

**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE MODELOS PARA EL ESTUDIO DEL
COMPORTAMIENTO DE CARGAS LUMÍNICAS DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA ANTE VARIACIONES DE LA AMPLITUD Y FRECUENCIA DE LA
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN**

**LUISA FERNANDA CARRILLO SANDOVAL
ALEJANDRA MARTÍNEZ PEÑALOZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2018

**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE MODELOS PARA EL ESTUDIO DEL
COMPORTAMIENTO DE CARGAS LUMÍNICAS DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA ANTE VARIACIONES DE LA AMPLITUD Y FRECUENCIA DE LA
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN**

**LUISA FERNANDA CARRILLO SANDOVAL
ALEJANDRA MARTÍNEZ PEÑALOZA**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Electricista

Director:

**GERMAN ALFONSO OSMA PINTO
Dr. en Ingeniería Eléctrica**

Codirectores:

**GABRIEL ALEXIS MALAGÓN CARVAJAL
MSc. en Ingeniería Eléctrica**

**JULIÁN OSWALDO FLÓREZ REYES
MSc. en Ingeniería Eléctrica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2018

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme seguir luchando por mis sueños.

A mi mami, por estar constantemente preocupada por los pasos de su pequeña lulu y ser esa persona de carácter fuerte que no se deja vencer por ninguna cosa.

A mi papi, por estar siempre pendiente de los sueños de su chirrinclina y ser esa persona e ingeniero que siempre idolatre desde pequeña.

A mis hermanos, por estar condicionalmente en cualquier situación.

A mi abuelita, por estar siempre pendiente de los logros de su nieta, sin importar ella donde estuviera.

A mis tíos y tías, por ser esos apoyos incondicionales incluso a kilómetros de distancia.

A mi gordo, por haber estado siempre a mi lado, incluso en las noches largas de estudio.

A esas personas que siempre creyeron en mí y estuvieron a mi lado apoyándome durante todo este tiempo.

Alejandra Martínez Peñaloza

Principalmente agradecerle a Dios por todas sus bendiciones, por brindarme sabiduría, inteligencia y salud para cumplir con este gran logro.

A mis padres Reinaldo Carrillo y Luz Marina Sandoval, por ser mis mejores maestros de vida y por inculcar en mí la mejor educación. Gracias por todo su enorme esfuerzo y dedicación para sacar a la menor de sus hijas toda una profesional.

A mis hermanas Martha y Katherine, por darme una voz de aliento en todo el transcurso de mi carrera, por ser mis mejores e incondicionales amigas.

A Carlos Arturo Páez, por ser mi compañía, por brindarme su amor incondicional, por darme apoyo, alegría y paz a mi vida.

A mi prima Janneth Cáceres, por sus buenos consejos y apoyo constante para seguir adelante.

A mi consentida Canela, por ser mi fiel compañía en las duras noches de trabajo y por brindarme tranquilidad con su linda mirada.

Y a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron y confiaron en mí, para alcanzar esta meta. A todos muchas gracias.

Luisa Fernanda Carrillo Sandoval

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos sinceramente a todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, por ser esas fuentes de conocimiento y saberes que a través de los años nos fueron impartiendo y brindando para lograr formar lo que hoy somos como futuras profesionales.

Un agradecimiento especial al profesor German Osma por su infinita paciencia, apoyo y guía, que permitió el desarrollo exitoso de este trabajo de grado, al profesor Gabriel Malagón por su gran ayuda, consejos y acompañamiento que nos brindó hasta el último instante y a Julián Flórez por su constante apoyo y por estar siempre pendiente de nosotras desde el inicio hasta el final de este exitoso trabajo.

Por último, le agradecemos a Alejandro Parrado y a Rusber Rodriguez por sus consejos, ayuda y acompañamiento durante el desarrollo del trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. MODELADO DE CARGAS	21
1.1 MODELOS DE CARGA	21
1.1.1 Modelo ZIP	21
1.1.2 Modelo exponencial La	23
1.2.3 Modelo Norton	23
1.2 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LOS MODELOS DE CARGA	24
1.2.1 Métodos para el cálculo de los parámetros del Modelo ZIP	24
1.2.1.1 Primer método: Función de MATLAB	24
1.2.1.2 Segundo método: Modelo de regresión lineal múltiple	25
1.2.4 Métodos para el cálculo de parámetros del Modelo exponencial	28
1.2.4.1 Primer método: Función de MATLAB	28
1.2.4.2 Segundo método: Mínimos cuadrados	29
1.2.3 Método para el cálculo del modelo NORTON	31
1.3 SEÑALES DE TENSIÓN TÍPICAS	32
1.4 CÁLCULO DE POTENCIAS	33
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	35
2.1 ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL	35
2.1.1 Fuente programmable CHROMA 61701	35
2.1.2 Analizador de red PQube 3	37
2.1.3 Luminaria ON-OFF	38
2.1.4 Luminaria dimerizable	39
2.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	40
2.3 DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS DE PRUEBA	41
2.4 METODOLOGÍA DEL MONTAJE EXPERIMENTAL	45

2.5 ALMACENAMIENTO Y ORGANIZACIÓN DE DATOS	47
2.5.1 Modelos ZIP y Exponencial.....	48
2.5.2 Modelo Norton	48
3. CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LOS MODELOS DE CARGA EN MATLAB	50
3.1 PROGRAMA MODELOS	50
3.2 PROGRAMA ZIP	53
3.3 PROGRAMA EXPONENCIAL.....	55
3.4 PROGRAMA NORTON.....	58
4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	62
4.1 MODELOS ZIP Y EXPONENCIAL.....	62
4.1.1 Luminaria On-Off	62
4.1.2 Luminaria dimerizable	65
4.2 MODELO NORTON.....	67
4.2.1 Luminaria On-Off	68
4.2.2 Luminaria dimerizable	71
5. CUANTIFICACIÓN DE LA POTENCIA CONSUMIDA DE LAS CARGAS LUMÍNICAS	76
5.1 LUMINARIAS ON-OFF	76
5.1.1 Caso de tensión sinusoidal pura	76
5.1.2 Caso de tensión con tercer armónico	78
5.1.3 Casos de tensión con armónico y cambio de fase	80
5.1.4 Caso de señales de tensión con más de un armónico impar.....	81
5.2 LUMINARIA DIMERIZABLE.....	82
5.2.1 Caso de tensión sinusoidal pura	82
5.2.2 Caso de tensión con tercer armónico	84
5.2.3 Casos de tensión con armónico y cambio de fase	86
5.2.4 Caso de señales de tensión con más de un armónico impar.....	87
5.3 COMPARACIÓN DE LAS LUMINARIAS ON-OFF Y DIMERIZABLE	88
6. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.....	91
7. RECOMENDACIONES.....	93

BIBLIOGRAFÍA.....95
ANEXOS98

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de las señales de tensión.....	32
Tabla 2. Especificaciones técnicas generales de la fuente Chroma.	36
Tabla 3. Característica forma de onda de la señal sinusoidal pura.....	43
Tabla 4. Parámetros del ajuste de modelos ZIP y Exponencial de luminaria On-Off.	64
Tabla 5. Parámetros del ajuste de modelos ZIP y Exponencial de luminaria dimerizable operación intermedia.	67
Tabla 6. Matriz solución <i>Iref</i> <i>Y</i> al modelo Norton de luminaria On-Off.....	68
Tabla 7. Matriz solución <i>Iref</i> <i>Y</i> al modelo Norton luminaria dimerizable operación intermedia.	72
Tabla 8. Tensiones VRMS, potencias y factor de potencia y THDi calculadas.	77
Tabla 9. Potencia activa y reactiva, factor de potencia y THDI de casos especiales de alimentación de la On-Off.	82
Tabla 10. Tensiones VRMS, potencias, factor de potencia y THDi calculadas, para los estados de operación 0 V y 5 V de la luminaria dimerizable.	84
Tabla 11. Tensiones VRMS, potencias, factor de potencia y THDi calculadas, para el estado de operación de 10 V de la luminaria dimerizable.	84
Tabla 12. Potencia activa y reactiva, factor de potencia y THDI de casos especiales de alimentación de la dimerizable.	88
Tabla 13. Potencia activa y reactiva, factor de potencia y THDI de casos especiales de alimentación de la dimerizable.	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fuente programable Chroma.....	36
Figura 2. Analizador de redes PQube 3.....	38
Figura 3. Luminaria On-Off y montaje de balastos.	39
Figura 4. Luminaria dimerizable y balastro respectivo.	40
Figura 5. Diagrama de metodología de la experimentación.....	40
Figura 6. Esquema de los escenarios de prueba para la experimentación.....	42
Figura 7. Esquema circuital de conexión de equipos para el desarrollo experimental.	46
Figura 8. Organización en carpetas de las muestras para modelos ZIP y Exponencial.	48
Figura 9. Organización en carpetas de las muestras para el modelo Norton.	49
Figura 10. Diagrama de flujo del programa MODELOS.....	51
Figura 11. Inicio e ingreso de datos del programa MODELOS.	52
Figura 12. Resultados de información de las señales estudiadas.	52
Figura 13. Diagrama de flujo del programa ZIP.	53
Figura 14. Parámetros del modelo ZIP.	54
Figura 15. Graficas de potencias contra tensión del modelo ZIP.....	55
Figura 16. Diagrama de flujo del programa exponencial.....	56
Figura 17. Parámetros del modelo Exponencial.	57
Figura 18. Graficas de potencias contra tensión del modelo Exponencial.	57
Figura 19. Diagrama de flujo del programa NORTON.	58
Figura 20. Matriz de admitancias.	61
Figura 21. Ajuste de modelo ZIP para luminaria On-Off.	63
Figura 22. Ajuste de modelo Exponencial para luminaria On-Off.	64

Figura 23. Ajuste de modelo ZIP para luminaria dimerizable operación intermedia.	65
Figura 24. Ajuste de modelo Exponencial para luminaria dimerizable operación intermedia.	66
Figura 25. Training componente fundamental luminaria On-Off.	68
Figura 26. Training componentes armónicas luminaria On-Off.....	69
Figura 27. Validación señales de posgrado luminaria On-Off.....	70
Figura 28. Validación señales de red Edificio luminaria On-Off.	70
Figura 29. Validación señales de artículos de investigación luminaria On-Off.....	71
Figura 30. Training componente fundamental luminaria dimerizable operación intermedia.	72
Figura 31. Training componentes armónicas luminaria dimerizable operación intermedia.	73
Figura 32. Validación señales de red Edificio luminaria dimerizable operación intermedia.	74
Figura 33. Validación señales de artículos de investigación luminaria dimerizable operación intermedia.	74
Figura 34. Validación señales de posgrado luminaria dimerizable operación intermedia.	75
Figura 35. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión sinusoidal pura.	77
Figura 36. Tensiones fundamentales con tercer armónico.	78
Figura 37. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con tercer armónico.	79
Figura 38. Porcentajes de diferencia entre la potencia activa y reactiva de la luminaria alimentada con tensiones con tercer armónico y las potencias de solo fundamental.	80
Figura 39. Señal con tercer armónico y cambio de fase.	80
Figura 40. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión sinusoidal pura, en los estados de operación 0 V, 5 V y 10 V.	83

Figura 41. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico en el estado de operación de 0 V.	85
Figura 42. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico en el estado de operación de 5 V.	85
Figura 43. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico en el estado de operación de 10 V.	86
Figura 44. Potencia activa consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase.....	89
Figura 45. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase, en la operación mínima de 0 V. ...	90

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. SEÑALES ESPECÍFICAS UTILIZADAS	98
ANEXO B. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA TOMA DE MUESTRAS	101
ANEXO C. PROGRAMAS EN MATLAB	121
ANEXO D. RESULTADOS DEL ANALISIS DE DATOS	150
ANEXO E. POTENCIAS CONSUMIDAS POR LAS LUMINARIAS	163
ANEXO F. CÁLCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR LAS LUMINARIAS ON-OFF Y DIMERIZABLE	193

RESUMEN

TÍTULO: Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de las cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación*

AUTORES: Alejandra Martínez Peñaloza
Luisa Fernanda Carrillo Sandoval**

PALABRAS CLAVES: Modelo en el dominio de la frecuencia, Modelo ZIP, Modelo Exponencial, barrido armónico, luminarias On/Off y dimerizable y matriz de admitancia acoplada.

DESCRIPCIÓN:

El Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, comprometido con el medio ambiente, es un ejemplo piloto de edificación verde. Una de sus aplicaciones sostenibles es un sistema de generación fotovoltaica (SFV) conectado a la red de baja tensión. Estos sistemas de generación utilizan elementos basados en la electrónica de potencia, microinversores, capaces de producir distorsión en la forma de onda de la señal de tensión y corriente, afectando la calidad de la potencia en la red eléctrica.

Por tanto, es de gran importancia conocer cuáles son los comportamientos de las cargas cuando son alimentadas con este tipo de sistema de generación. En este sentido, el objetivo principal de este trabajo de investigación, fue el estudio del comportamiento de las cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante diversos escenarios de tensión distorsionada.

El presente trabajo, presenta inicialmente una revisión de las bases técnicas de los modelos de cargas y herramientas matemáticas y computacionales utilizadas para el cálculo de los parámetros de los modelos y la potencia consumida. Posteriormente, se presenta el proceso de la experimentación del registro de muestras de la forma de onda de la señal eléctrica producida por las cargas en estudio, teniendo en cuenta los equipos y cargas utilizadas.

Seguidamente se realiza la descripción de la programación desarrollada en MATLAB para el cálculo de los parámetros de los modelos estudiados, realizando luego un análisis de los resultados obtenidos en el programa, eligiendo el modelo que mejor describa el comportamiento de las luminarias acorde con los valores medidos.

Por último, se realiza un estudio de cuantificación de las variaciones de potencia activa y potencia reactiva para cada caso de estudio provisto para las luminarias y sus modos de operación con señales de tensión de alimentación distorsionadas.

* Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: German Osma P, PhD. Ingeniería Eléctrica. Codirectores: Gabriel Malagón C, MSc. Ingeniería Eléctrica. Julián Flórez R, MSc. Ingeniería Eléctrica.

ABSTRACT

TITLE: De termination of model parameters for the study of the behavior of the light loads of the Electrical Engineering Building before variations in the amplitude and frequency of the supply voltage*

AUTHORS: Alejandra Martínez Peñaloza
Luisa Fernanda Carrillo Sandoval**

KEY WORDS: Frequency domain modeling, ZIP model, Exponential model, harmonic sweep, coupled admittance matrix and light loads.

DESCRIPCIÓN:

The Electrical Engineering Building of the Industrial University of Santander, committed to the environment, is a pilot example of green building. One of its sustainable applications is a photovoltaic generation system (PGS) connected to the low voltage network. These generation systems use elements based on power electronics, microinverters, capable of producing distortion in the waveform of the voltage and current signal, affecting the quality of power in the electrical network.

Therefore, it is very important to know what the behaviors of the loads are when they are fed with this type of generation system. In this sense, the main objective of this research work was the study of the behavior of the light loads of the Electrical Engineering Building in different scenarios of distorted voltage.

The present work, presents initially a revision of the technical bases of the models of loads and mathematical and computational tools used for the calculation of the parameters of the models and the power consumed. Subsequently, the process of experimenting with the recording of samples of the waveform of the electrical signal produced by the charges under study is presented, taking into account the equipment and loads used.

Then the description of the programming developed in MATLAB for the calculation of the parameters of the models studied is made, later making an analysis of the results obtained in the program, choosing the model that best describes the behavior of the luminaires according to the measured values.

Finally, a quantification study of the variations of active power and reactive power is carried out for each case of study provided for the luminaires and their modes of operation with distorted supply voltage signals.

* Bachelor Tesis.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Director: German Osma P, PhD. Electric engineering. Co-directors: Gabriel Malagón C, MSc. Electric engineering. Julián Flórez R, MSc. Electric engineering.

INTRODUCCIÓN

El Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, comprometido con el medio ambiente, es un ejemplo piloto de edificación verde, que entre sus aplicaciones sostenibles se encuentra un sistema de generación fotovoltaica (SFV) conectado a la red de baja tensión, que consta de 37 paneles fotovoltaicos (FV), con una capacidad instalada de 9.7 kW.

Estos sistemas de generación utilizan microinversores que son elementos basados en la electrónica de potencia, capaces de producir efectos en la inyección de energía a la red eléctrica, como cambios en la forma de onda de la señal de tensión y corriente, afectando la calidad de la potencia. Por tanto, es importante conocer cuáles son los comportamientos de las cargas cuando son alimentadas con tensiones distorsionadas.

Como objetivo principal de este trabajo de investigación, es estudiar el comportamiento de las cargas lumínicas del Edificio ante diversos escenarios de tensión distorsionada, las cuales fueron elegidas para su estudio por ser las cargas que demandan la mayor cantidad de energía en el Edificio. Para ello, se seleccionaron los modelos de carga ZIP y Exponencial, que relacionan la potencia activa y reactiva consumida con la tensión de alimentación¹ y el modelo de carga equivalente de Norton, que relaciona la corriente consumida por la carga y la tensión de alimentación, los cuales describen el comportamiento de la carga considerando variaciones de tensión.

¹ CAETANO, William Douglas y ROMEIRO DA SILVA JOTA, Patricia. Load Static Models for Conservation Voltage Reduction in the Presence of Harmonics. En: Sci. Res. Publ. Febrero, 2016. Vol. 08 no. p. 62–75.

Para lograr este estudio, se desarrollaron los siguientes objetivos específicos: registro de muestras de la forma de onda de la señal eléctrica de corriente producida por las dos unidades de cargas lumínicas del Edificio para tensiones de diversas magnitudes y frecuencias y para casos de señales de distorsión; desarrollo de un programa en MATLAB que permite al usuario calcular los parámetros de los tres modelos de carga y las potencias consumidas por las cargas a partir de los datos obtenidos de las respectivas mediciones; selección del modelo que mejor describe el comportamiento de las luminarias; finalmente, cuantificar la potencia consumida debido a la variación de amplitud de la tensión para frecuencia fundamental y con distorsión armónica.

El trabajo descrito se presenta en detalle a lo largo de siete capítulos. El Capítulo 1 abarca las bases teóricas de los modelos de cargas y las herramientas matemáticas y computacionales para el cálculo de los parámetros de los modelos de carga y la potencia consumida. El Capítulo 2 presenta el proceso de la experimentación del registro de muestras de la forma de onda de la señal eléctrica producida por las cargas de estudio, donde se exponen los escenarios de prueba, los equipos utilizados y el procedimiento de la experimentación en el laboratorio.

El Capítulo 3 describe el programa en MATLAB que calcula los parámetros de los modelos seleccionados, donde se explica las indicaciones que se deben tener presentes. El Capítulo 4 aborda los resultados de los parámetros calculados y se elige el modelo que mejor describe el comportamiento de la carga acorde a los valores medidos. El Capítulo 5 presenta la cuantificación de la potencia consumida debido a la variación de la amplitud de la tensión para frecuencia fundamental y por la existencia de distorsión armónica. Los capítulos 6 y 7 exponen las conclusiones obtenidos a partir de los resultados del desarrollo del trabajo y recomendaciones para trabajos futuros.

Este documento también presenta anexos donde se amplía la información de los capítulos. El Anexo A muestra las características de forma de onda de las señales de tensión utilizadas para la alimentación de las luminarias del Edificio a través de la fuente programable. El Anexo B describe el procedimiento detallado de la experimentación de la toma de muestras, donde se indica el modo de uso de la fuente programable y el analizador PQube3. En el Anexo C se encuentra los códigos del programa en MATLAB, los cuales se realizaron para el cálculo de los parámetros de los modelos ZIP, exponencial y Norton, así mismo, las instrucciones de uso del programa. El Anexo D contiene los resultados del análisis de datos de las luminarias seleccionadas. El Anexo E contiene las potencias consumidas por las luminarias; finalmente, el Anexo F describe el análisis de la potencia consumida por las luminarias On-Off y Dimerizable.

1. MODELADO DE CARGAS

El modelado de cargas es un tema de investigación que ha ido aumentando a través de los años, debido a los cambios en las señales de tensión y corrientes, producidas principalmente por el incremento de la electrónica de potencia utilizados en la mayoría de las cargas. La importancia de su estudio radica en el conocimiento del comportamiento de las cargas ante estas variaciones en la señal de alimentación.

Este capítulo aborda la parte teórica necesaria para el estudio del modelado de carga, y se encuentra dividido en cuatro secciones. La primera sección presenta el marco teórico de los modelos de carga ZIP, exponencial y Norton; la segunda sección presenta los métodos para el cálculo de los parámetros de estos modelos de carga; seguidamente, se exponen señales de tensión típicas tomadas de la literatura para la validación de los modelos; por último, se aborda los métodos de cálculo de potencias consumidas por las cargas.

1.1 MODELOS DE CARGA

Los modelos de carga son representaciones matemáticas que relacionan la potencia activa y no activa consumida y la tensión de alimentación de la carga. Estos modelos describen el comportamiento de las cargas cuando son alimentadas con señales de tensión donde se considera la variación de la magnitud y frecuencia².

1.1.1 Modelo ZIP El modelo ZIP descrito por las ecuaciones polinómicas (1) y (2) para la potencia activa y reactiva, describen la potencia consumida por una carga

² Ibíd.

en función de la tensión. Está compuesto de tres tipos de cargas contantes Z, I y P, las cuales corresponden a la impedancia constante, la corriente constante y cargas de potencia constante, respectivamente³.

$$P_i = P_0 \left[P_p + I_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + Z_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$Q_i = Q_0 \left[P_q + I_q \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + Z_q \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 \right] \quad (2)$$

En donde:

$$Z_p + I_p + P_p = 1 \quad (3)$$

$$Z_q + I_q + P_q = 1 \quad (4)$$

Donde:

V_0 = Tensión nominal [V]

P_0 = Potencia activa a tensión nominal [W]

Q_0 = Potencia reactiva a tensión nominal [VAr]

$Z_{p,q}$ = Coeficiente de impedancia constante

$I_{p,q}$ = Coeficiente de corriente constante

$P_{p,q}$ = Coeficiente de potencia constante

P_i = Potencia activa de operación [W]

Q_i = Potencia reactiva de operación [VAr]

V_i = Tensión de operación [V]

Si la potencia varía directamente con el cuadrado de la tensión, la carga se modela como una impedancia constante; si la potencia varía directamente con la tensión,

³ BOKHARI, Abdullah, et al. Experimental Determination of the ZIP Coefficients for Modern Residential, Commercial, and Industrial Loads. En: IEEE Transactions on Power Delivery. June, 2014 Vol. 29, no. 3

se modela como corriente constante, y se la potencia no varía, la carga se modela como una potencia constante⁴.

1.1.2 Modelo exponencial La relación entre la potencia consumida y la tensión de alimentación, en el modelo exponencial, viene dada por las funciones descritas en las ecuaciones (5) y (6) para la potencia activa y reactiva respectivamente.

$$P_i = P_0 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^\alpha \quad (5)$$

$$Q_i = Q_0 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^\beta \quad (6)$$

Los parámetros α y β describen el comportamiento de la carga. Cuando estos parámetros son iguales a 0, significa que la carga se está comportando como potencia constante, en el caso en que ambos parámetros sean iguales a 1, la carga se comporta como corriente constante, y si ambos parámetros son iguales a 2, la carga es impedancia constante⁵.

1.2.3 Modelo Norton El modelo Norton o modelo de dominio de frecuencia, descrito por la ecuación compacta (7) y en su forma matricial (8), está compuesto por:

$$\underline{I}_{H,1} = \underline{Y}_{H,K} \underline{\Delta V}_{K,1} + \underline{I}_{ref H,1} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \vdots \\ \bar{I}_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{1,1} & \bar{Y}_{1,2} & \dots & \bar{Y}_{1,K} \\ \bar{Y}_{2,1} & \bar{Y}_{2,2} & \dots & \bar{Y}_{2,K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{Y}_{H,1} & \bar{Y}_{H,2} & \dots & \bar{Y}_{H,K} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{V}_1 \\ \Delta \bar{V}_2 \\ \vdots \\ \Delta \bar{V}_K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{I}_{ref 1} \\ \bar{I}_{ref 2} \\ \vdots \\ \bar{I}_{ref H} \end{bmatrix} \quad (8)$$

I = vector de corriente [H,1]

⁴ CAETANO, William; JOTA, Patrícia y GONÇALVES, Eduardo. Comparison between Static Models of Conservation Voltage Reduction. Brasil: IEEE Int. Conf. Smart Energy Grid Eng., 2013. p.1-6.

⁵ Ibíd..

Y = Matriz de admitancia acoplada [H, K]

ΔV = Matriz de desviación de tensión [K,1]

I_{ref} = vector de distorsión de corriente de referencia [K,1]

Donde H corresponde al H-esimo armónico de la corriente y k para el voltaje.

