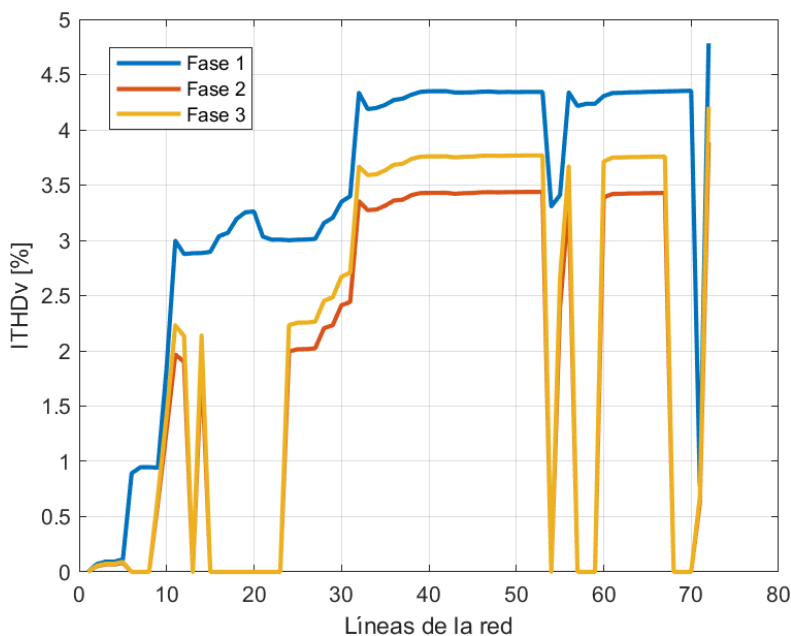


Figura 9.95. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 10. Fuente elaboración propia.

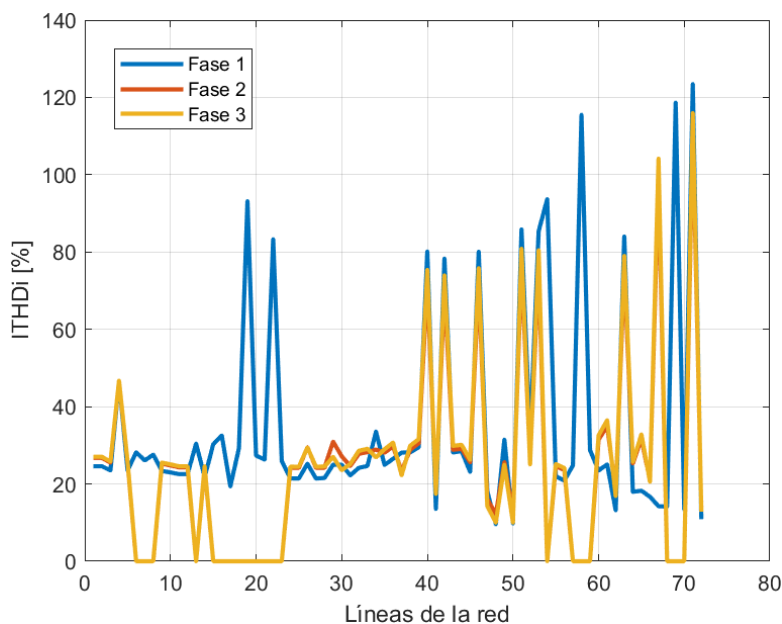


Figura 9.96. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 10. Fuente elaboración propia.

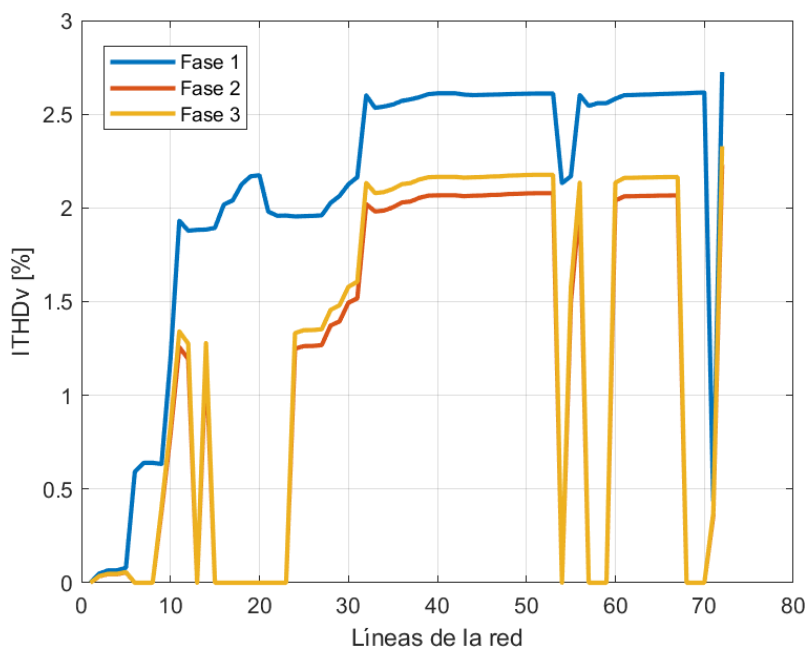


Figura 9.97. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 10. Fuente elaboración propia.

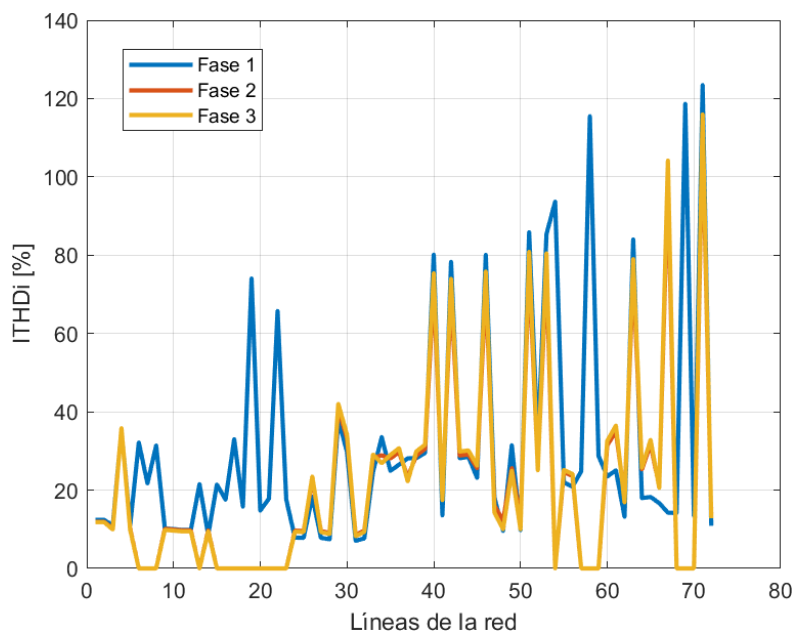


Figura 9.98. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 10. Fuente elaboración propia.

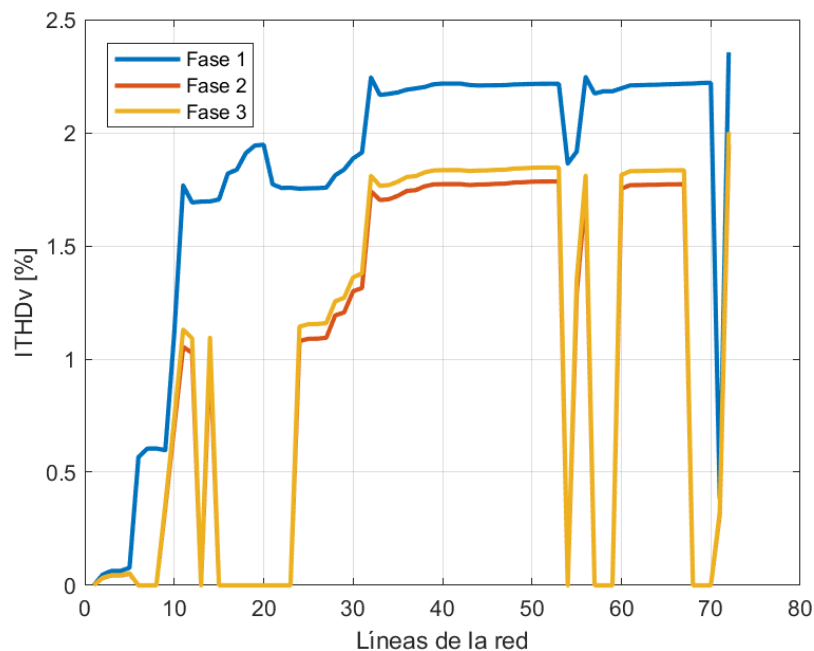


Figura 9.99. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 10. Fuente elaboración propia.

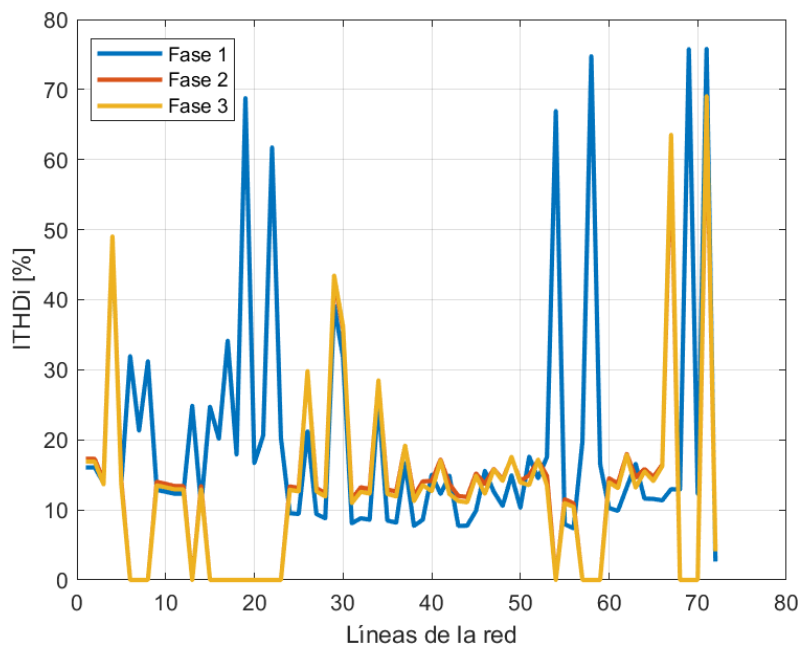


Figura 9.100. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 10. Fuente elaboración propia.

9.4.11. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 11

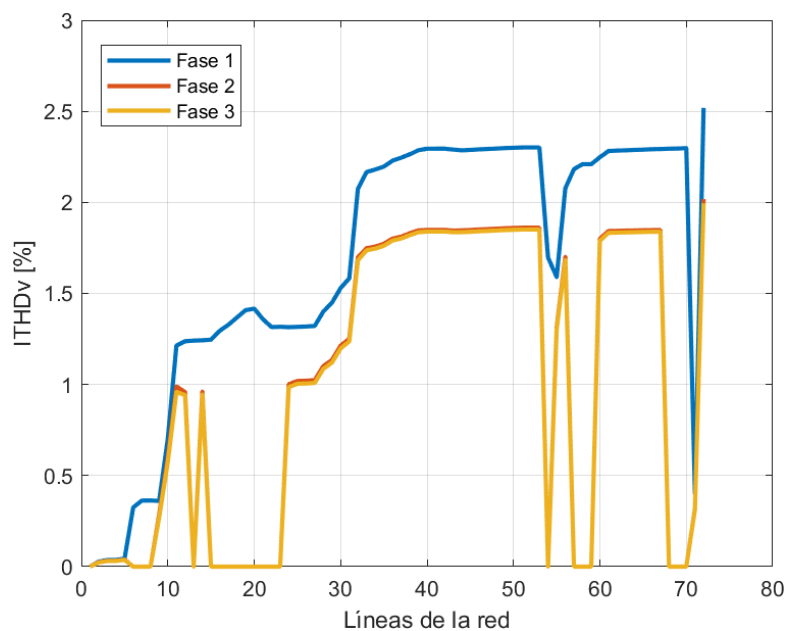


Figura 9.101. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 11. Fuente elaboración propia.

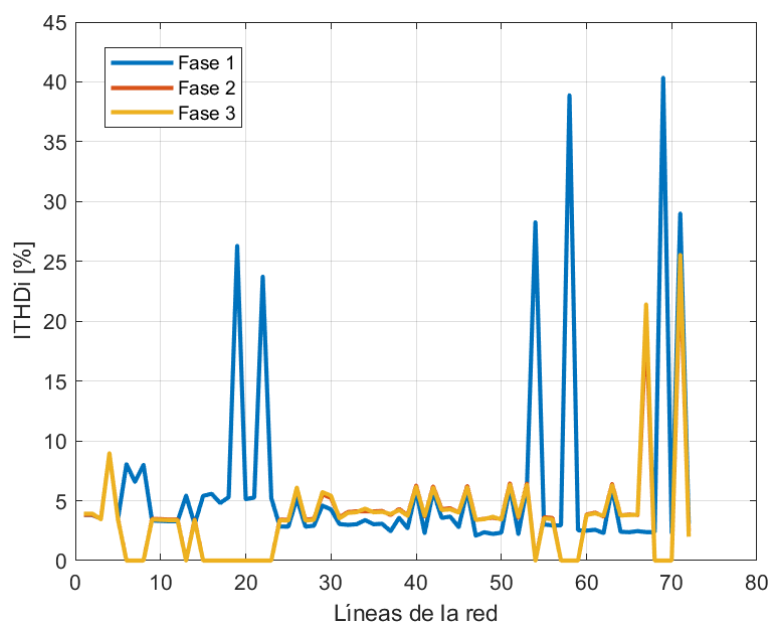


Figura 9.102. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 11. Fuente elaboración propia.

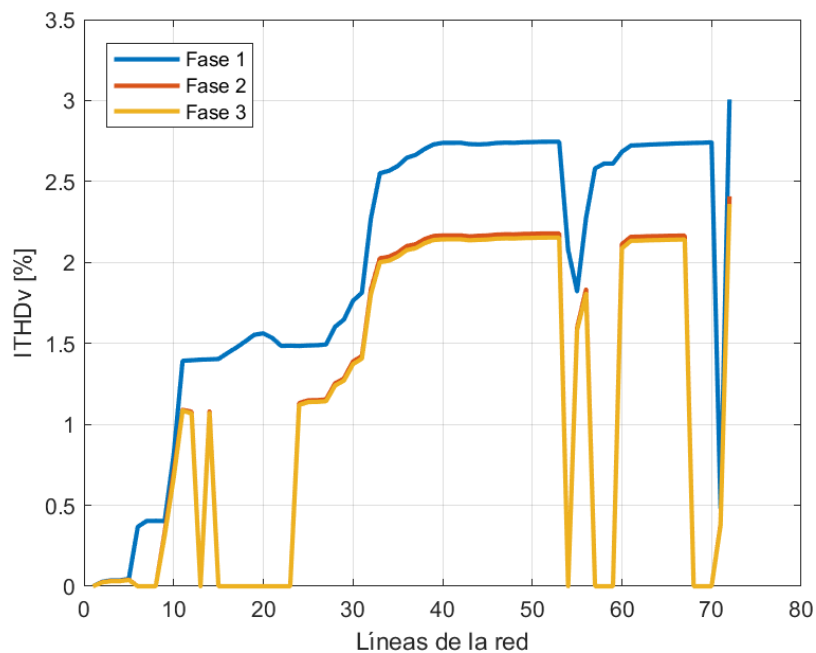


Figura 9.103. Gráfico de comportamiento ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 11. Fuente elaboración propia.

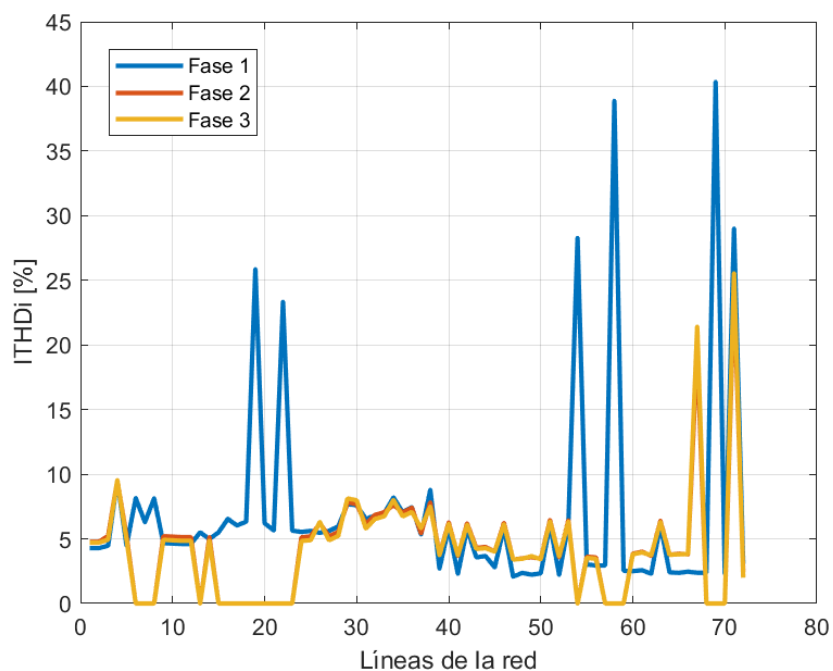


Figura 9.104. Gráfico de comportamiento ($ITHD_i$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 11. Fuente elaboración propia.

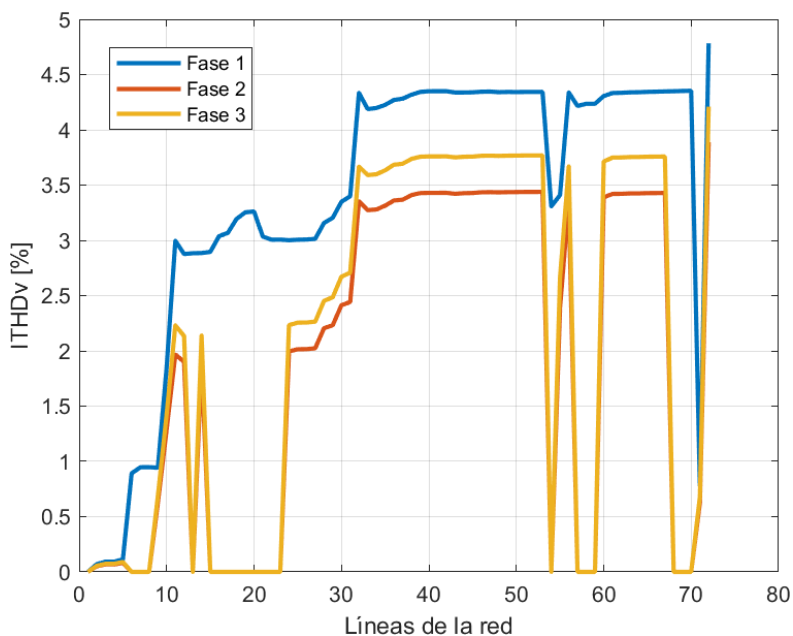


Figura 9.105. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 11. Fuente elaboración propia.

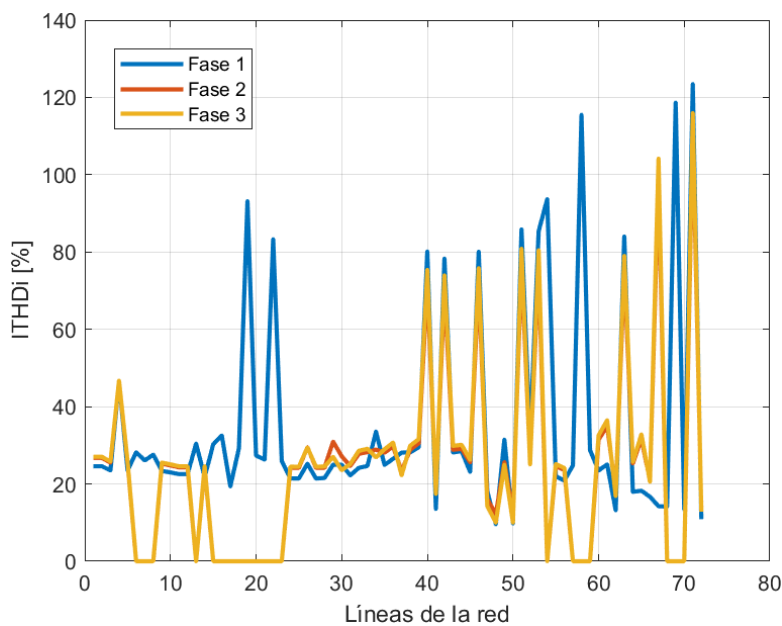


Figura 9.106. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 11. Fuente elaboración propia.

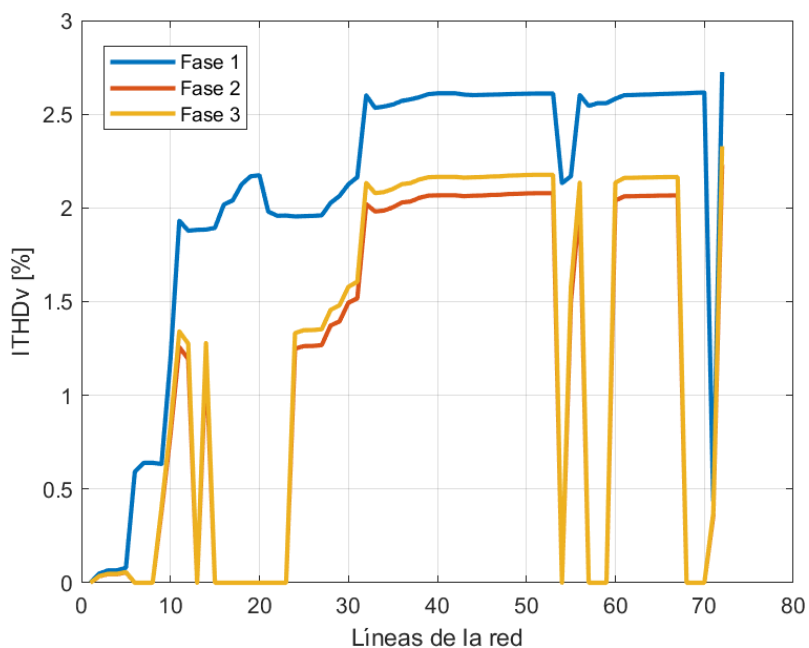


Figura 9.107. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 11. Fuente elaboración propia.

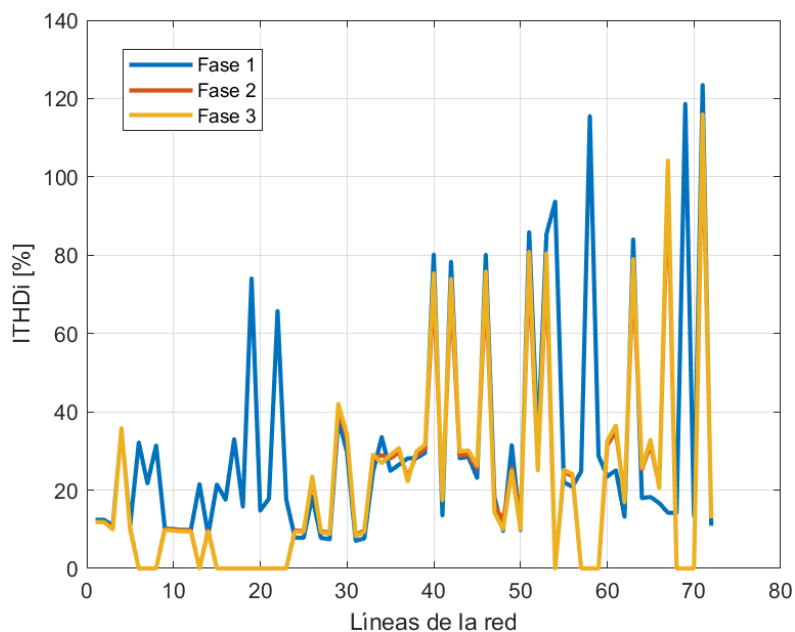


Figura 9.108. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 11. Fuente elaboración propia.

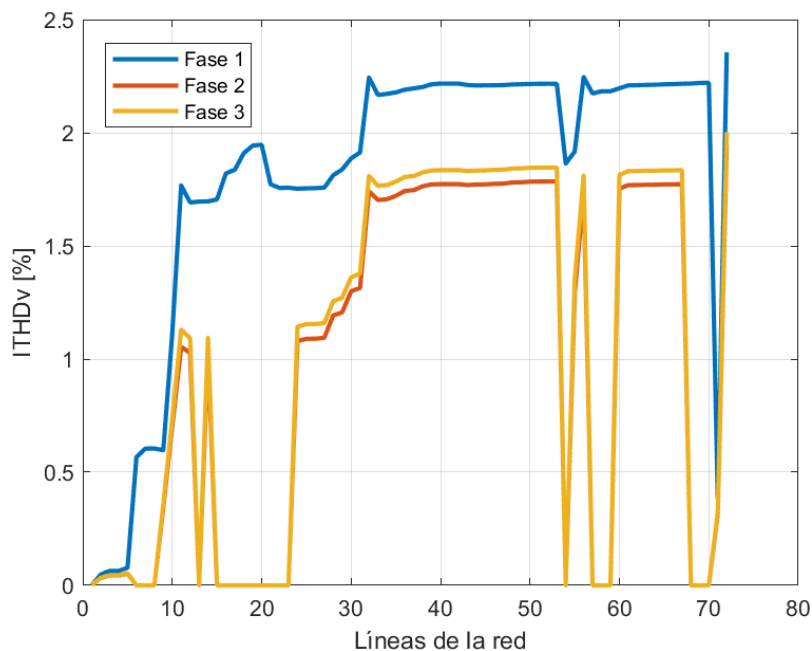


Figura 9.109. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 11. Fuente elaboración propia.

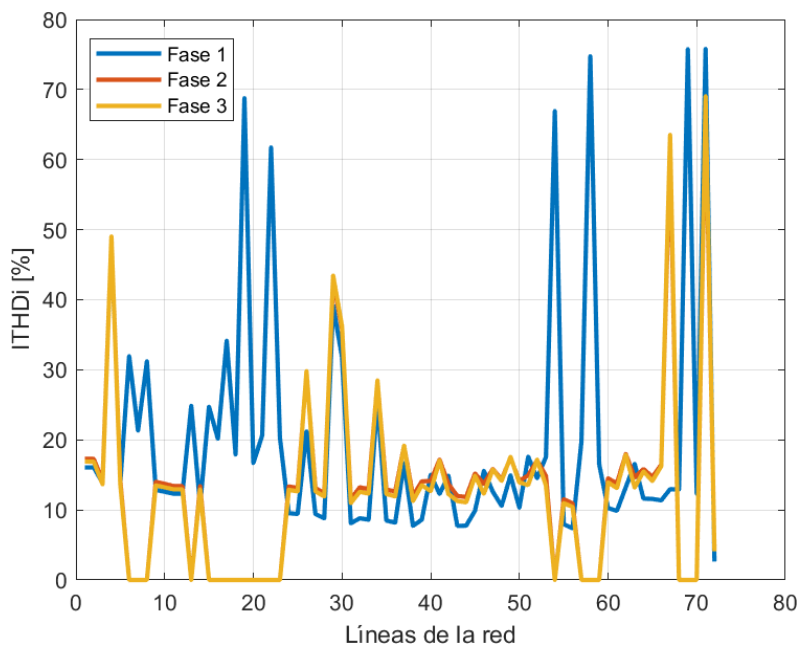


Figura 9.110. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 11. Fuente elaboración propia.

9.4.12. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 12

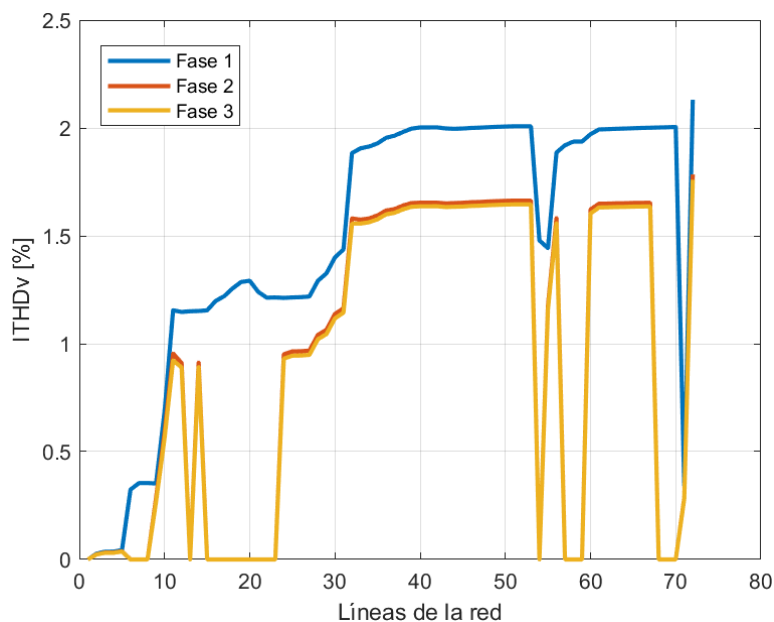


Figura 9.111. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 12. Fuente elaboración propia.