Este modelo permite linealizar el comportamiento de una carga no lineal en un punto de operación de referencia, para diversos órdenes de armónicos. Se calculan las desviaciones de la corriente armónica debido a las variaciones de tensión ΔV , con la matriz de admitancia Y^6 .

1.2 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LOS MODELOS DE CARGA

Los parámetros de los modelos de carga, ZIP, exponencial y Norton, se pueden obtener mediante métodos matemáticos y con herramientas computacionales. Para este trabajo, se utilizó los métodos que se describen a continuación para cada modelo de carga.

1.2.1 Métodos para el cálculo de los parámetros del Modelo ZIP El cálculo de los parámetros de impedancia constante, corriente constante y potencia constante del modelo ZIP, descritos en la Sección 1.1.1, se obtienen mediante los siguientes métodos:

1.2.1.1 Primer método: Función de MATLAB Para el primer método de cálculo de parámetros, se utilizó el Polynomial curve fitting (*polyfit*) una función de MATLAB, que devuelve los coeficientes $a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0$ para un polinomio $p(x)$ de grado n

⁶ CAICEDO, Joaquin; ROMERO, Andres y ZINI, Humberto. Frequency Domain Modeling of Nonlinear Loads , considering Harmonic Interaction. En: IEEE Work Power Electron. Power Qual. Appl., 2017

(9), que es el mejor ajuste (en un sentido de mínimos cuadrados) para los datos en y ⁷.

$$y = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x^1 + a_0 x^0 \quad (9)$$

La sintaxis de función es la siguiente:

$$p = \text{polyfit}(x, y, n) \quad (10)$$

x: vectores de datos de las abscisas.

y: vectores de datos de las ordenadas.

n: es el grado del polinomio al que se quieren ajustar los datos

p: es el vector de los coeficientes de dicho polinomio.

Si m es el número de datos, el polinomio no puede ser mayor que m-1.

1.2.1.2 Segundo método: Modelo de regresión lineal múltiple Este método se basó en el procedimiento de mínimos cuadrados para estimar los coeficientes de regresión de un modelo de regresión lineal múltiple, expuesto por Douglas C. Montgomery⁸.

Ecuación del modelo:

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (11)$$

⁷ POLYNOMIAL CURVE FITTING - MATLAB polyfit - MathWorks America Latina. [En línea]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/polyfit.html>. [Accessed: 21-Jun-2018].

⁸ MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V. Segunda ed. 1991. ISBN 968-18-6156-6

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}, \quad y \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

y : vector de observaciones ($n \times 1$).

X : matriz ($n \times p$) de los niveles de las variables independientes.

β : vector ($p \times 1$) de los coeficientes de regresión.

ε : vector ($n \times 1$) de los errores aleatorios.

Para la determinación de los coeficientes de regresión β se utiliza la expresión (12), donde $\hat{\beta}$ es el vector de estimación de β .

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y \quad (12)$$

Con los valores encontrados de $\hat{\beta}$ se estima los valores del vector de observación \hat{y} , donde el modelo de regresión ajustado es como se indica en la expresión (13).

$$\hat{y} = X\hat{\beta} \quad (13)$$

El modelo ajustado en notación escalar es:

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} \quad (14)$$

$$i = 1, 2, \dots, p$$

El valor residual es la diferencia entre la observación real y el valor ajustado, este cálculo se realiza con la expresión (15) y en porcentaje de error (16)

$$e = y - \hat{y} \quad (15)$$

$$E = |e| \times 100 \quad (16)$$

1.2.1.3 Tercer método: Regresión polinomial El procedimiento de mínimos cuadrados se puede extender fácilmente al ajuste de datos con un polinomio de grado superior⁹. El modelo ZIP cuenta con polinomios de segundo grado o cuadrático de la forma:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (17)$$

Al minimizar la suma de los errores residuales de todos los datos, se puede ajustar una mejor línea a través de los datos. Esto se realiza mediante la siguiente expresión:

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2)^2 \quad (18)$$

Derivando la ecuación (16) con respecto a cada uno de los coeficientes desconocidos se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_r}{\partial a_0} &= -2 \sum (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2) \\ \frac{\partial S_r}{\partial a_1} &= -2 \sum x_i (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2) \\ \frac{\partial S_r}{\partial a_2} &= -2 \sum x_i^2 (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2) \end{aligned}$$

Igualando a cero y reordenando se obtiene el siguiente conjunto de ecuaciones normales:

⁹ CHAPRA, Steven y CANALE, Raymond. Métodos Matemáticos Para Ingenieros. México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Quinta ed. 2006. ISBN 0-07-291873-X

$$\begin{aligned}
(n)a_0 + (\sum x_i)a_1 + (\sum x_i^2)a_2 &= \sum y_i \\
(\sum x_i)a_0 + (\sum x_i^2)a_1 + (\sum x_i^3)a_2 &= \sum x_i y_i \\
(\sum x_i^2)a_0 + (\sum x_i^3)a_1 + (\sum x_i^4)a_2 &= \sum x_i^2 y_i
\end{aligned}$$

Se utiliza el método de Gauss-Jordan, que permite encontrar la solución del sistema de tres ecuaciones y tres incógnitas (a_0, a_1 y a_2), procedimiento que se lleva hasta obtener una matriz diagonal.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^2 y_i \end{bmatrix} \quad \longrightarrow \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_0 \\ 0 & 1 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & 1 & a_2 \end{bmatrix} \quad (19)$$

1.2.4 Métodos para el cálculo de parámetros del Modelo exponencial Los parámetros α y β del modelo EXPONENCIAL, como se observa en las expresiones (5) y (6), describen el comportamiento de la carga. El cálculo de estos parámetros se obtiene mediante los siguientes métodos.

1.2.4.1 Primer método: Función de MATLAB En estudios de ingeniería se encuentran funciones distintas a los polinomios para ajustar datos. La expresión (20) describe la forma del modelo exponencial.

$$y = bx^m \quad (20)$$

Los datos para este modelo pueden ser ajustados mediante el comando *polyfit*, reescribiendo las funciones del modelo en forma de polinomio lineal (21), y obtener la función descrita en (22)¹⁰.

¹⁰ GILAT, Amos. MATLAB Una Introducción Con Ejemplos Prácticos. España: Editorial Reverté, S. A., 2005. ISBN 84-29-5035-8

$$y = mx + b \quad (21)$$

$$\log(y) = m \log(x) + \log(b) \quad (22)$$

Forma de uso del comando polyfit es la siguiente:

$$p = \text{polyfit}(\log_{10}(x), \log_{10}(y), 1) \quad (23)$$

x: vectores de datos de las abscisas.

y: vectores de datos de las ordenadas.

1: es el grado del polinomio al que se quieren ajustar los datos

p: es el vector de los coeficientes de dicho polinomio.

1.2.4.2 Segundo método: Mínimos cuadrados La expresión del modelo exponencial se puede hacer lineal aplicando logaritmos, como en las expresiones (24), (25) y (26).

$$P_i = P_o \left(\frac{V_i}{V_o} \right)^\alpha$$

$$\log(P_i) = \log \left(P_o \left(\frac{V}{V_o} \right)^\alpha \right) \quad (24)$$

$$\log(P_i) = \log(P_o) + \log \left(\left(\frac{V}{V_o} \right)^\alpha \right) \quad (25)$$

$$\log(P_i) = \log(P_o) + \alpha * \log \left(\frac{V}{V_o} \right) \quad (26)$$

El método de mínimos cuadrados es un procedimiento que estima los parámetros para cualquier modelo lineal, ajustando una recta a un conjunto de puntos¹¹. Se tiene la expresión (27) para el ajuste de mínimos cuadrados.

¹¹ WACKERLY, Dennis; MENDENHALL III, William y SCHEAFFER, Richard. Estadística Matemática con Aplicaciones. México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. Séptima ed. 2010. ISBN-13: 978-0-495-11081-1 y ISBN-10: 0-495-11081-7

$$\log(P_i) = \log(P_o) + \alpha * \log\left(\frac{V}{V_o}\right)$$

↓

$$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 * X \quad (27)$$

Si $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$ son estimadores de β_0 y β_1 , entonces un estimador de $E(Y)$ es:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X \quad (28)$$

Este método busca que las diferencias entre los valores observados y los puntos correspondientes en la recta ajustada sean pequeñas. Para lograrlo, se minimiza la suma de cuadrados de las desviaciones verticales a partir de la recta ajustada.

Si $\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i$ es el valor pronosticado del i -ésimo valor, la suma de los cuadrados de las desviaciones a minimizar es:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i)]^2 \quad (29)$$

Para encontrar los valores mínimos de β_0 y β_1 , se deriva la ecuación SSE con respecto a $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$ e igualando cero. Estas ecuaciones se denominan *ecuaciones de mínimos cuadrados* para estimar los parámetros de una recta.

Para $\hat{\beta}_0$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial SSE}{\partial \hat{\beta}_0} &= \frac{\partial \left\{ \sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i)]^2 \right\}}{\partial \hat{\beta}_0} = - \sum_{i=1}^n 2 [y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i)] \\ &= -2 \left(\sum_{i=1}^n y_i - n \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_i \right) = 0 \end{aligned}$$

Para $\hat{\beta}_1$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial SSE}{\partial \hat{\beta}_1} &= \frac{\partial \left\{ \sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i)]^2 \right\}}{\partial \hat{\beta}_1} = - \sum_{i=1}^n 2 [y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i)] x_i \\ &= -2 \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i - \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n x_i - \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) = 0\end{aligned}$$

Donde

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (30)$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (31)$$

1.2.3 Método para el cálculo del modelo NORTON El modelo Norton consiste en encontrar una matriz de admitancias, a partir de los datos obtenidos de mediciones o adquiridos a través de simulaciones. Para la obtención de esta matriz teniendo en cuenta m medidas tomadas en el laboratorio, se hace el arreglo de la ecuación del modelo (7), donde las matrices I y ΔV estas formadas con las corrientes y tensiones con los datos de las mediciones, y las matrices Y e Iref son desconocidas, de manera que se despeja la matriz a formar, como se muestra a continuación:

$$\underbrace{I}_{H,1} = \underbrace{Y}_{H,K} \underbrace{\Delta V}_{K,1} + \underbrace{I_{ref}}_{H,1}$$

$$[I] = [I_{ref} \ Y] \begin{bmatrix} 1 \\ \Delta V \end{bmatrix}$$

Donde $[A] = \begin{bmatrix} 1 \\ \Delta V \end{bmatrix}$, entonces $[I] = [I_{ref} \ Y] [A]$

$$[I][A^T] = [I_{ref} \ Y] [A][A^T]$$

$$[I] [A^T] [[A] [A^T]]^{-1} = [I_{ref} \ Y] [A] [A^T] [[A] [A^T]]^{-1}$$

$$\underbrace{[I_{ref} \ Y]}_{H,K+1} = \underbrace{[I]}_{H,m} \underbrace{[A^T]}_{m,K+1} \left[\underbrace{[A]}_{K+1,m} \underbrace{[A^T]}_{m,K+1} \right]^{-1} \quad (32)$$

Donde $[I_{ref} \ Y]$ es la matriz desconocida.

1.3 SEÑALES DE TENSION TÍPICAS

En las redes de baja tensión se encuentran señales de tensión distorsionadas típicas, producto de los equipos utilizados comúnmente en las zonas residenciales e industriales; tales señales como son Flat-Top y Pointed-Top.

Estas señales de tensión distorsionadas se caracterizan por su forma de onda. Las señales Flat-Top u onda plana “voltaje plano superior”, se presentan en las redes de baja tensión residenciales; mientras las señales Pointed-Top son ondas puntiagudas “voltaje puntiagudo” y son encontradas en las redes industriales. Estas dos señales toman su forma de onda debido al uso de rectificadores monofásicos y de seis pulsos, respectivamente.

Este trabajo usó estas señales de tensión como insumo para determinar los parámetros de los tres modelos. La Tabla 1 especifica los valores eficaces y ángulos de fase por frecuencia que permiten modelar las dos señales como series de Fourier¹².

Tabla 1. Características de las señales de tensión.

	Señales de tensión			
	Armónico	Sinusoidal	Flat-Top	Pointed-Top
Valor eficaz[V]	1	120	116.6	120
	3	-	2.37	3.05
	5	-	1.66	1.66
	7	-	0.85	0.05
Angulo de fase [°]	1	0	0	0
	3	-	0	180
	5	-	180	0
	7	-	0	0

¹² BLANCO, Ana Maria; STIEGLER, Robert y MEYER, Jan. Power quality disturbances caused by modern lighting equipment (CFL and LED). En: IEEE Grenoble Conf. PowerTech, POWERTECH 2013, 2013

1.4 CÁLCULO DE POTENCIAS

La potencia activa (P) monofásica medida a partir de las muestras de las señales de tensión y corriente obtenidas del medidor, se obtiene promediando la potencia instantánea como se indica en la expresión (33), donde v_n e i_n son los vectores de muestras de tamaño N , de tensión y corriente respectivamente.

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v_n i_n \quad (33)$$

La potencia aparente (S) por fase se obtiene a partir de la expresión (34), donde se multiplican los valores eficaces de tensión y corriente, que se obtienen a partir de las expresiones (35) y (36).

$$S = V_{rms} * I_{rms} \quad (34)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-1} v_n^2[n]} \quad (35)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-1} i_n^2[n]} \quad (36)$$

La potencia reactiva (Q) se calcula mediante la expresión (37), también conocido como modelo Fryze, ya que no solo tiene en cuenta los efectos relacionados con la magnetización (elementos inductivos) o la carga eléctrica (elementos capacitivos) de los materiales, sino también los efectos de los armónicos en el sistema¹³.

¹³ GONZÁLEZ, Gabriel; ORDÓÑEZ PLATA, Gabriel; BARRERO, Jaime; DUARTE, César y BAUTISTA, Adán. Medición de las Magnitudes de Potencia y Energía Eléctrica Bajo las Nuevas Condiciones de los Sistemas Eléctricos. En: Revistas UIS Ingeniería. Vol. 8 Núm. 1. 2009

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (37)$$

El factor de potencia (FP) se obtiene con la expresión (38), que se define como la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S).

$$FP = \frac{P}{S} \quad (38)$$

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de un trabajo de investigación científica, una de las claves para fundamentar los resultados hallados y ofrecer explicaciones causales de los mismos, es el proceso de experimentación. Específicamente, este trabajo experimental se desarrolló en el laboratorio AT 205 para simular las condiciones de operación de las luminarias. A continuación, se presenta los equipos y el desarrollo de la metodología empleada.

2.1 ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL

Los elementos utilizados en el proceso de experimentación de fueron una fuente programable Chroma 61701, la cual cumplió su rol de fuente generadora de señales específicas; el analizador de red PQube 3 que fue configurado para medir señales de tensión y corriente de la carga conectada; por último, dos unidades cargas lumínicas utilizadas, luminarias On-Off y dimerizable, que se encuentran instaladas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica. A continuación, se realiza una breve introducción a los elementos nombrados.

2.1.1 Fuente programmable CHROMA 61701 Esta fuente programable se caracteriza por tener una salida 3 ϕ - 5 hilos (3F-N-T), además de permitirle al operario de programarla para obtener a la salida una señal de tensión de baja distorsión y una medición de potencia de gran exactitud. Las configuraciones y características necesarias de la tensión de salida se pueden programar directamente en el panel o pantalla LCD de ésta, con los botones que se encuentran en la parte frontal. También se puede programar las señales de salida mediante una interfaz con el software Softpanel instalado en un PC.

Esta fuente está diseñada con las protecciones necesarias para sobretensiones, sobrecorrientes, altas temperaturas y fallas en el sistema de ventilación, teniendo para el último tipo de falla, un sistema de control de temperatura mediante la velocidad de los ventiladores del sistema de ventilación. Algunas especificaciones técnicas de la fuente se pueden observar en la Tabla 2 y el aspecto físico de ésta se puede observar en la Figura 1¹⁴.

Figura 1. Fuente programable Chroma.



Tabla 2. Especificaciones técnicas generales de la fuente Chroma.

AC OUTPUT RATING		POTENCIA
Máxima potencia		1500 VA
Potencia por fase		500 VA
		TENSIÓN
Rango		150 V/300 V
Tensión de salida	0~150 V, 0~300 V, 0~140 V, 0~240 V @>1000 Hz	
Exactitud	0.2% + 0.2% F.S	
Resolución	0.1 V	
Distorsión	0.3% @ 50/60 Hz	

¹⁴ C. S. SOLUTIONS, "Programmable AC Source User's Manual," Copyr. Not., vol. Versión 1., 2014.

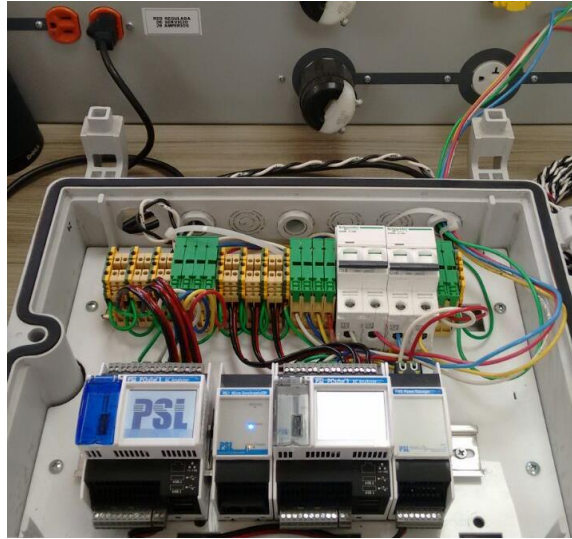
	1.5% 15-1.2 kHz
CORRIENTE MÁXIMA POR FASE	
Valor r.m.s	4 A/2 A
Valor pico	24 A/12 A
FRECUENCIA	
Rango	DC, 15-1.2 kHz
Exactitud	0.15%
FASE	
Rango	0~360°
Resolución	0.3°
Exactitud	<0.8° @ 50/60 Hz

2.1.2 Analizador de red PQube 3 El analizador es un instrumento para el monitoreo de sistemas de potencia eléctrica y condiciones ambientales, diseñado para ayudar a resolver problemas que impactan la calidad y confiabilidad del proceso. Este es un instrumento que combina las características de un monitor de perturbaciones de potencia, un medidor de energía y potencia, un registrador de datos y un registrador digital de fallas.

Este analizador es capaz de almacenar perturbaciones como: huecos o hundimientos, interrupciones, variaciones de frecuencia, impulsos e instantáneas de las formas de onda. También almacena parámetros de la calidad de la energía como Flicker, desbalances, índice de distorsión armónica total *THD* y armónicos. Cabe resaltar que este analizador tiene la capacidad de generar reportes y estadísticas de manera diaria, semanal y mensual de forma automática. Puede monitorizar circuitos que vayan desde los monofásicos hasta circuitos trifásicos, soportando tensiones hasta los 960 VAC entre fases y 600 VAC entre fase y tierra, teniendo en cuenta frecuencias de 16.7 Hz, 50 Hz y 60 Hz. En la Figura 2 se puede observar el aspecto físico y el montaje de éste listo para la realización de pruebas¹⁵.

¹⁵ AVENUE A. and CA A., "PQube 3 Manual de instrucciones," Power Sens. Ltd., 2015

Figura 2. Analizador de redes PQube 3.



2.1.3 Luminaria ON-OFF Este tipo de luminaria se encuentra en los pisos 1, 2 y 3 del Edificio de Ingeniería Eléctrica y se caracteriza por tener dos modos de operación, encendido y apagado. Dentro de ella se encuentran 4 tubos fluorescentes T5 y dos balastos electrónicos de referencia ICN-2S28-N, los cuales controlan cada uno un par de tubos fluorescentes, teniendo en cuenta que la luminaria estaría consumiendo una potencia de 68 W a 120 V de tensión con un FP de 0.98. Se puede observar en la Figura 3 la luminaria On-Off con su respectivo montaje de balastos¹⁶.

¹⁶ PHILIPS, "Catálogo General Balastos."

Figura 3. Luminaria On-Off y montaje de balastos.



2.1.4 Luminaria dimerizable Este tipo de luminaria se encuentra en los pisos 4 y 5 del Edificio de Ingeniería Eléctrica y se caracteriza por tener distintos modos de operación, dependiendo estos de la iluminación natural del recinto donde estas se encuentren; para el trabajo desarrollado se tomaron en cuenta tres modos de operación, los cuales fueron simulados mediante una fuente de tensión DC, mínimo (0 V), intermedio (5 V) y máximo (10 V), siendo este último el máximo valor permitido por el sistema de control. Dentro de ella se encuentran 4 tubos fluorescentes T8 y dos balastos electrónicos de referencia IZT-2S32-SC, los cuales controlan cada uno un par de tubos fluorescentes. Teniendo en cuenta lo anterior, la luminaria estaría consumiendo una potencia máxima de 74,4 W a 120 V de tensión con un FP de 0.99. Se puede observar en la Figura 4 la luminaria dimerizable con sus respectivos balastos¹⁷.

¹⁷ PHILIPS ADVANCE, "Electrical specifications, IZT-2S32-SC@120'," vol. 32, no. 0, pp. 4–5, 2009.

Figura 4. Luminaria dimerizable y balastro respectivo.



2.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La experimentación desarrollada en este trabajo de grado se realizó teniendo en cuenta el diagrama de la Figura 5.

Figura 5. Diagrama de metodología de la experimentación.



En la primera etapa, *SEÑALES*, se establecieron las señales de tensión a programar en la fuente Chroma, teniendo en cuenta los escenarios de prueba que se describen en el Numeral 2.3; en la segunda etapa, *FUENTE CHROMA*, se programaron las señales establecidas, una por una, en la fuente Chroma y se energizó, teniendo en cuenta que la carga, en este caso la *LUMINARIA*, estaba conectada debidamente al banco de laboratorio; la cuarta etapa de este proceso fue la medición de datos mediante el *ANALIZADOR PQUBE 3*, el cual se programó para medir 128 muestras por ciclo, con una frecuencia de red de 60 Hz; La quinta etapa, *ALMACENAR DATOS*, ocurrió cada vez que se finalizaba una sesión de medición de muestras,

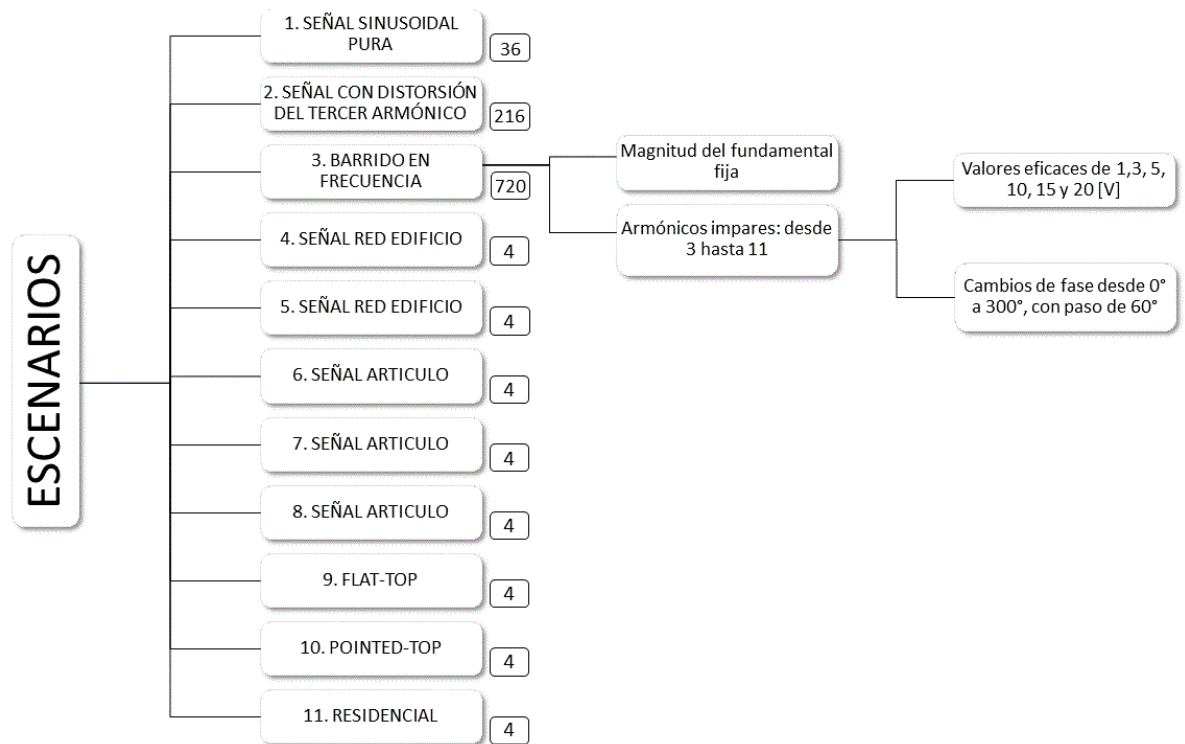
las cuales fueron guardadas en una memoria USB en una carpeta predeterminada por el mismo analizador; la sexta etapa, *PC*, sucedió una vez obtenidas todas las muestras. En esta

etapa las muestras, guardadas en archivos *.CVS* en la memoria USB, fueron organizadas en carpetas como se describe en el Numeral 2.5; por último, la séptima etapa consistió en el *TRATAMIENTO DE DATOS*, el cual arrojó resultados que dieron información para realizar un análisis concluyente respecto a los objetivos planteados.

2.3 DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS DE PRUEBA

En los escenarios de prueba planteados en el desarrollo de la experimentación, se tuvieron en cuenta tres cambios importantes en la señal de tensión de alimentación. Primero, se realizaron cambios en la magnitud de la componente fundamental de una señal de tensión tipo sinusoidal; segundo, se agregaron componentes armónicas específicas en la señal de alimentación y, se realizaron cambios en la magnitud de dichas componentes; por último, se efectuaron variaciones en el ángulo de fase de las componentes armónicas respecto al ángulo de fase de la componente fundamental de la señal de alimentación. La Figura 6 describe los escenarios planteados.

Figura 6. Esquema de los escenarios de prueba para la experimentación.



En total, se consideraron 11 escenarios en la experimentación, de los cuales 8 se destacan debido a que en las señales de tensión utilizadas en estos hay presencia de armónicos impares cuyo índice de distorsión individual de tensión no supera el límite recomendado por el estándar IEEE 519 del 2014, el cual establece que para armónicos de tensión cuya frecuencia es múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la red, el índice de distorsión individual (IHD) no supere el 5.0%, cuando el valor de tensión en el punto de acople común es menor de 1 kV¹⁸.

En el primer escenario, se seleccionó una señal sinusoidal pura cuyo valor eficaz varío entre 100 V y 130 V, tomando un ángulo de fase de $\varphi_1 = 0^\circ$. En la Tabla 3 se observan los valores eficaces empleados.

¹⁸ COMMITTEE D., POWER I., and SOCIETY E., IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems IEEE Power and Energy Society. ANSI/IEEE Std. 519. New York. 2014. ISBN 978-0-7381-9005-1

Tabla 3. Característica forma de onda de la señal sinusoidal pura.

Sinusoidal pura		
N°	Vrms V	Fase °
1	100	0
2	104	0
3	108	0
4	112	0
5	116	0
6	120	0
7	124	0
8	128	0
9	130	0

Para el segundo escenario, se tuvo en cuenta una señal distorsionada conformada por la componente fundamental y el tercer armónico, teniendo en cuenta que la componente fundamental tomo los valores observados en la Tabla 3 y, el valor eficaz del armónico tomó valores de 1 V, 3 V, 5 V, 10 V, 15 V y 20 V con un desfase respecto a la componente fundamental de $\varphi_3 = 0^\circ$.

Para el tercer escenario de prueba, se consideró un barrido en frecuencia en el cual se observa el comportamiento de la carga cuando se somete a una señal de alimentación conformada por la componente fundamental y un armónico impar específico (3°, 5°, 7°, 9°, 11°). En este caso, la magnitud y fase de la componente fundamental se mantuvieron fijos, en el valor eficaz de 120 V y el valor de ángulo de fase de $\varphi_1 = 0^\circ$, mientras que la magnitud y la fase del armónico impar específico variaron en 1 V, 3 V, 5 V, 10 V, 15 V y 20 V de valor eficaz en magnitud y, de 0° hasta 300°, con un paso de 60°, en el caso del ángulo de fase con respecto al ángulo de fase de la componente fundamental.

Para los escenarios cuarto y quinto, se eligieron las formas de onda de dos ciclos específicos de señales de tensión tomadas, en días diferentes, en el cuarto técnico del Piso 4 del Edificio de Ingeniería Eléctrica por un analizador de red PQube 3.

Para la elección de estos ciclos, primero se despreciaron aquellos en los cuales el índice de distorsión individual (IHDv) de los armónicos pares fuese mayor a 0.1%; luego, para los ciclos restantes se les aplico los límites presentados en la Tabla 1 del estándar IEEE 519-2014, eligiendo mediante un error absoluto el ciclo que tuviera menor error respecto al índice de distorsión total (THDv)¹⁹.

Para los escenarios seis, siete y ocho, se eligieron tres señales utilizadas por autores de artículos de investigación relacionados con el tema. En dos de los casos específicos, se vio la necesidad de escalar las señales de tal modo que el valor eficaz de las mismas fuera cercano al valor eficaz obtenido en las dos señales elegidas del Edificio de Ingeniería Eléctrica^{20 21}

Por último, los escenarios 9, 10 y 11 son señales utilizadas y estudiadas en trabajos de posgrado del grupo de investigación GISEL. Los escenarios 9 y 10 son las señales Flat-top y Pointed-top, las cuales han sido utilizadas en diversos trabajos de investigación debido a que estas señales son características de la red de baja tensión residencial e industrial; para la red residencial es el caso de la Flat-top, una señal de forma de onda achatada o plana, distintiva de este sector debido al uso masivo de rectificadores monofásicos; y para la red industrial es el caso de la Pointed-top, una señal de forma de onda puntiaguda o en punta, debido al uso masivo de rectificadores de seis pulsos en este sector²². Por otro lado, el escenario 11 es una señal residencial obtenida mediante toma de mediciones en el hogar de uno de los autores de un trabajo de grado del grupo de investigación, con el fin de

¹⁹ *Ibíd.*.

²⁰ YONG, Jing; CHEN, Liang; Nassif, Alexandre y XU, Wilsun. A frequency-domain harmonic model for compact fluorescent lamps. En: IEEE Trans. Power Deliv., vol. 25, no. 2, pp. 1182–1189, 2010.

²¹ BLANCO, Ana Maria; YANCHENKO, Sergey; MEYER, Jan y SCHEGNER, Peter. Impact of supply voltage distortion on the current harmonic emission of non-linear loads. En: Dyna, vol. 82, no. 192, pp. 150–159, 2015

²² BLANCO, Ana Maria; STIEGLER, Robert y MEYER, Jan. Op. Cit.

estudiar variaciones de potencia en cargas residenciales ante variaciones de la señal de tensión²³.

Las características de las formas de onda de las señales descritas en los escenarios se pueden observar en el Anexo A.

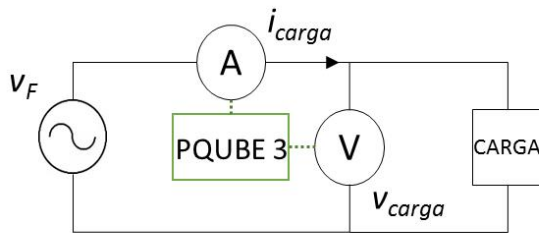
2.4 METODOLOGÍA DEL MONTAJE EXPERIMENTAL

El procedimiento del experimento requirió el registro de las muestras de la forma de onda de la señal eléctrica de corriente; para ello, fue necesario el uso de equipos especializados como lo son: la fuente programable Chroma AC 61701, la encargada de generar señales de tensión con diversas amplitudes y frecuencias; el analizador de red PQube3 para muestrear la señal de corriente eléctrica producida por la carga en respuesta a la señal de alimentación; por último, un computador para el manejo remoto de la fuente.

Los equipos fueron conectados como se observa en la Figura 7.

²³ MONSALVE, Fainer; GARCÍA, Jesús y BARBOSA, Juan Pablo. Caracterización de la potencia consumida por cargas residenciales basadas en fuentes conmutadas ante variaciones en la amplitud y distorsión de la señal de tensión de alimentación. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Ingeniería Eléctrica. 2017

Figura 7. Esquema circuital de conexión de equipos para el desarrollo experimental.



Para el funcionamiento correcto de estos equipos se deben seguir los siguientes pasos de instalación:

1. La fuente Chroma se conecta al tomacorriente de alimentación y al banco del laboratorio.
2. El banco del laboratorio se conecta al tomacorriente de alimentación regulada.
3. El analizador PQube 3 se conecta al tomacorriente de red regulada del banco de laboratorio.
4. El cable Ethernet se conecta desde el PQube 3 hasta el computador del banco de laboratorio.
5. El cable para interfaz RS-232C se conecta desde fuente Chroma hasta el computador del banco del laboratorio.
6. La carga lumínica se conecta en el tomacorriente de prueba del banco del laboratorio.
7. El CT del analizador PQube 3 se conecta, en el sentido correcto, a la carga lumínica.
8. Las fases de tensión del analizador PQube 3 a utilizar se conectan a las borneras del banco del laboratorio.
9. Se enciende el computador y se conecta la llave única para el funcionamiento remoto de la fuente Chroma.

10. Se cierran los breakers de las protecciones de la fuente Chroma y se enciende ésta.
11. Los breakers del banco del laboratorio se cierran para la energización de la fuente Chroma.
12. Los breaker del analizador PQube 3 se cierran para permitir el sensado de tensión y corriente.
13. Se ejecutan los programas de la fuente Chroma y del analizador PQube 3 presentes en el computador.
14. Se programa la señal de tensión correspondiente a la prueba en el programa de la fuente Chroma.
15. La fuente Chroma se energiza directamente desde el programa remoto de ésta.
16. Se le indica la opción de generar instantánea en la ventana de comandos del programa del analizador PQube 3.
17. Una vez aparecido el evento en la ventana eventos del programa del analizador PQube 3, se repiten los pasos desde el número 14 para una nueva toma de medida.
18. Una vez terminada la sesión se realiza el guardado de las muestras en una memoria USB conectada directamente al analizador PQube 3.

La metodología experimental descrita anteriormente se encuentra explicada de forma detallada en el Anexo B.

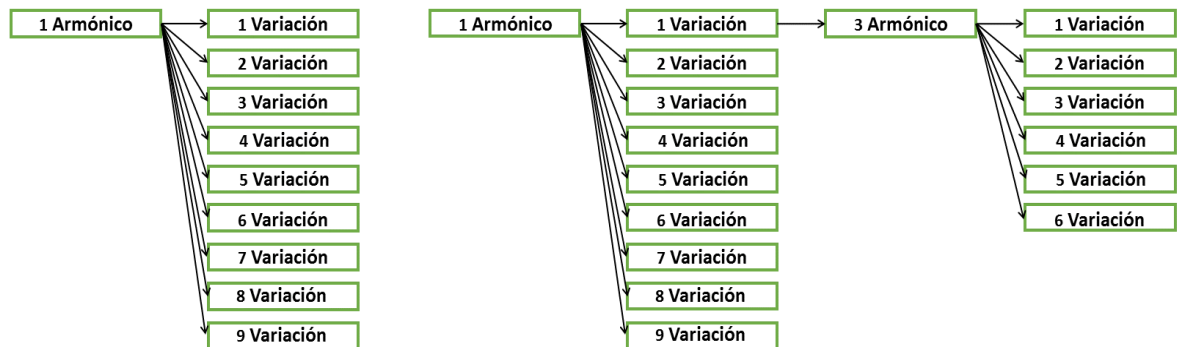
2.5 ALMACENAMIENTO Y ORGANIZACIÓN DE DATOS

Antes de realizar el tratamiento de datos en el programa de MATLAB, se debe tener en cuenta una organización específica de las muestras dependiendo del modelo que se requiera analizar y previamente haber guardado los archivos .CSV como archivos .XLSX.

2.5.1 Modelos ZIP y Exponencial Para el desarrollo de la experimentación y del tratamiento de datos, las muestras se organizaron teniendo en cuenta los escenarios 1 y 2 descritos en el Numeral 2.3; En el escenario uno, se realizaron tomas de muestras de señales con solo componente fundamental, variando la amplitud de la misma; y en el escenario dos, se realizaron tomas de muestras de señales variando la amplitud de la tensión fundamental y de la tensión en la componente del tercer armónico. Cabe resaltar que el ángulo de fase de la componente fundamental y del tercer armónico permaneció en 0° . La organización de los archivos se puede observar en la Figura 8.

La componente de tercer armónico se eligió debido a que el índice de distorsión individual de tensión (IHDv) respecto a las otras componentes armónicas, en las redes de BT y las tensiones en cargas monofásicas, es mayor, obteniendo así la forma de onda típica residencial Flat-top²⁴.

Figura 8. Organización en carpetas de las muestras para modelos ZIP y Exponencial.

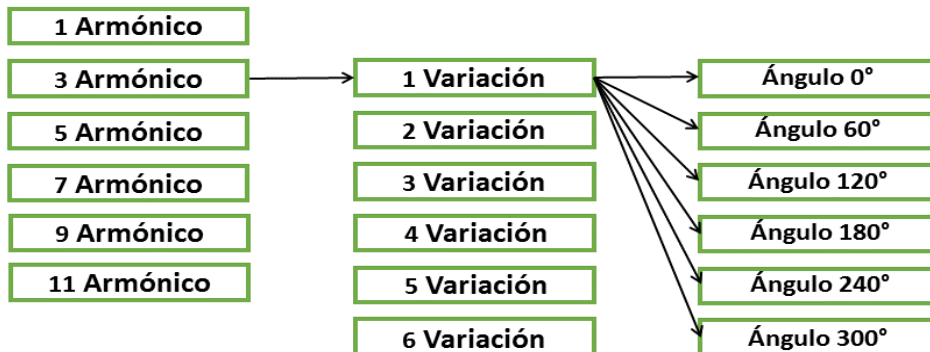


2.5.2 Modelo Norton Para realizar el desarrollo del modelo NORTON se necesitó organizar las muestras teniendo en cuenta que se mantuvo la magnitud y el ángulo de la componente fundamental en valores constantes ($V_0 = 120\angle 0^\circ$) y se realizaron

²⁴ BLANCO, Ana Maria; STIEGLER, Robert y MEYER, Jan. Op. Cit.

variaciones del orden armónico, de la magnitud de la tensión armónica y de la fase del armónico respecto al ángulo de fase de la componente fundamental. Se observa en la Figura 9 la organización de las muestras para el desarrollo del modelo.

Figura 9. Organización en carpetas de las muestras para el modelo Norton.



Terminada esta organización de las muestras para cada una de las luminarias, se prosiguió a importar los datos para ser guardados en archivos *.mat*, lo cual fue una herramienta que facilitó el tratamiento de los mismos en el programa desarrollado en MATLAB.

3. CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LOS MODELOS DE CARGA EN MATLAB

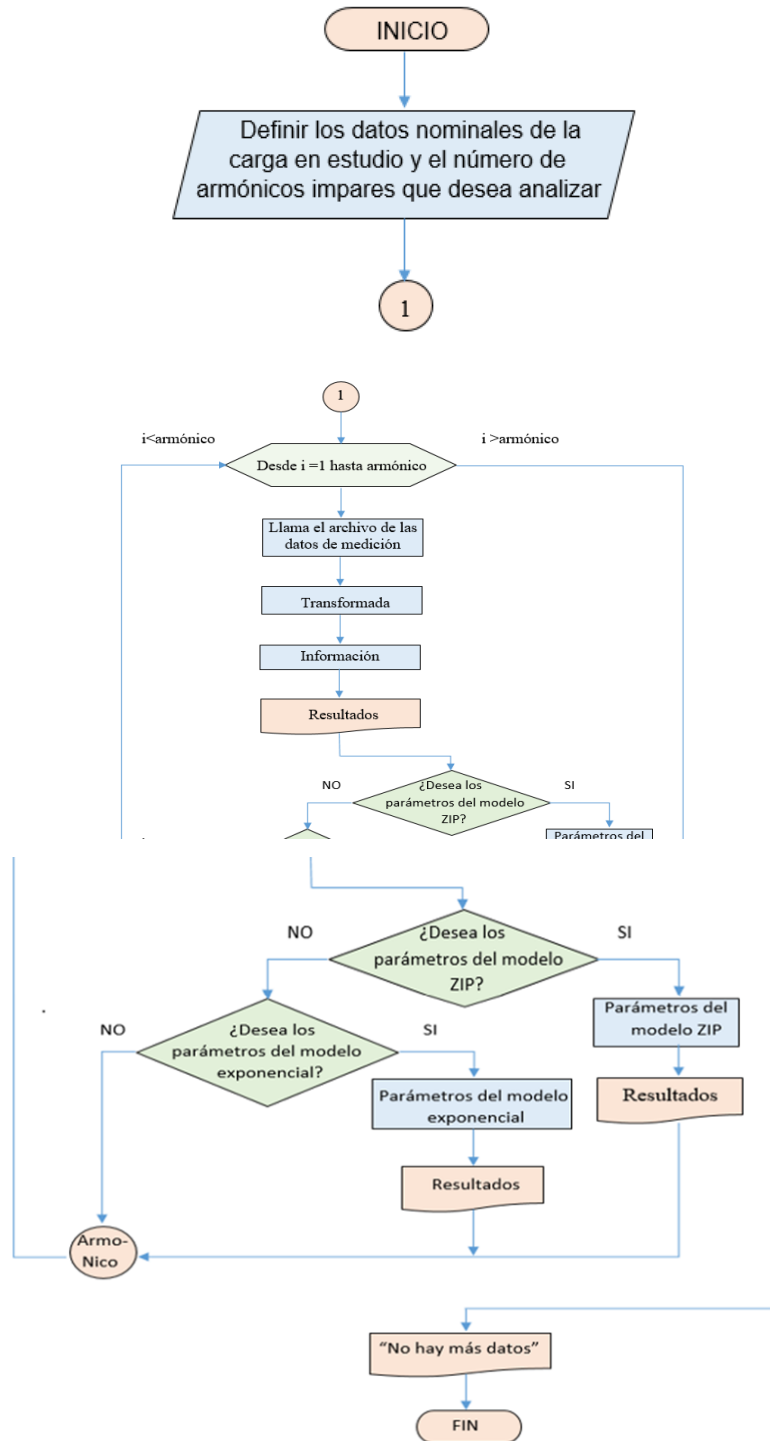
Para el cálculo de parámetros de los modelos de carga seleccionados y las potencias consumidas, se realizaron los programas llamados MODELOS, ZIP, EXPONENCIAL y NORTON en el software MATLAB, utilizando las metodologías descritas en el Capítulo 1. A continuación, se presenta la descripción de los programas desarrollados, dando cumplimiento al segundo objetivo específico del trabajo de investigación. Los códigos y el procedimiento para ejecutar los programas se encuentran en el Anexo C.

3.1 PROGRAMA MODELOS

Este programa permite calcular la información de las señales estudiadas, la cual corresponde a: Tensiones RMS, potencias activas, potencias aparentes, potencias reactivas de Fryze, potencias reactivas y de distorsión de Budeanu. Además, da las opciones de calcular los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial.

El diagrama de flujo mostrado en la Figura 10, describe el procedimiento que desarrolla este programa.

Figura 10. Diagrama de flujo del programa MODELOS.



La Figura 11 muestra el inicio del programa MODELOS, donde se pide al usuario ingresar los datos necesarios de la carga en estudio, como ejemplo se utilizaron los datos de la luminaria On-Off mencionados en el Capítulo 2. La Figura 12 presenta resultados de información de las señales estudiadas.

Figura 11. Inicio e ingreso de datos del programa MODELOS.

```

Command Window

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE POTENCIAS CONSUMIDAS POR LA CARGA Y PARÁMETROS DE LOS MODELOS
DE CARGA ZIP Y EXPONENCIAL

Autoras: Luisa Fernanda Carrillo, Alejandra Martínez      Director: German Alfonso Osma Pinto
Codirectores: Gabriel Alexis Malagón Carvajal, Julián Oswaldo Flórez Reyes

Título del trabajo de grado:
Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de cargas luminicas del Edificio
de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación

Este programa realiza el cálculo de: Tensiones RMS, potencias activas, potencias aparentes, potencias reactivas
potencias reactivas y de distorsión de Budeanude de la carga y los parámetros de los modelos ZIP y EXPONENCIAL.

Potencia nominal de la carga (W):67.2
Factor de potencia de la carga:0.99
Tensión nominal de la carga (V):120
Número de muestras por ciclo:128
Frecuencia fundamental (Hz):60
fx Número de armónicos (impares) a analizar:2
  
```

Figura 12. Resultados de información de las señales estudiadas.

```

Command Window

armonico número 1
INFORMACIÓN DE LAS SEÑALES
  
```

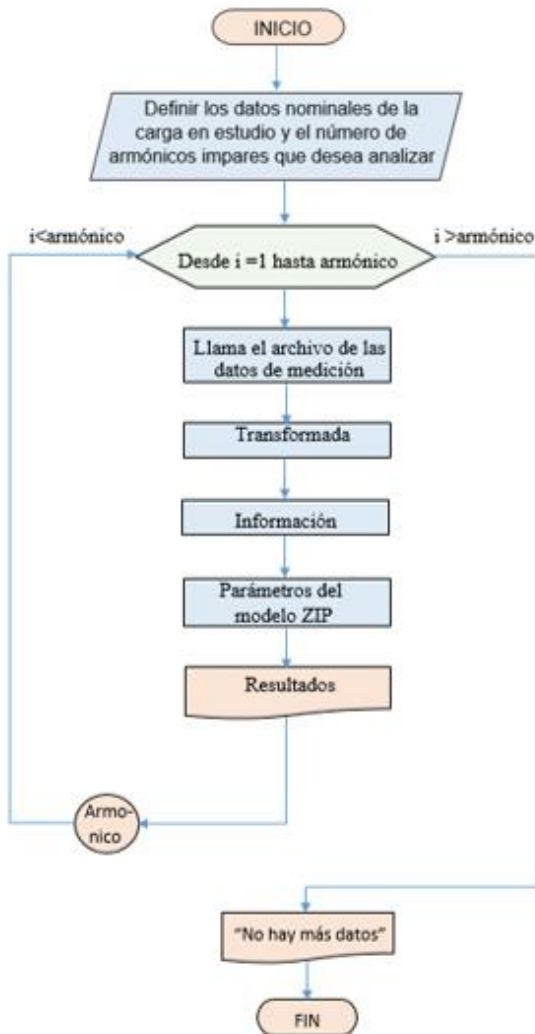
N°V	Vrms	PT	S	QF	QB	DB
1.0000	100.0113	68.6069	68.8153	-5.3521	-2.7604	4.5853
2.0000	104.0278	68.9426	69.1578	-5.4517	-3.0134	4.5432
3.0000	108.0430	68.7669	68.9887	-5.5280	-3.2554	4.4679
4.0000	112.0609	68.5420	68.7729	-5.6311	-3.5019	4.4098
5.0000	116.0746	68.4342	68.6740	-5.7337	-3.7433	4.3431
6.0000	119.9981	68.2252	68.4756	-5.8508	-3.9999	4.2700
7.0000	124.1107	68.0156	68.2803	-6.0061	-4.2901	4.2033
8.0000	128.0240	67.9591	68.2368	-6.1499	-4.5466	4.1413
9.0000	130.1353	68.0036	68.2912	-6.2616	-4.6877	4.1513

En los numerales 3.2 y 3.3 se explica los resultados de los modelos ZIP y Exponencial.

3.2 PROGRAMA ZIP

Este programa calcula los parámetros Z (impedancia constante), I (corriente constante) y P (potencia constante) del modelo ZIP. El diagrama de flujo mostrado en la Figura 13, describe el procedimiento que desarrolla este programa.

Figura 13. Diagrama de flujo del programa ZIP.



Los resultados de los parámetros del modelo ZIP y las gráficas de potencia activa y reactiva, se presenta en las figuras 14 y 15, siguiendo con el ejemplo de los datos de la luminaria On-Off.