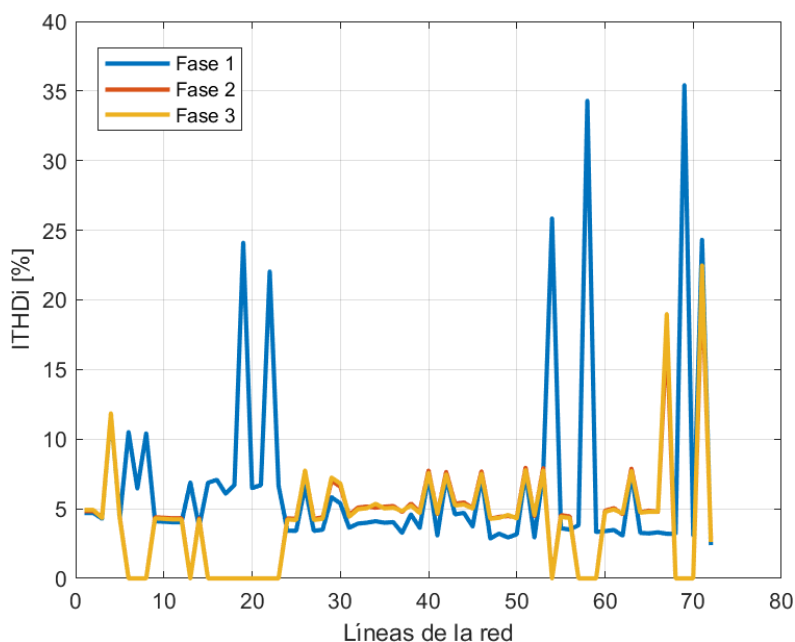


Figura 9.112. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 12. Fuente elaboración propia.

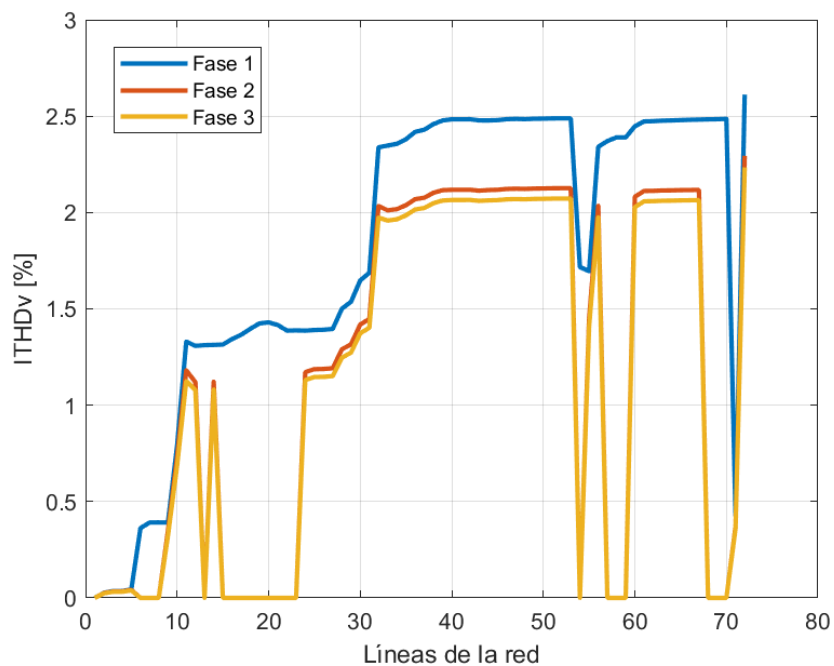


Figura 9.113. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 12. Fuente elaboración propia.

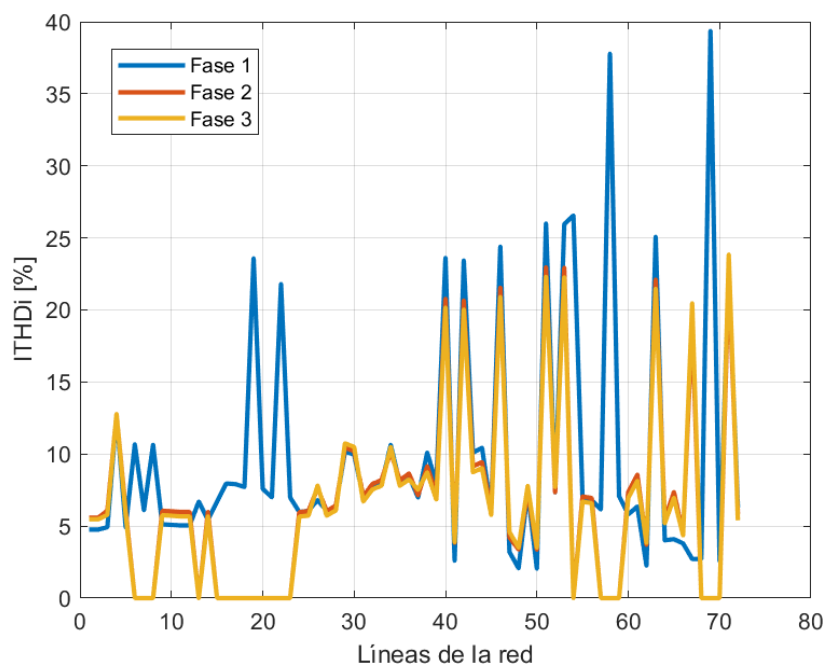


Figura 9.114. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 12. Fuente elaboración propia.

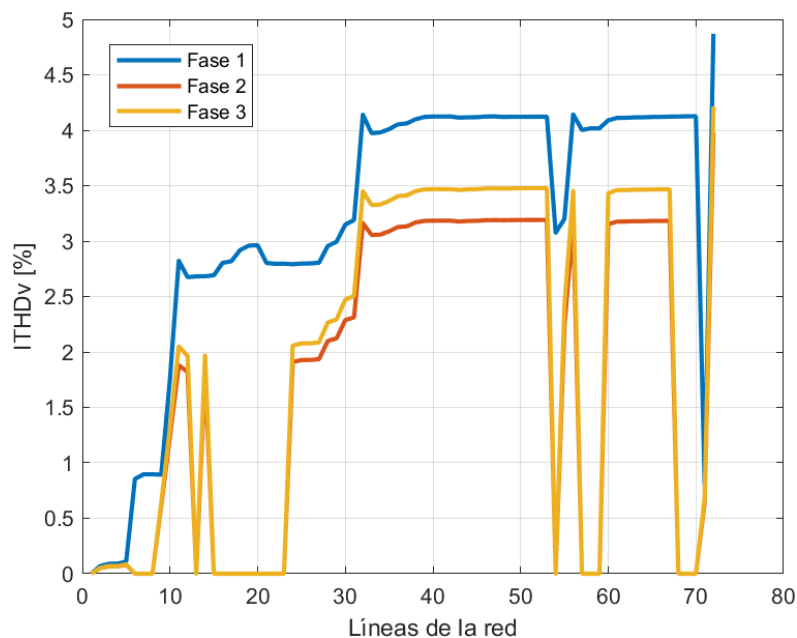


Figura 9.115. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 12. Fuente elaboración propia.

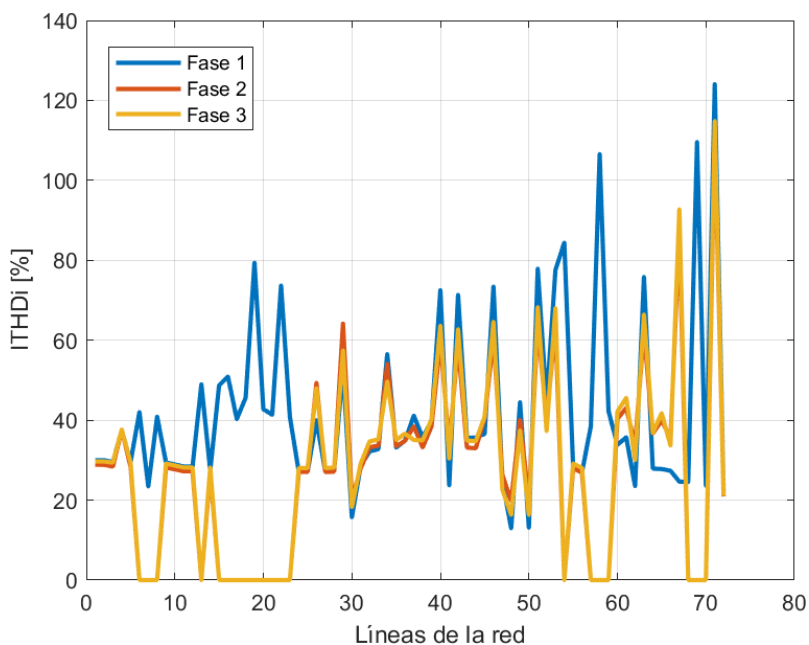


Figura 9.116. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 12. Fuente elaboración propia.

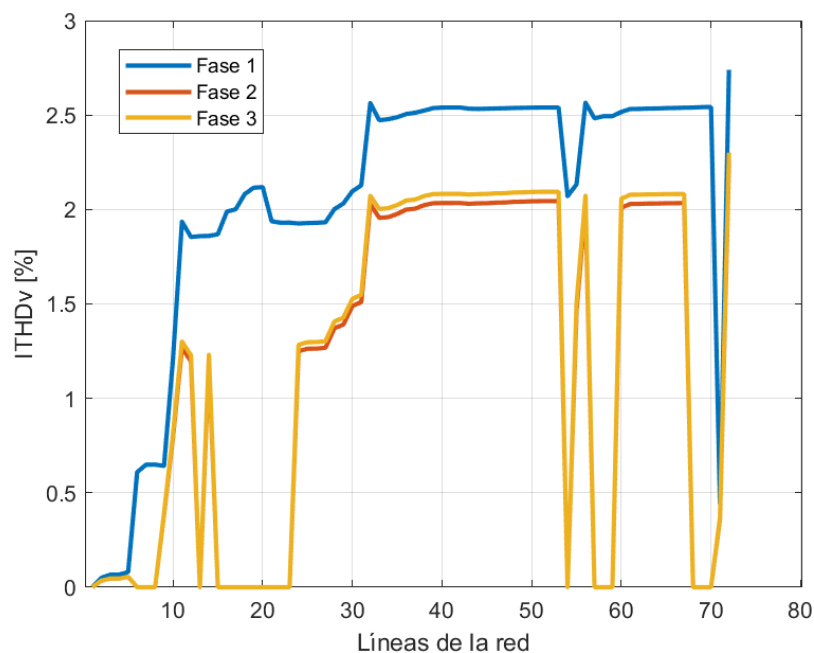


Figura 9.117. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 12. Fuente elaboración propia.

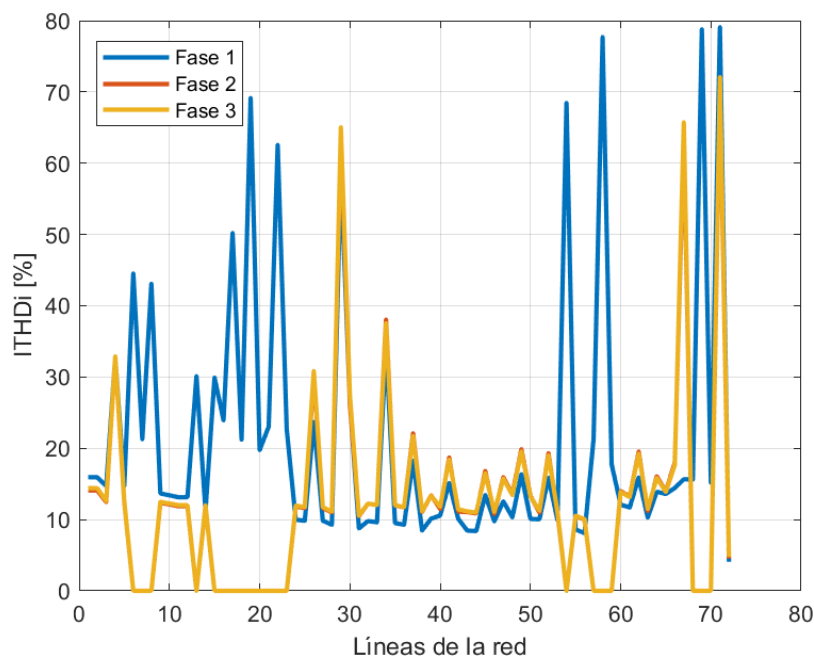


Figura 9.118. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 12. Fuente elaboración propia.

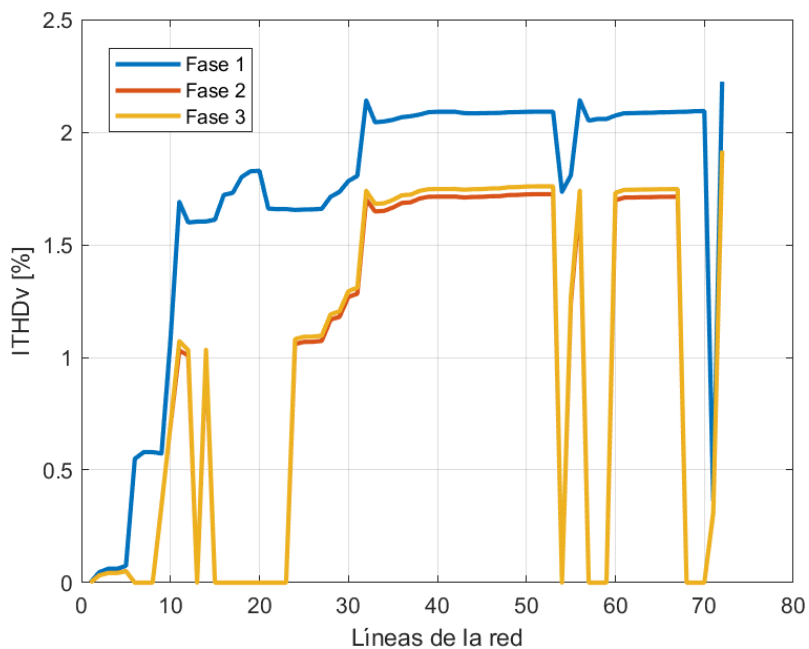


Figura 9.119. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 12. Fuente elaboración propia.

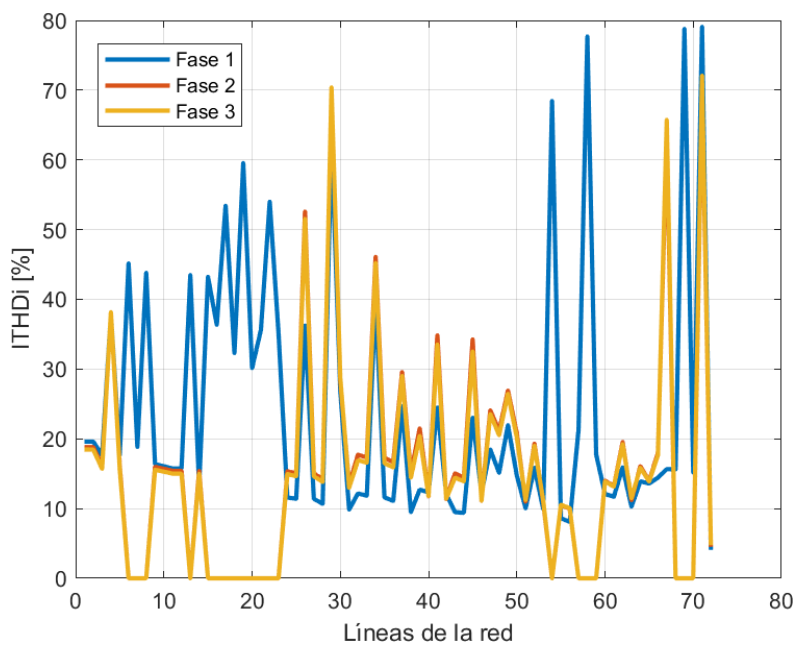


Figura 9.120. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 12. Fuente elaboración propia.

9.4.13. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 13

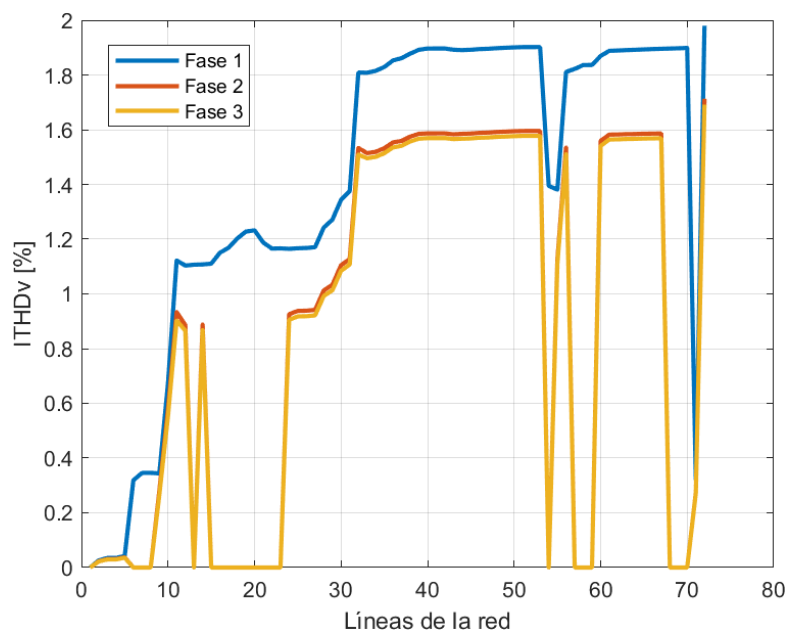


Figura 9.121. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 13. Fuente elaboración propia.

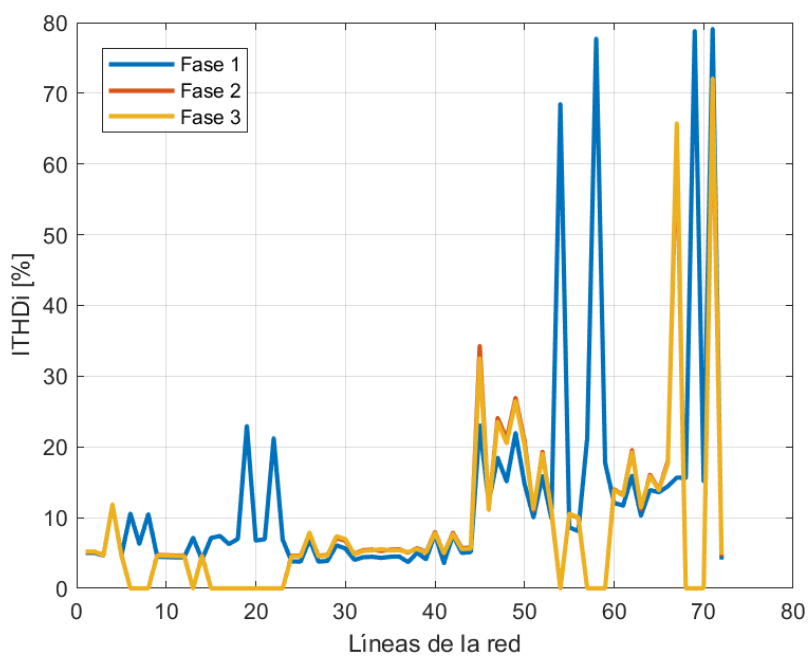


Figura 9.122. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 13. Fuente elaboración propia.

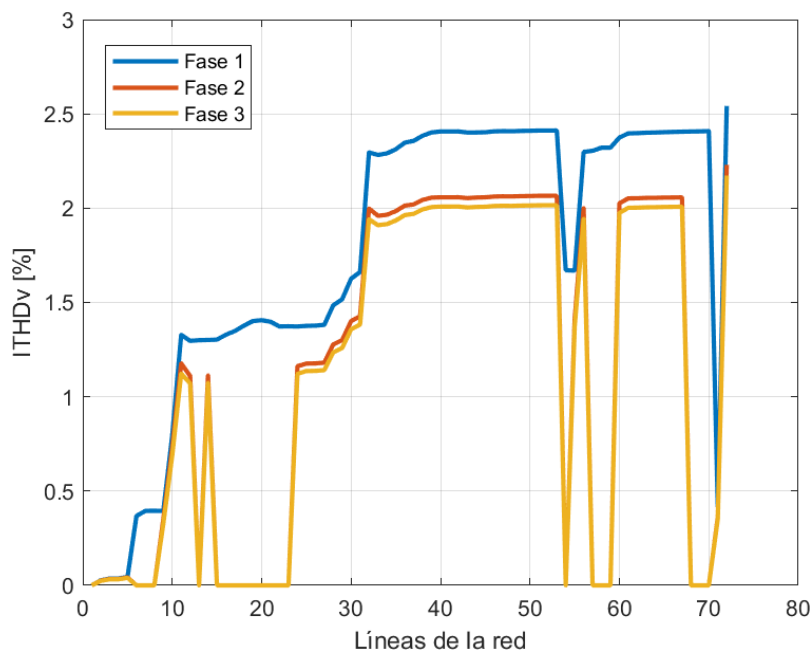


Figura 9.123. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 13. Fuente elaboración propia.

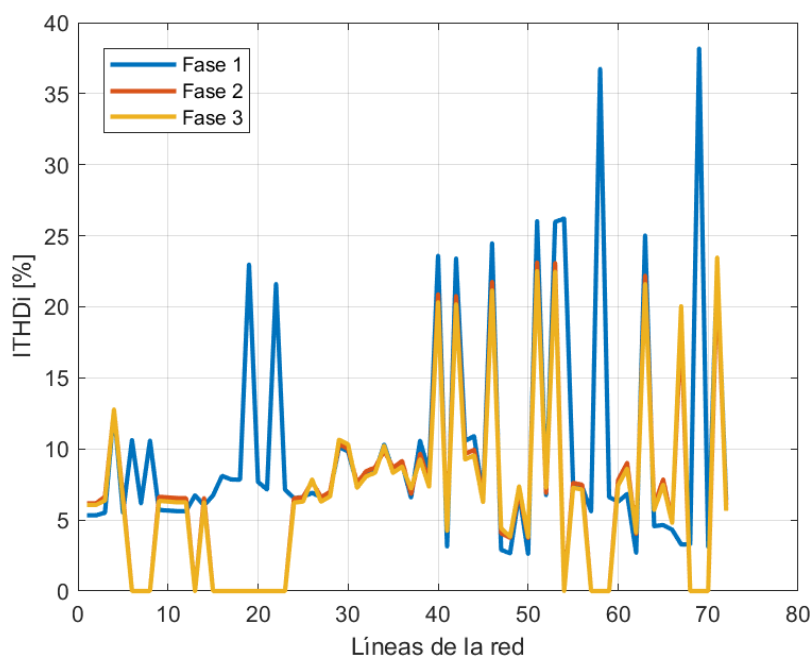


Figura 9.124. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 13. Fuente elaboración propia.

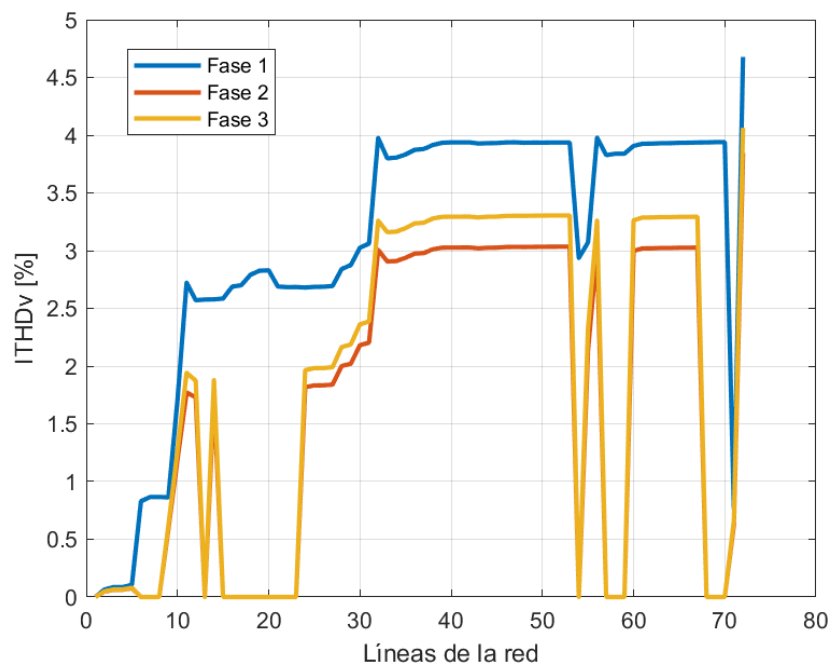


Figura 9.125. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 13. Fuente elaboración propia.

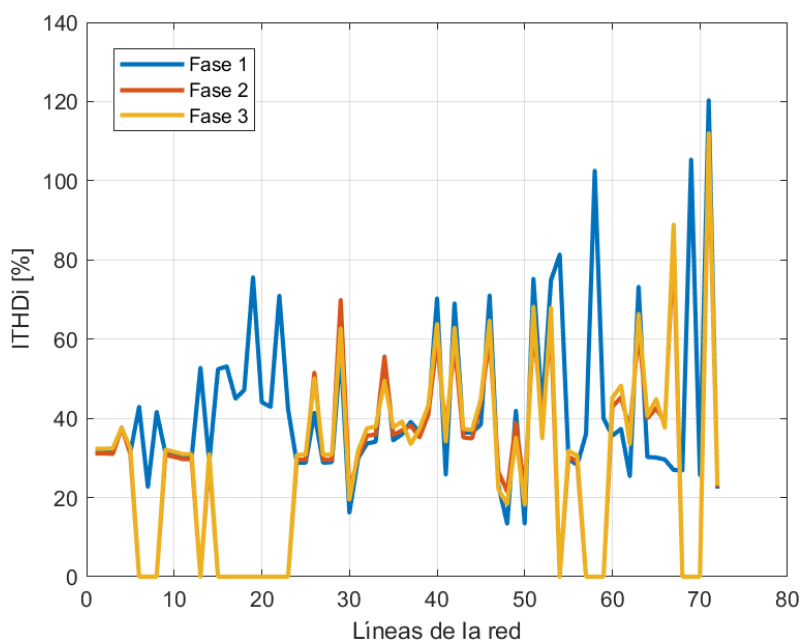


Figura 9.126. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 13. Fuente elaboración propia.

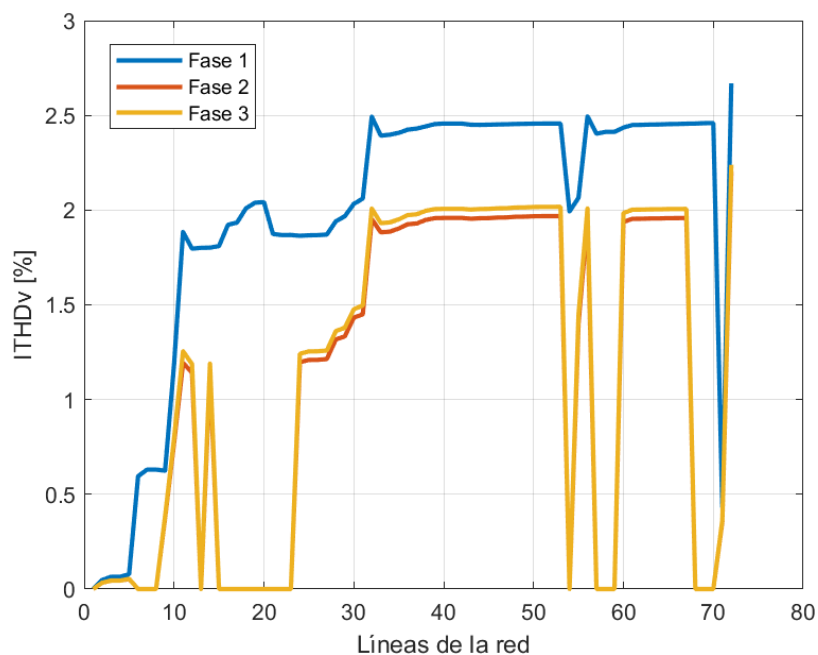


Figura 9.127. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 13. Fuente elaboración propia.

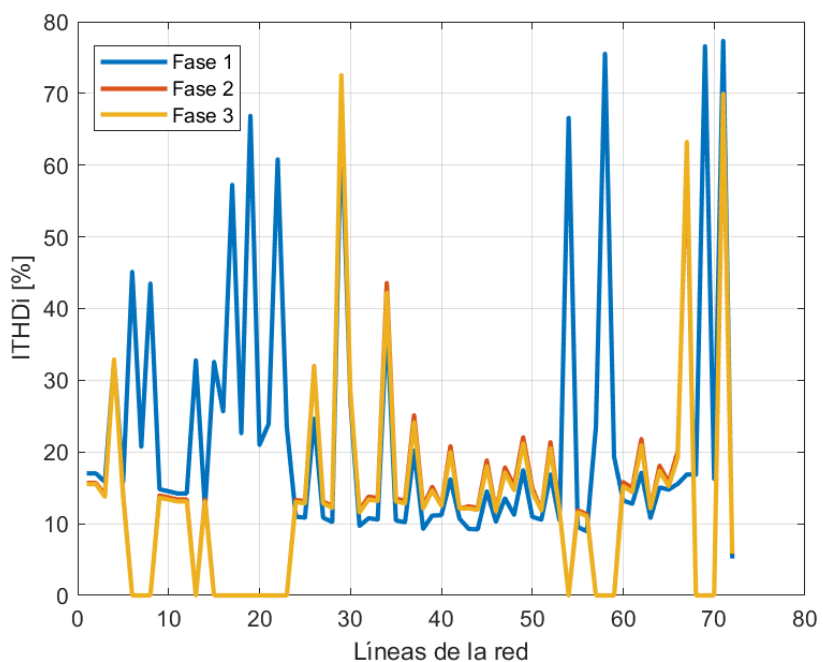


Figura 9.128. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 13. Fuente elaboración propia.

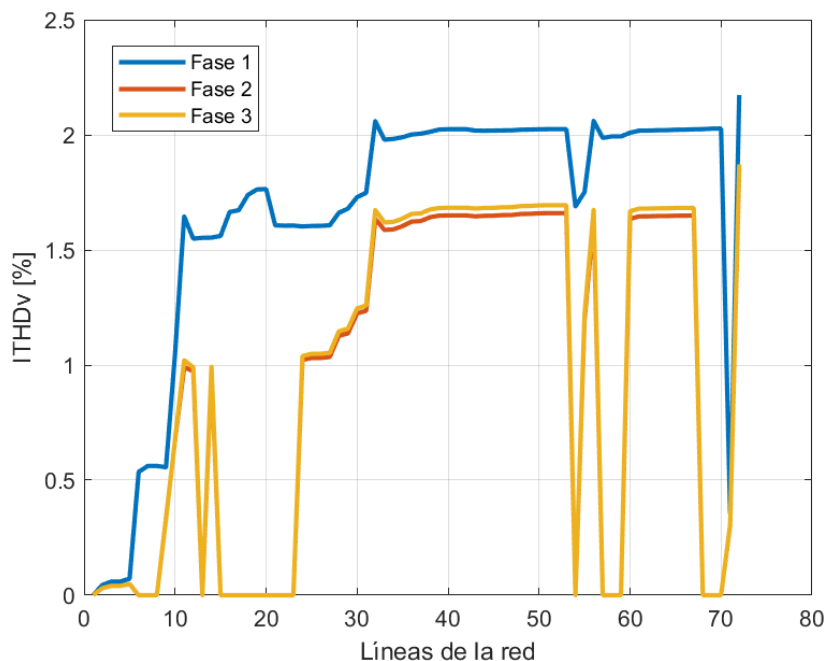


Figura 9.129. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 13. Fuente elaboración propia.

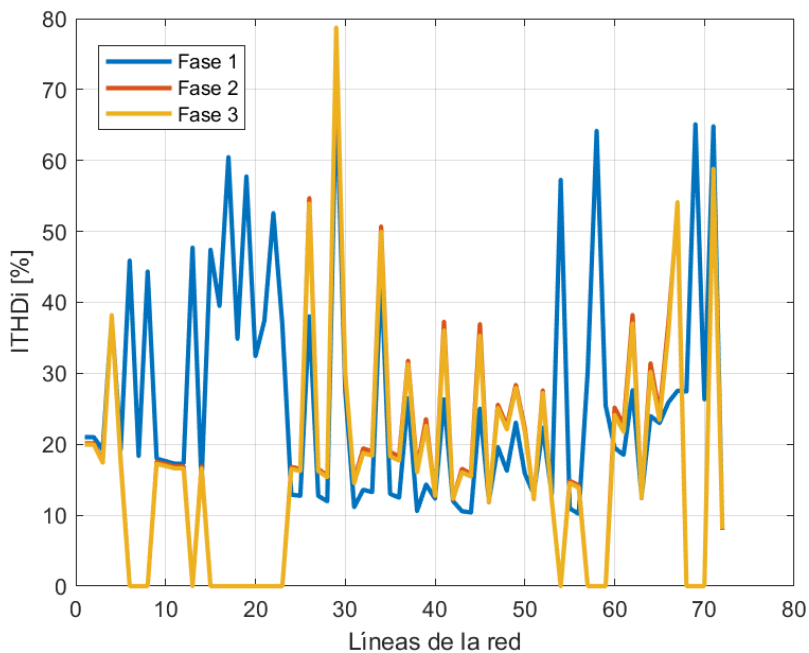


Figura 9.130. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 13. Fuente elaboración propia.

9.4.14. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 14

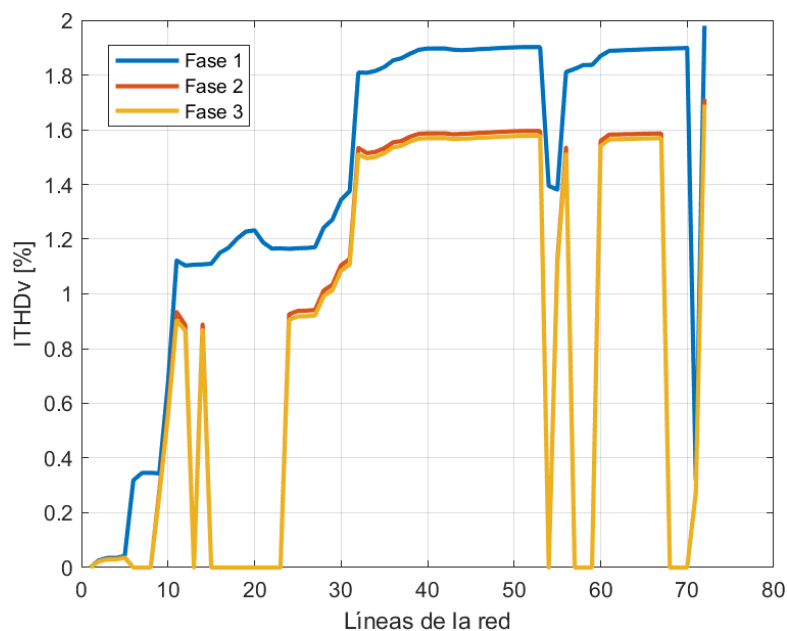


Figura 9.131. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 14. Fuente elaboración propia.

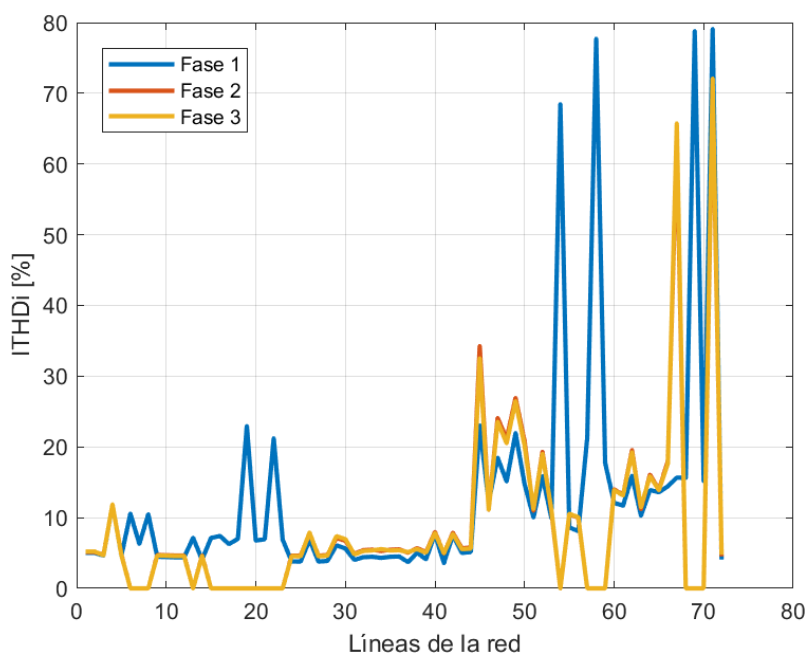


Figura 9.132. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 14. Fuente elaboración propia.

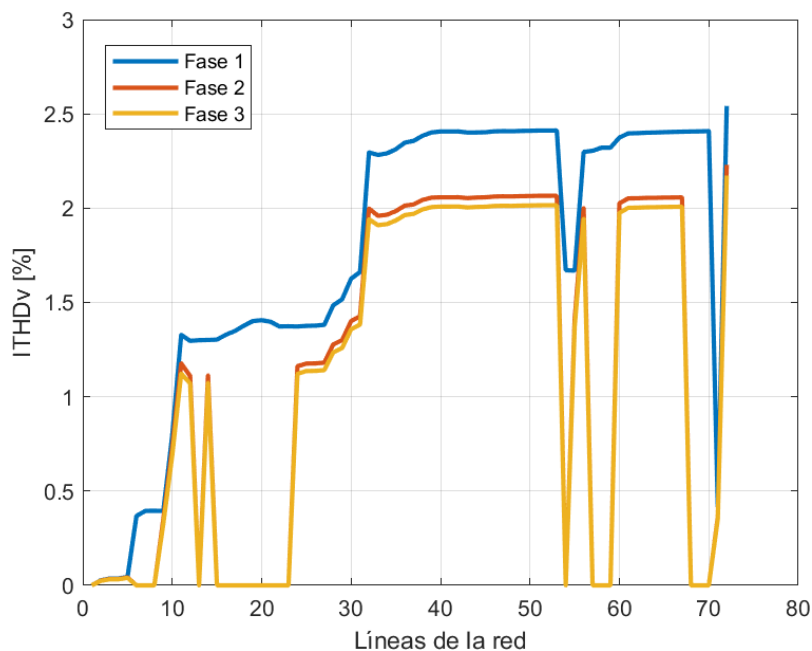


Figura 9.133. Gráfico de comportamiento ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 14. Fuente elaboración propia.

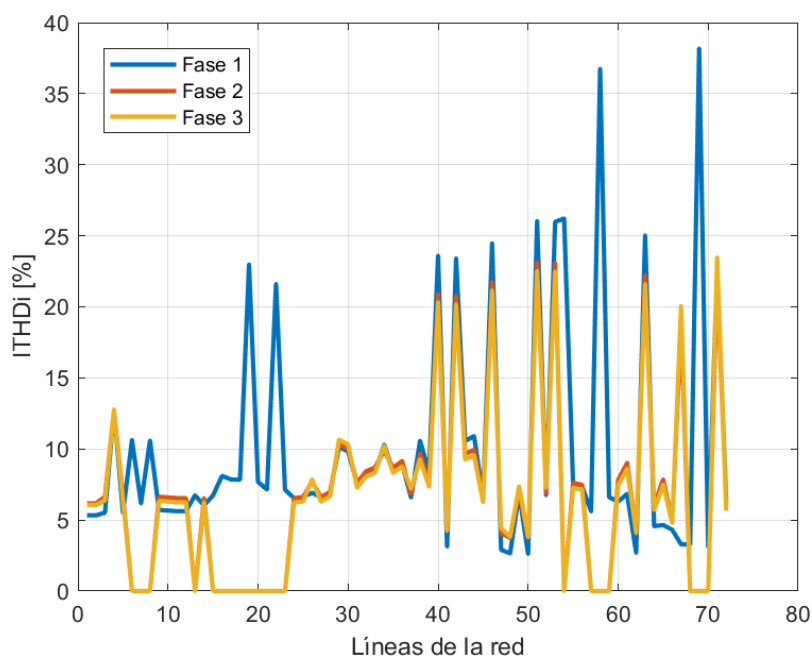


Figura 9.134. Gráfico de comportamiento ($ITHD_i$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 14. Fuente elaboración propia.

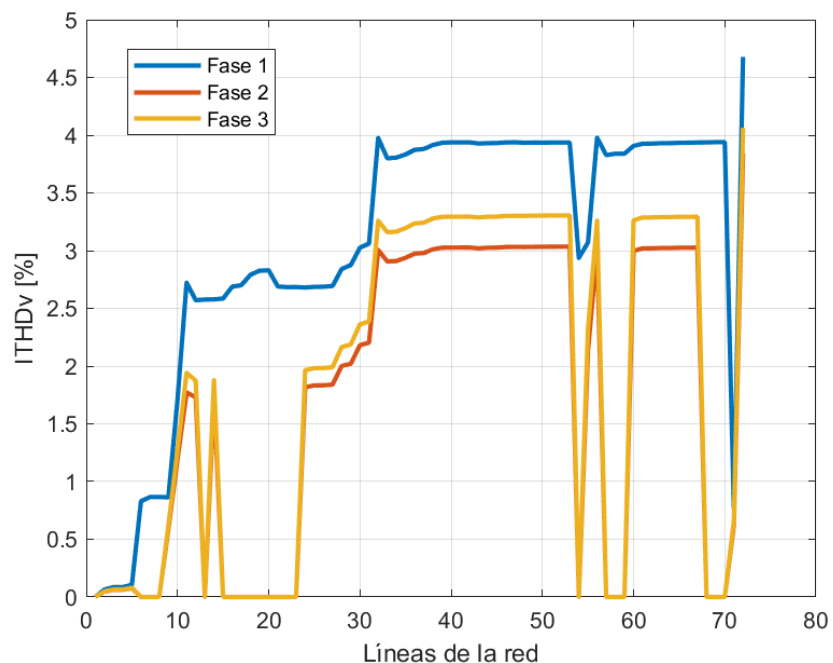


Figura 9.135. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 14. Fuente elaboración propia.

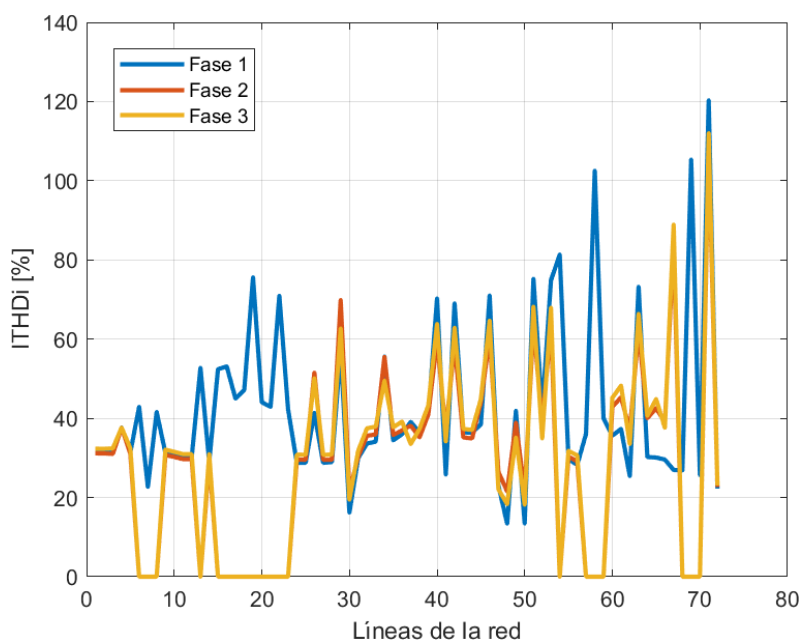


Figura 9.136. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 14. Fuente elaboración propia.

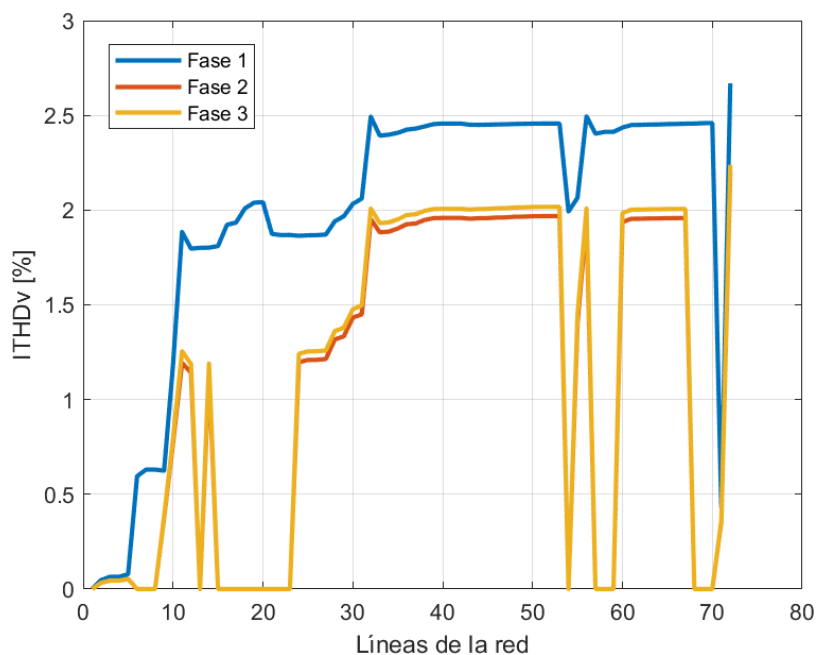


Figura 9.137. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 14. Fuente elaboración propia.

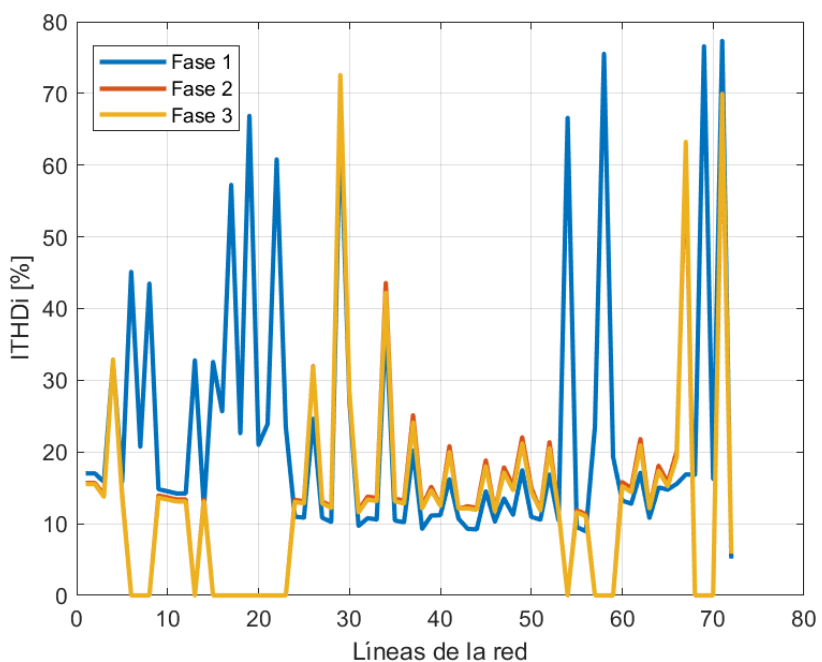


Figura 9.138. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 14. Fuente elaboración propia.

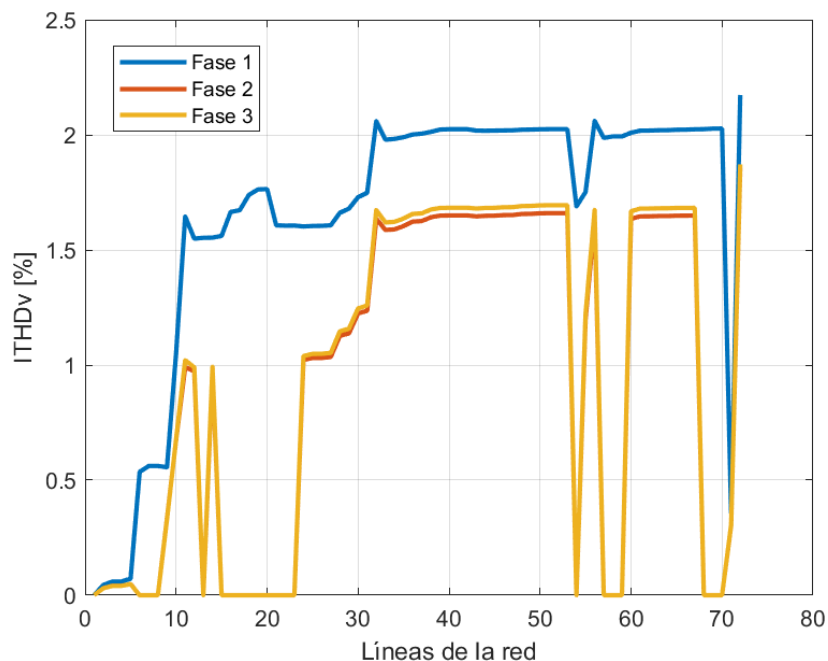


Figura 9.139. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 14. Fuente elaboración propia.

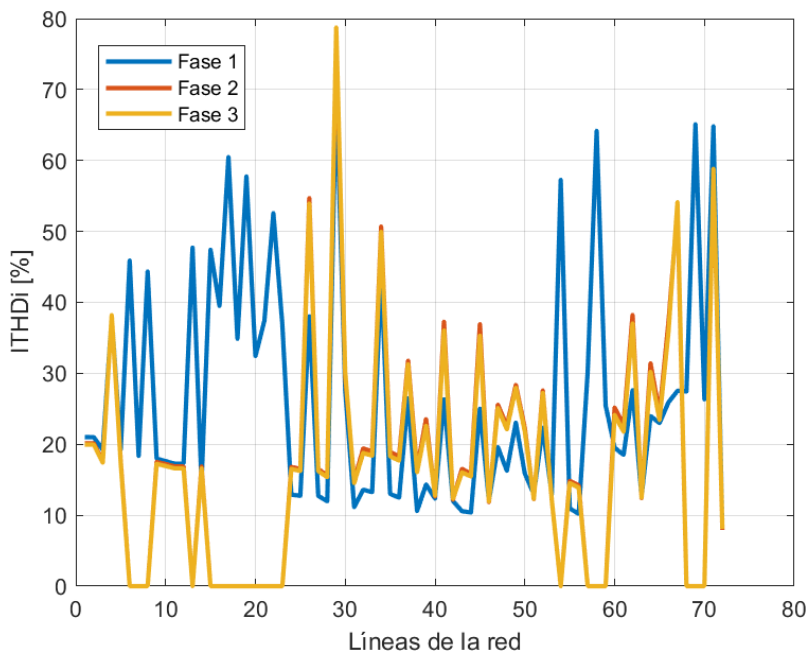


Figura 9.140. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 14. Fuente elaboración propia.

9.4.15. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 16

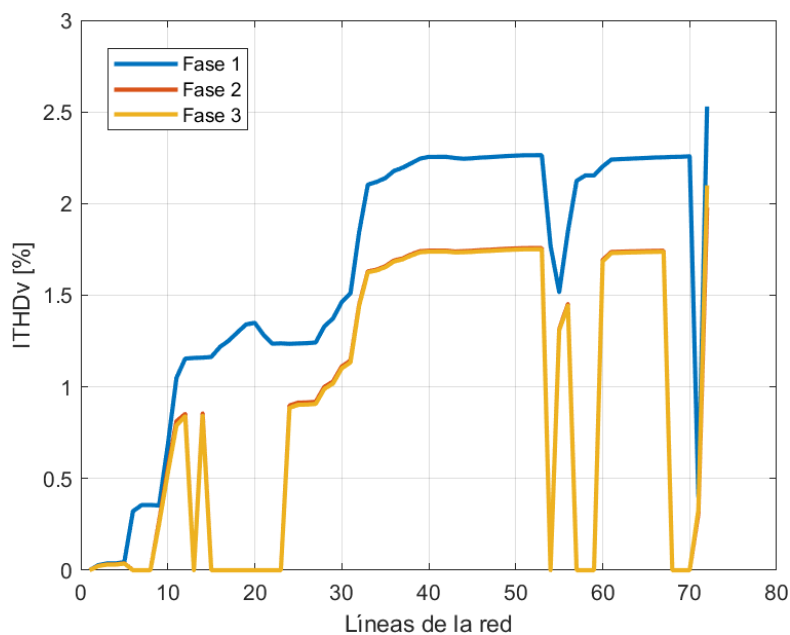


Figura 9.141. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 16. Fuente elaboración propia.

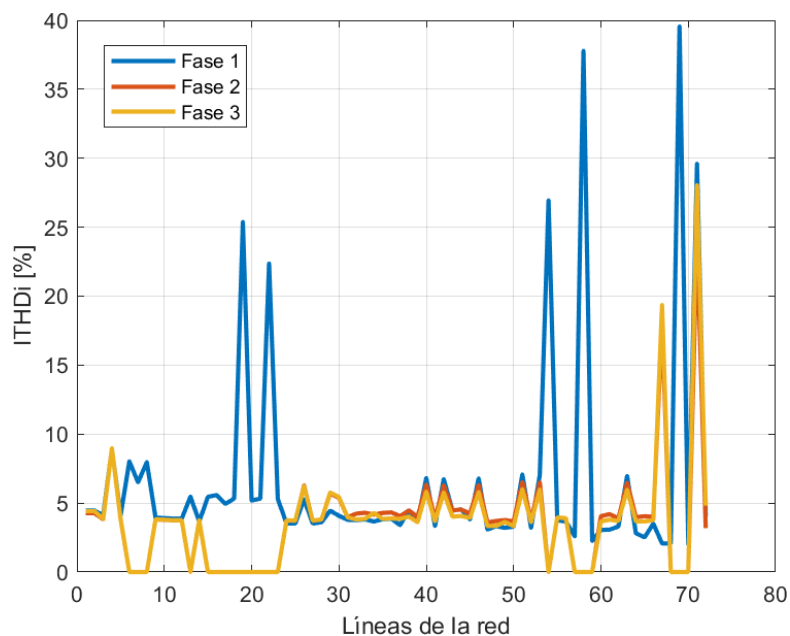


Figura 9.142. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 16. Fuente elaboración propia.

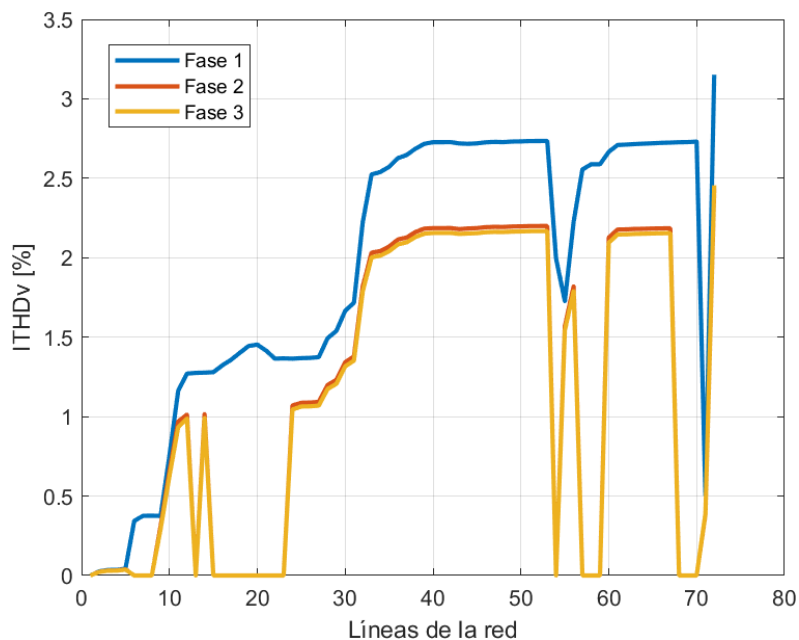


Figura 9.143. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 16. Fuente elaboración propia.

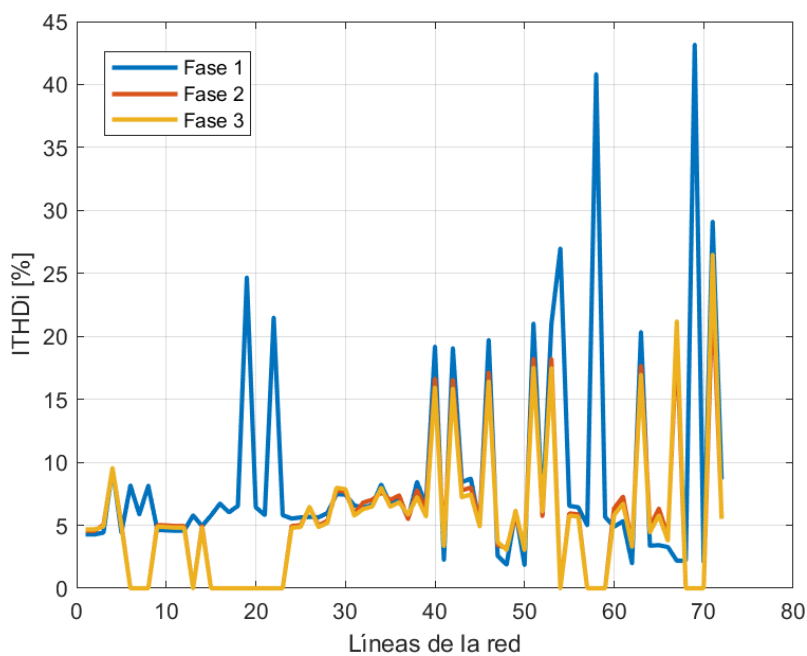


Figura 9.144. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 16. Fuente elaboración propia.

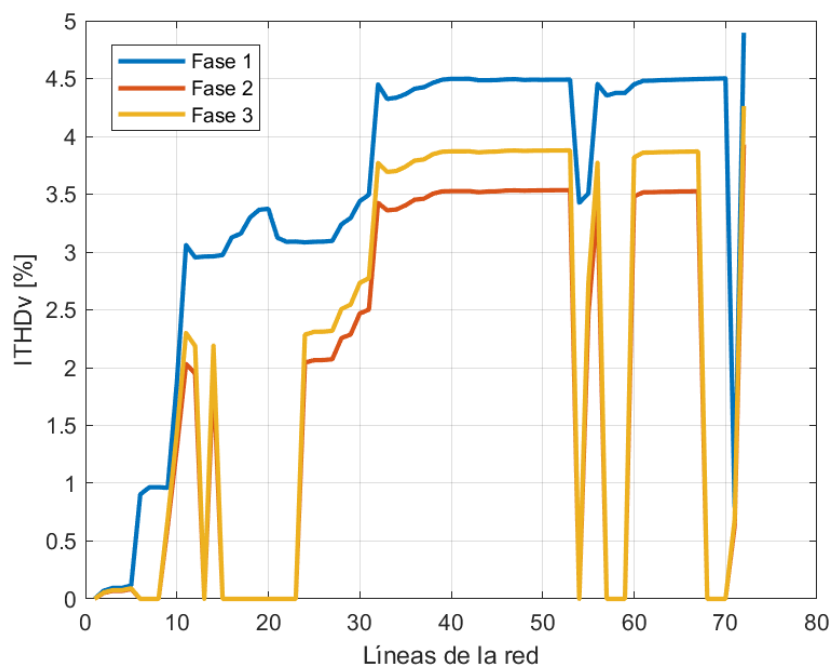


Figura 9.145. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 16. Fuente elaboración propia.