Figura 14. Parámetros del modelo ZIP.

```
Command Window
Armonico número 1

PARÁMETROS DEL MODELOS ZIP POTENCIA ACTIVA

P1=Po(Pp + Ip(v1/v0) + Zp(v1/v0)^2)

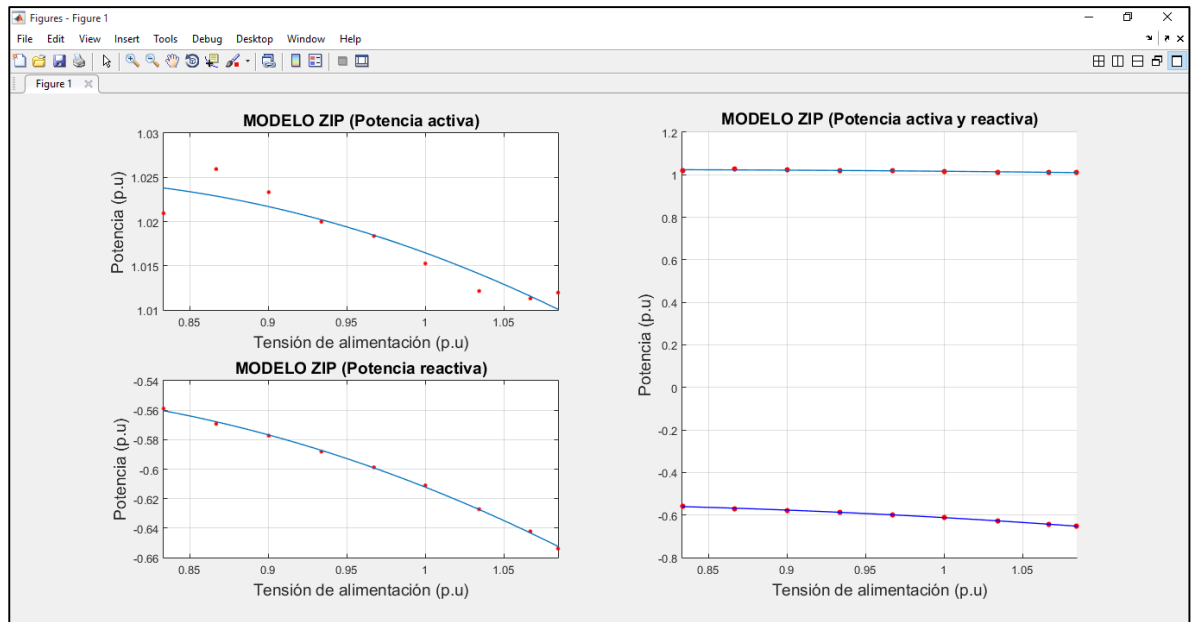
      Pp      Ip      Zp
0.9558  0.1863  -0.1256

PARÁMETROS DEL MODELOS ZIP POTENCIA NO ACTIVA

Q1=Qo(Pq + Iq(v1/v0) + Zq(v1/v0)^2)

      Pq      Iq      Zq
-0.8484  0.8932  -0.6570
```

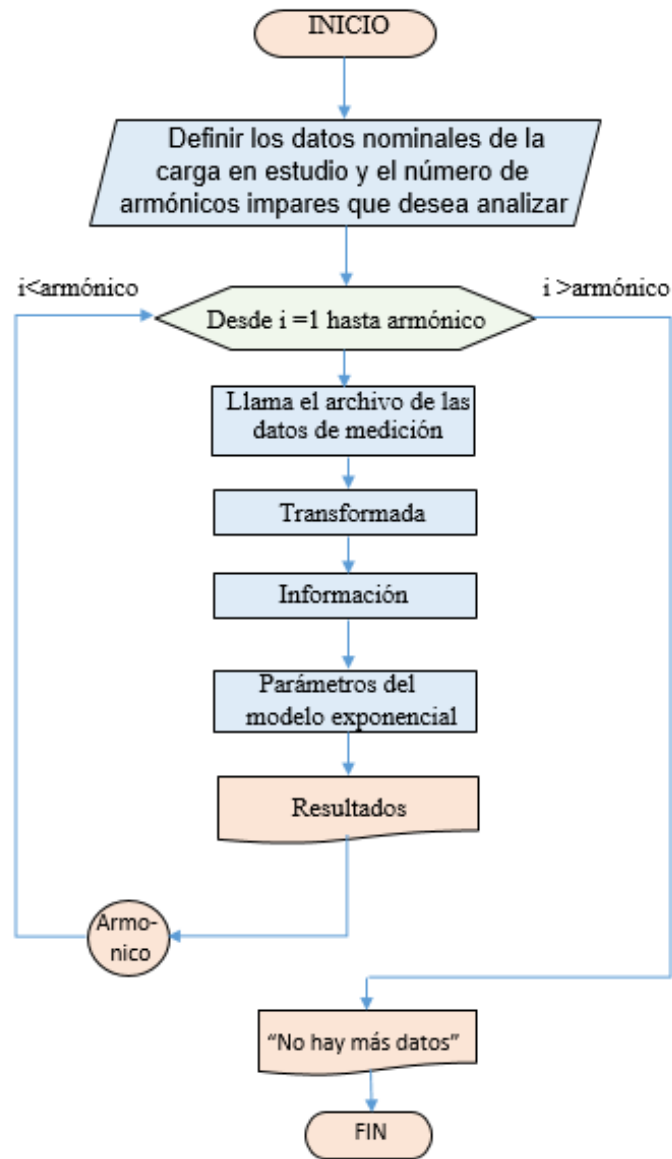
Figura 15. Graficas de potencias contra tensión del modelo ZIP.



3.3 PROGRAMA EXPONENCIAL

Este programa calcula los parámetros α y β , del modelo exponencial que describen el comportamiento de la carga. El diagrama de flujo mostrado en la Figura 16 describe el procedimiento que desarrolla este programa.

Figura 16. Diagrama de flujo del programa exponencial.



Los resultados de los parámetros del modelo Exponencial y las gráficas de potencia activa y reactiva, se presenta en las figuras 17 y 18, siguiendo con el ejemplo de los datos de la luminaria On-Off.

Figura 17. Parámetros del modelo Exponencial.

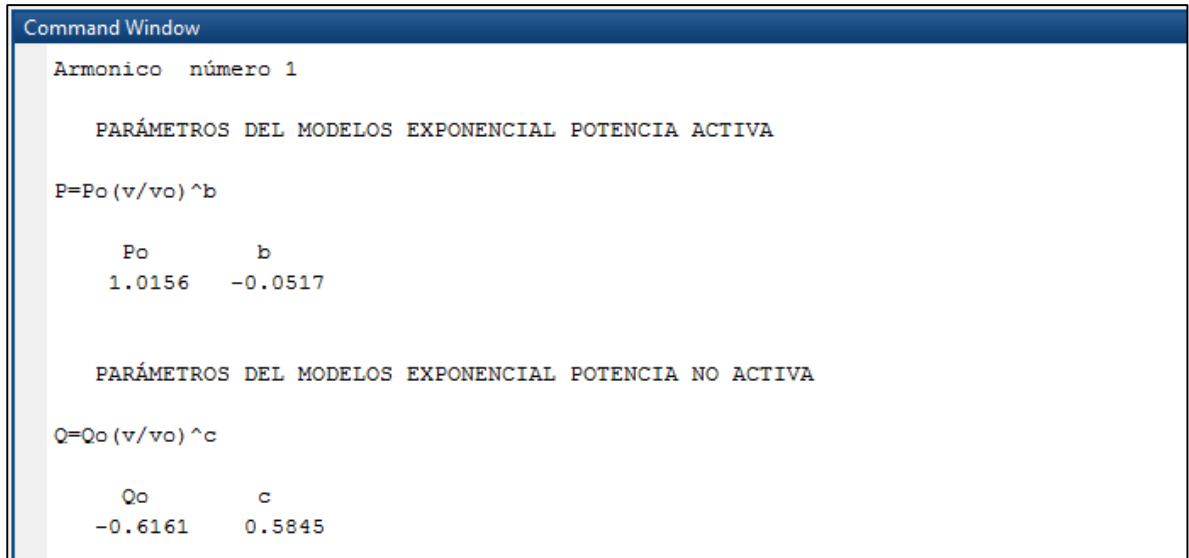
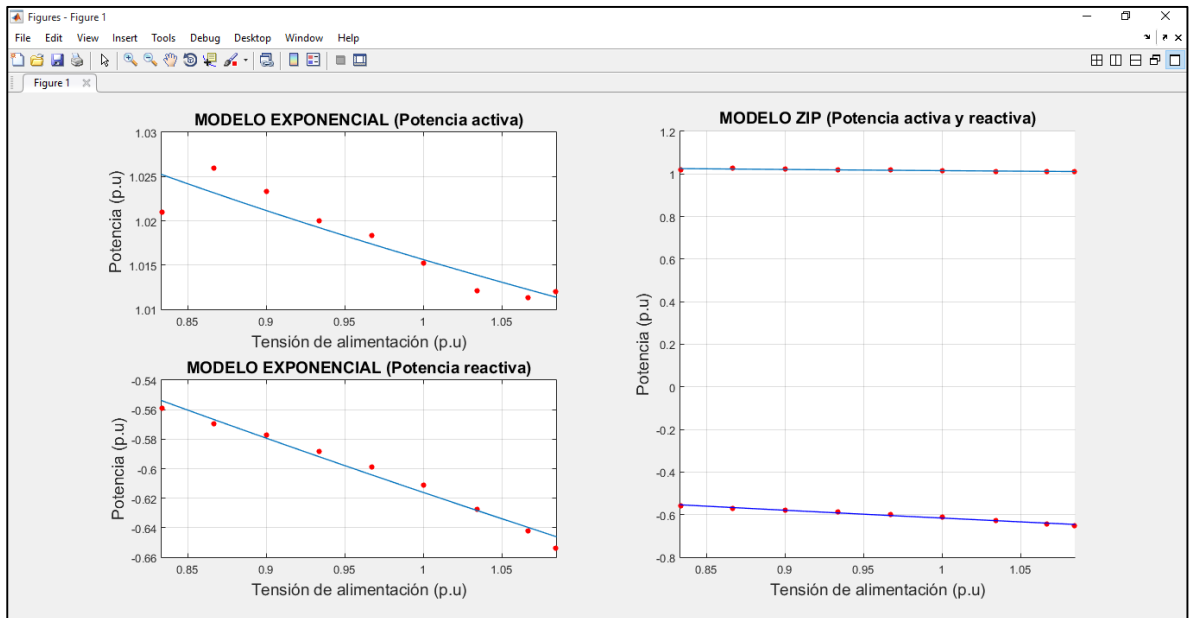


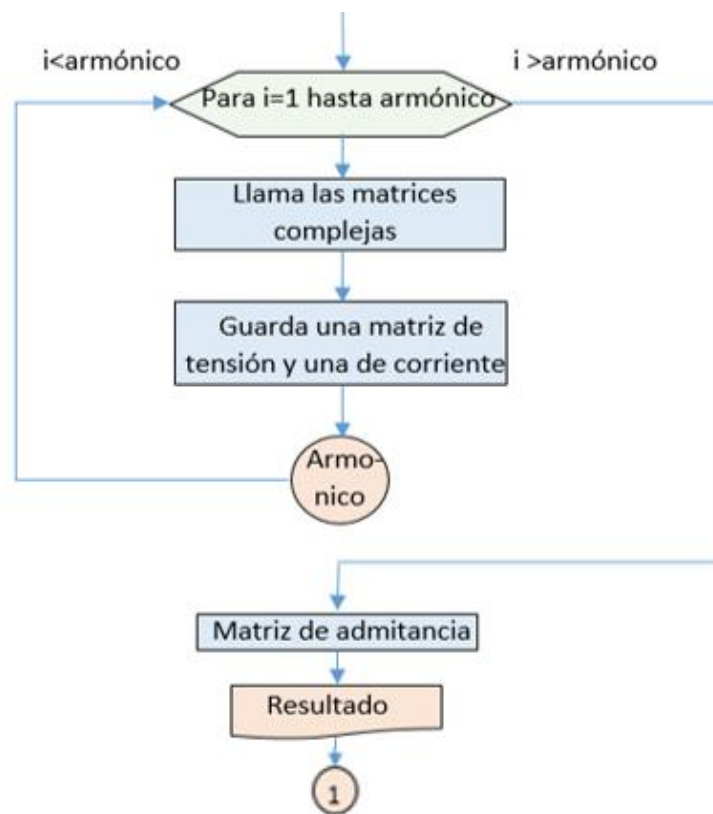
Figura 18. Graficas de potencias contra tensión del modelo Exponencial.

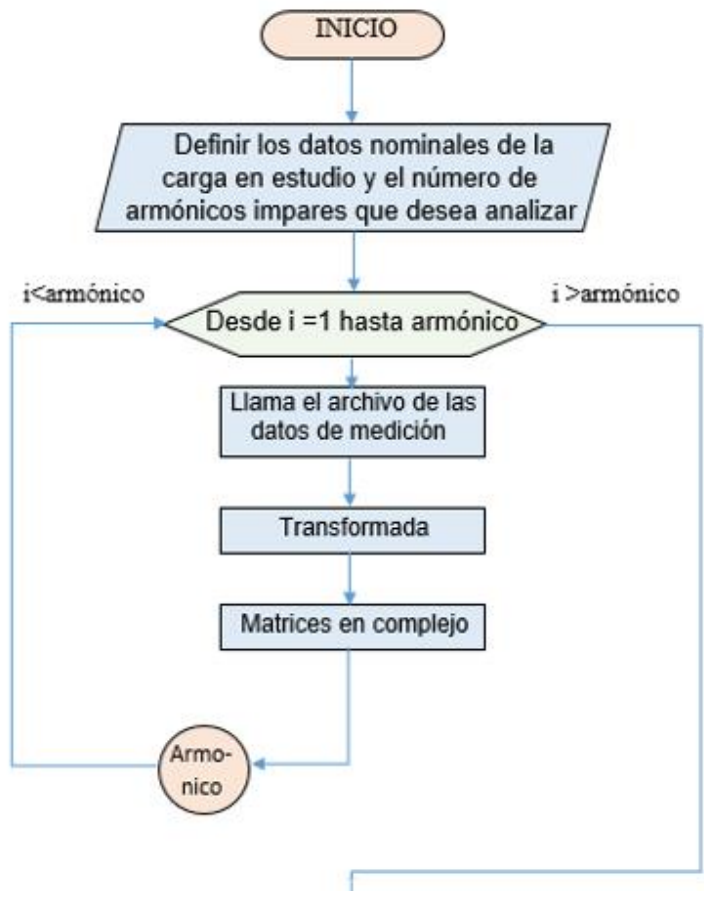


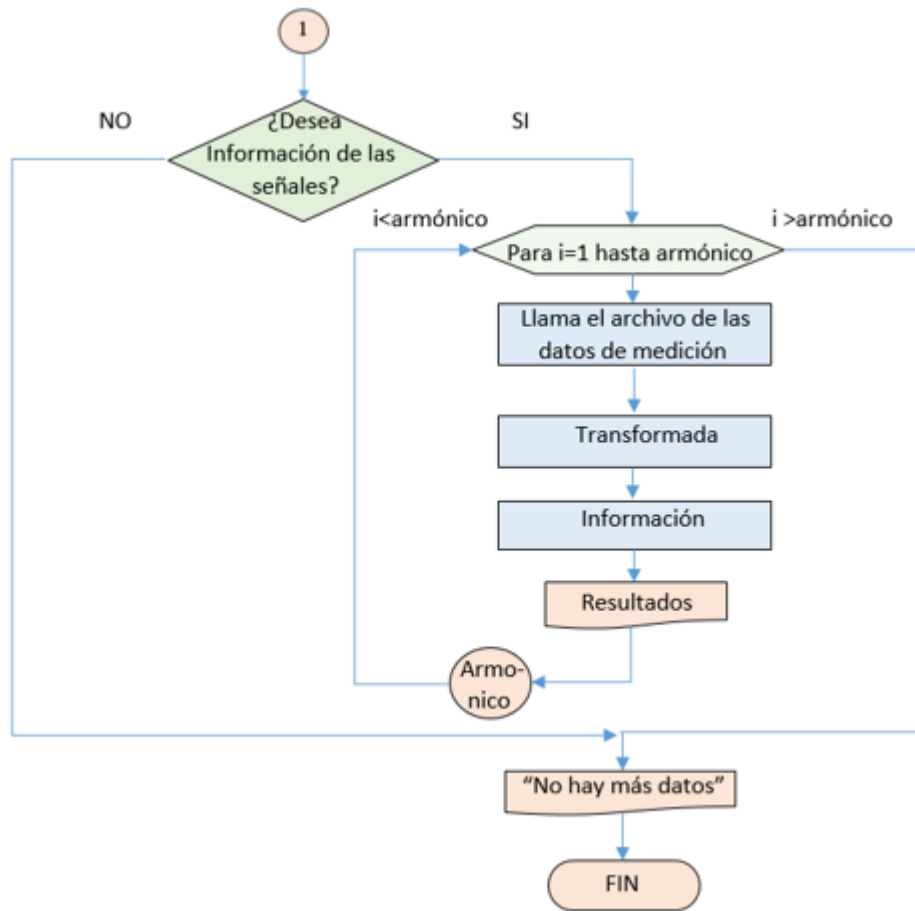
3.4 PROGRAMA NORTON

El programa NORTON calcula la matriz de admitancias, y da la opción de calcular información de las señales con las que se formaron la matriz, como: Tensiones RMS, potencias activas, potencias aparentes, potencias reactivas de Fryze, potencias reactivas y de distorsión de Budeanu. El diagrama de flujo mostrado en la Figura 19, describe el procedimiento que desarrolla este programa.

Figura 19. Diagrama de flujo del programa NORTON.







La matriz de admitancia se calcula como se indica en el Numeral 2.8 del marco teórico. El resultado de la matriz se muestra como se observa en la Figura 20. La información de las señales se presenta de la misma forma que en la Figura 12.

Figura 20. Matriz de admitancias.

```
Matriz de admitancias

Columns 1 through 6

 0.0000 - 0.0000i   0.0047 + 0.0003i  -0.0001 - 0.0001i  -0.0004 - 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i  -0.0003 - 0.0000i
 0.0000 - 0.0000i  -0.0001 - 0.0001i   0.0047 + 0.0006i   0.0000 - 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i  -0.0005 - 0.0000i
 0.0000 - 0.0000i  -0.0002 - 0.0000i   0.0000 - 0.0001i   0.0047 + 0.0008i   0.0001 - 0.0001i  -0.0004 - 0.0000i
 0.0001 - 0.0000i  -0.0001 + 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i   0.0000 - 0.0001i   0.0046 + 0.0011i   0.0000 - 0.0001i
 0.0001 - 0.0000i  -0.0001 - 0.0000i  -0.0005 + 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i   0.0001 - 0.0002i   0.0049 + 0.0014i
 0.0000 + 0.0000i  -0.0000 - 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i  -0.0005 + 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i   0.0000 - 0.0002i

Column 7

-0.0002 - 0.0000i
-0.0004 - 0.0000i
-0.0005 - 0.0000i
-0.0004 - 0.0000i
 0.0000 - 0.0001i
 0.0050 + 0.0016i
```

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Este capítulo, presenta el análisis de resultados de la programación desarrollada en MATLAB, que brinda información de los tres modelos matemáticos elegidos para la selección de los parámetros del modelo que describa el comportamiento de las cargas lumínicas del Edificio.

4.1 MODELOS ZIP Y EXPONENCIAL

Para la evaluación del ajuste realizado en los modelos estáticos ZIP y Exponencial, para cada una de las luminarias, se tomó en cuenta el coeficiente de determinación múltiple R^{225} , el cual es un indicador de la dispersión de los datos alrededor de la regresión realizada.

4.1.1 Luminaria On-Off Las figuras 21 y 22 presentan los ajustes gráficos y los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial para la luminaria On-Off, incluyendo el valor del coeficiente de determinación múltiple para cada uno de los escenarios de potencia activa y reactiva, teniendo en cuenta el tipo de señal de alimentación.

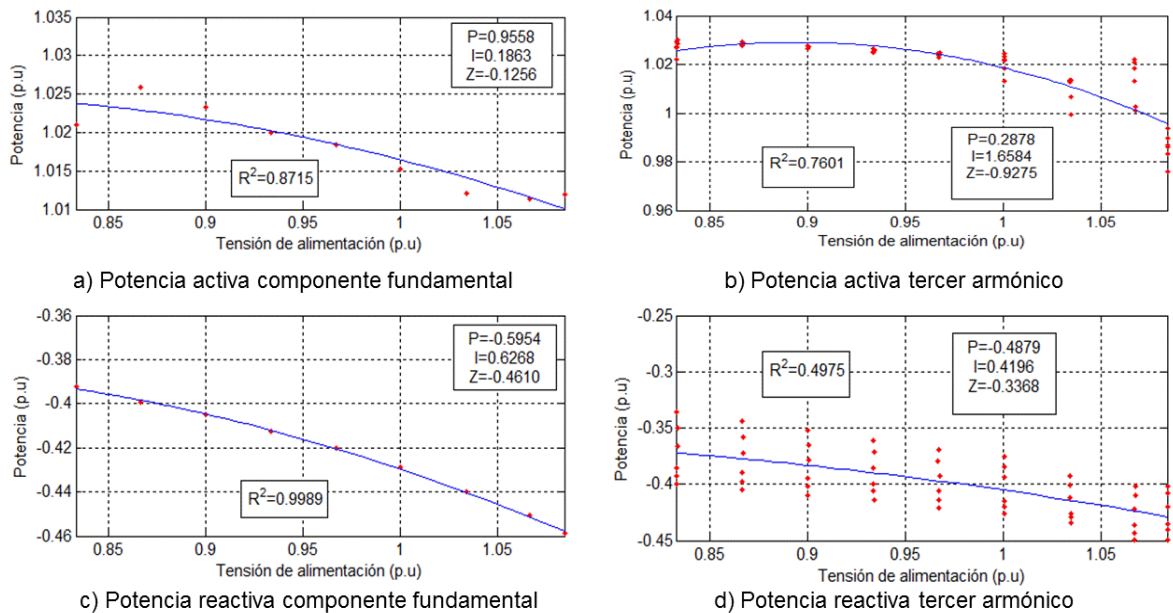
Se observa en la Figura 21, que al realizar el ajuste a los datos provistos para el modelo ZIP, se presenta diferencias entre los parámetros hallados cuando la luminaria es alimentada por una señal sinusoidal y una señal distorsionada, debido a que el planteamiento del modelo no tiene en cuenta los cambios de frecuencia en la señal de alimentación.

²⁵ El coeficiente de determinación R^2 refleja cuan buena ha sido la estimación de los parámetros del modelo hallados estadísticamente, teniendo en cuenta que entre más cerca el valor este de 1, el modelo es confiable, por el contrario, si el valor se acerca a 0, se considera que el modelo es poco fiable [20].

Además, cuando la luminaria es alimentada con una señal distorsionada, se observa que la capacidad del modelo de predecir el comportamiento de la luminaria disminuye en comparación con el modelo a frecuencia fundamental, reflejando esta conducta, en los coeficientes de determinación múltiple de potencia activa y potencia reactiva.

Cabe resaltar que, debido a la naturaleza de la luminaria, se hizo notable la dispersión de los datos en potencia reactiva, cuando fue alimentada con una señal distorsionada, tomando un valor de R^2 de 0.4975 o un 49.75%, lo que indica que el modelo se ajusta poco a la variación de datos y al comportamiento de la luminaria.

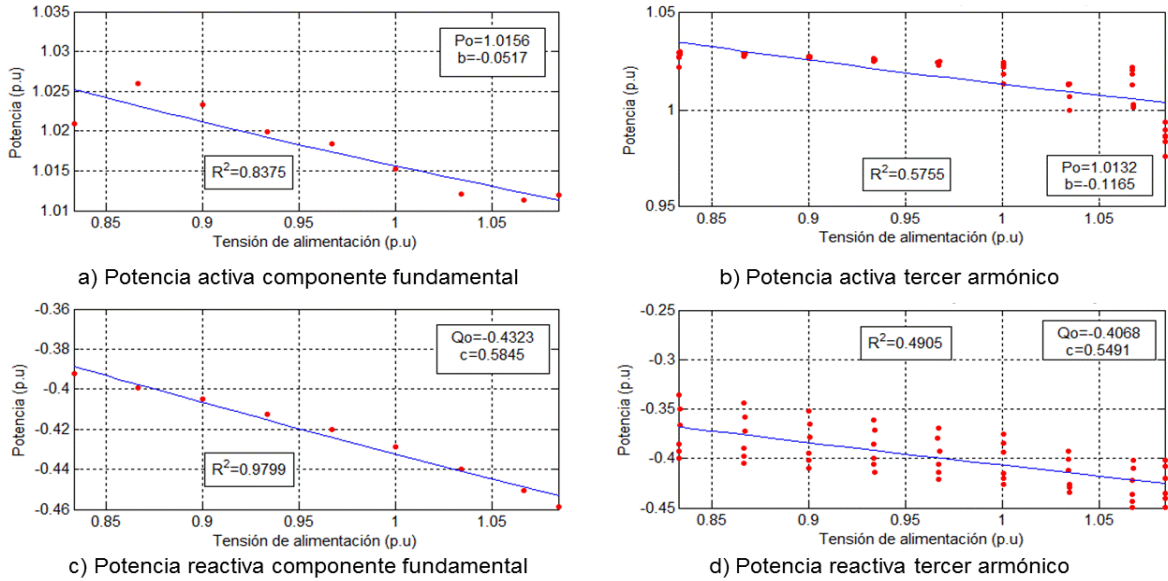
Figura 21. Ajuste de modelo ZIP para luminaria On-Off.



En la Figura 22, se observa que los valores de los parámetros obtenidos del ajuste del modelo no cambian de forma contundente, cuando la luminaria es alimentada por una señal con distorsión armónica. Sin embargo, se debe tener en cuenta el cambio que sufrió el valor del coeficiente R^2 con el cambio en la señal de alimentación, ya que este indica que el ajuste del modelo a los datos de la

experimentación no es del todo confiable y no explica las variaciones de los datos en función de las variables establecidas.

Figura 22. Ajuste de modelo Exponencial para luminaria On-Off.