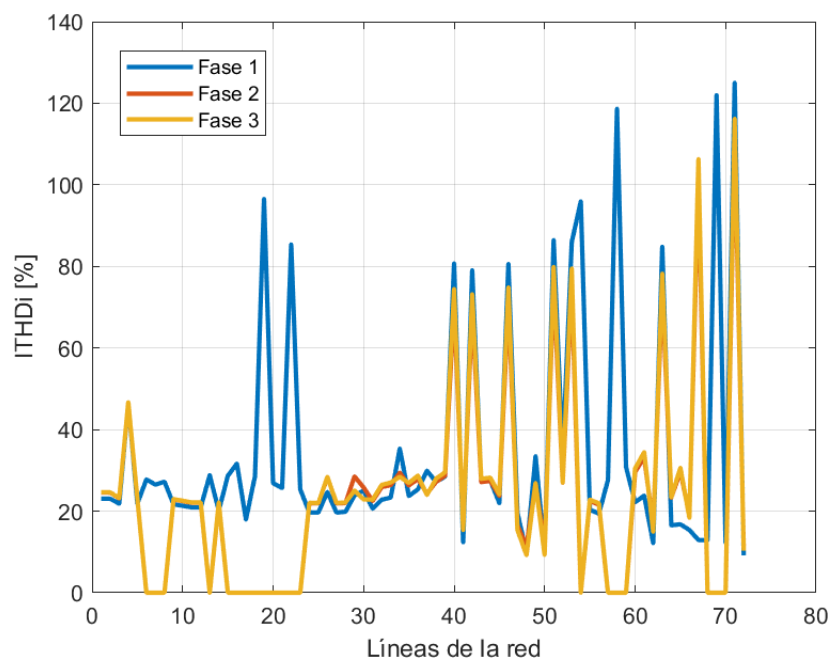


Figura 9.146. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 16. Fuente elaboración propia.

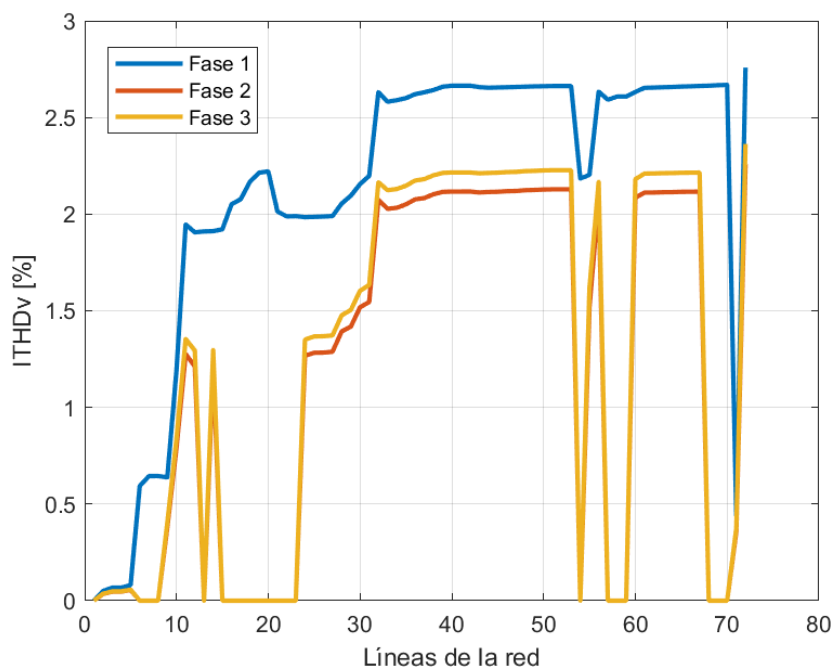


Figura 9.147. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 16. Fuente elaboración propia.

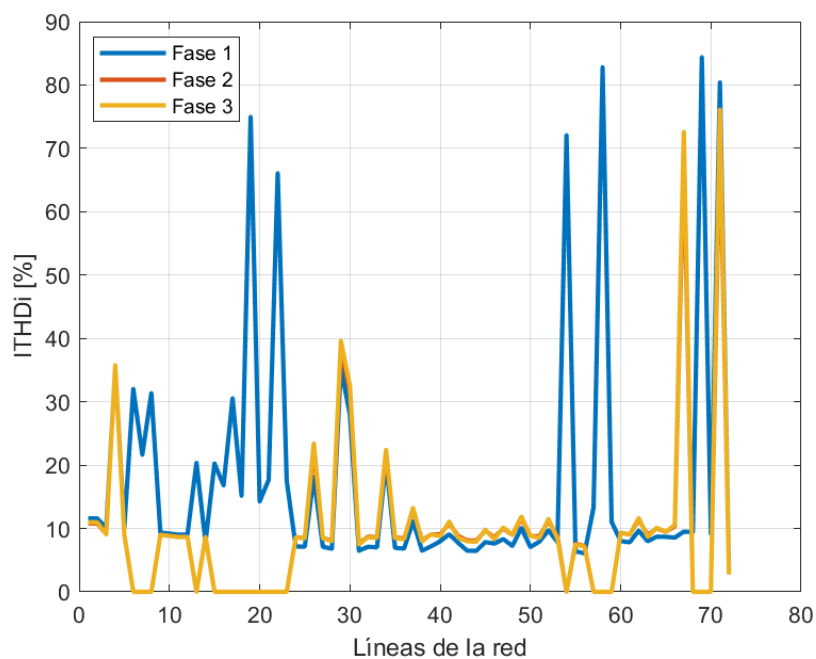


Figura 9.148. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 16. Fuente elaboración propia.

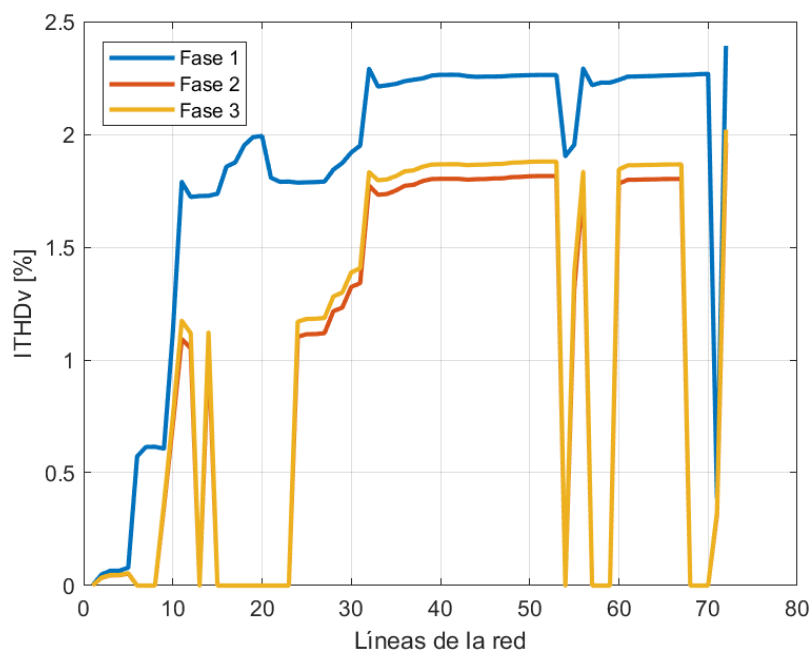


Figura 9.149. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 16. Fuente elaboración propia.

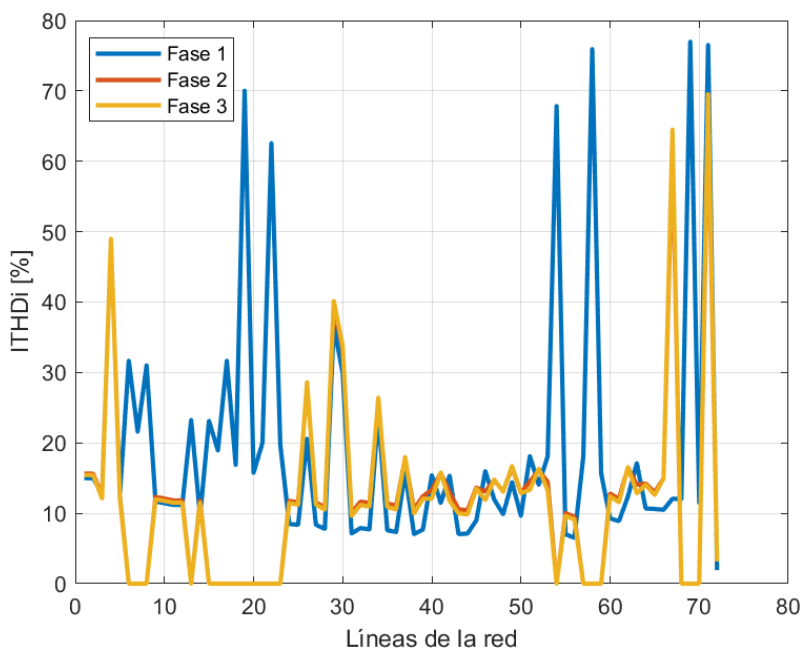


Figura 9.150. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 16. Fuente elaboración propia.

9.4.16. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 17

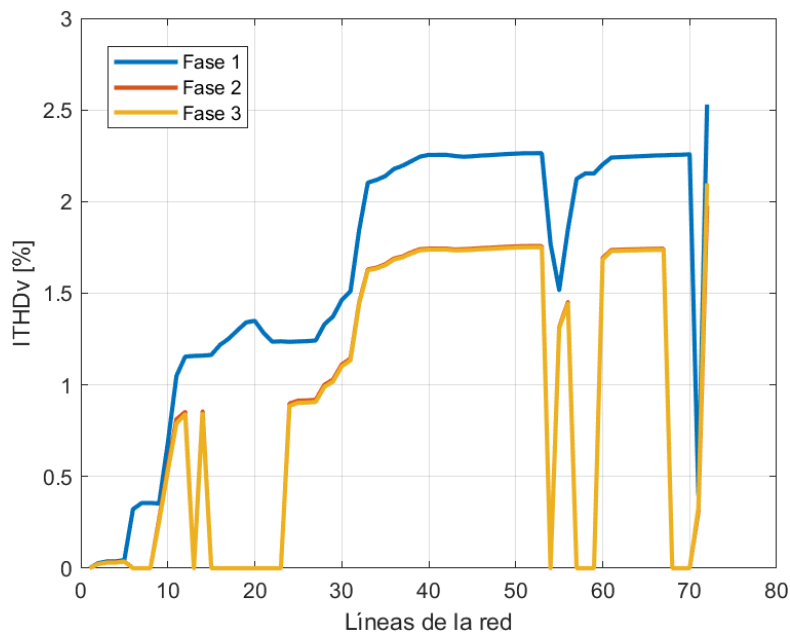


Figura 9.151. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 17. Fuente elaboración propia.

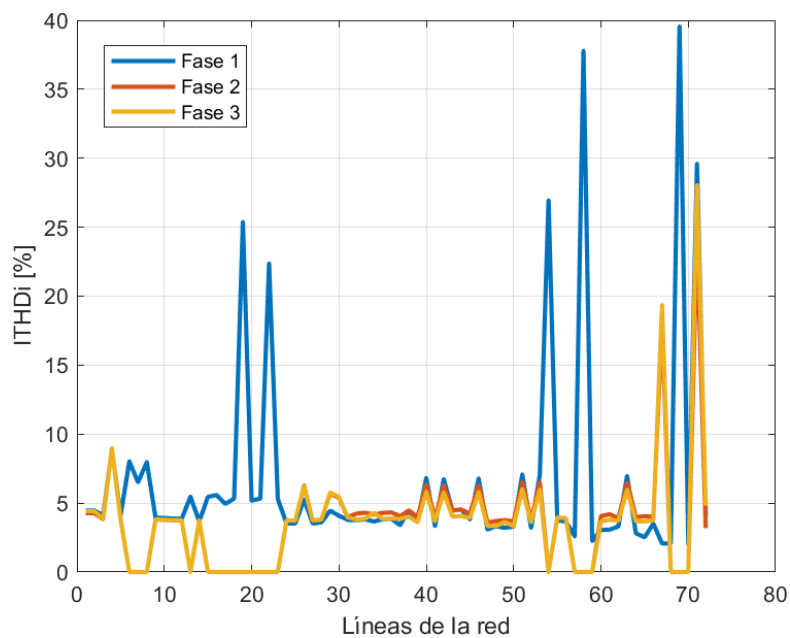


Figura 9.152. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 17. Fuente elaboración propia.

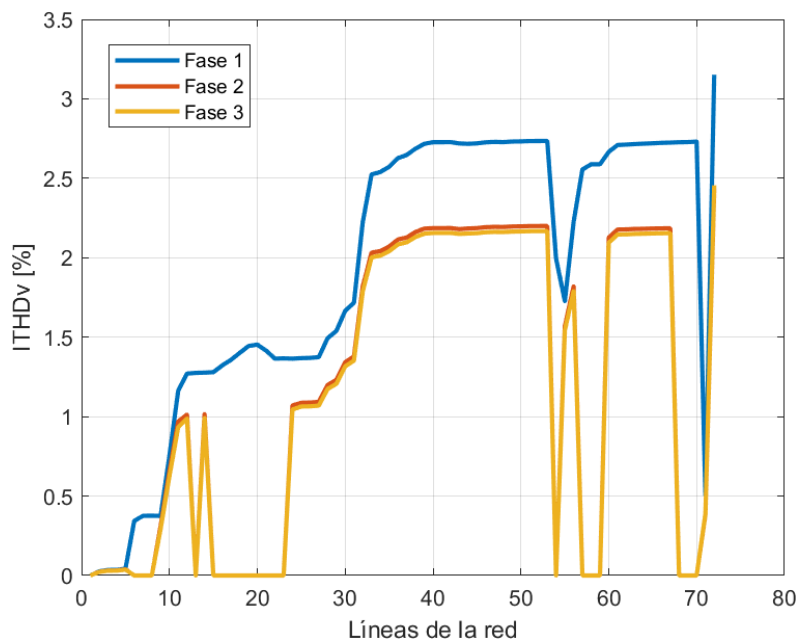


Figura 9.153. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 17. Fuente elaboración propia.

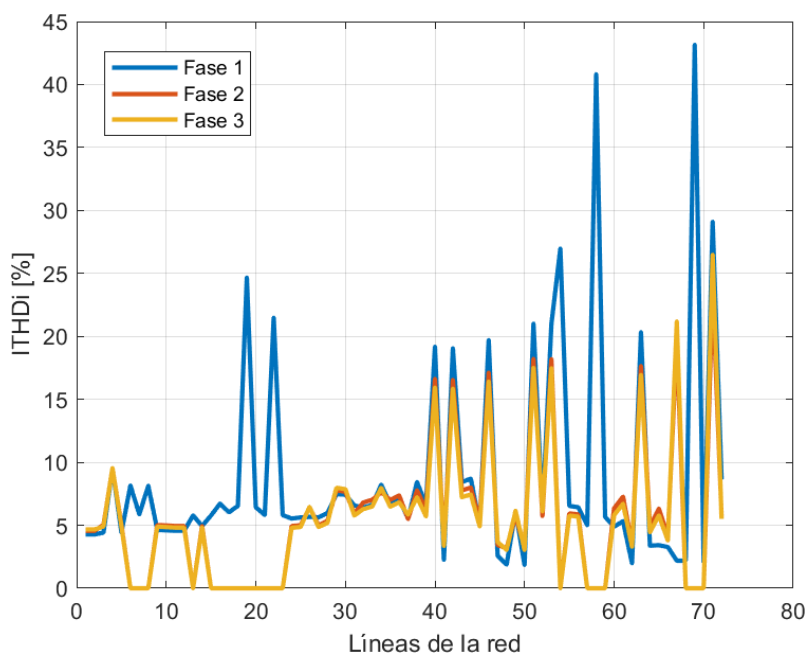


Figura 9.154. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 17. Fuente elaboración propia.

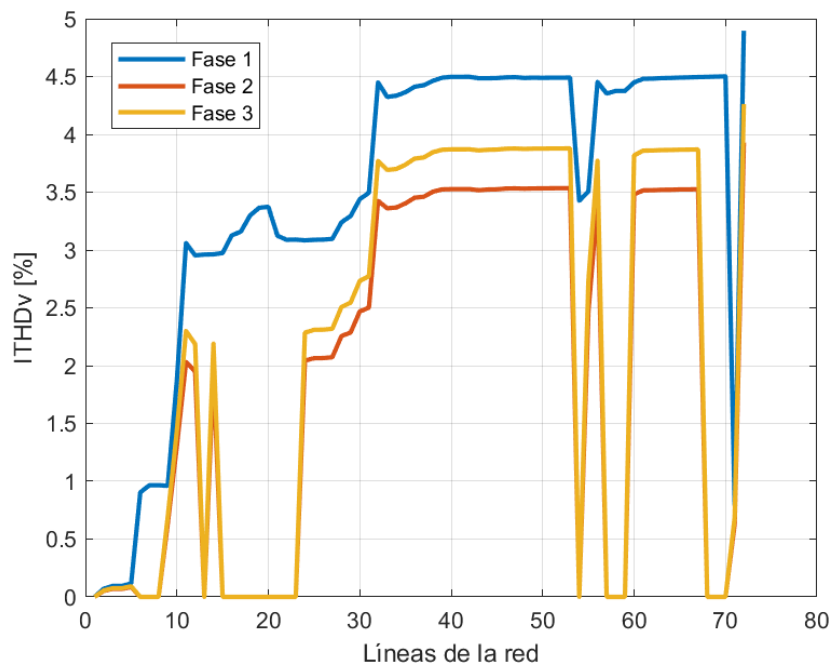


Figura 9.155. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 17. Fuente elaboración propia.

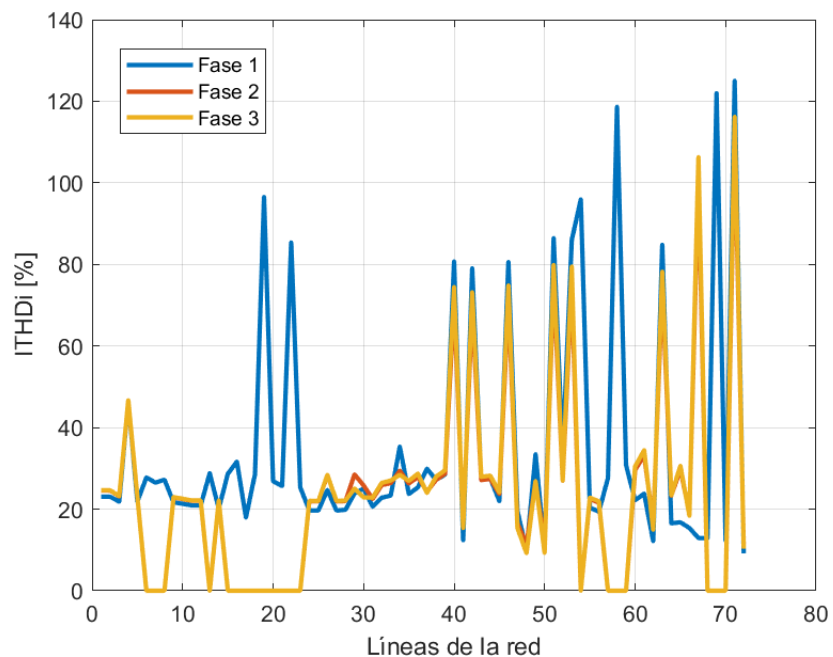


Figura 9.156. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 17. Fuente elaboración propia.

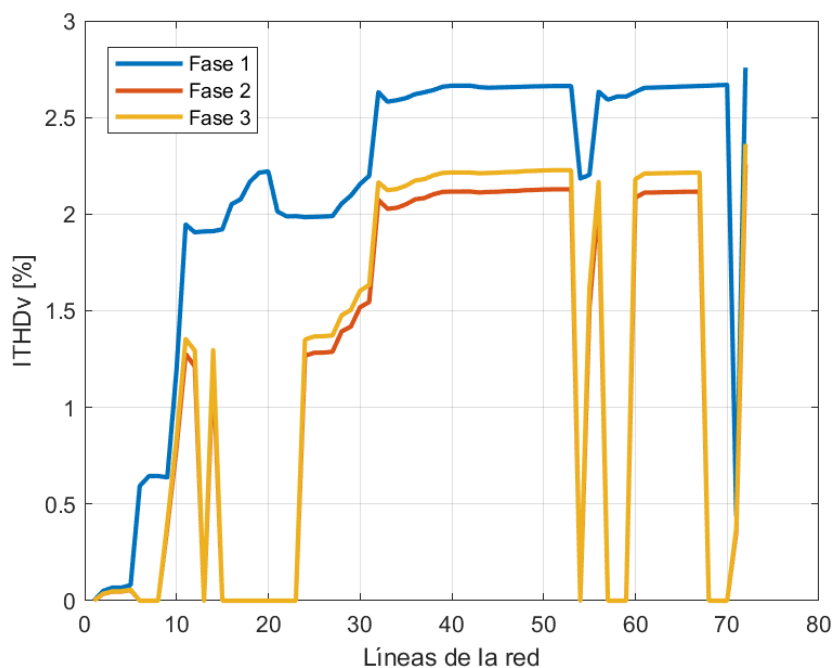


Figura 9.157. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 17. Fuente elaboración propia.

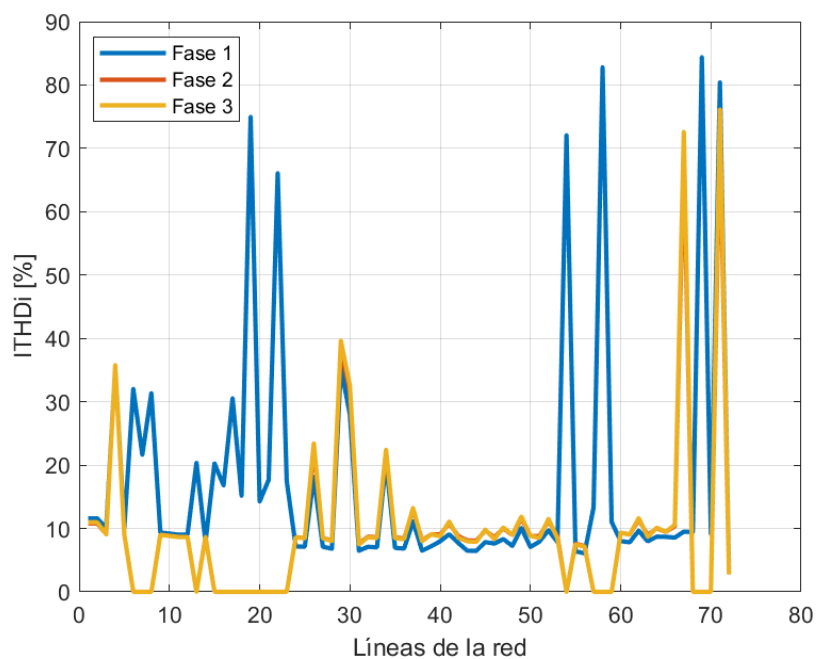


Figura 9.158. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 17. Fuente elaboración propia.

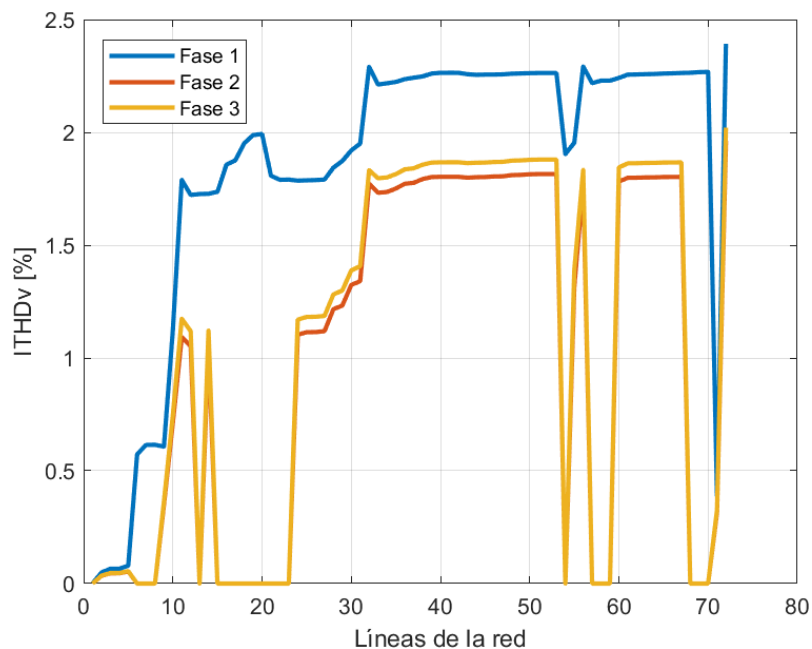


Figura 9.159. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 17. Fuente elaboración propia.

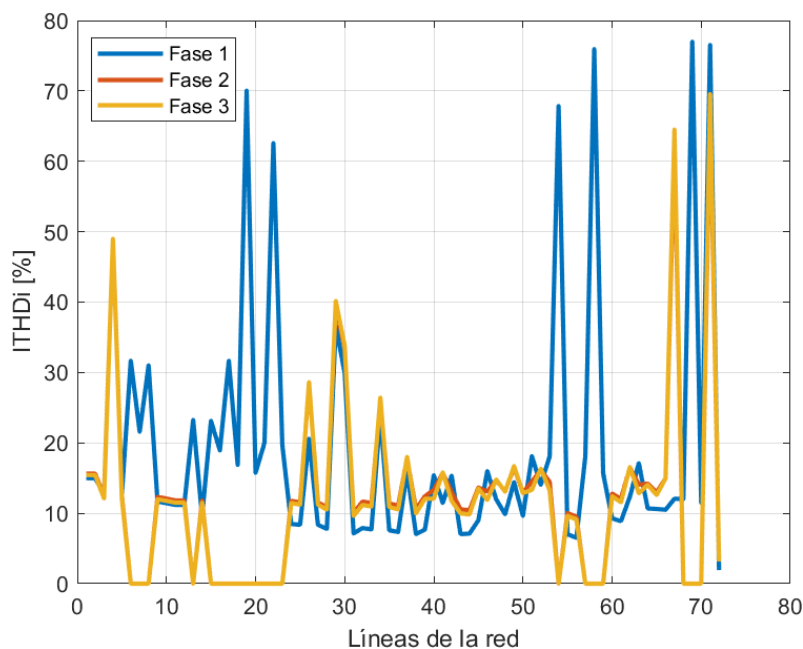


Figura 9.160. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 17. Fuente elaboración propia.

9.4.17. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 18

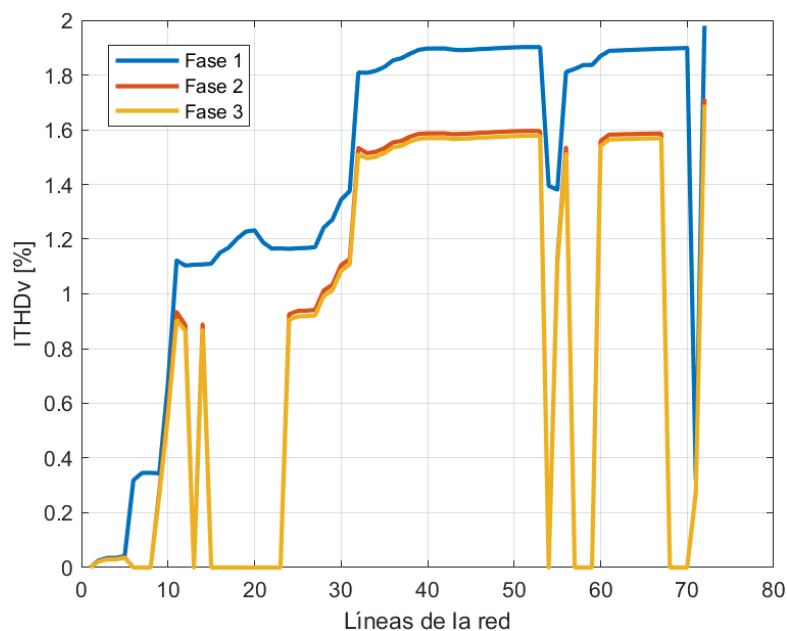


Figura 9.161. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 18. Fuente elaboración propia.

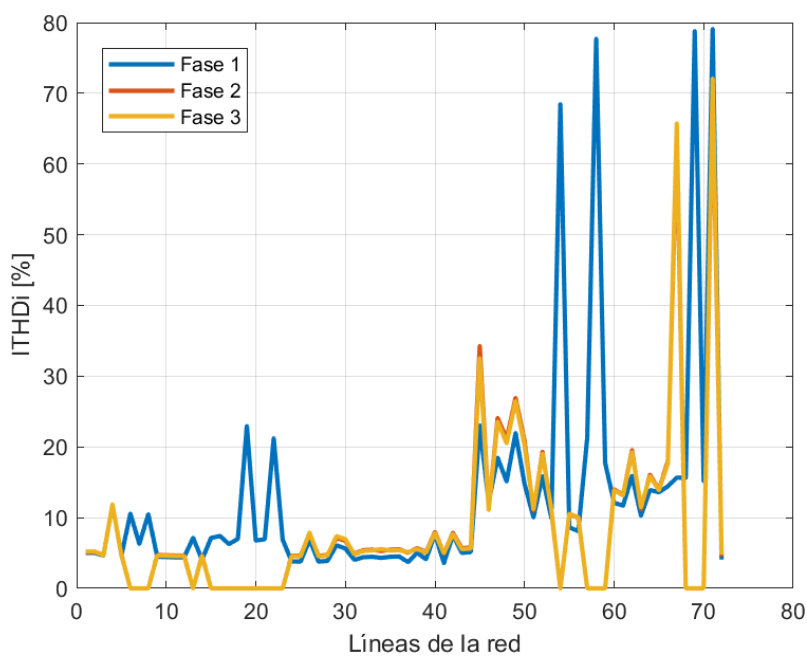


Figura 9.162. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 18. Fuente elaboración propia.