En la Tabla 4, se muestra un resumen de los parámetros de los modelos y de los coeficientes de determinación múltiple para cada uno de los ajustes realizados en potencia activa y reactiva, dependiendo de la señal de alimentación.

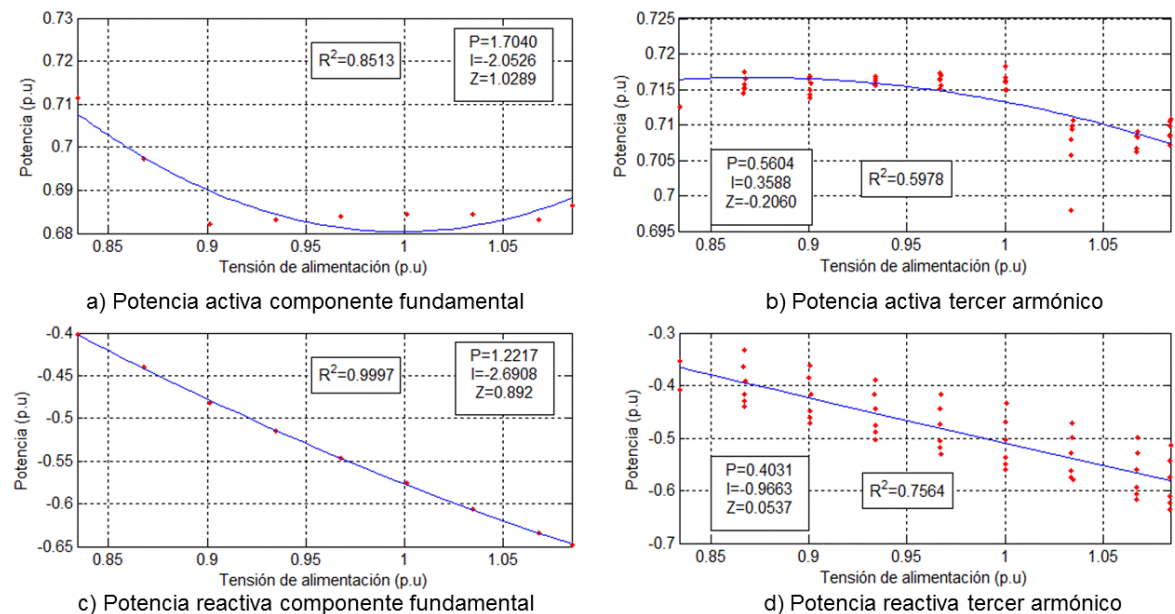
Tabla 4. Parámetros del ajuste de modelos ZIP y Exponencial de luminaria On-Off.

		PARAMETROS	ZIP	PARAMETROS	EXPONENCIAL
Componente fundamental	Potencia activa P	P	0.9558	P_o	1,0156
		I	0.1863	b	-0.0517
	Z	-0.1256	R^2	0.8375	
	R^2	0.8715			
Potencia reactiva Q	P	-0.5954	Q_o	-0.4323	
	I	0.6268	c	0.5845	
	Z	-0.4610	R^2	0.9799	
	R^2	0.9989			
Componente de tercer armónico	Potencia activa P	P	0.2878	P_o	1.0132
		I	1.6584	b	-0.1165
	Z	-0.9275	R^2	0.5755	

	PARAMETROS	ZIP	PARAMETROS	EXPONENCIAL
	R^2	0.7601		
Potencia reactiva Q	P	-0.4879	Qo	-0.4068
	I	0.4196	c	0.5491
	Z	-0.3368	R^2	0.4905
	R^2	0.4975		

4.1.2 Luminaria dimerizable Las figuras 23 y 24 presentan los ajustes gráficos y los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial para el estado de operación intermedio de la luminaria dimerizable. En estas se incluye el valor del coeficiente de determinación múltiple para cada uno de los escenarios de potencia activa y reactiva, teniendo en cuenta el tipo de señal de alimentación. El análisis de resultados de los modelos para los estados de operación mínimo y máximo se encuentra en el Anexo D.

Figura 23. Ajuste de modelo ZIP para luminaria dimerizable operación intermedia.

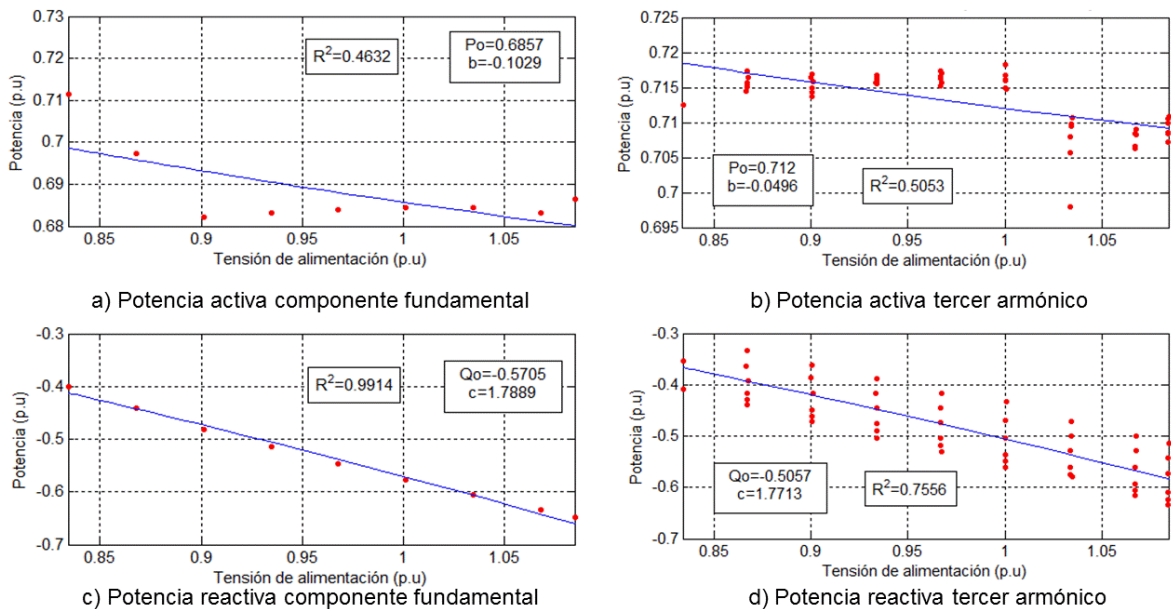


Se observa en la Figura 23, que el valor del coeficiente R² del ajuste del modelo en potencia activa disminuye debido a la naturaleza de la luminaria en el estado

intermedio de operación. Lo anterior, indica que los datos se encuentran variando en un 59.78% de la regresión realizada cuando la luminaria se alimenta con una señal de tensión distorsionada, lo cual sugiere, que el ajuste del modelo es poco confiable.

En la Figura 24, se observa que la variación total de los datos, respecto al ajuste del modelo, se ve afectada en los dos escenarios de potencia activa para cada una de los tipos de señal de alimentación reflejándose en el valor del coeficiente R^2 , 46.32% de variación para los datos de una señal de tipo sinusoidal y 50.63% de variación en los datos del ajuste para una señal con distorsión armónica.

Figura 24. Ajuste de modelo Exponencial para luminaria dimerizable operación intermedia.



En la Tabla 5, se muestra un resumen de los parámetros de los modelos y de los coeficientes de determinación múltiple para cada uno de los ajustes realizados en potencia activa y reactiva, dependiendo de la señal de alimentación.

Tabla 5. Parámetros del ajuste de modelos ZIP y Exponencial de luminaria dimerizable operación intermedia.

		PARAMETROS	ZIP	PARAMETROS	EXPONENCIAL
Componente fundamental	Potencia activa P	P	1.7040	Po	0.6857
		I	-2.0526	b	-0.1029
		Z	1.0289	R²	0.4632
		R²	0.8513		
	Potencia reactiva Q	P	0.5604	Qo	-0.5705
		I	0.3588	c	1.7889
		Z	-0.2060	R²	0.9914
		R²	0.5978		
Componente de tercer armónico	Potencia activa P	P	1.2217	Po	0.712
		I	-2.6908	b	-0.0496
		Z	0.8920	R²	0.5053
		R²	0.9997		
	Potencia reactiva Q	P	0.4031	Qo	-0.5057
		I	-0.9663	c	1.7713
		Z	0.0537	R²	0.7556
		R²	0.7564		

4.2 MODELO NORTON

La evaluación del modelo en el dominio de la frecuencia, se efectuó tomando en cuenta dos herramientas para darle validez, Training²⁶ y Validación²⁷. En la aprobación de la herramienta Training se utilizó el diagrama de caja o boxplot²⁸, el cual es una presentación visual de distintas características que describen un conjunto de datos; en cambio, para la herramienta Validación se utilizaron los diagramas de barras con el fin de realizar una comparación entre los datos de las muestras y los resultados del modelo.

²⁶ Es una técnica utilizada para evaluar los resultados del modelo a partir de los datos que fueron utilizados para la creación del mismo, comprobando la fiabilidad del mismo [21], [22].

²⁷ Es una técnica utilizada para evaluar los resultados del modelo a partir de datos aleatorios o datos de prueba, ajenos a los datos de entrenamiento [21], [22].

²⁸ Gráficos que suministran información sobre una distribución de datos mediante los valores mínimos y máximos, el valor de mediana y los cuartiles. Se componen de un rectángulo y dos brazos que representan los cuartiles. Estos proporcionan una visión generalizada de la distribución de datos y permite observar como es la dispersión de los puntos respecto a la mediana, los percentiles 25 y 75 y los valores máximos y mínimos[23].

4.2.1 Luminaria On-Off La Tabla 6 representa la composición de la matriz de admitancias con el vector columna de las corrientes de referencia, $[I_{ref} \ Y]$, la cual da solución a la formulación del modelo de la ecuación (8).

Tabla 6. Matriz solución $[I_{ref} \ Y]$ al modelo Norton de luminaria On-Off.

2,0358e-05 - 7,4843i	0,0047 + 0,0003i	-0,0001 - 8,0441e-05i	-0,0003 - 3,6456e-05i	-0,0003 - 1,8748e-05i	-0,0003 - 1,6593e-06i	-0,0002 - 5,8787e-06i
5,4828 e-07 - 3,0434e-06i	-0,0001 - 5,9870e-05i	0,0047+ 0,0006i	1,6177e-05 - 3,0360e-05i	-0,0004 - 1,7902e-05i	-0,0005 - 1,3799e-05i	-0,0004- 8,6177e-06i
4,1690e-05 - 4,1409e-06i	-0,0001 - 3,4023e-06i	3,997e-05 - 0,0001i	0,0047+ 0,0008i	0,0001 - 5,4428e-05i	-0,0004 - 1,8072e-05i	-0,0005 - 3,0847e-06i
5,2680e-05 - 4,8287e-06i	-0,0001 + 1,1527e-06i	-0,0004 - 2,4059e-05i	3,0442e-05 - 0,0001i	0,0046 + 0,0011i	3,4906e-05 - 6,8374e-05i	-0,0004 - 1,8373e-05i
5,0700e-05 - 2,8133e-06i	-7,1891e-05 - 1,0796e-06i	-0,0005+ 9,9950e-06i	-0,0004- 2,4799e-05i	0,0001 - 0,00016i	0,0049+ 0,0014i	4,3963e-05 - 8,8116e-05i
4,1457e-05 + 3,6708e-07i	-3,8618e-05 - 2,9164e-06i	-0,0004 - 5,7059e-07i	-0,0005 + 1,0850e-05i	-0,0004 - 3,2977e-05i	2,522e-05 - 0,0002i	0,005 + 0,0016i

En las figuras 25 y 26, se presentan los resultados gráficos de la herramienta de validez Training.

Figura 25. Training componente fundamental luminaria On-Off.

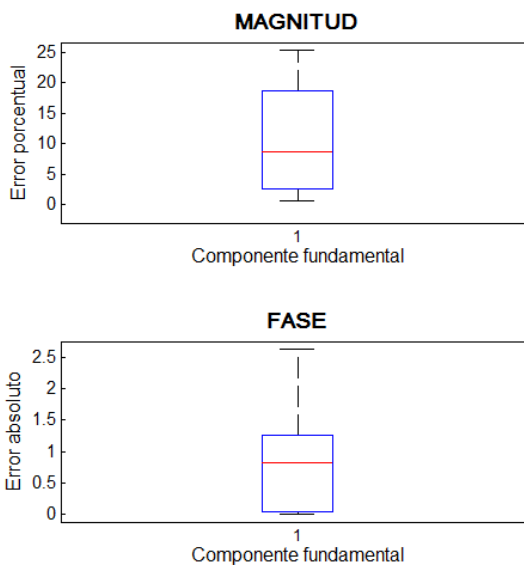
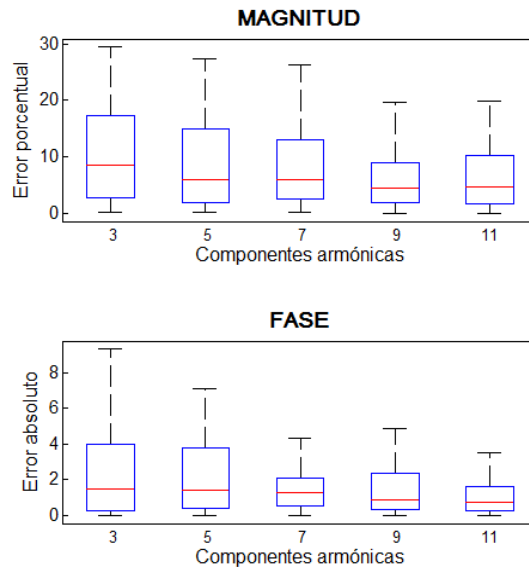


Figura 26. Training componentes armónicas luminaria On-Off.



En la Figura 26, la distribución de la magnitud y el ángulo fase de los errores porcentuales y absolutos de las componentes armónicas respectivamente, es considerada asimétrica sesgada positivamente debido a que el 75% de errores porcentuales y errores absolutos se encuentran concentrados entre el primer y tercer cuartil de los diagramas, obteniendo así valores de errores entre 0% y 18%, en magnitud, y errores entre 0% y 4%, en ángulo de fase.

Por otro lado, en la Figura 25 se observa que la distribución de los errores porcentuales, en el caso de la magnitud de la componente fundamental, se encuentra concentrada en el rango intercuartílico, es decir, que el 50% de los errores porcentuales se encuentran entre los valores del primer cuartil, 3%, y el tercer cuartil 19%.

En las figuras 27, 28 y 29 se presenta gráficamente la herramienta de Validación, la cual compara mediante un diagrama de barras, los valores obtenidos de magnitud y ángulo de fase del modelo y de las muestras, de las señales descritas en el Numeral 2.3.

Figura 27. Validación señales de posgrado luminaria On-Off.

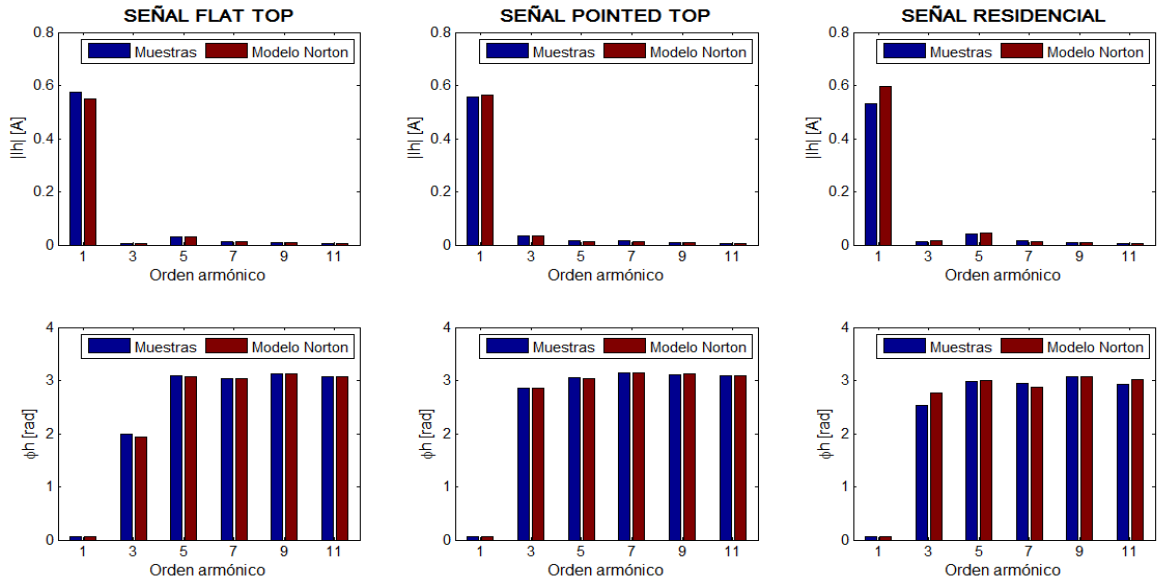


Figura 28. Validación señales de red Edificio luminaria On-Off.

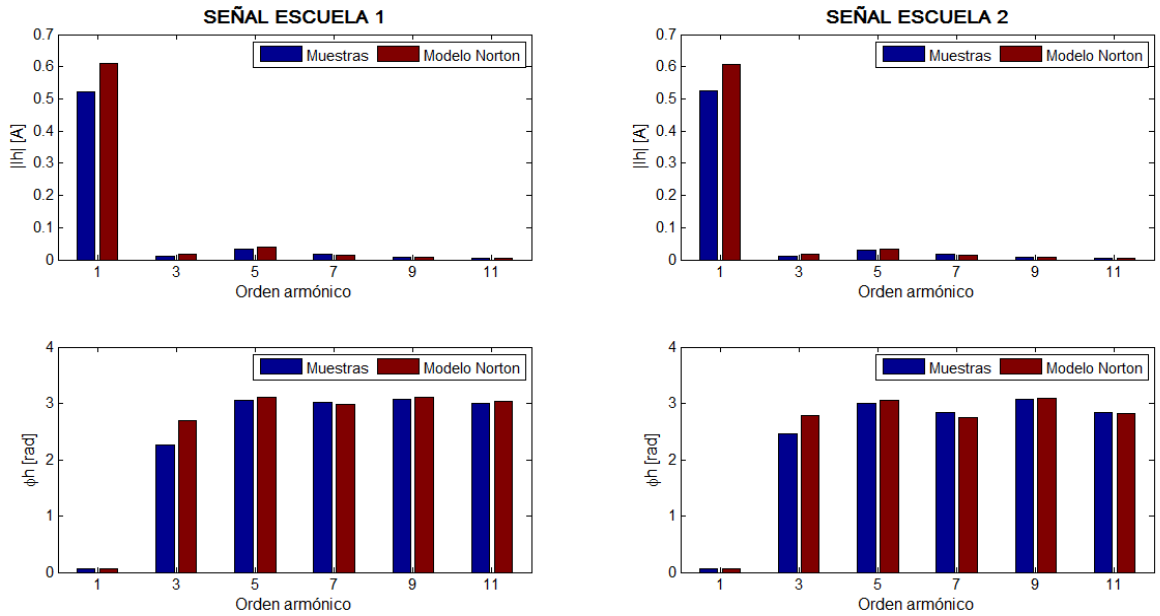
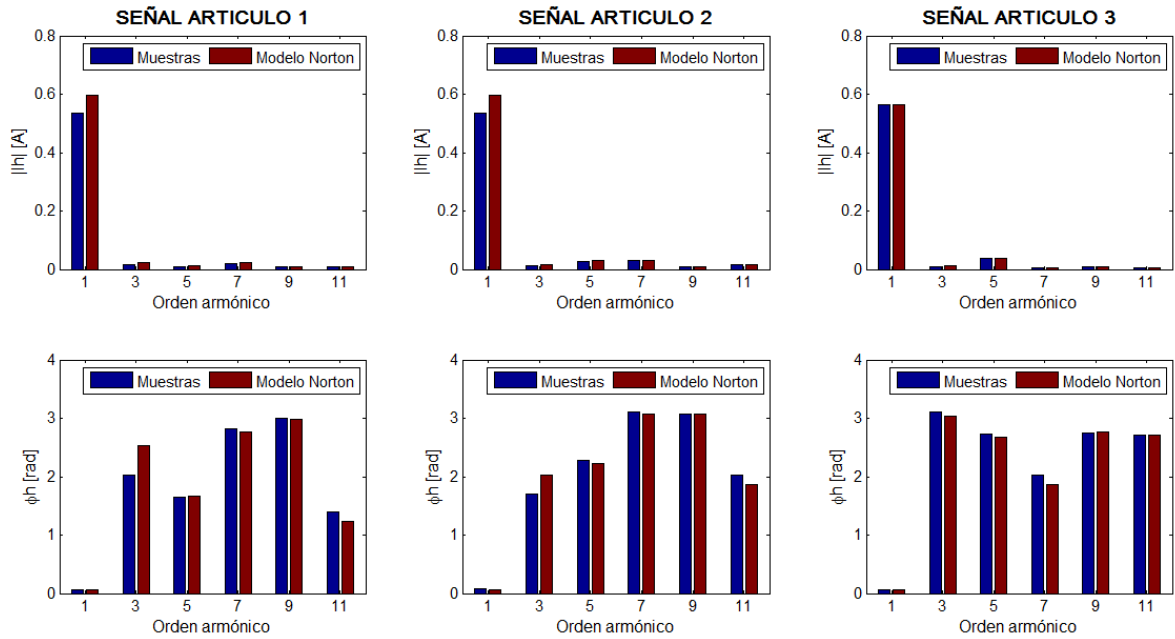


Figura 29. Validación señales de artículos de investigación luminaria On-Off.



A simple vista, se observa que los resultados del modelo para las corrientes armónicas son aceptables, debido a la proximidad de los valores entre los de la izquierda, las muestras de laboratorio y los de la derecha, resultados del modelo Norton. Sin embargo, en las magnitudes y ángulos de fase de la componente del tercer armónico de las señales de los artículos, existe una discrepancia que conlleva a errores porcentuales mayores al 40%, en el caso de la magnitud y a errores absolutos mayores a un 30%, en el caso de los ángulos de fase.

4.2.2 Luminaria dimerizable En la Tabla 8 se presenta la composición de la matriz de admitancias con el vector columna de las corrientes de referencia, $[I_{ref} \ Y]$, la cual es la solución al modelo presentado en la ecuación (8). Esta matriz representa el modelo para el estado de operación intermedia de la luminaria (5 V). El análisis de resultados del modelo para los estados de operación mínimo y máximo se encuentran en el Anexo D.

Tabla 7. Matriz solución $[I_{ref} Y]$ al modelo Norton luminaria dimerizable operación intermedia.

1,1495e-05 - 1,8916e-06i	0,0036 + 0,0002i	-0,0003 - 4,9010e-05i	-0,0002 - 3,1285e-05i	-0,0002 - 4,9520e-05i	-9,5685e-05 - 2,7025e-05i	-9,5143e-05 + 1,2413e-05i
2,4046e-05 - 1,0341e-06i	-0,0003 - 4,7119e-06i	0,0043 + 0,0002i	-0,0006 - 3,9715e-06i	-0,0004 - 3,6630e-05i	-0,0002 - 3,5132e-05i	-0,0002 - 1,1577e-05i
2,4872e-05 - 1,7070e-06i	-0,0001 + 6,3699e-06i	-0,0006 + 1,4879e-05i	0,0042 + 0,0003i	-0,0006 + 2,0293e-05i	-0,0004 - 7,7887e-06i	-0,0003 - 5,4389e-06i
2,4043e-05 - 5,8533e-07i	-5,5495e-05 + 1,4811e-07i	-0,0004 + 3,0330e-05i	-0,0006 + 2,5453e-05i	0,0042 + 0,0004i	-0,0006 + 5,4107e-05i	-0,0004 + 2,1567e-05i
1,9178e-05 + 1,8605e-06i	-2,814e-05 - 3,0853e-06i	-0,0002 + 8,9413e-06i	-0,0004 + 2,4849e-05i	-0,0006 + 4,0272e-05i	0,0042 + 0,0006i	-0,0006 + 9,0554e-05i
1,7803e-05 + 3,2797e-06i	-1,5695e-05 - 3,8957e-06i	-0,0002 - 9,8019e-06i	-0,0002 - 1,5454e-06i	-0,0004 + 2,8614e-05i	-0,0006 + 6,3396e-05i	0,0042 + 0,0007i

En las figuras 30 y 31 se presentan los resultados gráficos de la herramienta de validez Training.

Figura 30. Training componente fundamental luminaria dimerizable operación intermedia.