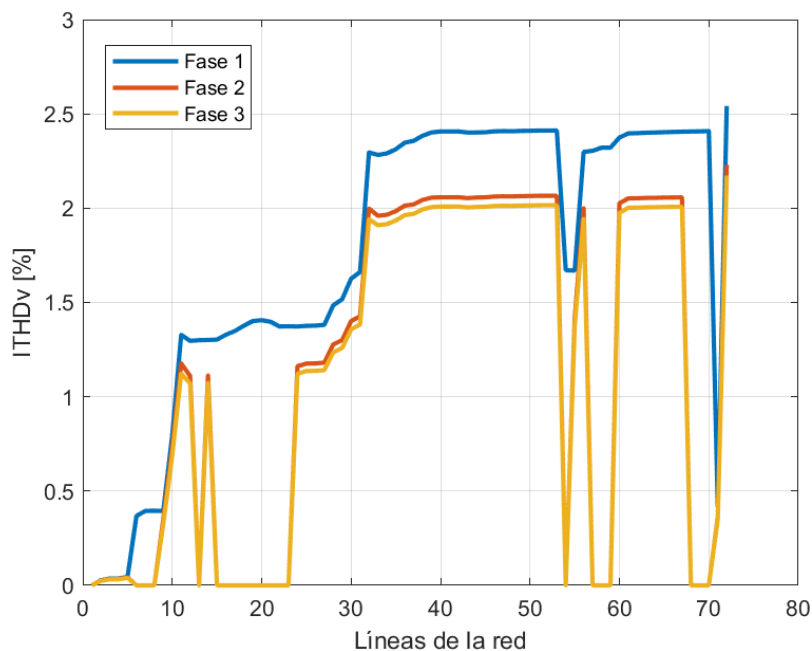


Figura 9.163. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 18. Fuente elaboración propia.

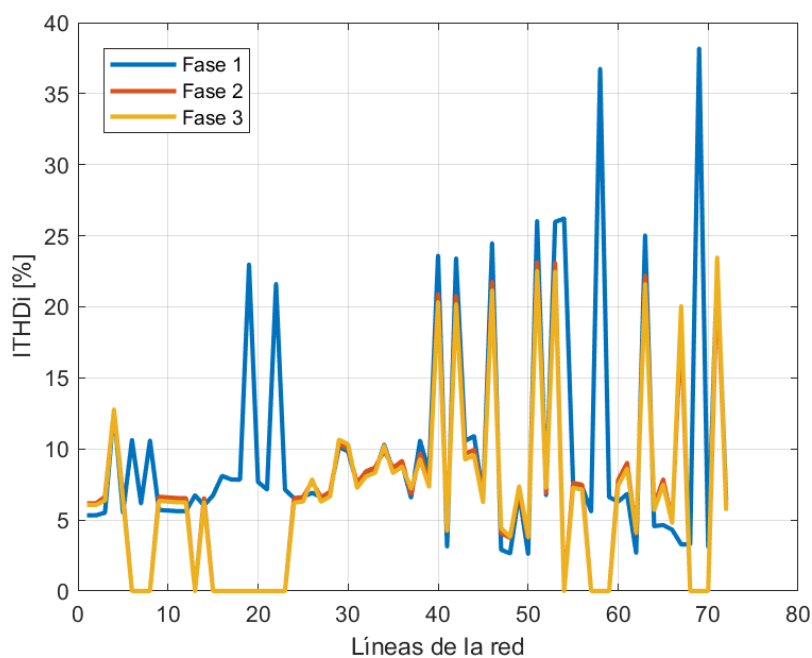


Figura 9.164. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 18. Fuente elaboración propia.

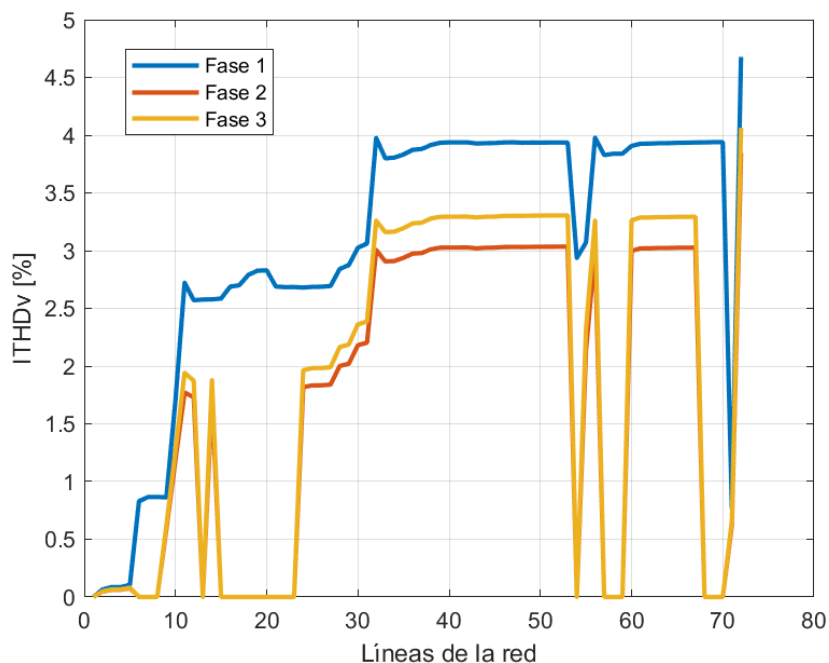


Figura 9.165. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 18. Fuente elaboración propia.

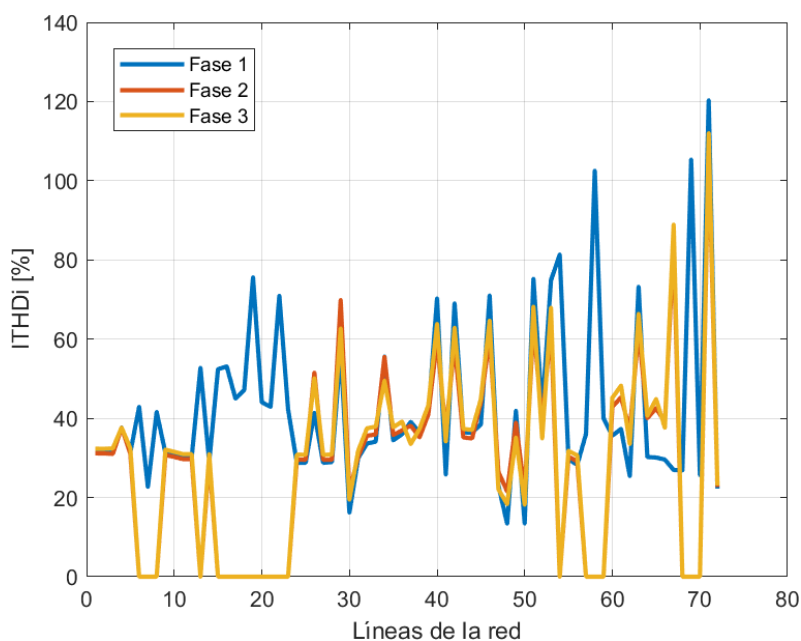


Figura 9.166. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 18. Fuente elaboración propia.

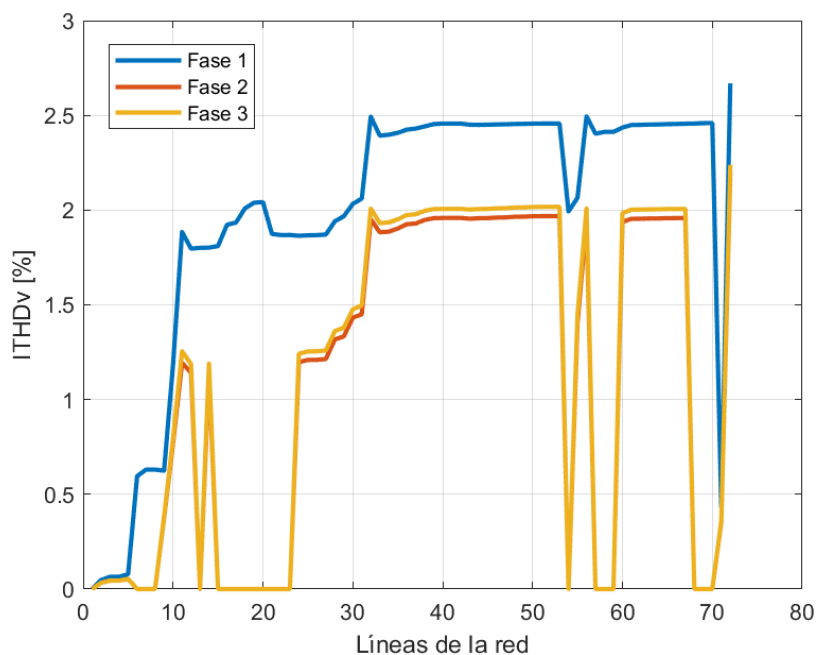


Figura 9.167. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 18. Fuente elaboración propia.

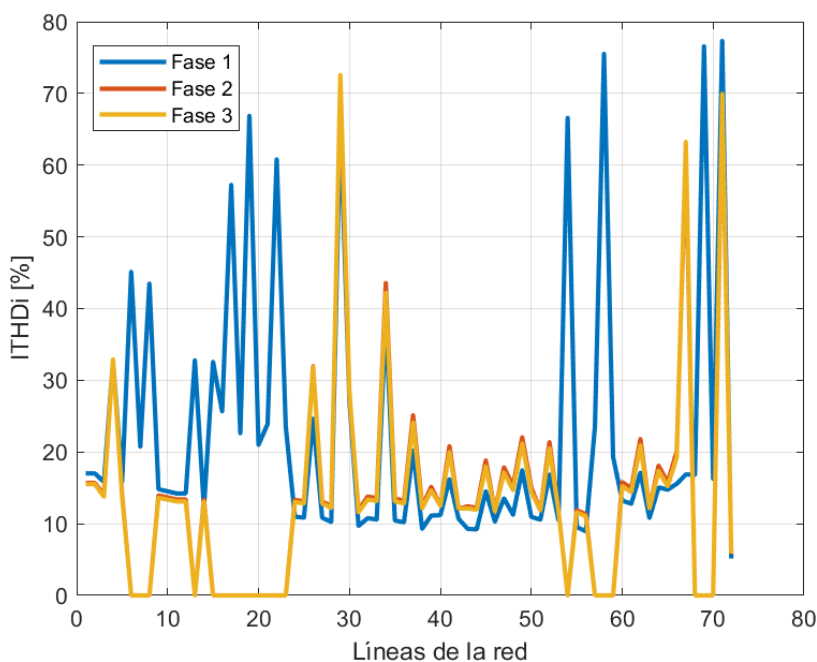


Figura 9.168. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 18. Fuente elaboración propia.

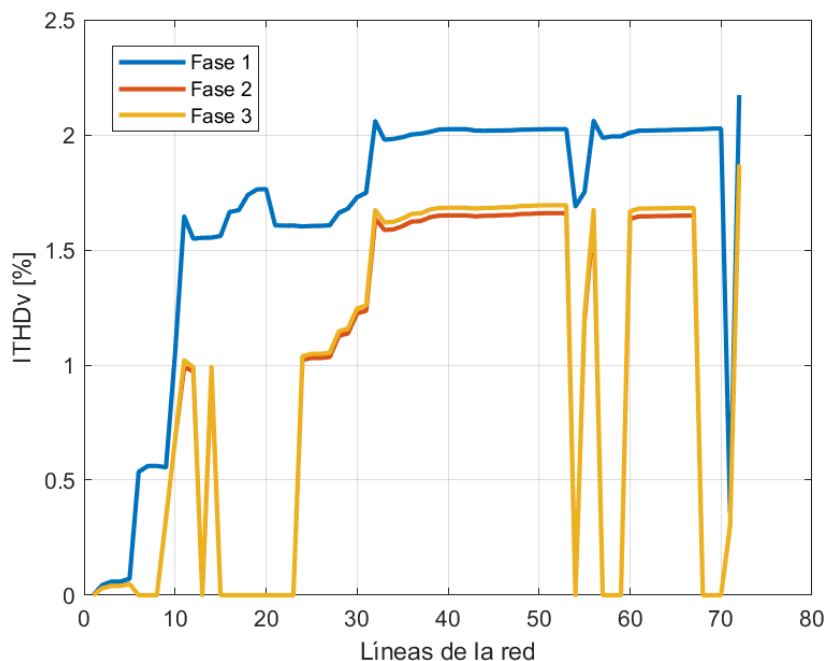


Figura 9.169. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 18. Fuente elaboración propia.

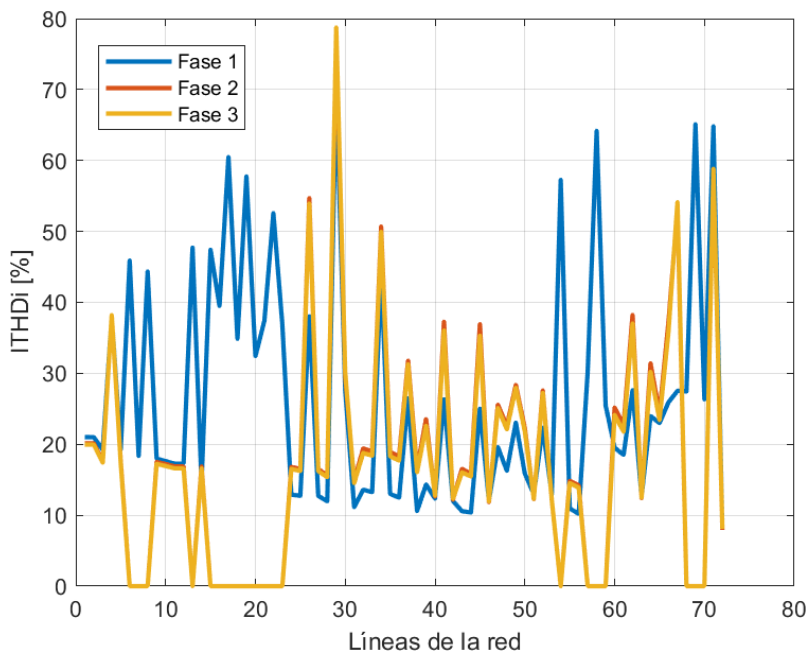


Figura 9.170. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 18. Fuente elaboración propia.

9.4.18. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 19

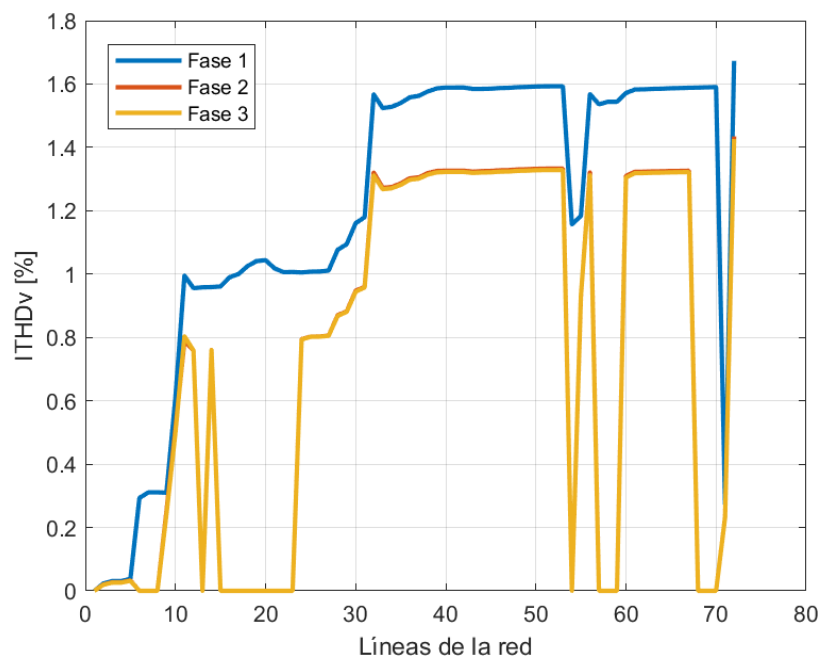


Figura 9.171. Gráfico de comportamiento ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 19. Fuente elaboración propia.

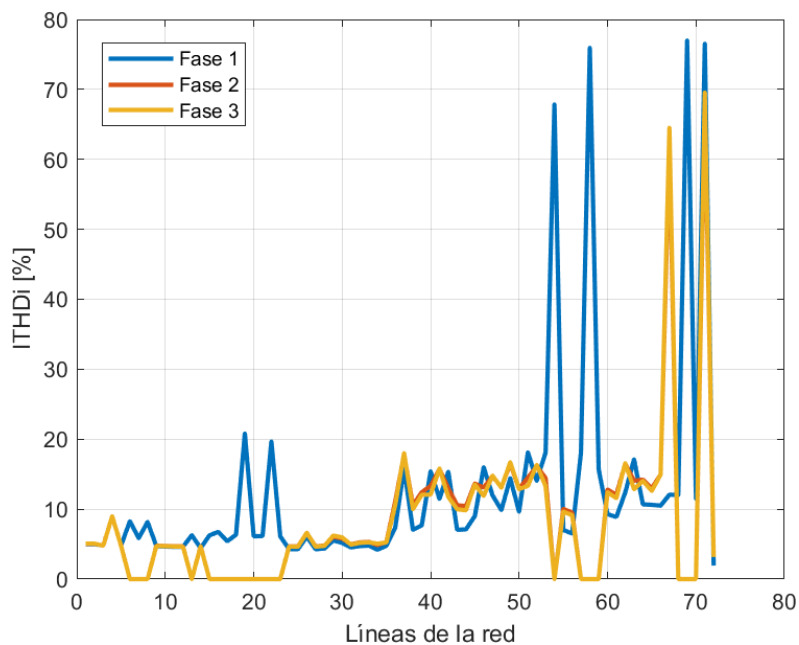


Figura 9.172. Gráfico de comportamiento ($ITHD_i$) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 19. Fuente elaboración propia.

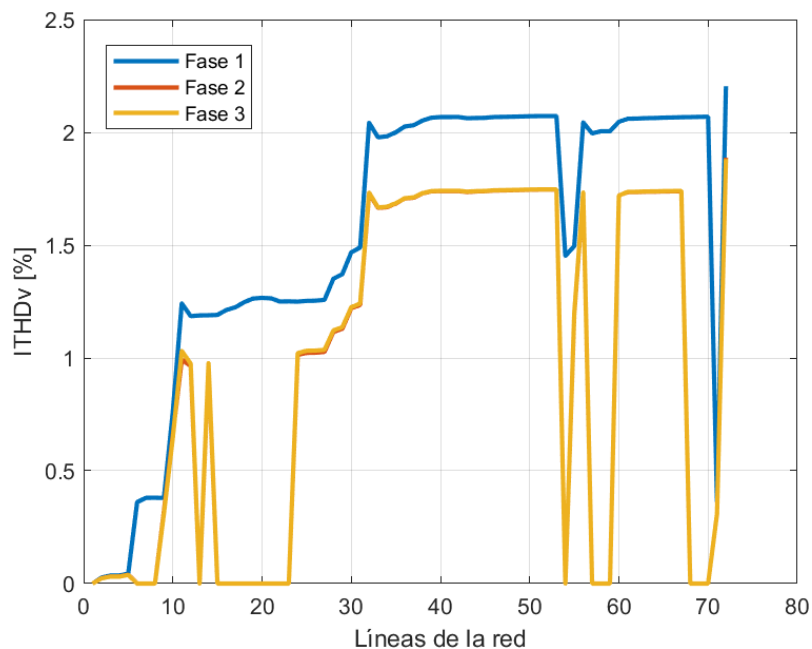


Figura 9.173. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 19. Fuente elaboración propia.

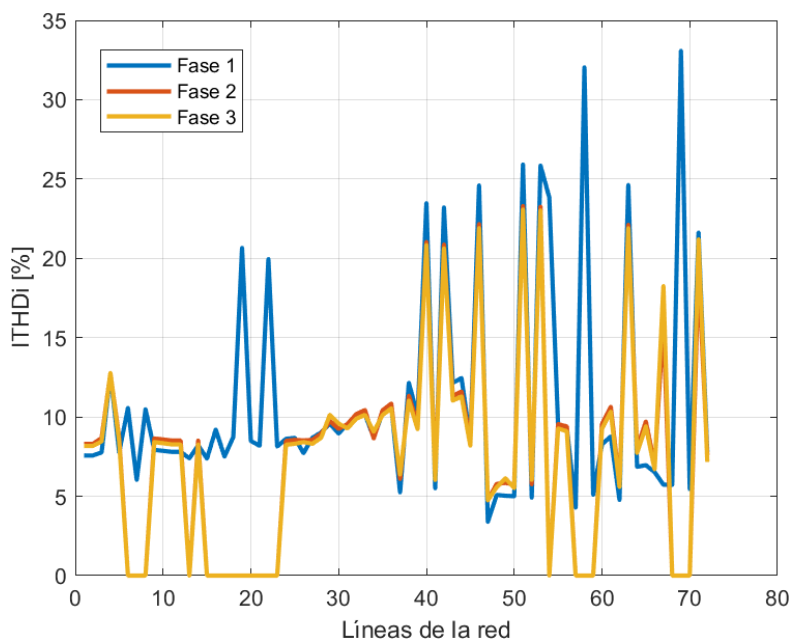


Figura 9.174. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 19. Fuente elaboración propia.

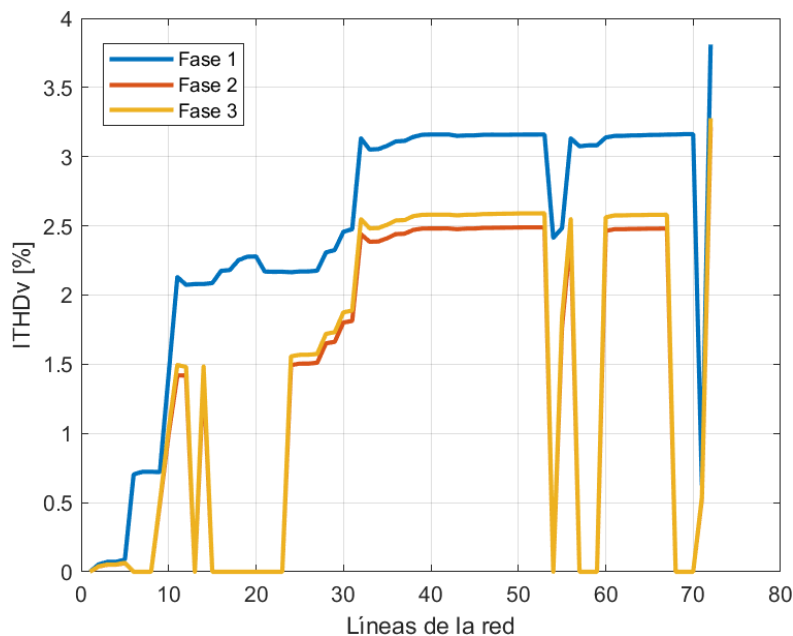


Figura 9.175. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 19. Fuente elaboración propia.

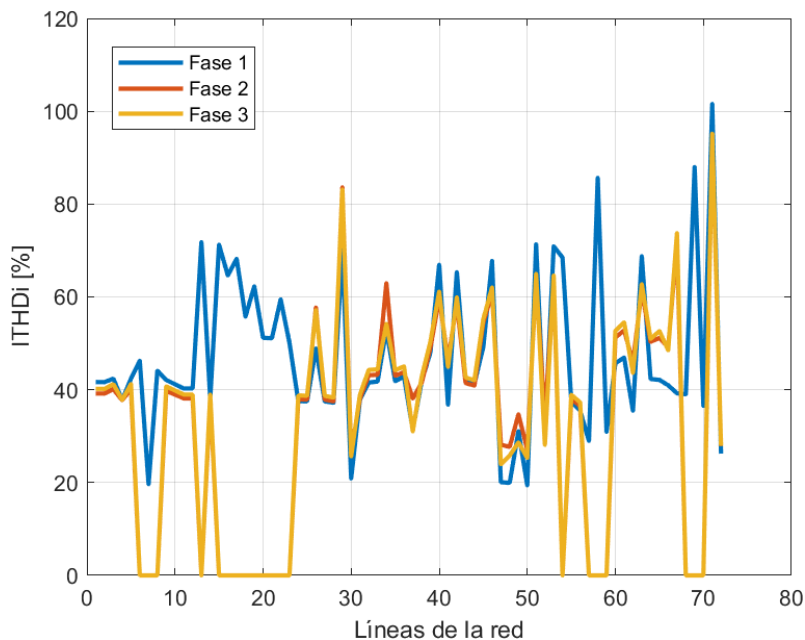


Figura 9.176. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 19. Fuente elaboración propia.

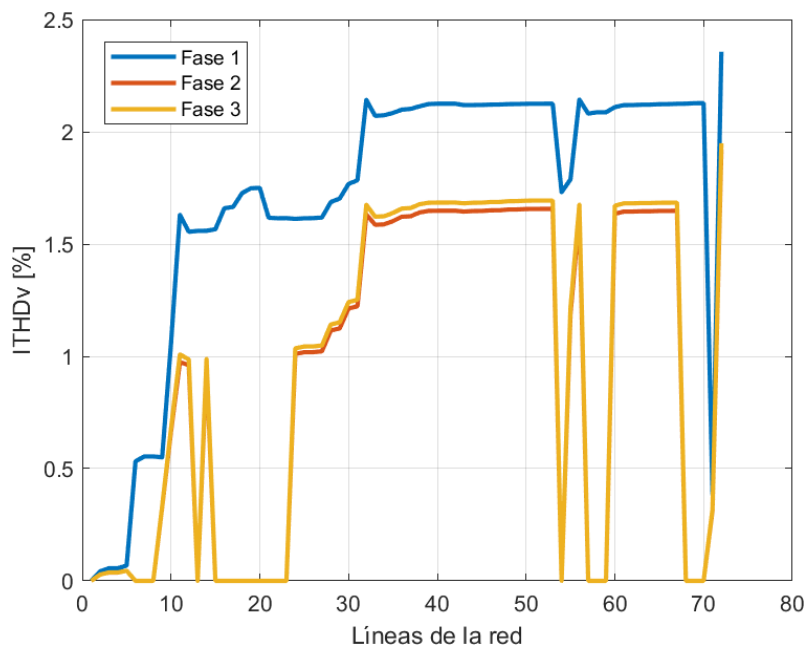


Figura 9.177. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 19. Fuente elaboración propia.

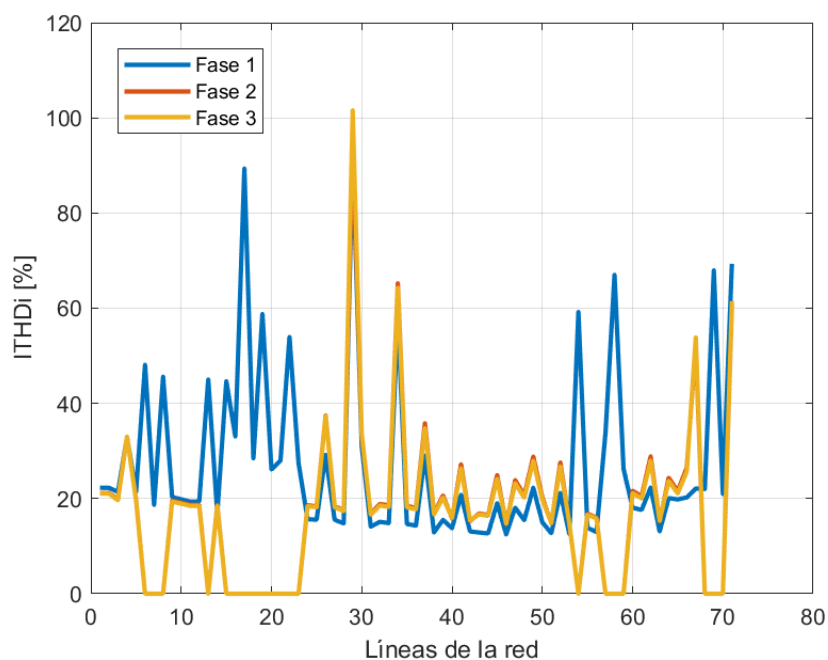


Figura 9.178. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 19. Fuente elaboración propia.

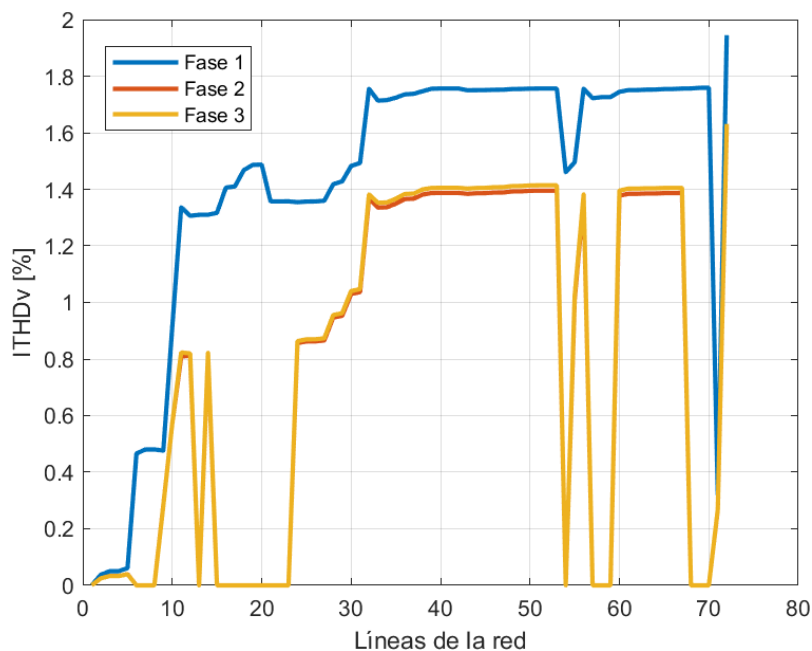


Figura 9.179. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 19. Fuente elaboración propia.

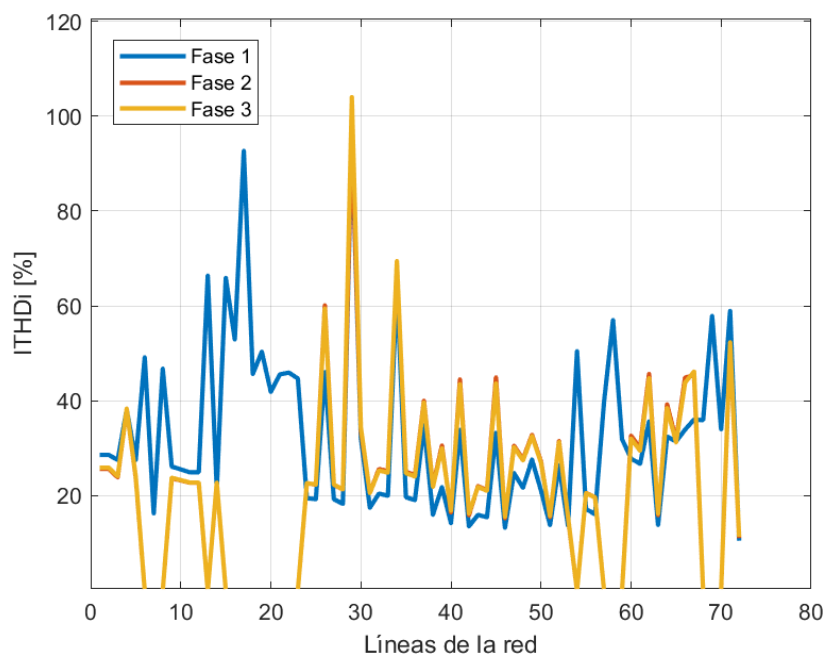


Figura 9.180. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 19. Fuente elaboración propia.

9.4.19. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 20

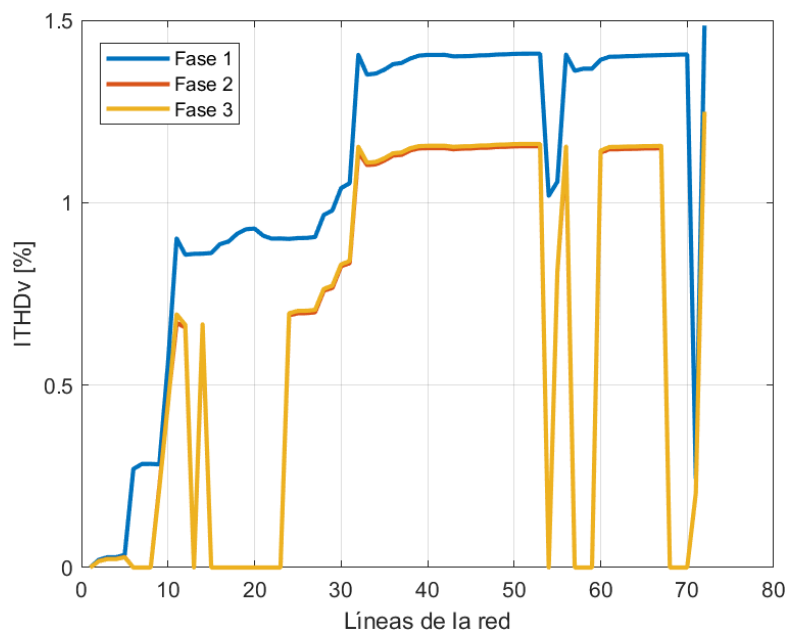


Figura 9.181. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 20. Fuente elaboración propia.

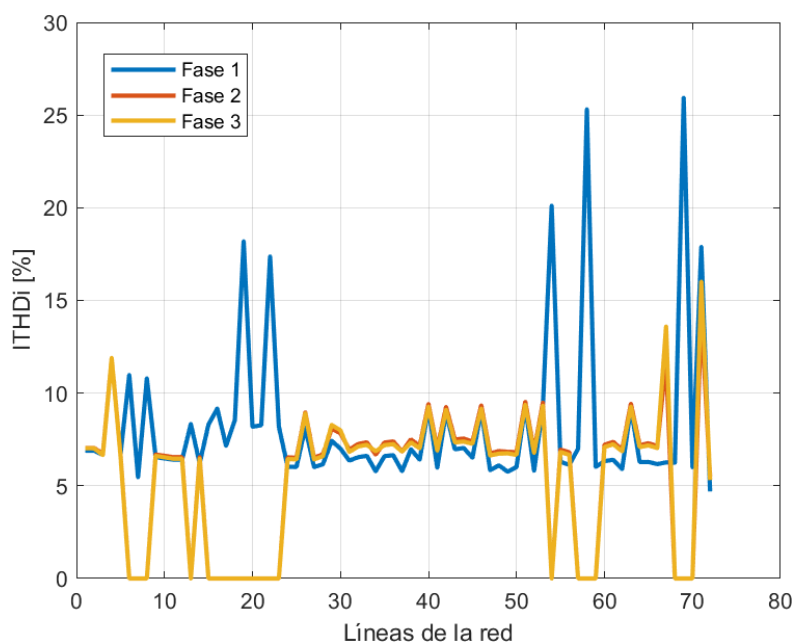


Figura 9.182. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 20. Fuente elaboración propia.

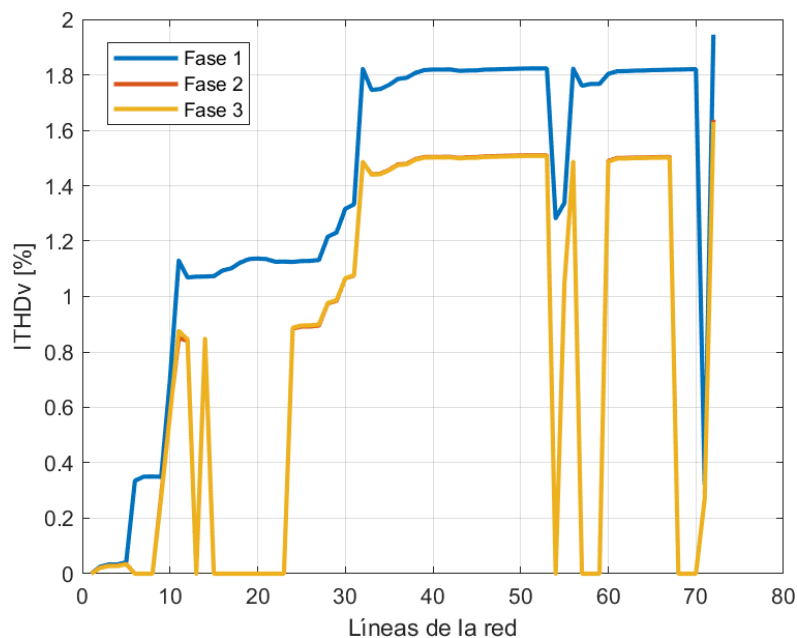


Figura 9.183. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 20. Fuente elaboración propia.

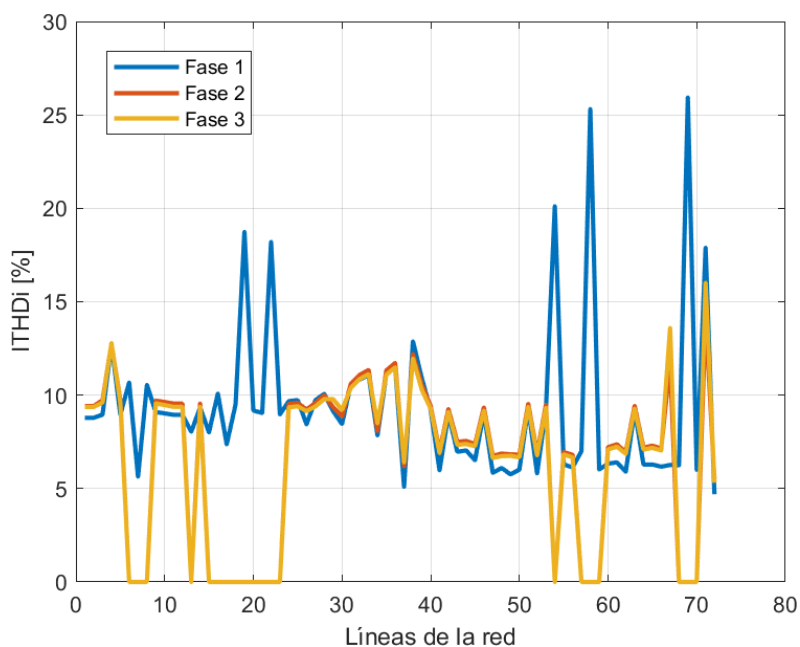


Figura 9.184. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 20. Fuente elaboración propia.

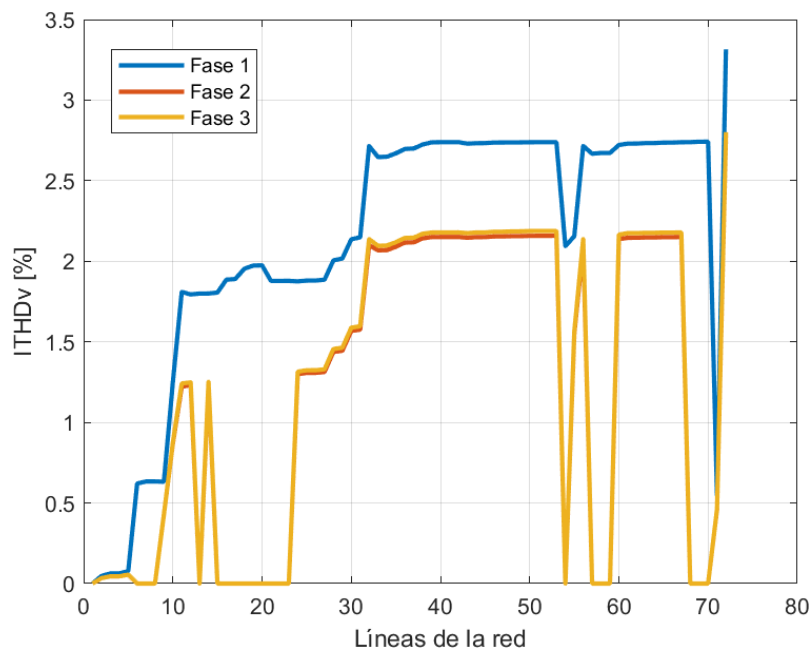


Figura 9.185. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 20. Fuente elaboración propia.

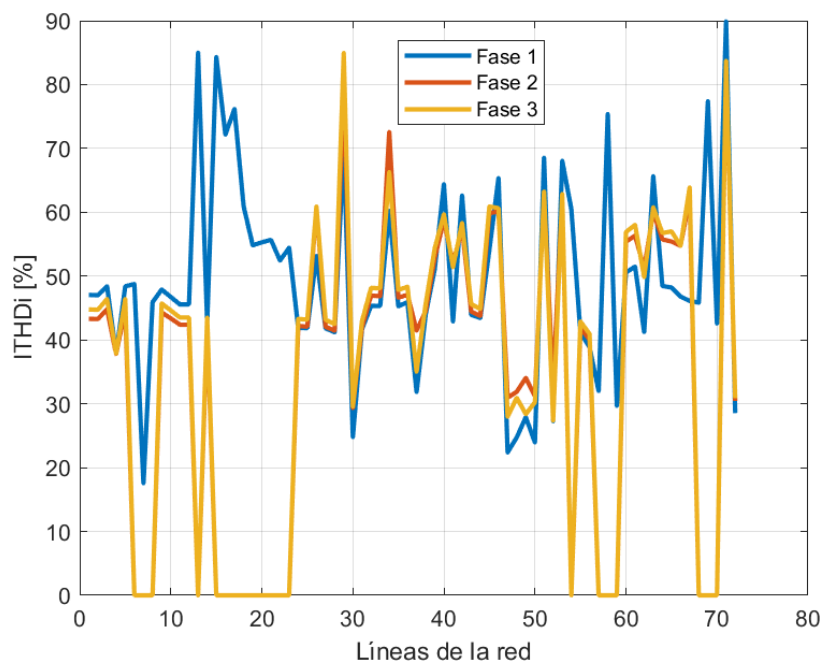


Figura 9.186. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 20. Fuente elaboración propia.

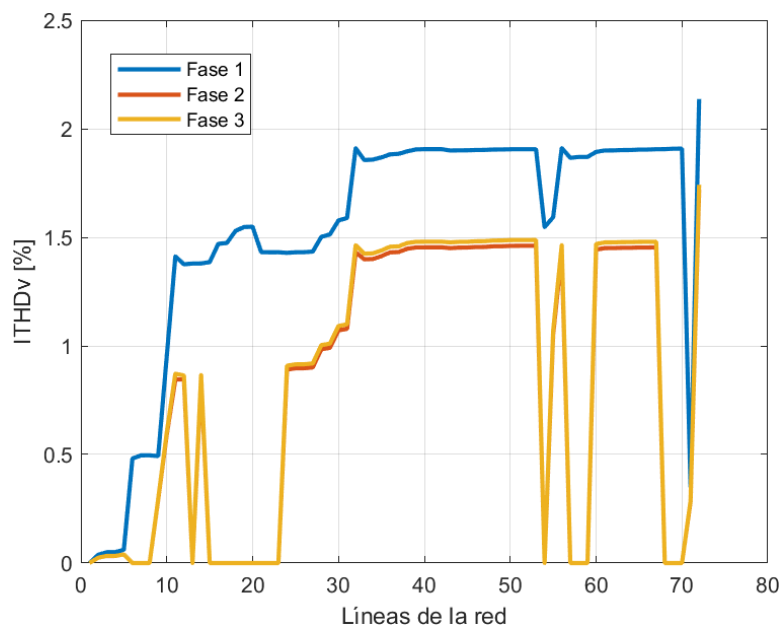


Figura 9.187. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 20. Fuente elaboración propia.

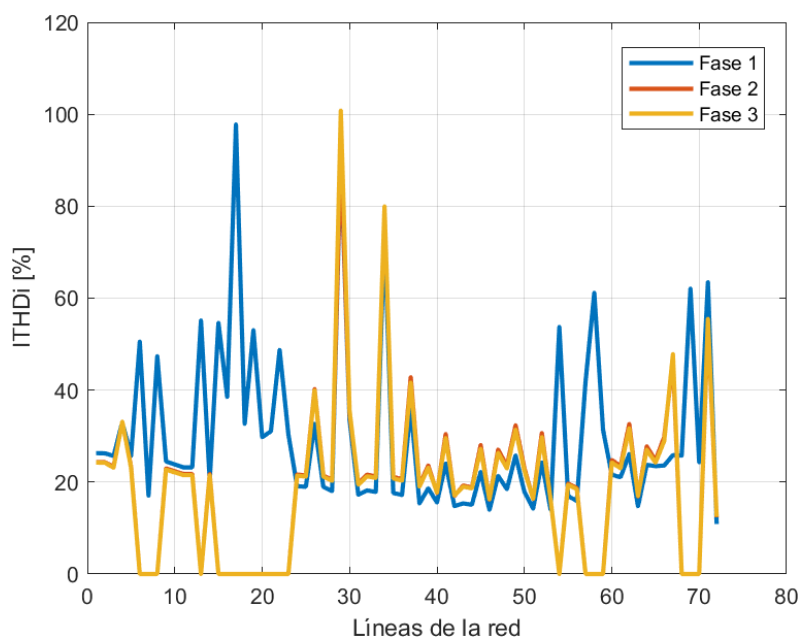


Figura 9.188. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 20. Fuente elaboración propia.

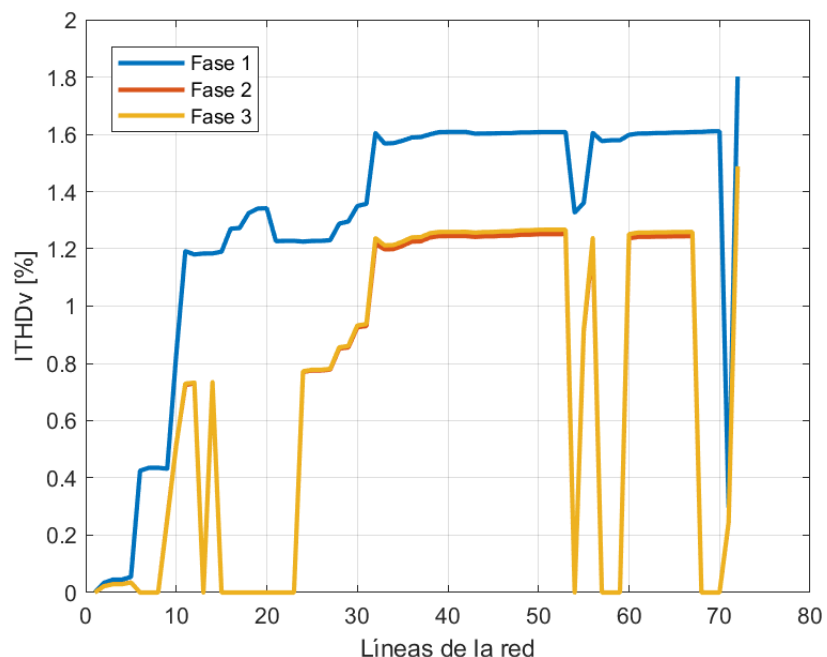


Figura 9.189. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 20. Fuente elaboración propia.

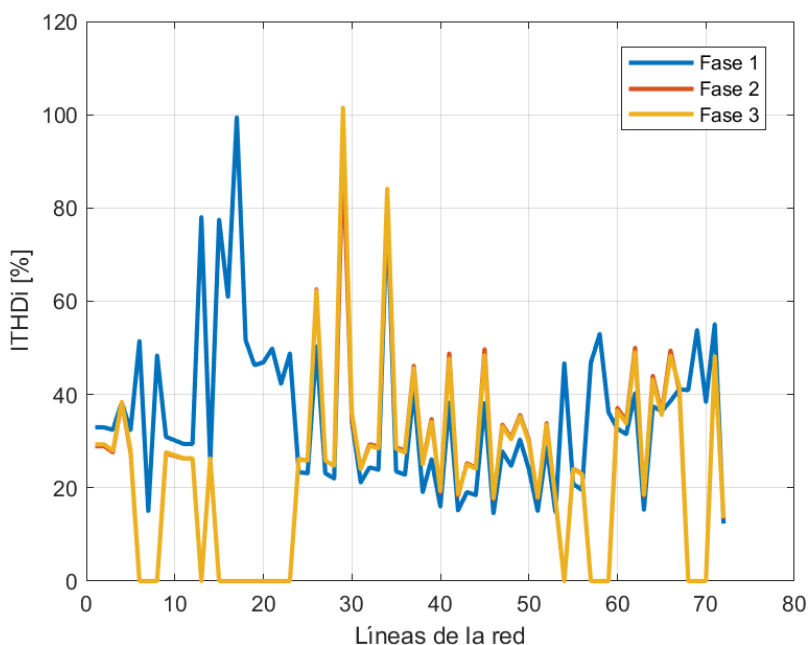


Figura 9.190. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 20. Fuente elaboración propia.

9.4.20. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 21

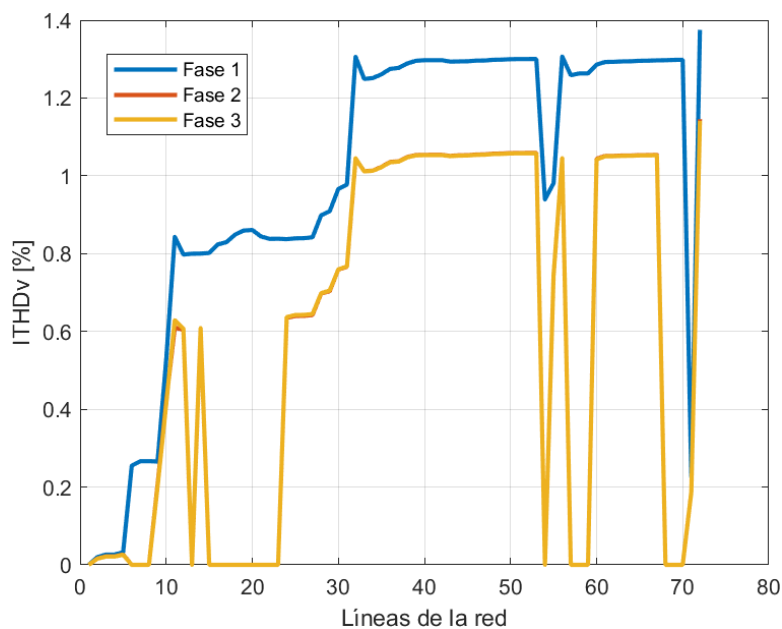


Figura 9.191. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 21. Fuente elaboración propia.

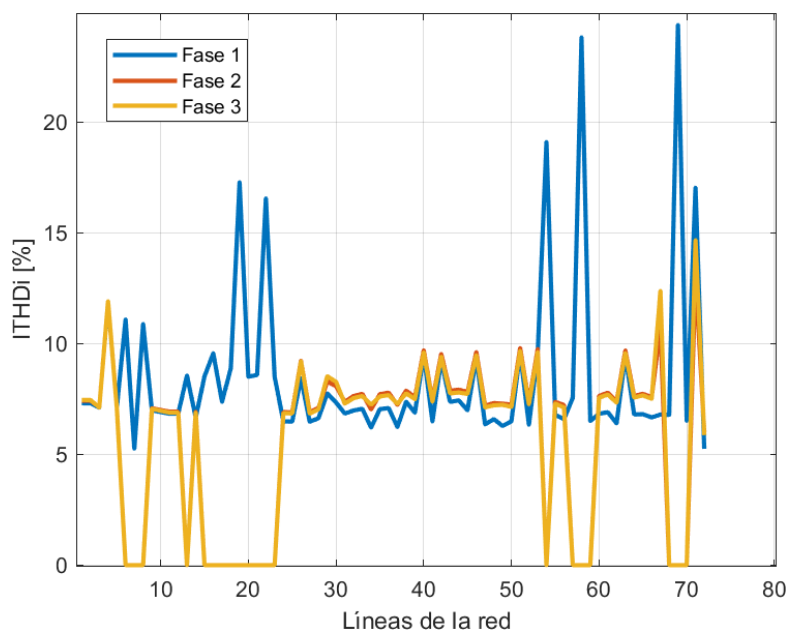


Figura 9.192. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 21. Fuente elaboración propia.

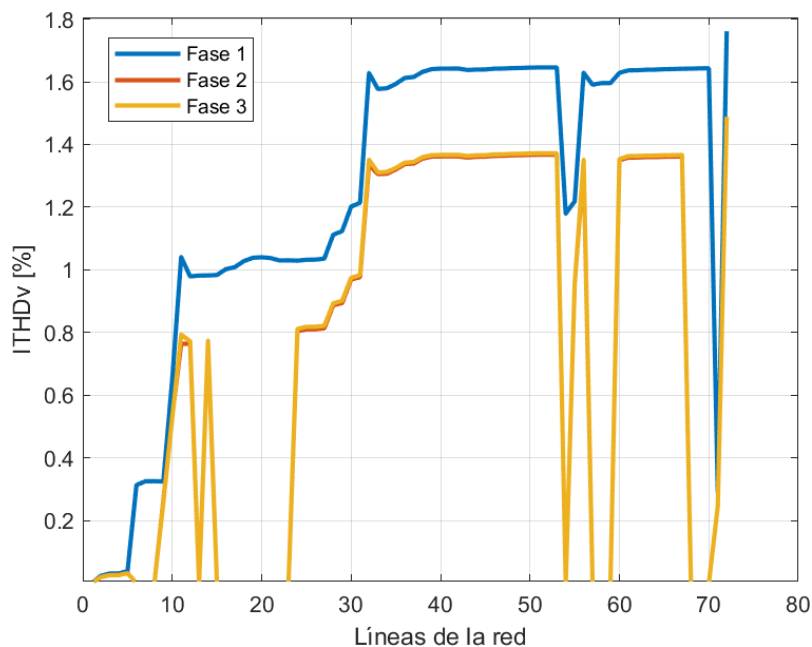


Figura 9.193. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 21. Fuente elaboración propia.

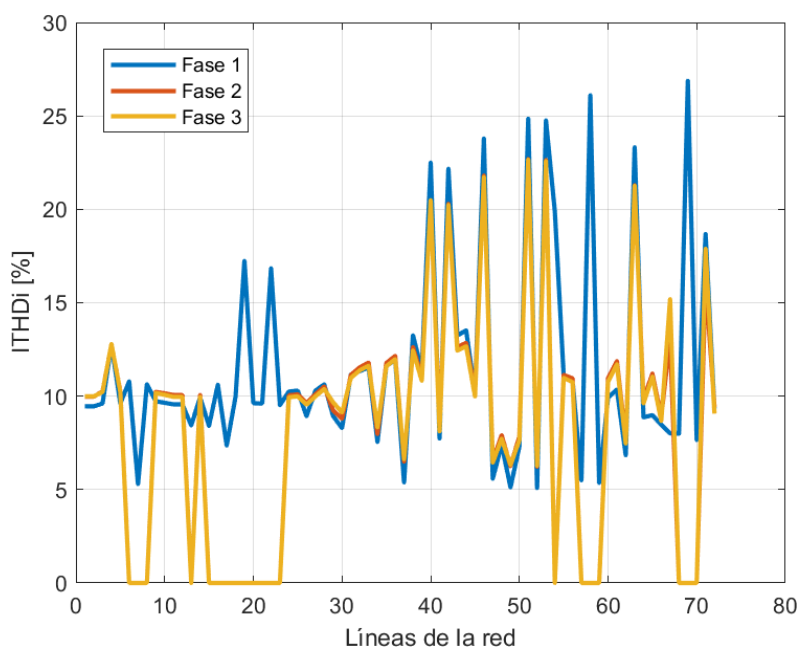


Figura 9.194. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 21. Fuente elaboración propia.

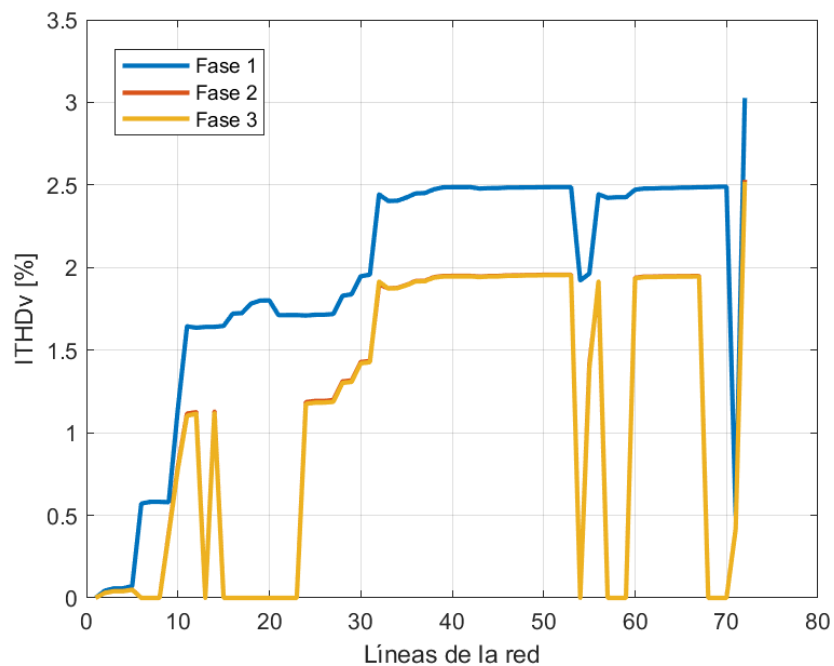


Figura 9.195. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 21. Fuente elaboración propia.

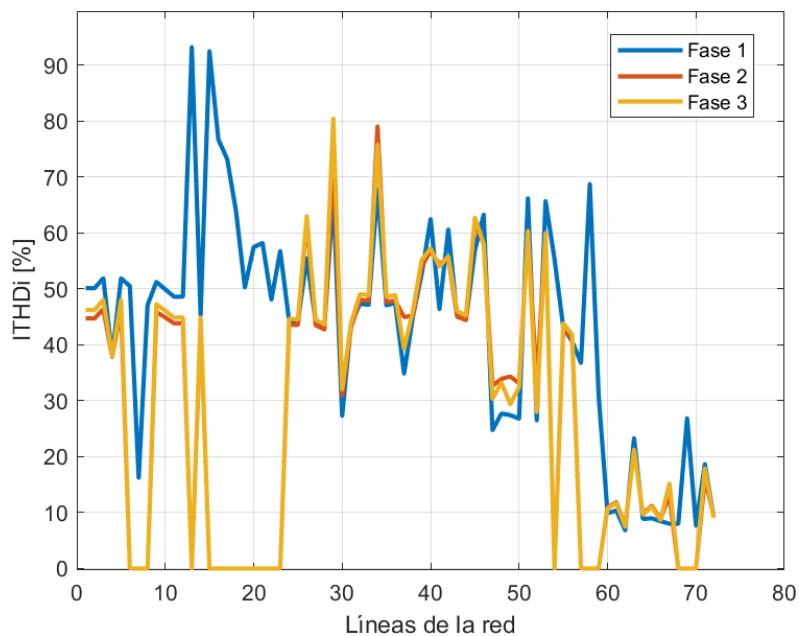


Figura 9.196. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 21. Fuente elaboración propia.