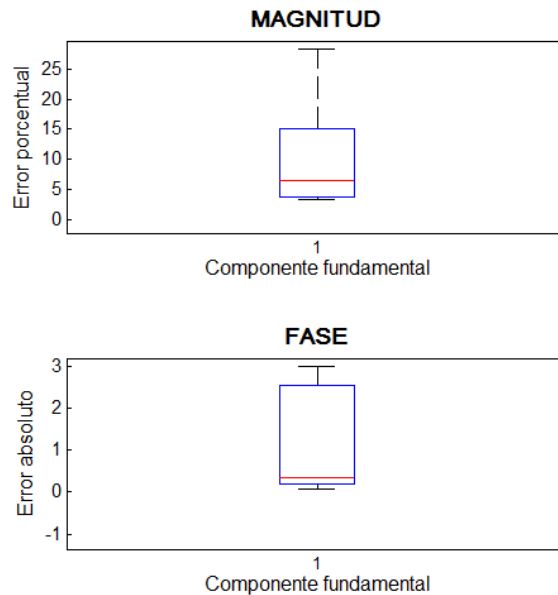
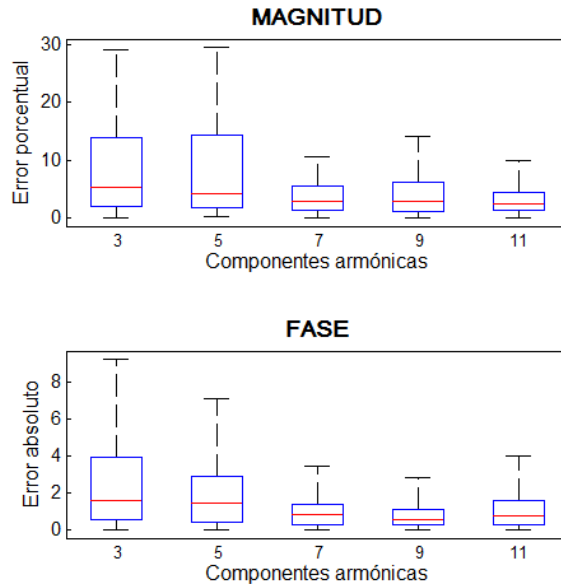


Figura 31. Training componentes armónicas luminaria dimerizable operación intermedia.



En la Figura 31, se observa una distribución asimétrica sesgada positivamente de la magnitud y el ángulo de fase de los errores porcentuales y absolutos, de las componentes armónicas respectivamente. Lo anterior se ve reflejado en que el 75% de errores porcentuales y errores absolutos se encuentran concentrados entre el primer y tercer cuartil de los diagramas, obteniendo así valores de errores entre 0% y 15% en magnitud y entre 0% y 4% en ángulo de fase.

Por otro lado, en la Figura 30 se observa que los errores absolutos de los ángulos de fase, se encuentran concentrados en el 75% del total de estos, evidenciándose en el tamaño del rango intercuartílico y la corta longitud del brazo inferior del diagrama.

En las figuras 32, 33 y 34 se presenta gráficamente la herramienta de Validación, comparando, mediante un diagrama de barras, los valores obtenidos de magnitud y

ángulo de fase, del modelo y de las muestras, de las señales descritas en el Numeral 2.3.

Figura 32. Validación señales de red Edificio luminaria dimerizable operación intermedia.

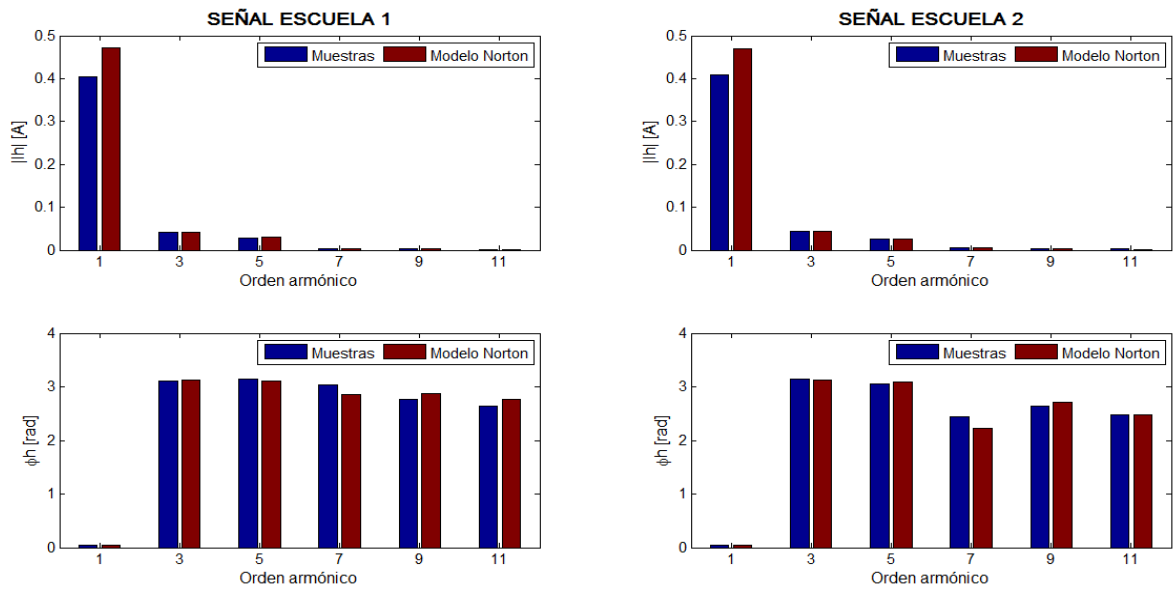


Figura 33. Validación señales de artículos de investigación luminaria dimerizable operación intermedia.

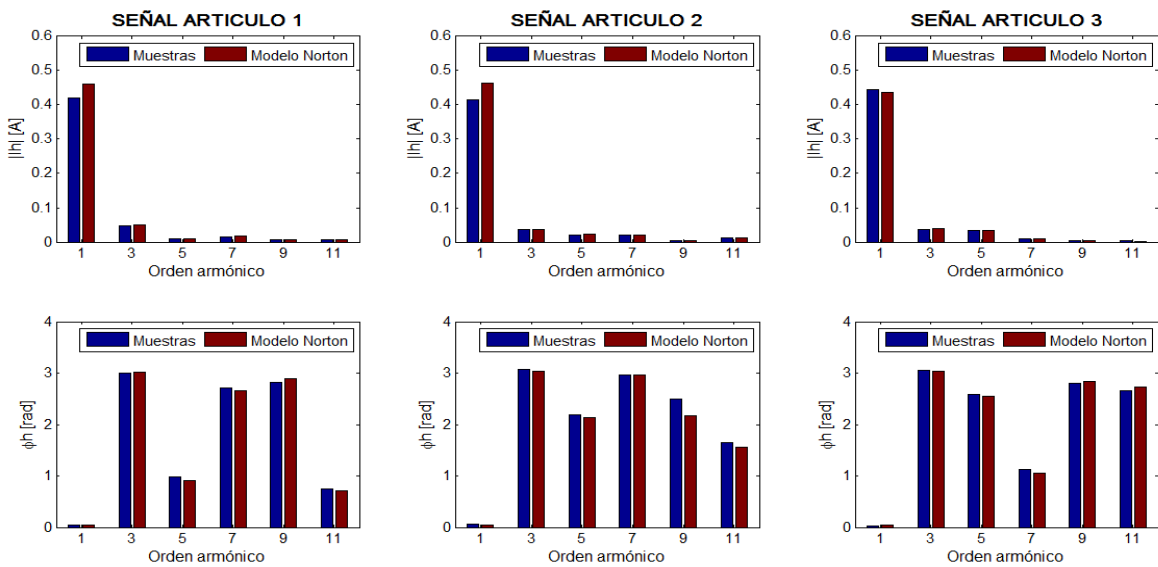
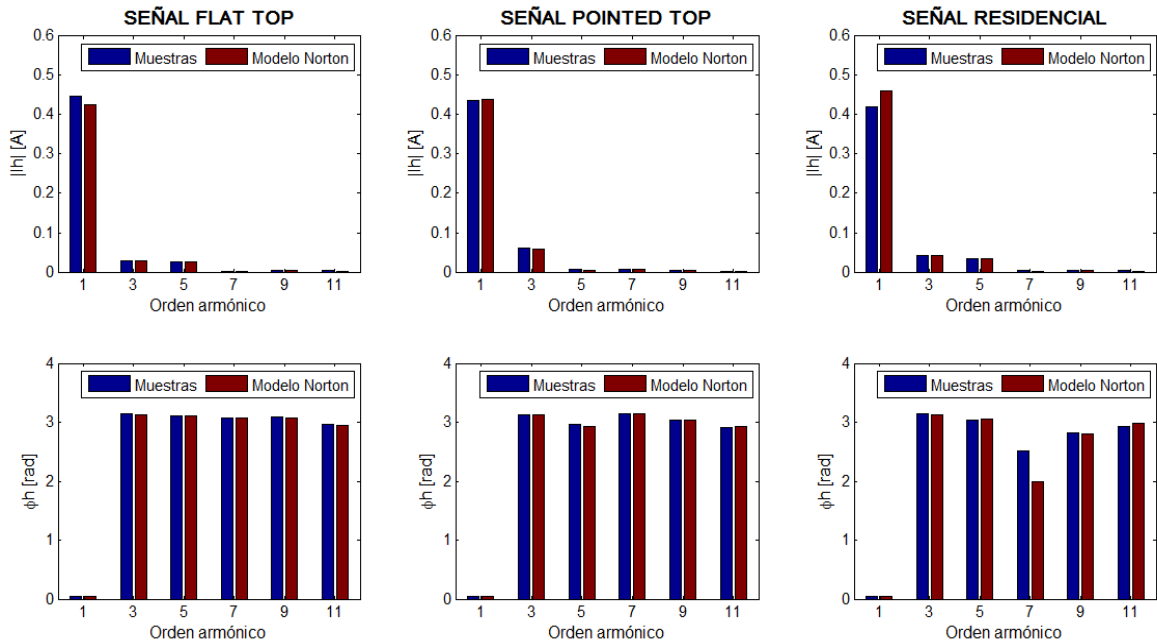


Figura 34. Validación señales de posgrado luminaria dimerizable operación intermedia.



Se puede apreciar de las figuras, que los valores obtenidos del modelo son aceptables, debido a la similitud en el tamaño de las barras de los diagramas. Sin embargo, se observa que en el ángulo de fase del séptimo armónico en la señal residencial y en la señal de escuela 2 existe una diferencia notable entre los valores, que se refleja en errores absolutos por encima del 20% y en el caso del ángulo de fase del noveno armónico de la señal artículo 2, se encuentra por arriba del 30%.

Además, se destaca que los errores porcentuales de las magnitudes del onceavo armónico de las señales específicas, son superiores el 20%.

5. CUANTIFICACIÓN DE LA POTENCIA CONSUMIDA DE LAS CARGAS LUMÍNICAS

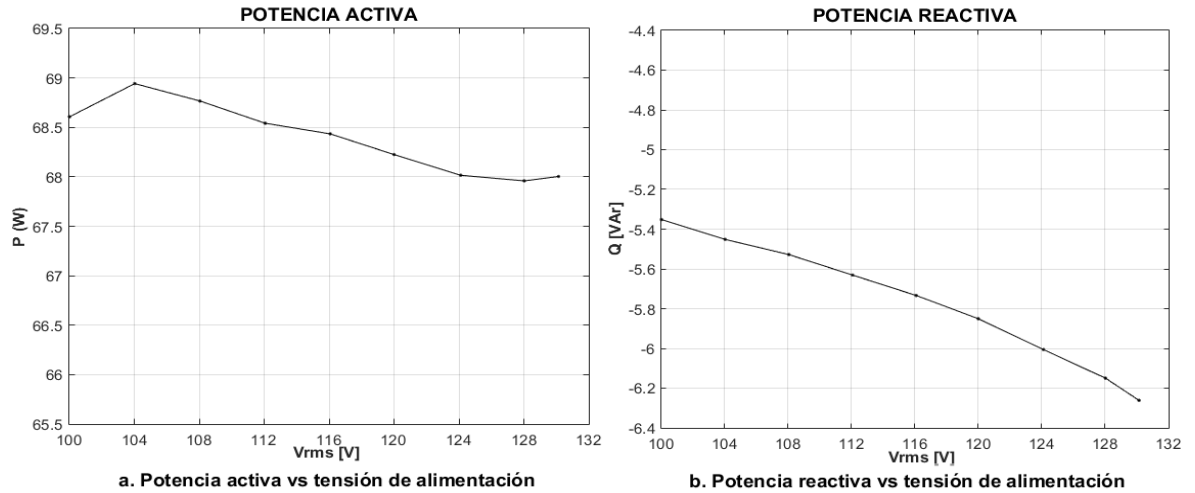
Este capítulo presenta el consumo de potencia activa y reactiva de las luminarias On-Off y dimerizables del Edificio de Ingeniería Eléctrica, ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación.

5.1 LUMINARIAS ON-OFF

Se realizó las experimentaciones con señales sinusoidales puras y con distorsión armónica, donde se varió tanto la magnitud de la tensión, como los ángulos de fase. Las potencias activas y reactivas, tensiones RMS y factor de potencia fueron calculadas mediante las fórmulas presentadas en la Sección 1.4, con los datos de muestras obtenidos del medidor. A continuación, se presenta los casos de estudio.

5.1.1 Caso de tensión sinusoidal pura El cambio de regulación en la componente fundamental de la tensión, fue de nueve valores eficaces entre 100 V y 130 V con un paso de 4 V, teniendo en cuenta principalmente la tensión de 120 V y una fase de $\varphi_1 = 0^\circ$, como se indica en la Capítulo 2.

Figura 35. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión sinusoidal pura.



La Figura 35 muestra el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la luminaria On-Off, cuando se les inyecta tensiones sinusoidales puras. La Tabla 8 presenta los valores numéricos de las tensiones RMS, factor de potencia, distorsión armónica total de corriente y las potencias activa y reactiva, potencias activa y reactiva, calculada para cada caso de tensión sinusoidal.

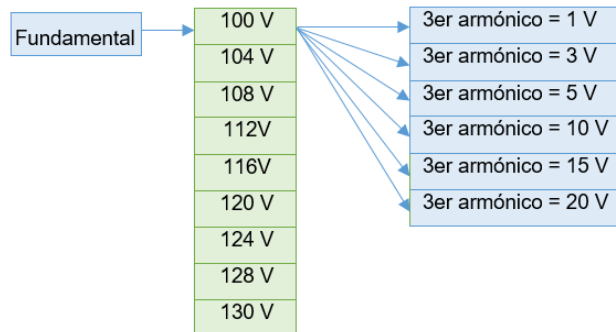
Tabla 8. Tensiones VRMS, potencias y factor de potencia y THDi calculadas.

N°	VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi [%]
1	100.0113	68.6069	-5.3521	0.997	6.614
2	104.0278	68.9426	-5.4517	0.997	6.5277
3	108.043	68.7669	-5.528	0.997	6.4407
4	112.0609	68.542	-5.6311	0.997	6.3684
5	116.0746	68.4342	-5.7337	0.997	6.2751
6	119.9981	68.2252	-5.8508	0.996	6.1895
7	124.1107	68.0156	-6.0061	0.996	6.1179
8	128.024	67.9591	-6.1499	0.996	6.0126
9	130.1353	68.0036	-6.2616	0.996	5.9768

Entre los nueve valores de tensión aplicados a la luminaria On-Off, la potencia activa cambia alrededor de 0.9835 W y la potencia reactiva en 0.9105 VAr capacitivo, considerando un comportamiento aproximadamente constante.

5.1.2 Caso de tensión con tercer armónico Para el tercer armónico se tuvo en cuenta los valores eficaces 1 V, 3 V, 5 V, 10 V, 15 V y 20 V, con un desfase respecto al armónico fundamental de $\varphi_3 = 0^\circ$. Estos valores de tercer armónico se aplicaron a los nueve valores de tensión fundamental. La Figura 36 muestra un ejemplo de tensión fundamental con los valores del tercer armónico.

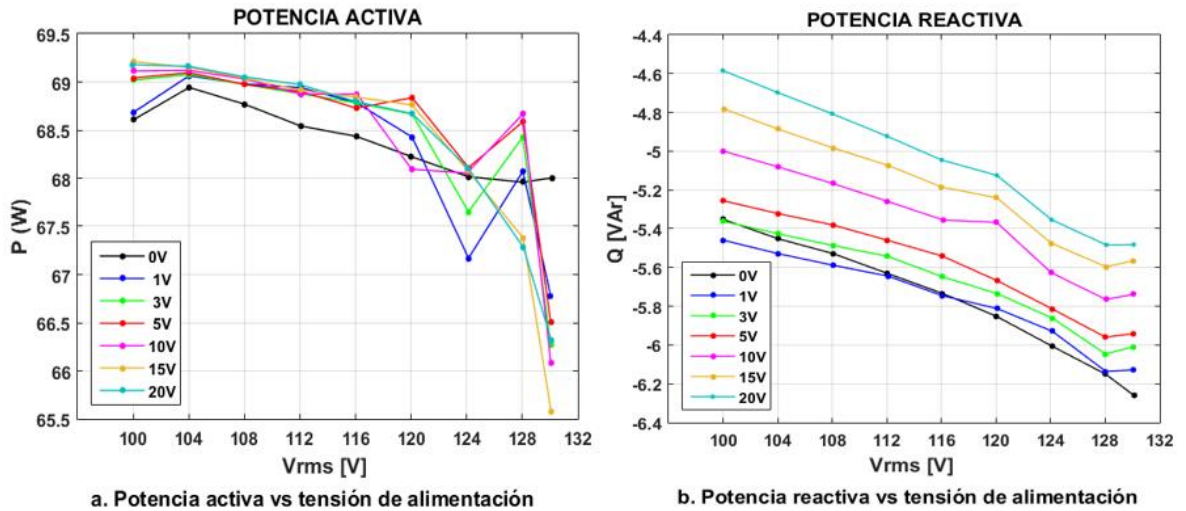
Figura 36. Tensiones fundamentales con tercer armónico.



Las tablas E.1, E.2 y E.3 del Anexo E se encuentra los valores numéricos de las tensiones RMS, factor de potencia, potencias activas, potencias reactivas y distorsión armónica total de corriente (THDi), calculadas para cada caso de tensión con tercer armónico.

La Figura 37 muestra el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la luminaria On-Off, donde se puede observar el cambio de potencia debido a la presencia del tercer armónico en la tensión de alimentación (líneas de colores), en comparación con la potencia con tensión de solo componente fundamental (línea negra).

Figura 37. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con tercer armónico.

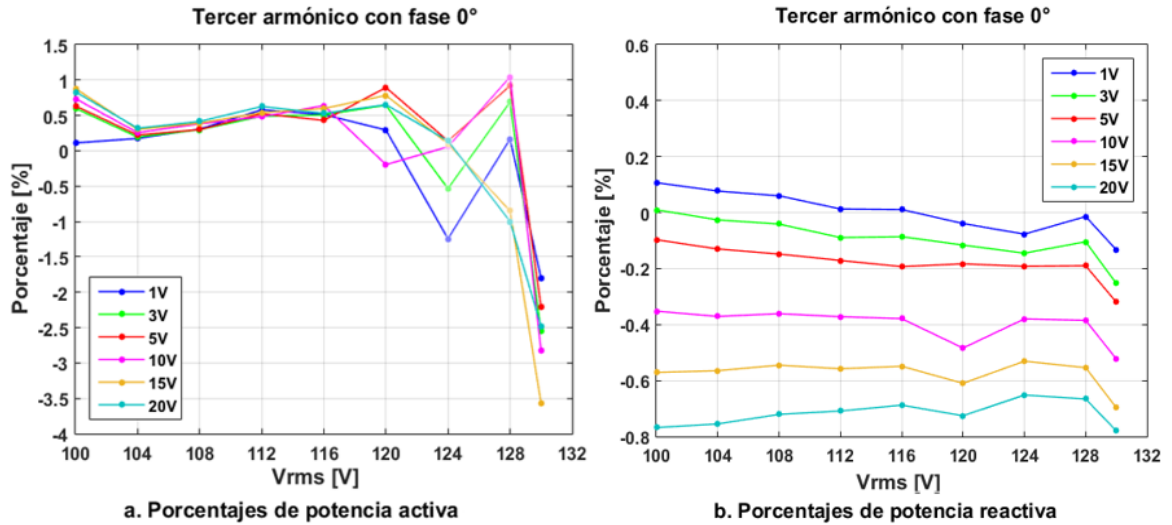


La presencia del tercer armónico en las señales de tensión con componente fundamental entre 124 Vrms y 130 Vrms, ocasiona que la potencia activa empiece a disminuir, en comparación con la potencia fundamental, presentándose en mayor proporción cuando la tensión del tercer armónico es de 15 Vrms, con una disminución de aproximadamente 2.429 W.

Para el caso de la potencia reactiva, ésta disminuye con respecto a la potencia fundamental, cada vez que el valor de tensión del tercer armónico va aumentando, siendo con un 0.779 VAr la mayor disminución de reactiva, cuando la luminaria es alimentada con tensión de 130 Vrms en la componente fundamental y 20 Vrms tercer armónico.

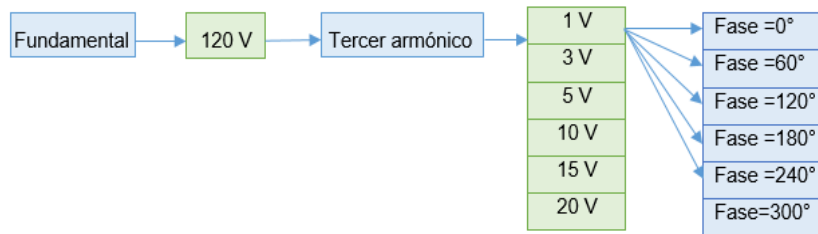
En la Figura 38 se puede observar los porcentajes de diferencia entre la potencia activa y reactiva de la luminaria, cuando es alimentada con tensiones con presencia del tercer armónico y con solo fundamental, donde los valores negativos representan la disminución de potencia y los positivos representan aumento de potencia.

Figura 38. Porcentajes de diferencia entre la potencia activa y reactiva de la luminaria alimentada con tensiones con tercer armónico y las potencias de solo fundamental.



5.1.3 Casos de tensión con armónico y cambio de fase En este caso se toma como referencia la tensión eficaz de 120 V para la componente fundamental y se analizan los armónicos 3°, 5°, 7°, 9° y 11° de manera individual, con cambio de fase en cada uno de ellos. En la Figura 39 muestra un ejemplo de tensión fundamental con tercer armónico y cambio de fase.

Figura 39. Señal con tercer armónico y cambio de fase.



En las tablas E.4 hasta la E.18 del Anexo E se encuentra los valores de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, factores de potencia y TDHi calculadas para cada valor de tensión de cada armónico en estudio. El anexo F presenta las gráficas

del comportamiento de la potencia activa y reactiva para cada caso de armónico y los porcentajes de aumento o disminución de las potencias con respecto a las fundamentales.

En cada caso de estudio se puede observar el efecto que presenta la potencia activa y reactiva de la luminaria On-Off, con la presencia de armónicos en la señal de tensión de alimentación. El caso que presenta el mayor aumento de potencia activa y reactiva es en el onceavo armónico, donde la potencia activa aumenta alrededor de 0.873%, que son aproximadamente 0.57 W y la potencia reactiva con un 28.277% que son 1.6515 VAr capacitivos, con respecto a la fundamental. Adicionalmente, el caso que presenta mayor disminución de potencia activa, con un 3,203% que son 2.674 W, es cuando la señal de tensión presenta el séptimo armónico.

Cabe resaltar, que se presenta mayor distorsión armónica total de corriente en el ángulo de fase de 180° en los armónicos del tercero al noveno, asimismo, en el onceavo armónico con la fase de 60° .

5.1.4 Caso de señales de tensión con más de un armónico impar En este caso de estudio se utilizaron señales de tensión que presentan más de un armónico impar, las cuales son: señal Flat-Top, Pointed-Top, una señal medida del Edificio y una de un artículo de investigación, que son mencionadas en el Capítulo 2. En el Tabla 9 se presenta las potencias activas y reactivas, factor de potencia y distorsión armónica total de corriente, que presentan estas señales en la luminaria On-Off.

Tabla 9. Potencia activa y reactiva, factor de potencia y THDI de casos especiales de alimentación de la On-Off.