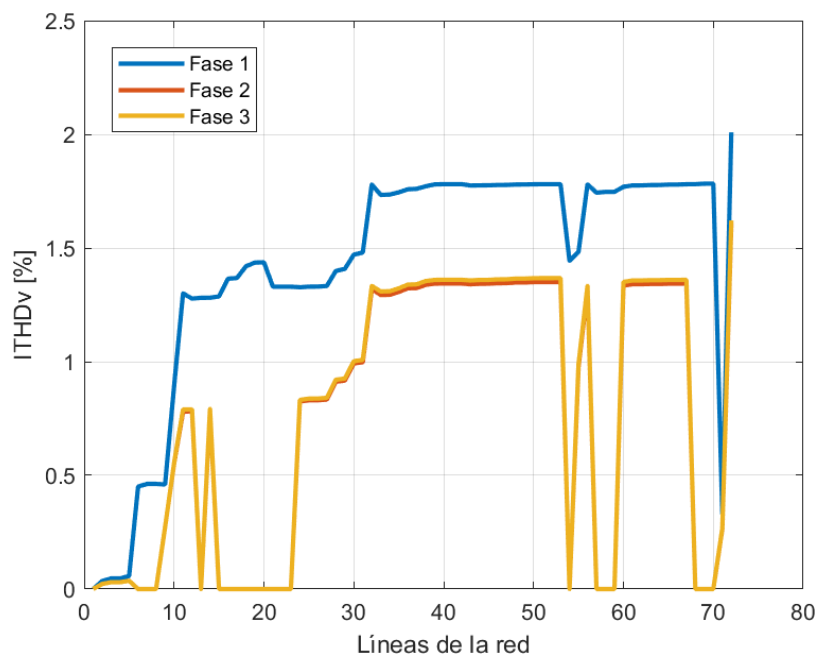


Figura 9.197. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 21. Fuente elaboración propia.

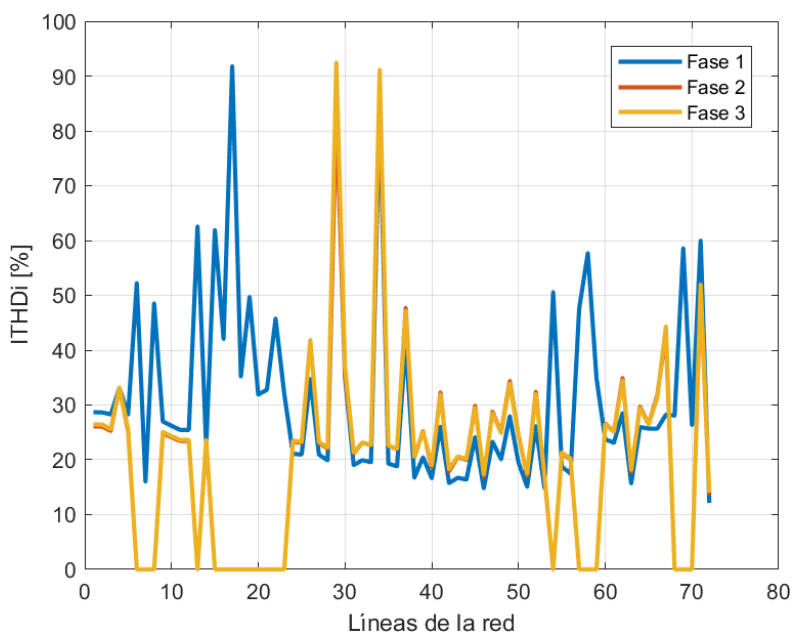


Figura 9.198. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 21. Fuente elaboración propia.

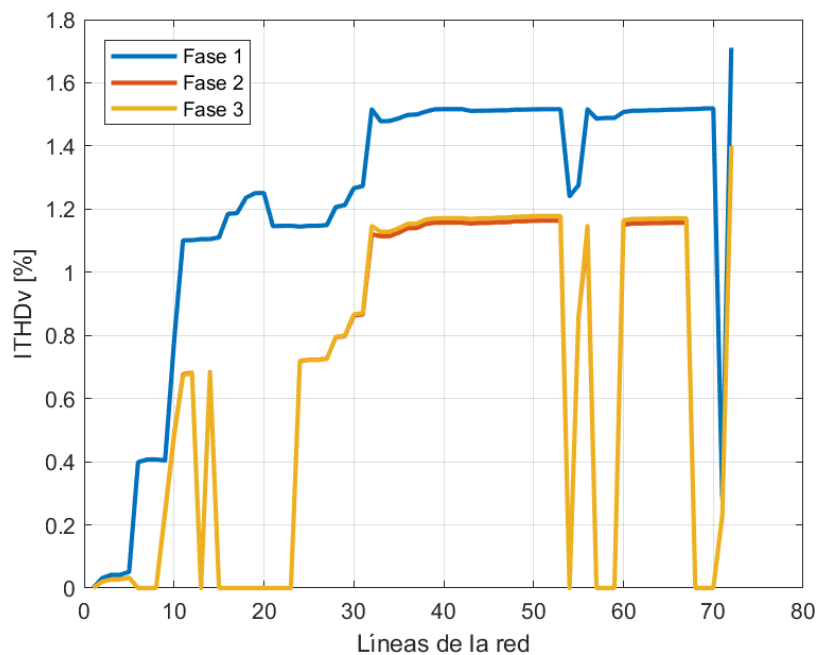


Figura 9.199. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 21. Fuente elaboración propia.

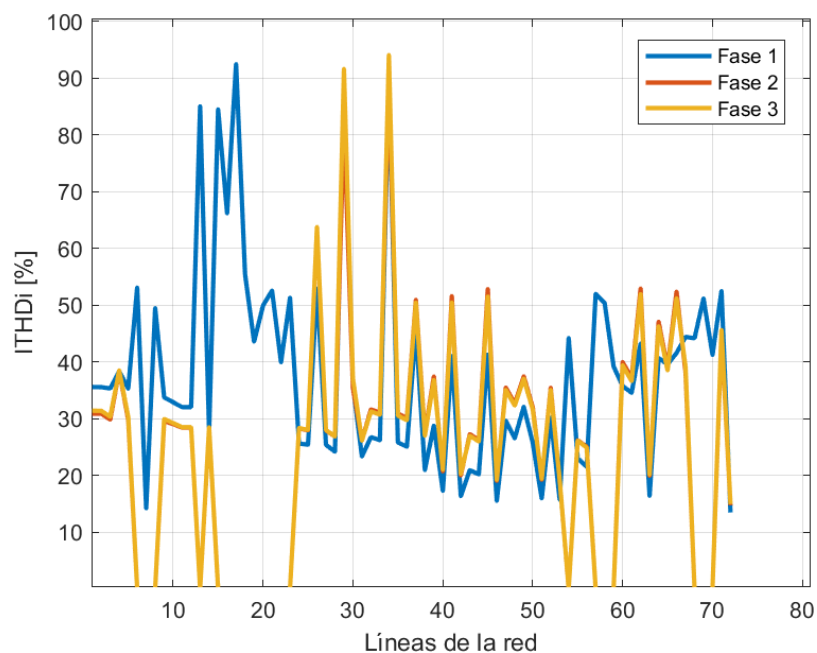


Figura 9.200. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 21. Fuente elaboración propia.

9.4.21. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 22

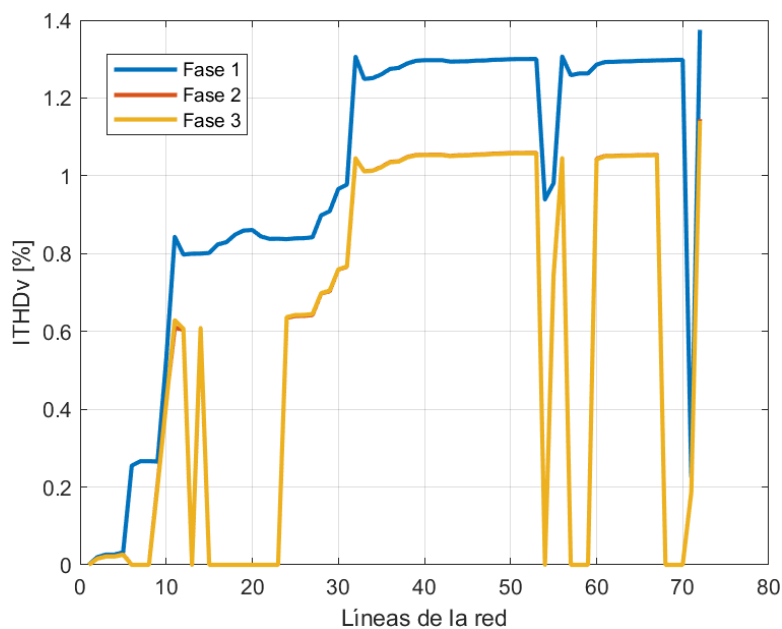


Figura 9.201. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 22. Fuente elaboración propia.

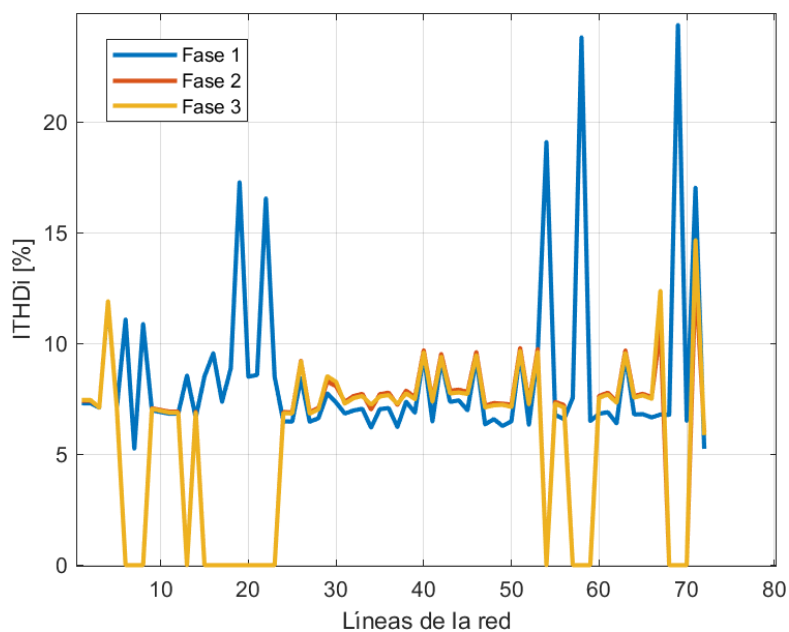


Figura 9.202. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 22. Fuente elaboración propia.

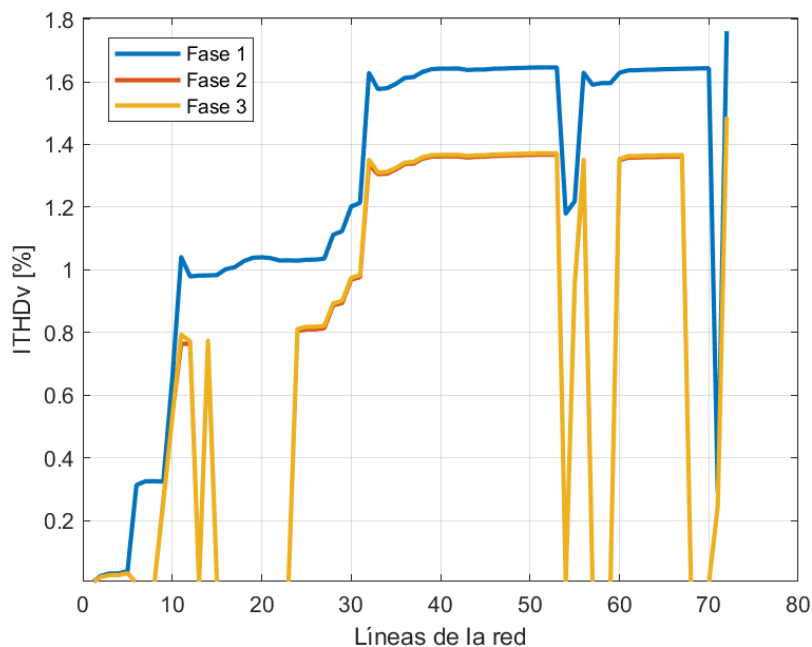


Figura 9.203. Gráfico de comportamiento ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 22. Fuente elaboración propia.

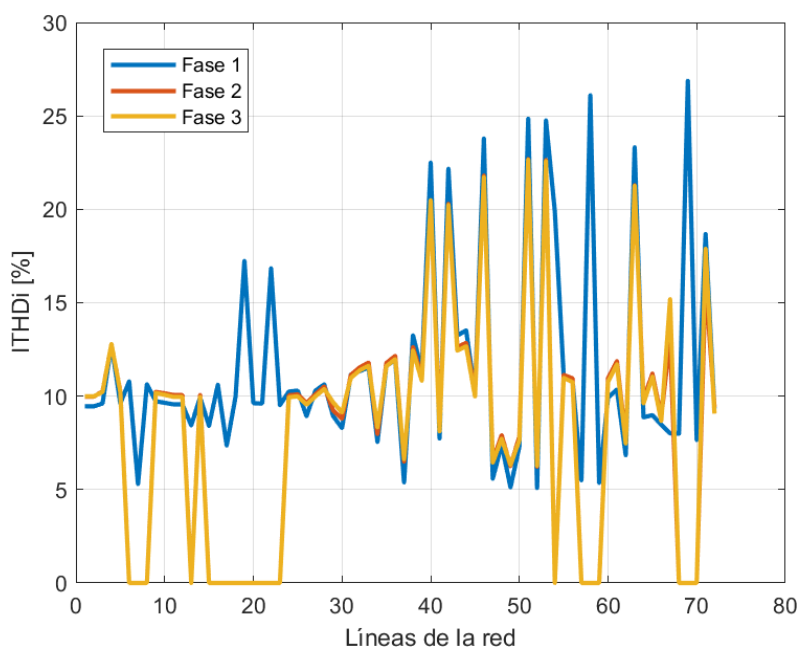


Figura 9.204. Gráfico de comportamiento ($ITHD_i$) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 22. Fuente elaboración propia.

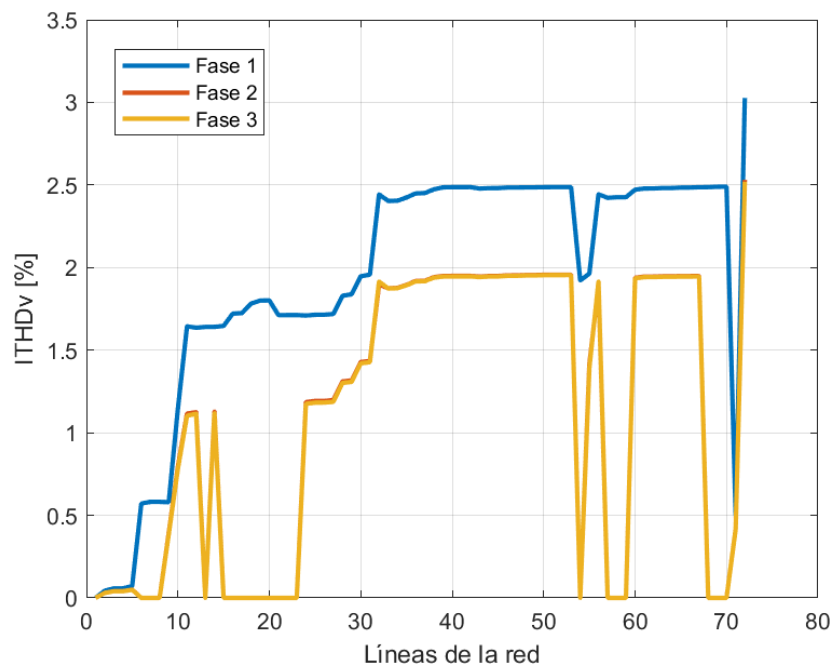


Figura 9.205. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 22. Fuente elaboración propia.

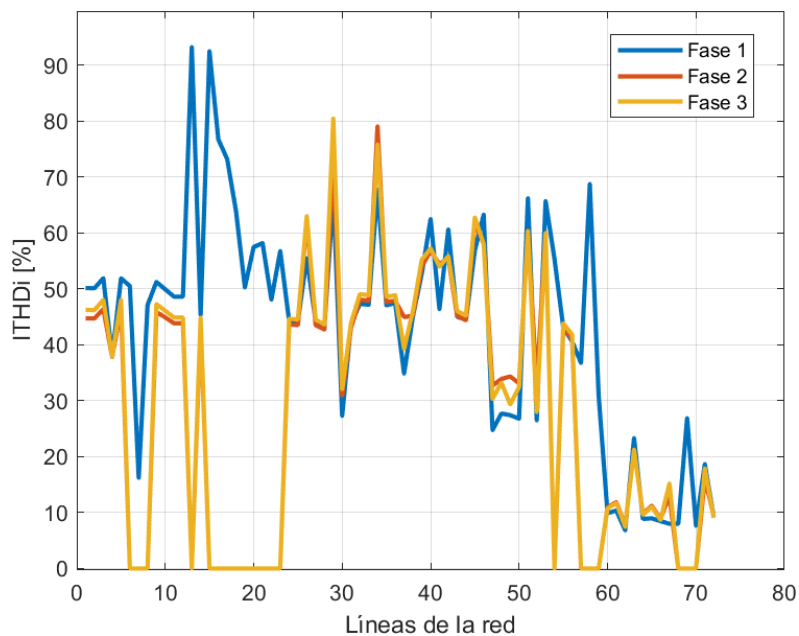


Figura 9.206. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 22. Fuente elaboración propia.

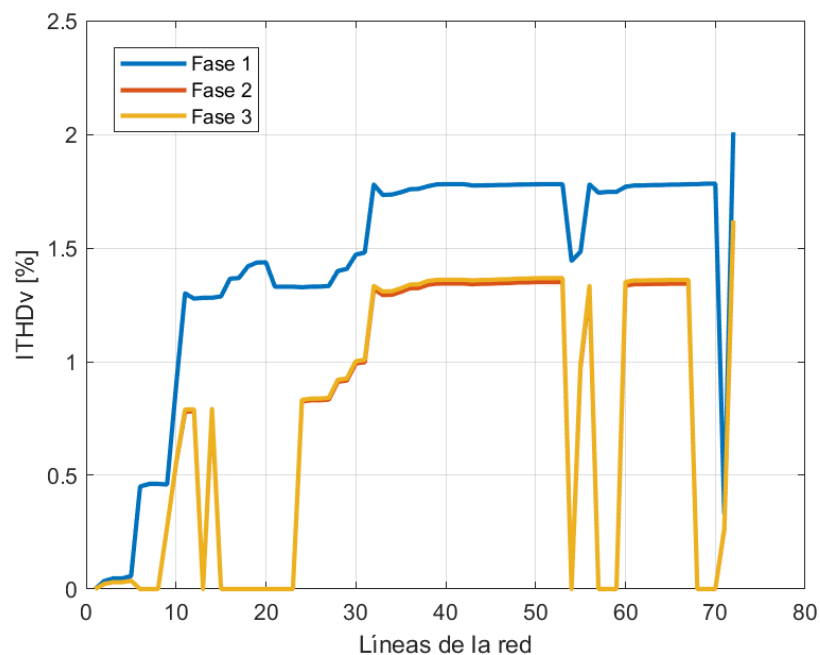


Figura 9.207. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 22. Fuente elaboración propia.

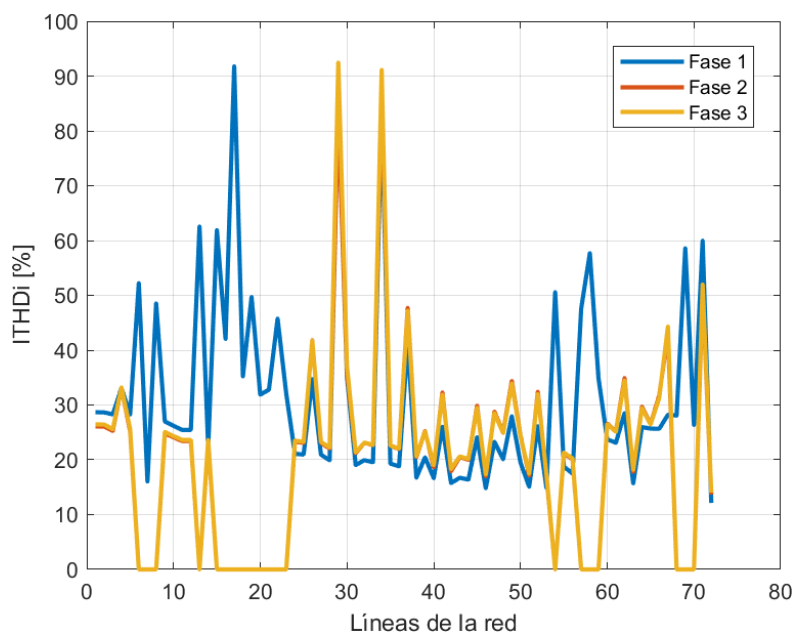


Figura 9.208. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 22. Fuente elaboración propia.

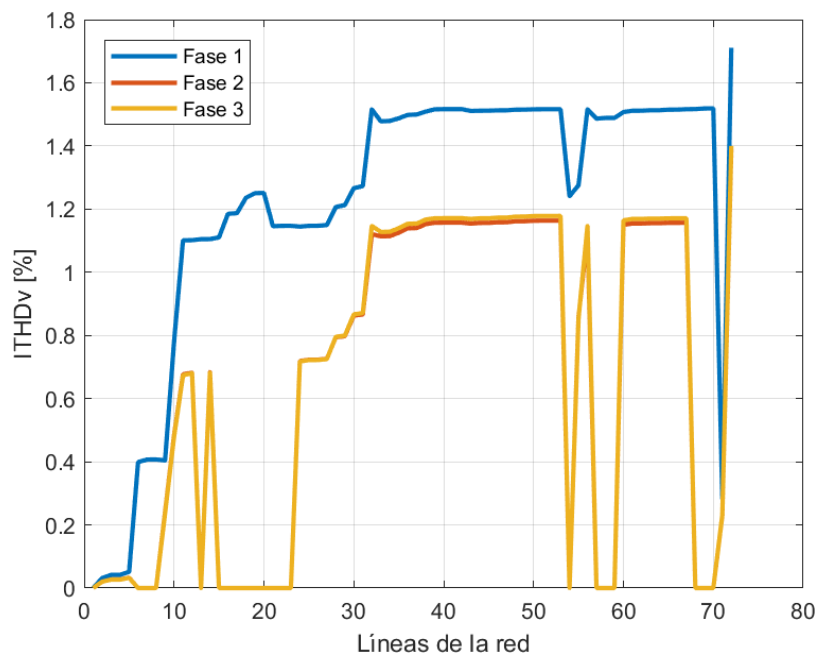


Figura 9.209. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 22. Fuente elaboración propia.

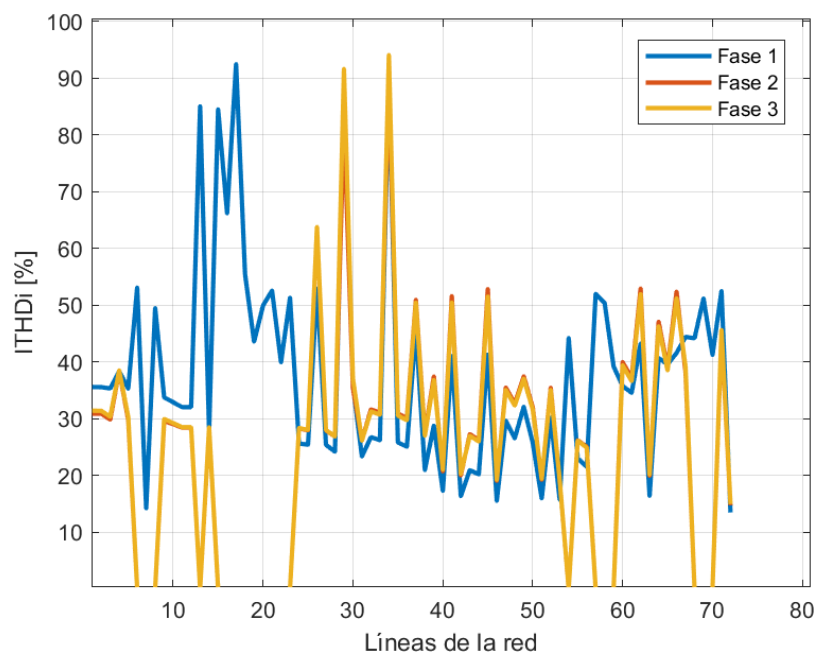


Figura 9.210. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 22. Fuente elaboración propia.

9.4.22. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 23

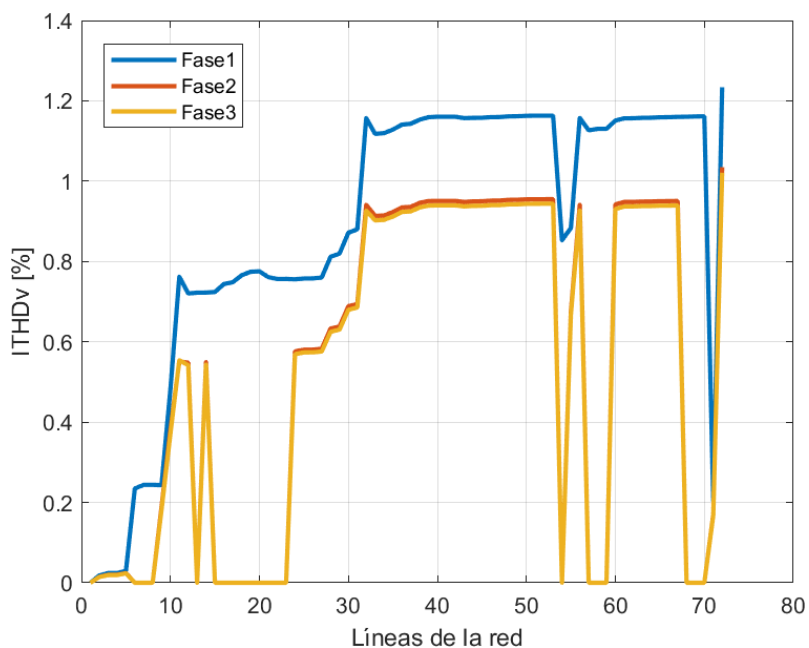


Figura 9.211. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 23. Fuente elaboración propia.

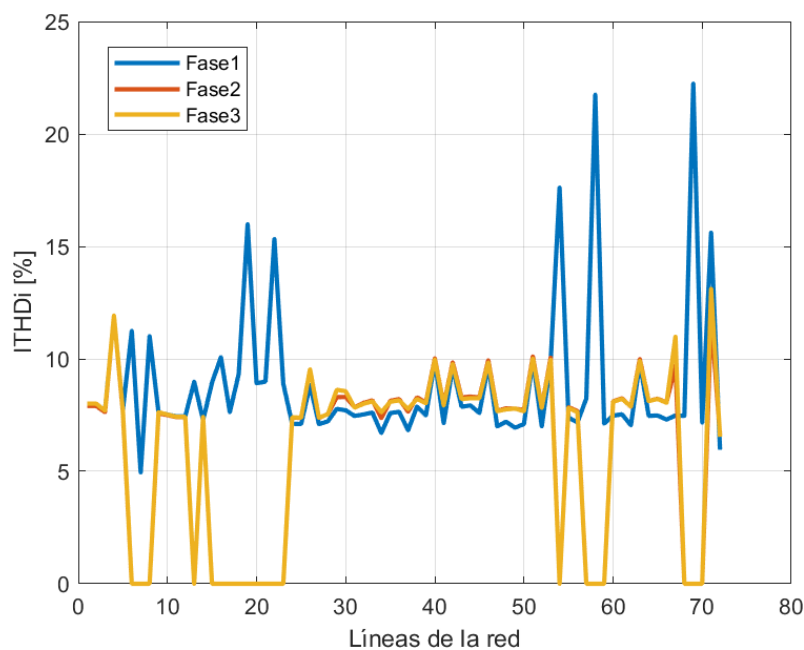


Figura 9.212. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 23. Fuente elaboración propia.

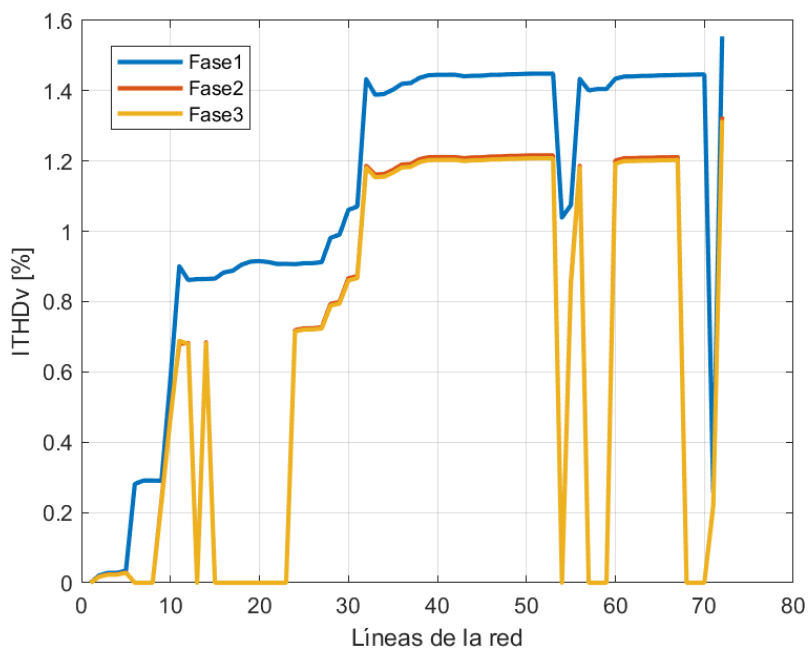


Figura 9.213. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 23. Fuente elaboración propia.

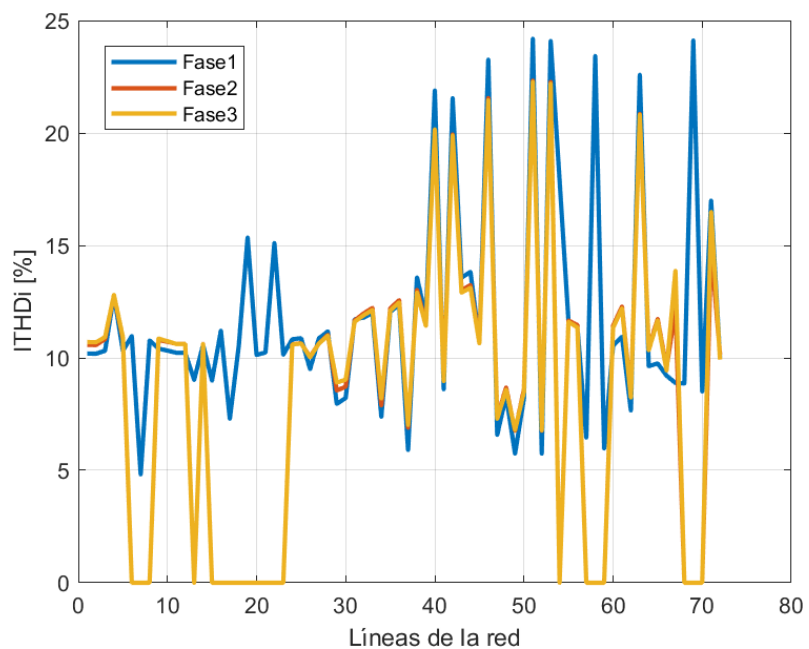


Figura 9.214. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 23. Fuente elaboración propia.

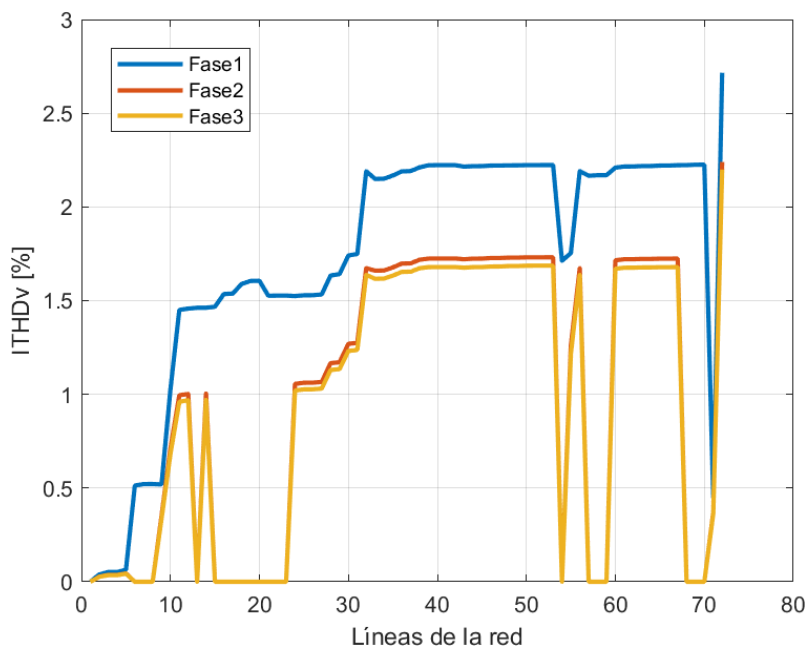


Figura 9.215. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 23. Fuente elaboración propia.

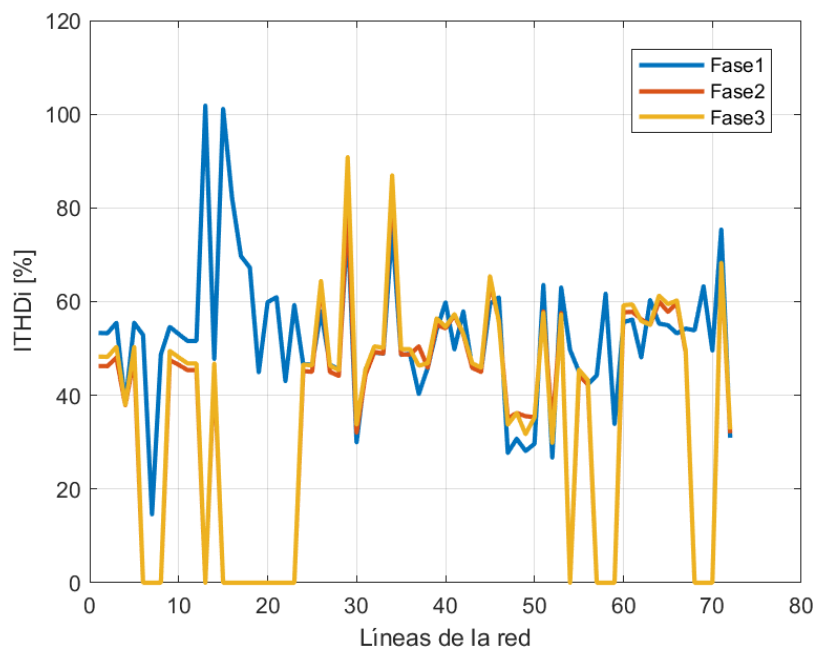


Figura 9.216. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 23. Fuente elaboración propia.

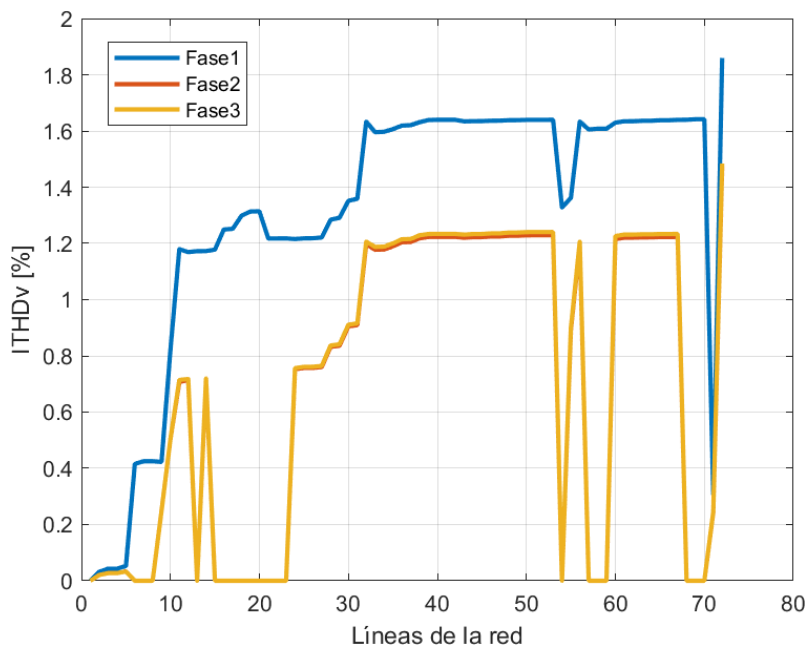


Figura 9.217. Gráfico de comportamiento ($ITHD_v$) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 23. Fuente elaboración propia.

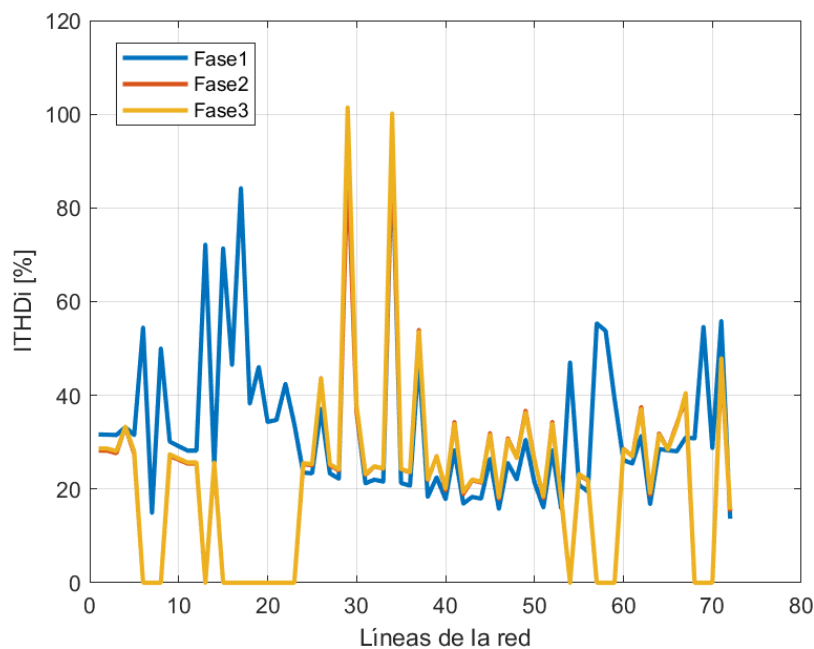


Figura 9.218. Gráfico de comportamiento ($ITHD_i$) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 23. Fuente elaboración propia.

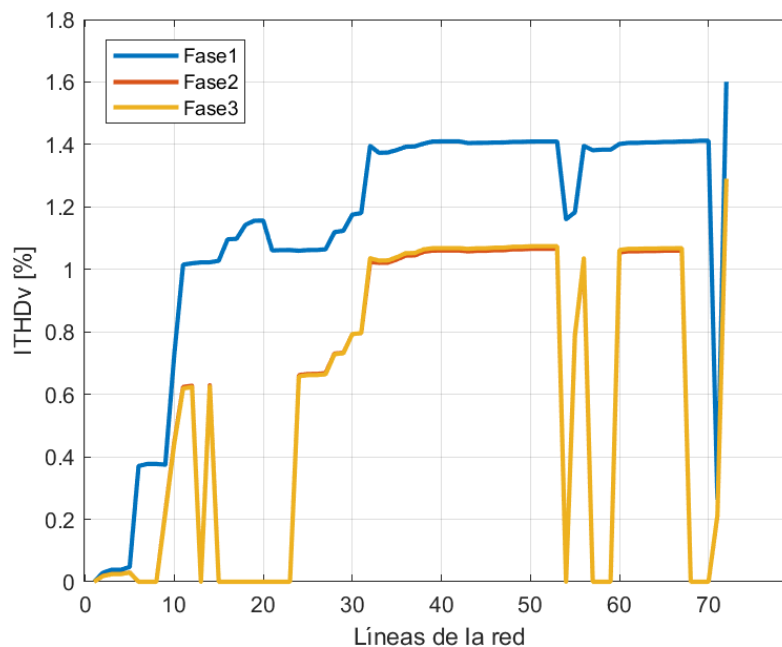


Figura 9.219. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 23. Fuente elaboración propia.

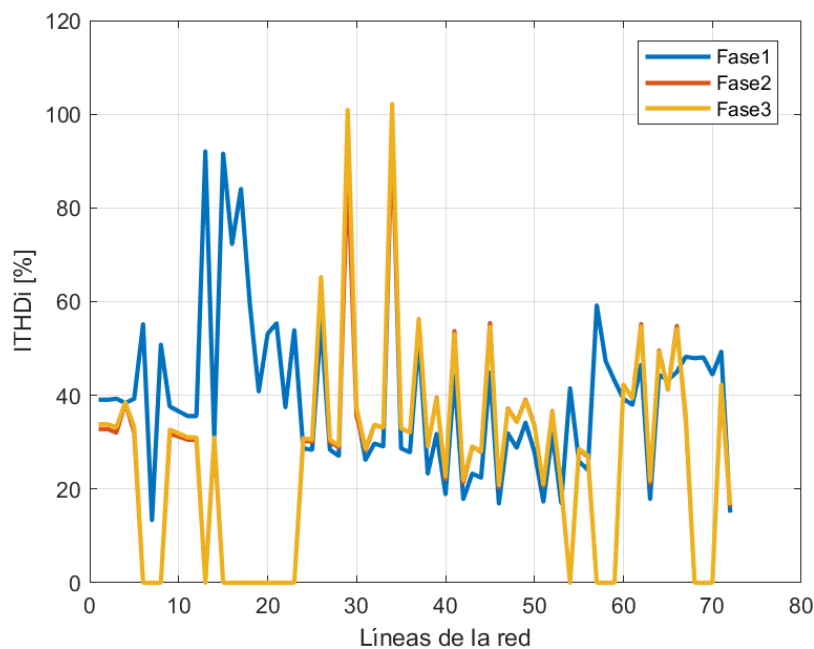


Figura 9.220. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 23. Fuente elaboración propia.

9.4.23. Gráficos de comportamiento de Índice de distorsión armónica total en caso de estudio red de distribución IEEE 34 nodo en hora 24

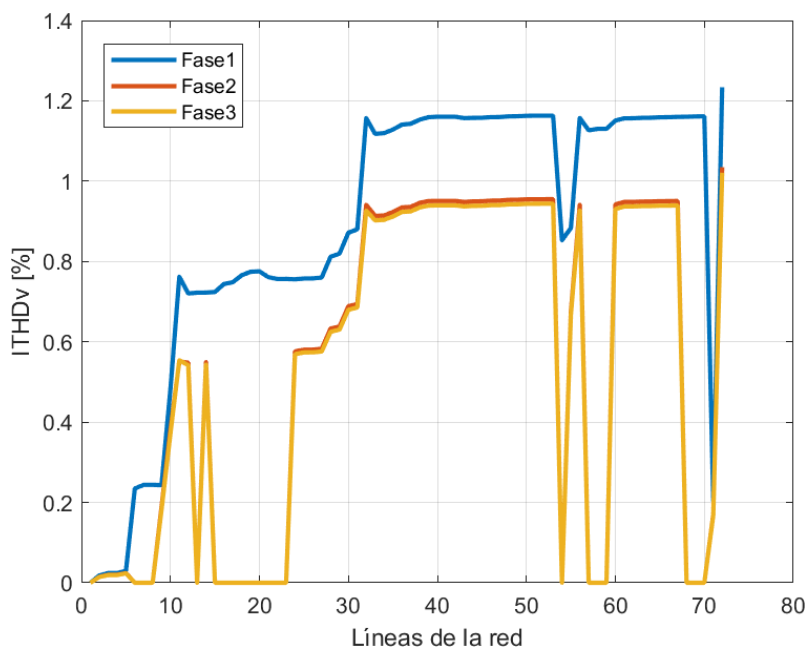


Figura 9.221. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 24. Fuente elaboración propia.

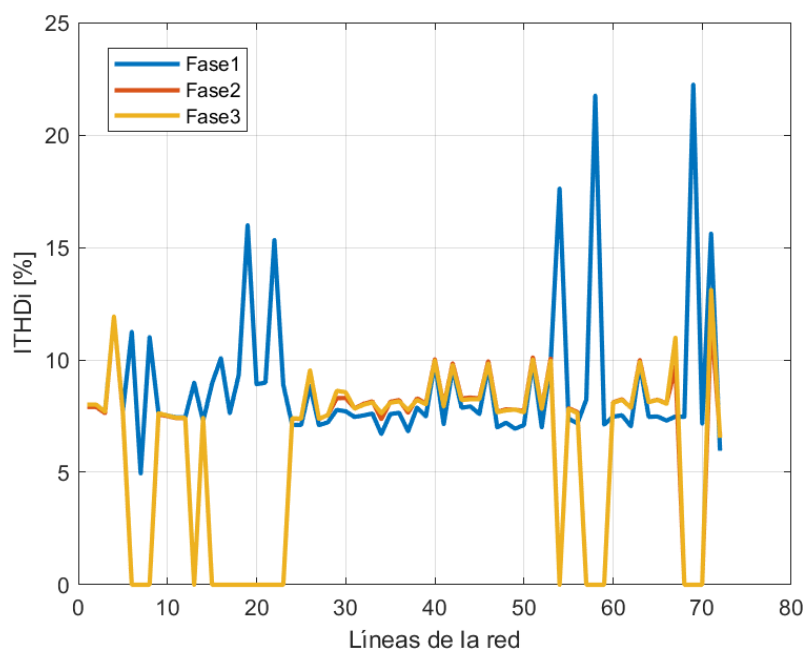


Figura 9.222. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos caso base. Hora 24. Fuente elaboración propia.

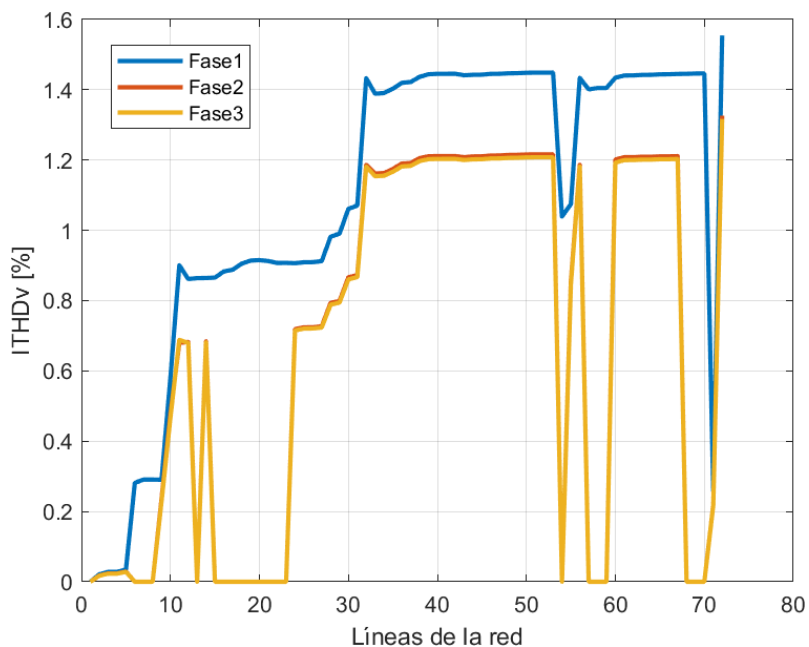


Figura 9.223. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 24. Fuente elaboración propia.

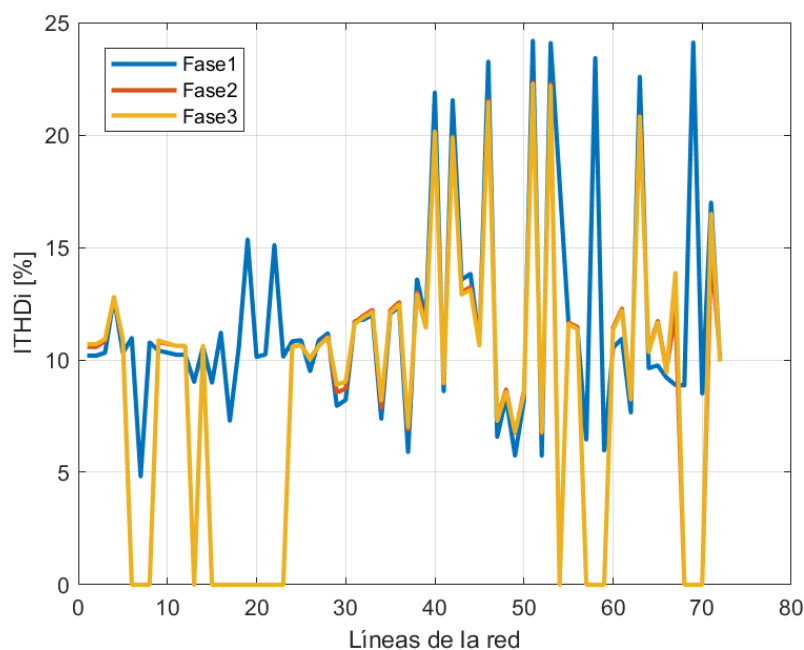


Figura 9.224. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia. Hora 24. Fuente elaboración propia.

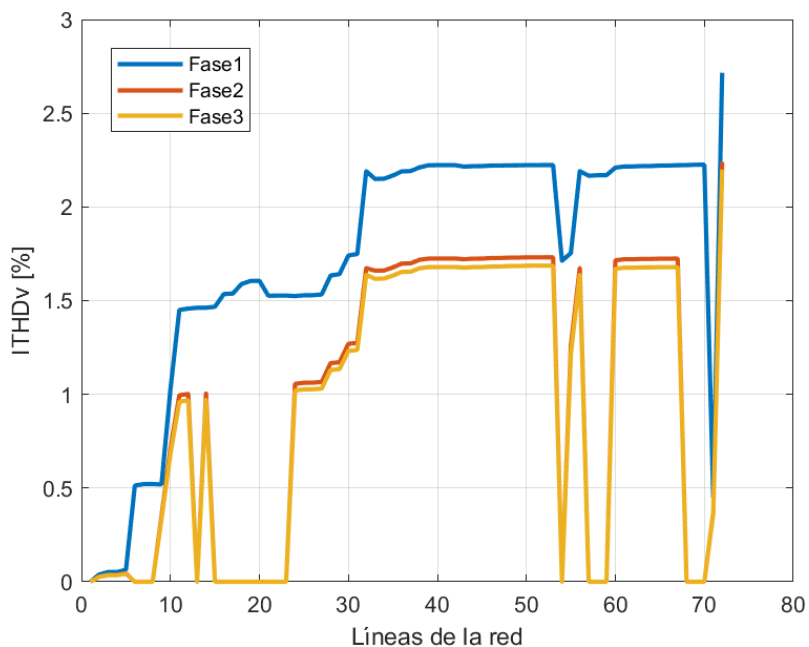


Figura 9.225. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 24. Fuente elaboración propia.

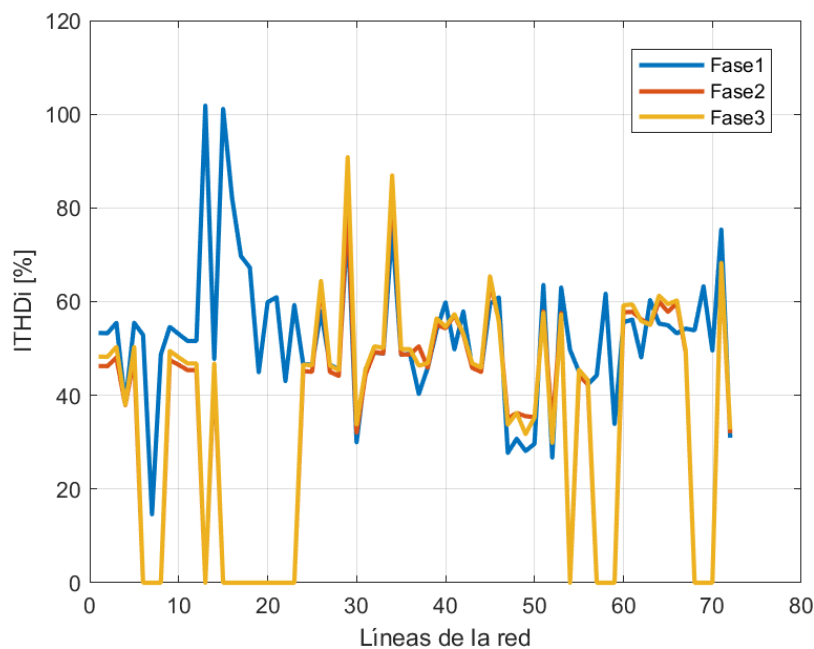


Figura 9.226. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con banco de condensadores para corrección de factor de potencia y fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 24. Fuente elaboración propia.

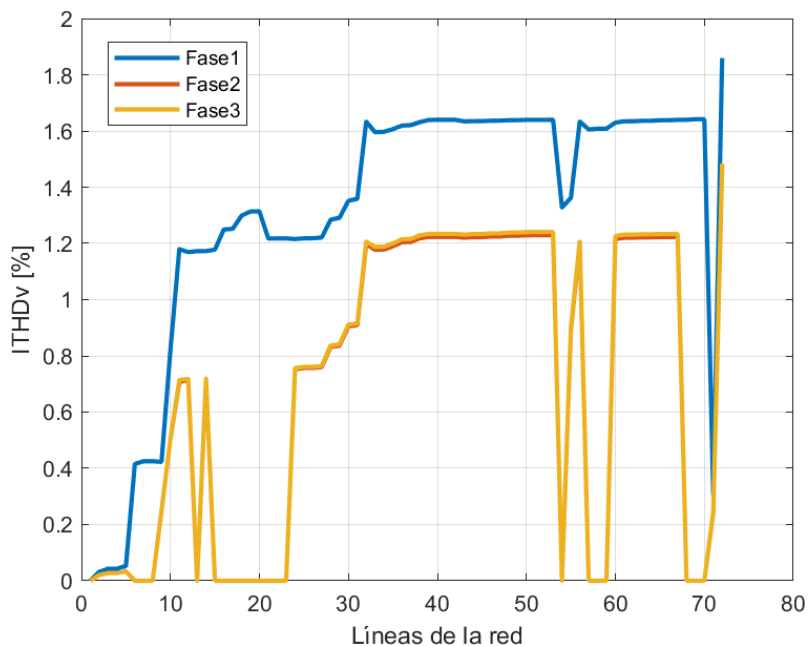


Figura 9.227. Gráfico de comportamiento (ITHDv) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 24. Fuente elaboración propia.

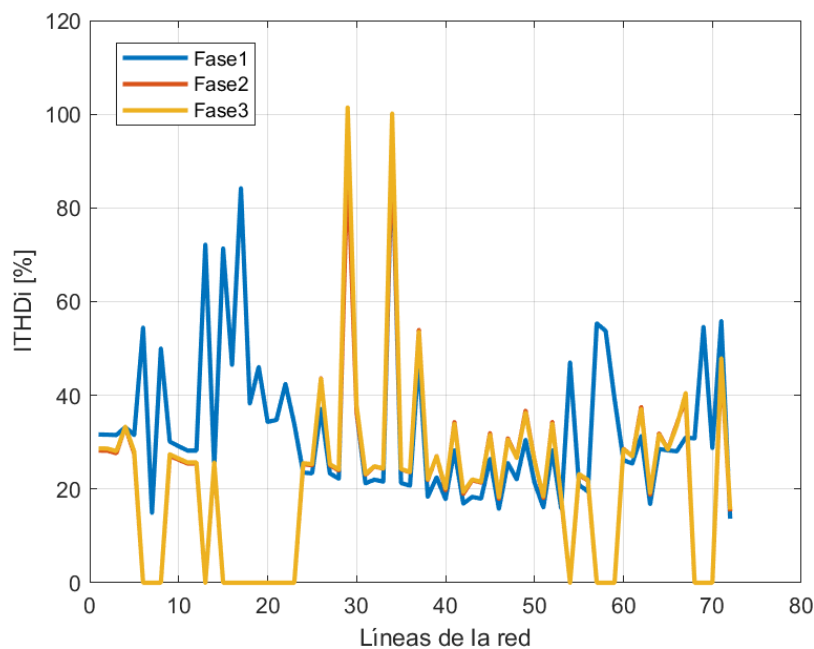


Figura 9.228. Gráfico de comportamiento (ITHDi) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos. Hora 24. Fuente elaboración propia.

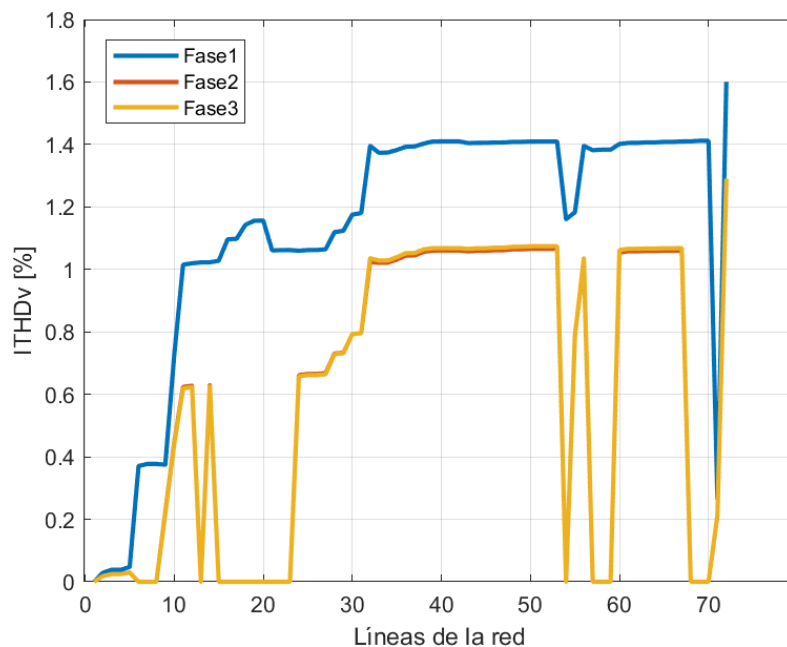


Figura 9.229. Gráfico de comportamiento (ITHD_v) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 24. Fuente elaboración propia.

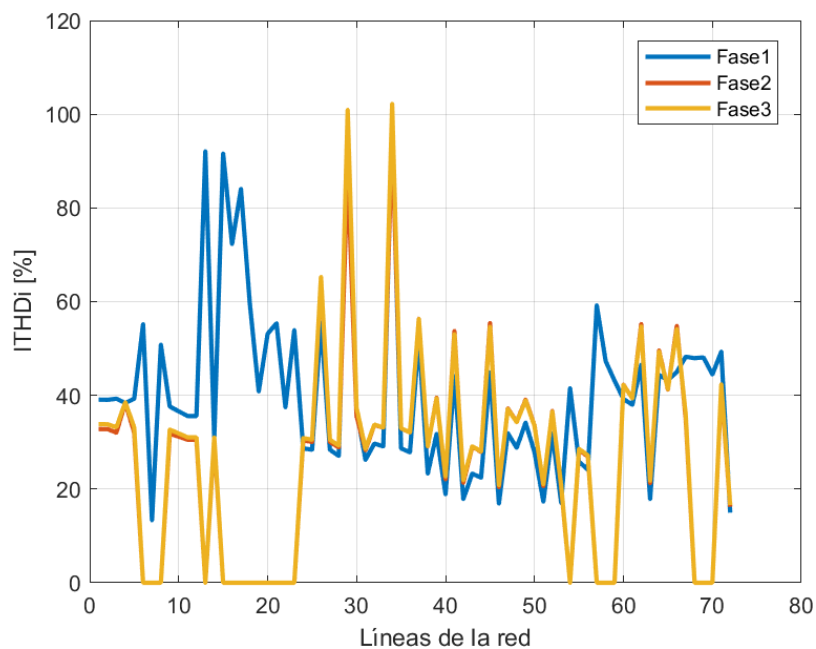


Figura 9.230. Gráfico de comportamiento (ITHD_i) en red de distribución IEEE 34 nodos con fuentes de armónicos de 6 pulsos y filtros de reactancias de rechazo para cada banco de condensadores. Hora 24. Fuente elaboración propia.