Casos especiales- On-Off				
SEÑAL	P[W]	Q [VAr]	FP	THDi [%]
Flat-Top	66.7903	-5.6418	0.9965	6.4740
Pointed-Top	66.7248	-5.9512	0.9960	7.4666
Articulo	67.7306	-5.6762	0.9965	7.4186
Edificio	67.4084	-6.1602	0.9959	7.2273

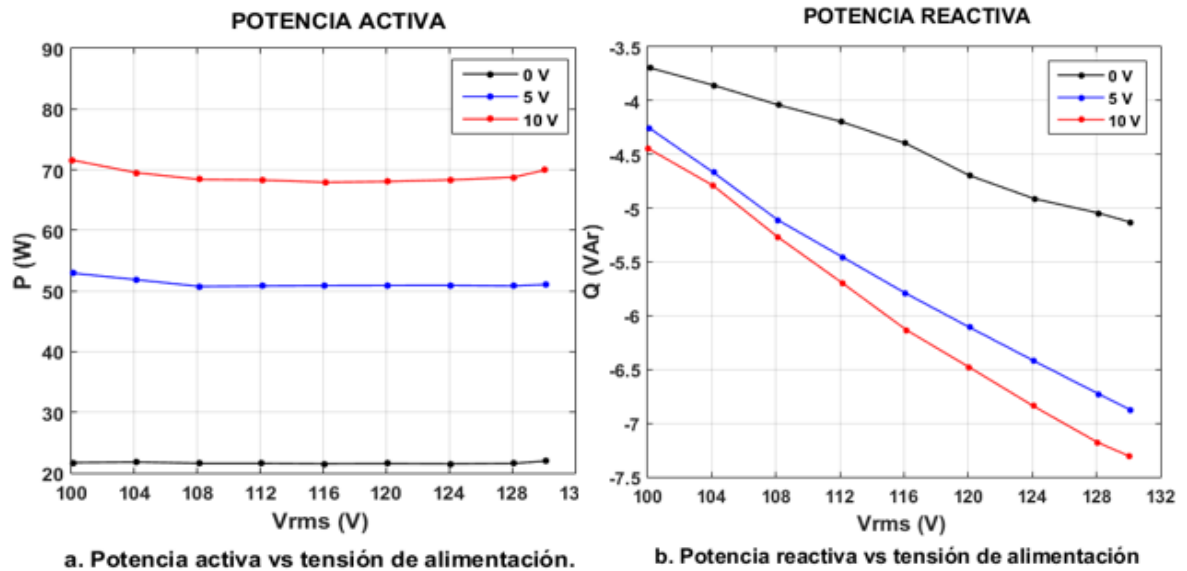
En los cuatro casos especiales de estudio, la potencia activa disminuye con respecto a la potencia fundamental, siendo en mayor proporción en las señales Flat-Top y Pointed-Top, donde la potencia activa disminuye más de 1 W. Además, la potencia reactiva aumenta con la señal Pointed-Top y la señal del Edificio.

5.2 LUMINARIA DIMERIZABLE

Se realizó las experimentaciones con las señales de tensión sinusoidales puras y con distorsión armónica utilizadas en la luminaria On-Off, a los estados de operación mínima (0 V), intermedia (5 V) y máxima de (10 V) de la luminaria dimerizable, donde se varió tanto la magnitud de la tensión como los ángulos de fase.

5.2.1 Caso de tensión sinusoidal pura La Figura 40 muestra el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la luminaria dimerizable, cuando se le inyecta las nueve tensiones sinusoidales puras utilizadas en la sección 5.1.1, a los tres estados de operación 0 V, 5 V y 10 V.

Figura 40. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión sinusoidal pura, en los estados de operación 0 V, 5 V y 10 V y 10 V.



Entre los nueve valores de tensión de alimentación aplicados a la dimerizable, la potencia activa en el caso de operación de 0 V se comporta de manera casi constante, mientras que en los casos de 5 V y 10 V se presenta una disminución de aproximadamente 1.07 W y 2.054 W en el cambio de tensión de 100 Vrms a 104 Vrms, respectivamente. La potencia reactiva aumenta a medida que la tensión de alimentación aumenta, siendo mayor en el estado de operación máximo de 10 V. Se debe agregar que, en el estado de operación mínimo de 0 V se presenta la mayor distorsión armónica total de corriente y el menor valor de factor de potencia.

Las tablas 10 y 11 presenta los valores numéricos de las tensiones RMS, factor de potencia, distorsión armónica total de corriente y las potencias activa y reactiva, calculadas para cada caso de tensión sinusoidal.

Tabla 10. Tensiones VRMS, potencias, factor de potencia y THDi calculadas, para los estados de operación 0 V y 5 V de la luminaria dimerizable.

ESTADOS DE OPERACIÓN									
Modo de operación - 0 V					Modo de operación - 5 V				
VRMS	P [W]	Q[VA _r]	FP	THDi [%]	VRMS	P [W]	Q[VA _r]	FP	THDi [%]
100.149	21.705	-3.695	0.986	15.23	100.097	52.940	-4.254	0.997	7.2
104.155	21.792	-3.859	0.985	15.72	104.117	51.870	-4.669	0.996	8.13
108.168	21.594	-4.040	0.983	16.49	108.143	50.752	-5.112	0.995	9.29
112.090	21.594	-4.196	0.982	16.94	112.167	50.830	-5.456	0.994	9.91
116.102	21.521	-4.398	0.980	17.7	116.082	50.887	-5.791	0.994	10.48
120.115	21.549	-4.698	0.977	18.84	120.097	50.915	-6.110	0.993	11.02
124.126	21.504	-4.913	0.975	19.71	124.115	50.920	-6.422	0.992	11.54
128.140	21.582	-5.046	0.974	19.85	128.131	50.833	-6.728	0.991	12.06
130.144	21.961	-5.132	0.974	19.83	130.143	51.079	-6.877	0.991	12.27

Tabla 11. Tensiones VRMS, potencias, factor de potencia y THDi calculadas, para el estado de operación de 10 V de la luminaria dimerizable.

Modo de operación - 10 V				
VRMS	P [W]	Q[VA _r]	FP	THDi [%]
100.067	71.576	-4.448	0.998	5.18
104.089	69.522	-4.790	0.998	6.16
108.114	68.399	-5.268	0.997	6.94
112.135	68.298	-5.695	0.997	7.56
116.149	67.925	-6.134	0.996	8.23
120.067	68.049	-6.480	0.996	8.69
124.080	68.325	-6.842	0.995	9.19
128.093	68.761	-7.181	0.995	9.62
130.083	69.930	-7.309	0.995	9.62

5.2.2 Caso de tensión con tercer armónico Para el tercer armónico se tiene en cuenta los valores eficaces utilizados en la luminaria On-Off en la Sección 5.1.2. Las figuras 41, 42 y 43 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva, para los tres casos de operación de la dimerizable. En el Anexo E, se encuentran los valores numéricos de las tensiones RMS, potencias activa y reactiva, distorsión armónica total de corriente y factor de potencia para cada caso.

Figura 41. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico en el estado de operación de 0 V.

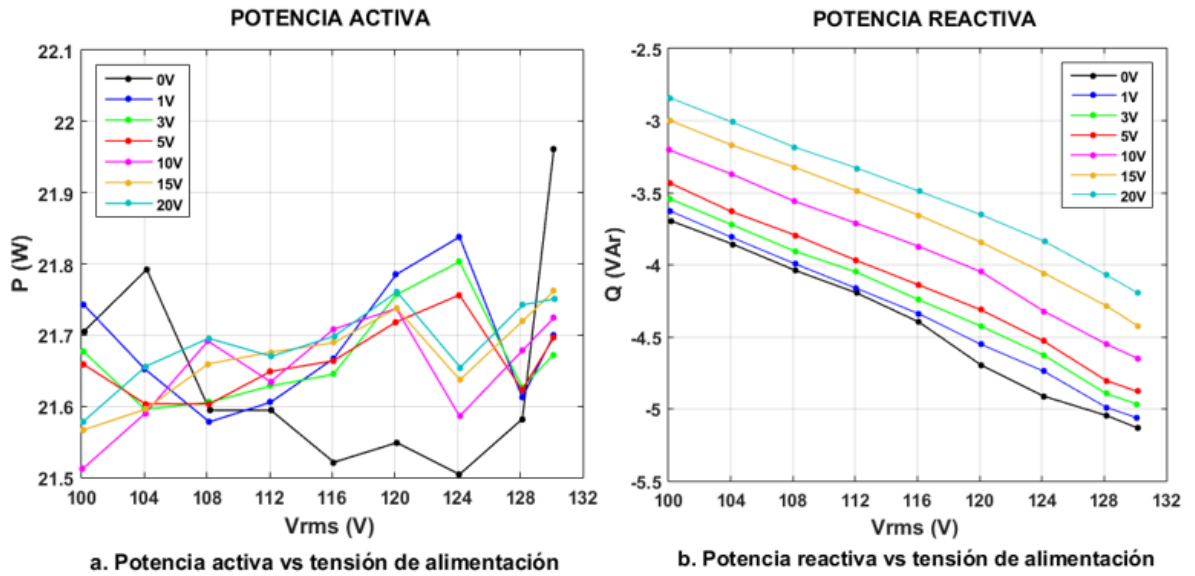


Figura 42. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico en el estado de operación de 5 V.

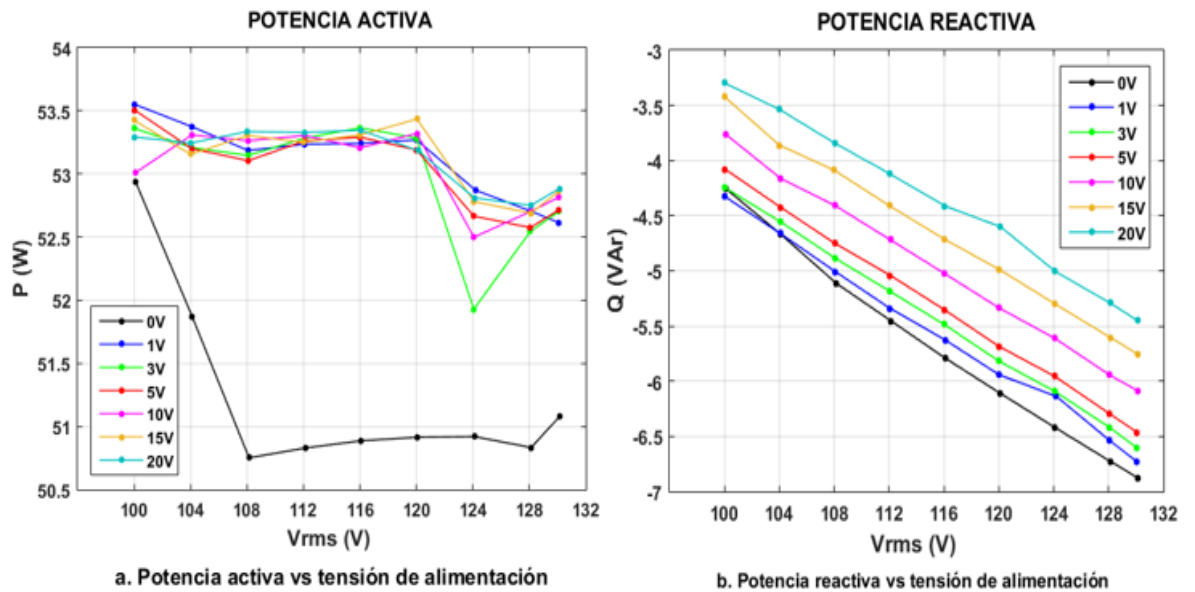
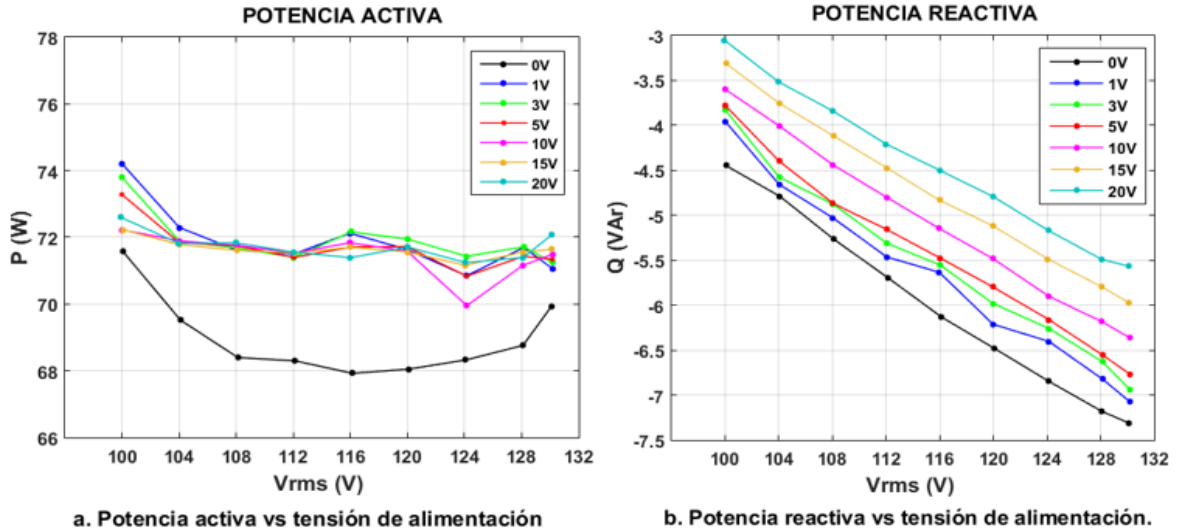


Figura 43. Potencia activa y reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico en el estado de operación de 10 V.



Con la presencia del tercer armónico en la señal de tensión de alimentación, la potencia activa aumenta con respecto a la fundamental en los casos de operación de 5 V y 10 V, siendo el mayor aumento de 4.241 W cuando la luminaria es alimentada con tensión fundamental de 116 Vrms y tercer armónico de 3 Vrms, en la operación máxima de la luminaria. La potencia reactiva en los tres casos de operación, disminuyeron con respecto a la fundamental.

Entre los tres estados de operación, se presenta mayor distorsión armónica total de corriente en la operación mínima de 0 V, en los seis casos de tensión para el tercer armónico, además, la operación máxima de 10 V también presenta mayor distorsión cuando el tercer armónico tiene un valor de 20 Vrms, con porcentajes de hasta 19%.

5.2.3 Casos de tensión con armónico y cambio de fase En este caso se toma como referencia la tensión eficaz de 120 V para la componente fundamental y se analizan los armónicos 3°, 5°, 7°, 9° y 11° de manera individual, con cambio de fase en cada uno de ellos. En el Anexo E se encuentra los valores de las potencias

activas y reactivas por ángulo de fase, factores de potencia y TDHi calculadas para cada valor de tensión de cada armónico en estudio. El anexo F presenta las gráficas del comportamiento de la potencia activa y reactiva para cada caso de armónico y los porcentajes de aumento o disminución de las potencias con respecto a las potencias fundamentales.

En el caso de operación mínima de 0 V en la dimerizable, se presenta el mayor porcentaje de distorsión armónica en la corriente y el factor de potencia más bajo, con respecto a los otros dos modos de operación. Para los casos de operación intermedio de 5 V y máximo de 10 V, el factor de potencia se mantuvo constante y la distorsión armónica total de corriente fue menor en el estado intermedio.

Para el caso del tercer armónico, la distorsión armónica total de corriente es mayor en el ángulo de fase de 180° , para los tres casos de operación de la luminaria, además, la potencia activa se mantiene casi constante en todos los casos de ángulos de fase, pero si aumenta con respecto a las potencias de solo fundamental en los casos de operación intermedio y máximo, asimismo, la potencia reactiva aumenta cuando el armónico presenta ángulos de fase de 180° y 240° .

En el estudio de los armónicos quinto, séptimo, noveno y onceavo, en la mayoría de los casos, la potencia reactiva es menor en el ángulo de fase de 180° y mayor en los ángulos de 0° y 300° en los tres estados de operación de la luminaria. Asimismo, la distorsión armónica de corriente presenta el mismo comportamiento.

5.2.4 Caso de señales de tensión con más de un armónico impar En este caso de estudio se alimentaron la luminaria dimerizable con las tensiones mencionadas en la Sección 5.1.4. En las tablas 12 y 13 se presentan las potencias activas y reactivas, factor de potencia y distorsión armónica total de corriente, que presentan estas señales en los tres estados de la luminaria dimerizable.

Tabla 12. Potencia activa y reactiva, factor de potencia y THDI de casos especiales de alimentación de la dimerizable.

ESTADOS DE OPERACIÓN								
SEÑAL	Modo de operación - 0 V				Modo de operación - 5 V			
	P[W]	Q [VAr]	FP	THDI [%]	P[W]	Q [VAr]	FP	THDI [%]
Flat-Top	21.333	-4.225	0.981	15.456	52.105	-5.615	0.994	8.742
Pointed-Top	21.278	-4.920	0.974	23.359	52.389	-6.402	0.993	14.030
Artículo	21.988	-4.499	0.980	19.072	53.326	-5.811	0.994	11.493
Edificio	21.345	-4.940	0.974	20.225	52.404	-6.629	0.992	12.317

Tabla 13. Potencia activa y reactiva, factor de potencia y THDI de casos especiales de alimentación de la dimerizable.

Modo de operación - 10 V				
SEÑAL	P[W]	Q [VAr]	FP	THDI [%]
Flat-Top	70.0807	-5.7708	0.9966	6.5284
Pointed-Top	70.3763	-6.6792	0.9955	11.3224
Artículo	72.3324	-5.9574	0.9966	9.2419
Edificio	69.9391	-6.9661	0.9951	10.0041

El modo de operación mínima presenta el mayor porcentaje de distorsión armónica de corriente y menor factor de potencia, siendo mayor en la señal Pointed-Top y la señal del Edificio. En los modos de operación intermedio y máximo, la potencia activa aumenta respecto a la potencia fundamental y la reactiva disminuye.

5.3 COMPARACIÓN DE LAS LUMINARIAS ON-OFF Y DIMERIZABLE

Realizado los estudios de potencia activa y reactiva a las luminarias On-Off y dimerizable, se obtuvo los siguientes resultados:

- La luminaria dimerizable presentó mayor cambio de potencia activa en los estados de operación intermedio de 5 V y máximo de 10 V, cuando la señal de tensión presenta uno o más armónicos, asimismo, el estado mínimo de operación presentó mayor porcentaje de distorsión armónica total de corriente.

Cabe mencionar que ésta luminaria presenta mayor distorsión armónica total de corriente, con porcentajes de hasta 30%.

- La luminaria On-Off presentó disminución de potencia activa cuando la señal de tensión de alimentación presenta los armónicos quinto y séptimo de forma individual, donde llega a disminuir hasta aproximadamente 2.6742 W, mientras que, con los armónicos tercer, noveno y onceavo, la potencia aumenta hasta aproximadamente 0.57 W. Asimismo, la potencia reactiva aumentó en mayor proporción con la presencia del onceavo armónico en la señal de tensión, con aproximadamente 1.6515 VAr capacitivos.
- Las dos luminarias presentaron mayor potencia reactiva en la fase de 180°, cuando la tensión presenta el tercer armónico, a continuación, se presenta como ejemplo los casos de la luminaria On-Off y dimerizable, donde se puede observar el comportamiento de la reactiva con el cambio de tensión de tercer armónico y cambio de ángulo de fase.

Figura 44. Potencia activa consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase.

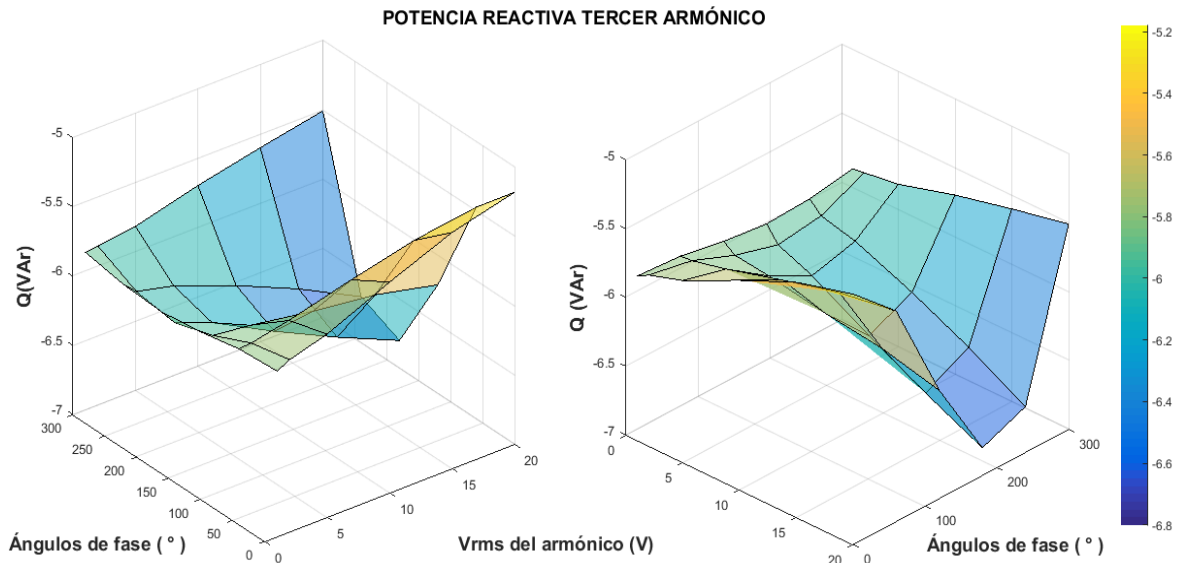
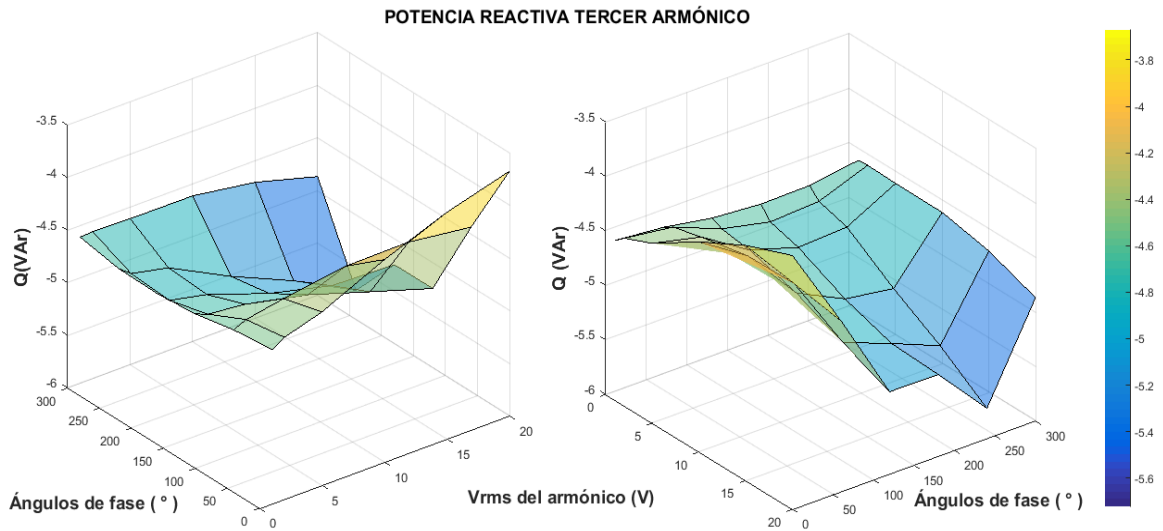


Figura 45. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase, en la operación mínima de 0 V.



Nota: El anexo F presenta las gráficas del comportamiento de la potencia activa y reactiva para cada caso de armónico y los porcentajes de aumento o disminución de las potencias con respecto a las fundamentales.

6. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

A continuación, se presentan las conclusiones y observaciones del estudio realizado.

Se hallaron los parámetros de los tres modelos de carga ZIP, Exponencial y Norton, para el estudio del comportamiento de las luminarias On/Off y dimerizables, ante la variación de la forma de onda de la señal de tensión de alimentación, donde se evidenció la no linealidad de las cargas y un comportamiento variable en los parámetros.

Aunque los modelos ZIP y Exponencial cumplían con las restricciones y la validación de sus parámetros para una señal de tensión de alimentación con solo componente fundamental, se comprobó que el planteamiento de estos modelos es ineficaz cuando se considera una experimentación con señales cuya forma de onda cambia debido a la presencia de armónicos.

En el proceso de validación de los modelos mediante el coeficiente de regresión múltiple, se debe tener en cuenta la diferencia en la cantidad de datos utilizados para el ajuste del modelo en los dos escenarios provistos, debido a que esta es un indicador influyente en la sensibilidad del cálculo del coeficiente por ser una variable que lo podría estar afectándolo directamente.

Al analizar los resultados obtenidos del modelo Norton para las dos luminarias y sus estados de operación específicos, se observó que el modelo en el dominio de la frecuencia logró obtener resultados favorables en la descripción del comportamiento de estas cuando son alimentadas con señales de tensión distorsionada. Lo anterior se vio reflejado en el cumplimiento de los valores guía del estándar IEEE 519 del

2014 para el índice de distorsión armónica total de corriente (THDi) de las señales específicas obtenidas a partir del modelo, comparadas con las señales específicas muestreadas.

Las luminarias On-Off y dimerizable presentaron comportamientos diferentes en las potencias activa y reactiva, cuando son alimentadas con señales de tensión con solo componente fundamental y con señales con distorsión armónica. Se logró evidenciar, que la luminaria dimerizable presenta el mayor aumento de potencia activa, en el estado de operación intermedio y máximo, mientras que la luminaria On/Off presenta mayor aumento de potencia reactiva, cuando la señal de tensión de alimentación presenta distorsión armónica. Asimismo, la luminaria dimerizable presenta el mayor porcentaje de distorsión armónica total de corriente, en el estado de operación mínima, en comparación con la luminaria On/Off.

7. RECOMENDACIONES

A continuación, se abordan las recomendaciones para trabajos futuros de investigación en el tema de la determinación del comportamiento de cargas ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la señal de tensión de alimentación.

El procedimiento realizado en el laboratorio para la toma de muestras de la forma de onda de la señal eléctrica de corriente producidas por cargas en estudio, con equipos especializados como la fuente programable Chroma y analizador de red Pqube3, requieren de una persona encargada de forma permanente para la programación de las señales en la fuente, la captura y salida de los resultados de los eventos por parte del analizador de redes. Este procedimiento de programación de señales una por una y el proceso de generación de cada evento del PQube3 se lleva alrededor de tres minutos en total, por lo que se recomienda adelantar esfuerzos para automatizar este proceso.

Así mismo, se hace necesario el estudio en simultáneo de distintas cargas, presentes en el Edificio, para observar el comportamiento de estas ante tensiones distorsionadas y estudiar de forma más precisa los efectos que causan en la red de baja tensión.

Para lograr un estudio de mayor exactitud de las cargas no lineales con el modelo Norton, es recomendable plantear en la experimentación un barrido en frecuencia lo suficientemente amplio para lograr una descripción cercana a la realidad del comportamiento de las cargas, ante cualquier variación en la señal de tensión de alimentación.

Se recomienda hacer una profundización en otros métodos que sirvan para el cálculo de los parámetros de modelos matemáticos caracterizados por estudiar el comportamiento de las cargas en el dominio de la frecuencia.

BIBLIOGRAFÍA

AVENUE A. and CA A., "PQube 3 Manual de instrucciones," Power Sens. Ltd., 2015.

BLANCO, Ana Maria; STIEGLER, Robert y MEYER, Jan. Power quality disturbances caused by modern lighting equipment (CFL and LED). En: IEEE Grenoble Conf. PowerTech, POWERTECH 2013, 2013.

BLANCO, Ana Maria; YANCHENKO, Sergey; MEYER, Jan y SCHEGNER, Peter. Impact of supply voltage distortion on the current harmonic emission of non-linear loads. En: Dyna, vol. 82, no. 192, pp. 150–159, 2015.

BOKHARI, Abdullah, et al. Experimental Determination of the ZIP Coefficients for Modern Residential, Commercial, and Industrial Loads. En: IEEE Transactions on Power Delivery. June, 2014 Vol. 29, no. 3.

C. S. SOLUTIONS, "Programmable AC Source User's Manual," Copyr. Not., vol. Versión 1., 2014.

CAETANO, William Douglas y ROMEIRO DA SILVA JOTA, Patricia. Load Static Models for Conservation Voltage Reduction in the Presence of Harmonics. En: Sci. Res. Publ. Febrero, 2016. Vol. 08 no. p. 62–75.

CAETANO, William; JOTA, Patrícia y GONÇALVES, Eduardo. Comparison between Static Models of Conservation Voltage Reduction. Brasil: IEEE Int. Conf. Smart Energy Grid Eng., 2013. p.1-6.

CAICEDO, Joaquin; ROMERO, Andres y ZINI, Humberto. Frequency Domain Modeling of Nonlinear Loads , considering Harmonic Interaction. En: IEEE Work Power Electron. Power Qual. Appl., 2017.

CHAPRA, Steven y CANALE, Raymond. Métodos Matemáticos Para Ingenieros. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Quinta ed. 2006. ISBN 0-07-291873-X

COMMITTEE D., POWER I., and SOCIETY E., IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems IEEE Power and Energy Society. ANSI/IEEE Std. 519. New Yrok. 2014. ISBN 978-0-7381-9005-1

Economipedia. R Cuadrado (Coeficiente de determinación). [En línea]. Disponible en: <http://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-coeficiente-determinacion.html>.

GILAT, Amos. MATLAB Una Introduccion Con Ejemplos Practicos. España: Editorial Reverté, S. A., 2005. ISBN 84-29-5035-8

GONZÁLEZ, Gabriel; ORDÓÑEZ PLATA, Gabriel; BARRERO, Jaime; DUARTE, César y BAUTISTA, Adán. Medición de las Magnitudes de Potencia y Energía Eléctrica Bajo las Nuevas Condiciones de los Sistemas Eléctricos. En: Revistas UIS Ingenieria. Vol. 8 Núm. 1. 2009.

MONSALVE, Fainer; GARCÍA, Jesús y BARBOSA, Juan Pablo. Caracterización de la potencia consumida por cargas residenciales basadas en fuentes conmutadas ante variaciones en la amplitud y distorsión de la señal de tensión de alimentación. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecanicas. Ingeniería Electrica. 2017.

MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V. Segunda ed. 1991. ISBN 968-18-6156-6

NÁJAR, David. Validación y validación cruzada. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/DavidNjar/validacin-y-validacin-cruzada>.

PALLADINO, Alberto. GRÁFICO DE CAJA. [En línea]. Disponible en: <https://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/aps/GRÁFICO DE CAJA.pdf>.

PHILIPS ADVANCE, “Electrical specifications, IZT-2S32-SC@120’,” vol. 32, no. 0, pp. 4–5, 2009.

PHILIPS, “Catálogo General Balastos.” .

POLYNOMIAL CURVE FITTING - MATLAB polyfit - MathWorks America Latina. [En línea]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/polyfit.html>. [Accessed: 21-Jun-2018].

WACKERLY, Dennis; MENDENHALL III, William y SCHEAFFER, Richard. Estadística Matemática con Aplicaciones. México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. Séptima ed. 2010. ISBN-13: 978-0-495-11081-1 y ISBN-10: 0-495-11081-7

Webminig Consultores. Entrenamiento, validación y prueba | WebMining. [En línea]. Disponible en: <http://www.webminig.cl/2011/07/entrenamiento-validacion-y-prueba/>.

YONG, Jing; CHEN, Liang; Nassif, Alexandre y XU, Wilsun. A frequency-domain harmonic model for compact fluorescent lamps. En: IEEE Trans. Power Deliv., vol. 25, no. 2, pp. 1182–1189, 2010.

ANEXOS

ANEXO A. SEÑALES ESPECÍFICAS UTILIZADAS

Este anexo presenta las señales de tensión específicas utilizadas en los escenarios 4 a 11, con sus respectivas formas de onda y características propias de estas.

- Señales de artículos de investigación

Las señales de la Figura A.1 se eligieron de artículos de investigación en los cuales se desarrollaron experimentaciones con cargas no lineales específicas [16],[17].

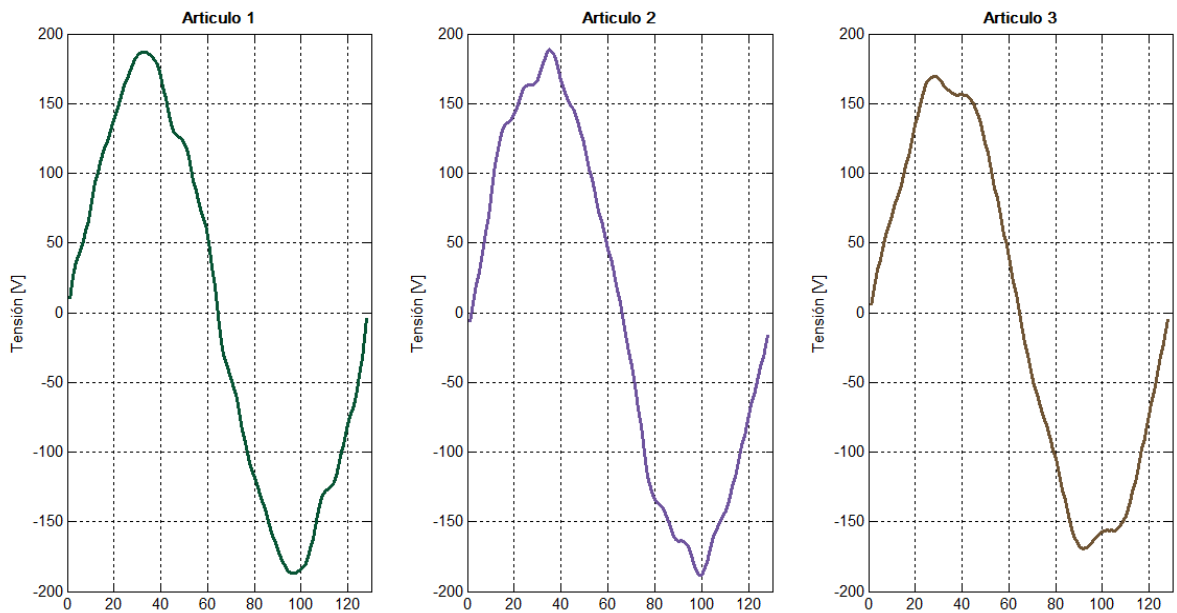


Figura A.1. Formas de onda de las señales de artículos de investigación.

Tabla A.1. Características de la forma de onda de las señales de artículos de investigación

Artículo/Armónico		fo	3	5	7	9	11	13
1	V	127	0.9911	5.4933	2.3279	0.461	2.6353	1.6365
	$\angle V^\circ$	0	-131.2073	19.4806	111.1538	43.5448	36.6693	77.9223
2	V	127	2.0907	5.0394	2.9644	0.8113	2.6133	1.4588
	$\angle V^\circ$	0	-45.8366	-85.3707	177.6169	-82.5059	83.0789	-50.4203
3	V	120	1.8	4.8	3	-	-	-
	$\angle V^\circ$	0	60	120	330	-	-	-

- Señales de la red de BT del Edificio de Ingeniería Eléctrica

Las señales de la Figura A.2 son señales seleccionadas de un grupo de señales características de la red de BT del Edificio, extraídas del analizador de redes PQube 3 ubicado en el cuarto técnico del Piso 4 del Edificio.

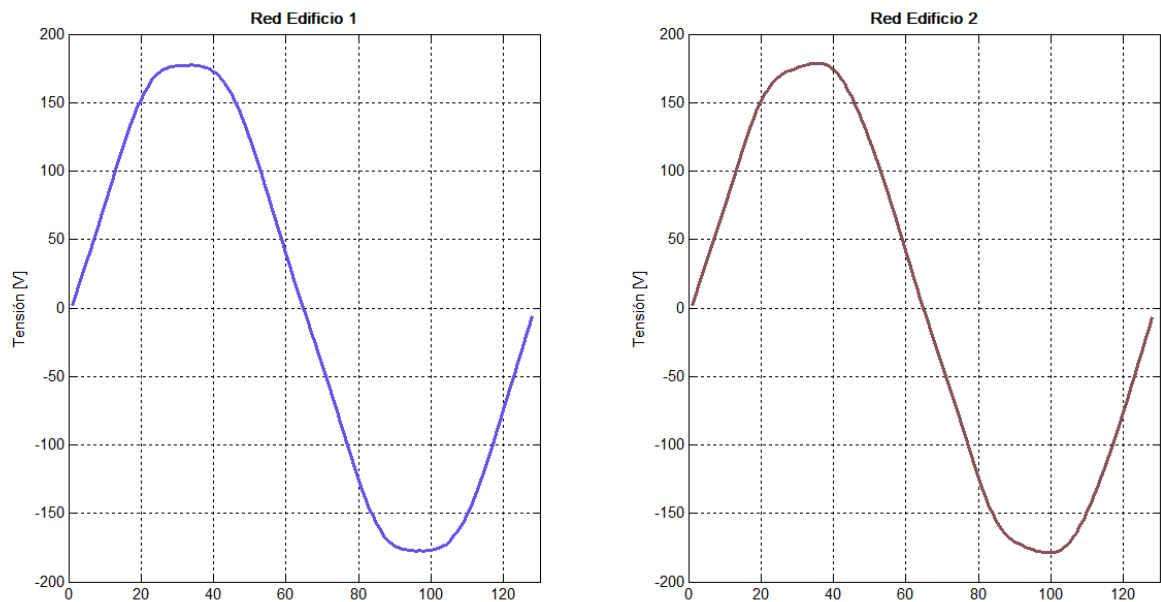


Figura A.2. Formas de onda de las señales del Edificio.

Tabla A.2. Características de la forma de onda de las señales del Edificio.

Señal/Armónico		fo	3	5	7	9	11
1	V	129.1	0.2129	3.1554	0.5415	0.0232	0.096
	$\angle V^\circ$	0	23.7517	176.3623	33.9816	194.7969	34.9074
2	V	128.4995	0.4157	2.3321	1.2219	0.1137	0.0902
	$\angle V^\circ$	0	84.8765	186.4269	64.0568	334.6446	309.1589

- Señales de trabajos de investigación de posgrado del grupo GISEL

Las señales de la Figura A.3 son utilizadas en trabajos de investigación de pregrado y posgrado del grupo de investigación GISEL [10],[18].

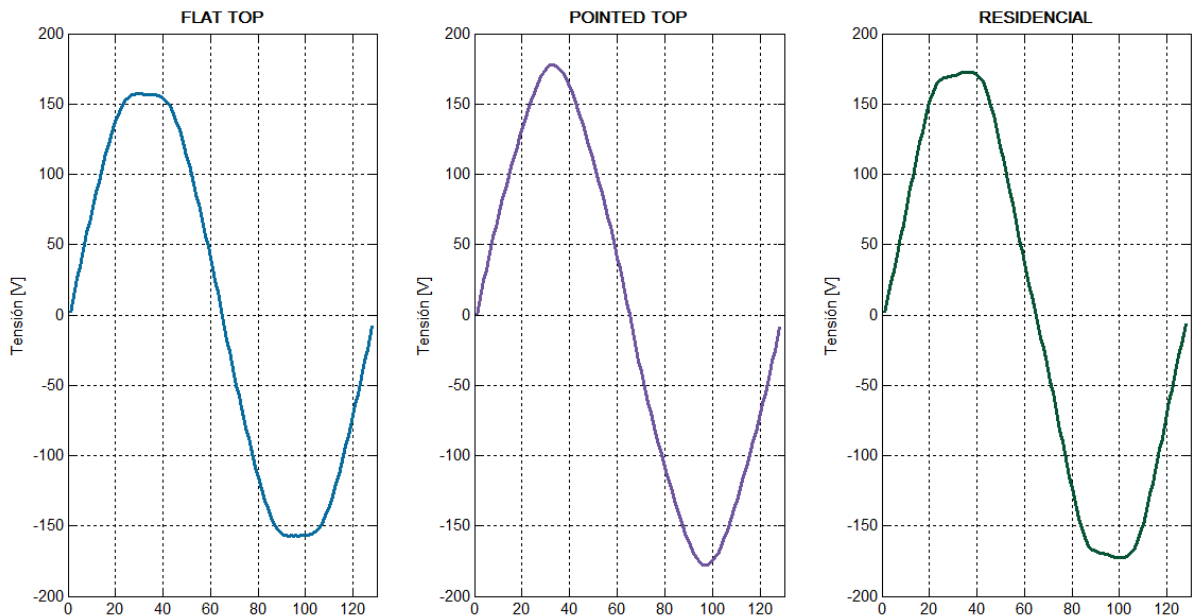


Figura A.3. Formas de onda de las señales de trabajos de posgrado


Tabla A.3. Características de la forma de onda de señales de trabajos de posgrado

Señal/Armónico		fo	3	5	7	9	11	13	15
FLAT TOP	V	116.609	2.7652	1.9304	1.0434	-	-	-	-
	$\angle V^\circ$	0	0	180	0	-	-	-	-
POINTED TOP	V	120	3.6522	3.6522	0.0574	-	-	-	-
	$\angle V^\circ$	0	180	0	0	-	-	-	-
RESIDENCIAL	V	126.2185	0.2606	4.5097	0.8534	0.2212	0.3756	0.1872	0.0949
	$\angle V^\circ$	0	-246.24	-171.19	35.23	-158.36	-183.73	3.35	-0.49

ANEXO B. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA TOMA DE MUESTRAS

Este anexo describe detalladamente la metodología experimental enunciada en el Numeral 2.4.

Tabla B.1. Procedimiento experimental Fuente Chroma.

FUENTE PROGRAMABLE CHROMA	OBSERVACIONES
	<p>La fuente programable cuenta con un conector para la línea de alimentación (conector de la izquierda), que se conecta a la red trifásica de 220 V; y un conector de salida, que emite energía a la carga (conector de la derecha).</p>

FUENTE PROGRAMABLE CHROMA	OBSERVACIONES
	<p>Se realiza la conexión de la clavija de alimentación de la mesa móvil del laboratorio al tomacorriente trifásico de 220 V.</p>
	<p>Se realiza la conexión de la clavija que conecta la mesa del laboratorio al tomacorriente de salida de la fuente</p>




FUENTE PROGRAMABLE CHROMA	OBSERVACIONES
	<p>Conexión de conectores de entrada y salida</p>
	<p>Se cierra el break de las protecciones de la fuente.</p>
	<p>Se enciende la fuente, con el interruptor de encendido principal</p>

Tabla B.2. Procedimiento experimental Analizador de Red PQube3.


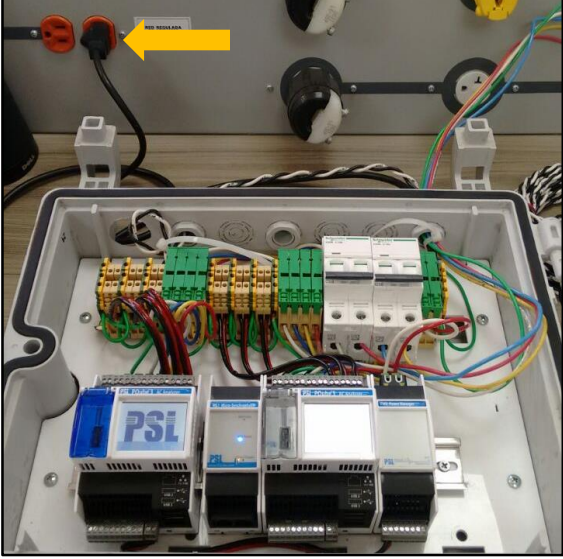

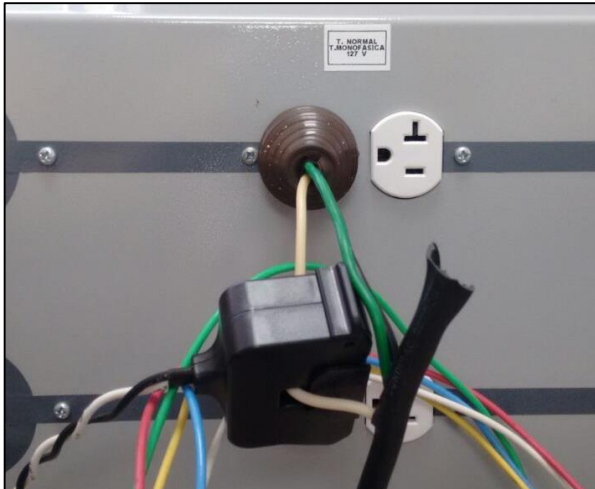

ANALIZADOR DE RED PQube3	OBSERVACIONES
	<p>Para el montaje de instalación del analizador de red, se debe energizar el mesón del laboratorio a utilizar con la red regulada de 110 V, cuyo tomacorriente se encuentra debajo del correspondiente mesón.</p>
	<p>Se conecta el cable de alimentación del analizador PQube3 en el tomacorriente de red regulada.</p>
	<p>Se conecta a los bornes del mesón los cables del analizador PQube3 que medirán la señal de tensión. (Fase A, neutro y tierra)</p>

Tabla B.3. Procedimiento experimental. Conexión luminaria ON-OFF.

CONEXIÓN DE LUMINARIA ON-OFF	OBSERVACIONES
	<p>Luminarias On-Off T5 4x14 W</p>
	<p>Se conecta la luminaria al tomacorriente monofásico del mesón del laboratorio alimentado por la señal generada por la fuente Chroma, luego se conecta el CT en la fase de la luminaria para la obtención de la medida de la señal de corriente en el PQube3.</p>

Tabla B.4. Procedimiento experimental. Conexión luminaria dimerizable.

<p align="center">CONEXIÓN DE LUMINARIA DIMERIZABLE</p>	<p align="center">OBSERVACIONES</p>
	<p align="center">Luminarias dimerizable T8 4x17 W</p>
	<p>Se conecta la luminaria al tomacorriente monofásico del mesón del laboratorio alimentado por la señal generada por la fuente Chroma, después se conecta el CT en la fase de la luminaria para la obtención de la señal de corriente.</p>
	<p>Se conecta la fuente DC al tomacorriente de tensión regulada.</p>

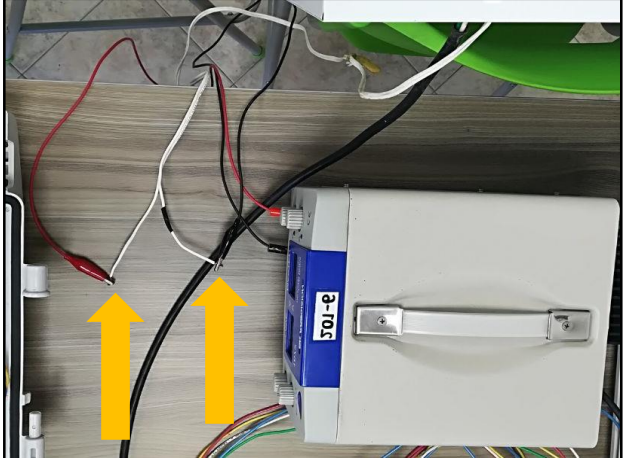
CONEXIÓN DE LUMINARIA DIMERIZABLE	OBSERVACIONES
	<p>Se conecta la fuente DC a los terminales del balastro adaptados de la luminaria.</p>

Tabla B.5. Procedimiento experimental. Manejo remoto desde el computador.

MANEJO REMOTO DESDE EL COMPUTADOR	OBSERVACIONES
	<p>Se conecta la fuente Chroma y el computador mediante un cable para interfaz RS-232C.</p>

<p align="center">MANEJO REMOTO DESDE EL COMPUTADOR</p>	<p align="center">OBSERVACIONES</p>
	<p>Se conecta el analizador PQube 3 y el computador mediante un cable ETHERNET</p>
	<p>Se conecta al computador la llave única necesaria para el exitoso funcionamiento remoto de la fuente Chroma.</p>




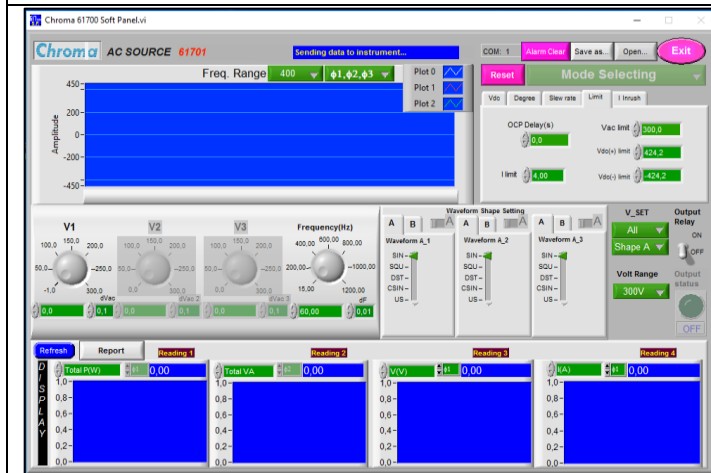
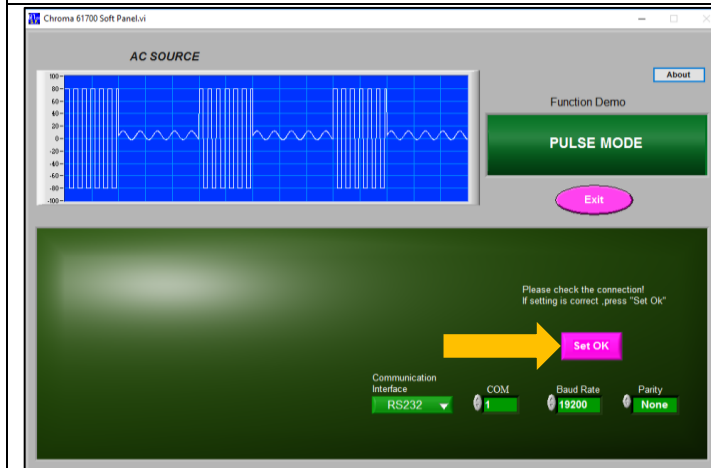
MANEJO REMOTO DESDE EL COMPUTADOR	OBSERVACIONES
	<p>Se sube el breaker para energizar el mesón con la fuente AC programable de 4 A.</p>
	<p>Se sube el breaker del analizador PQube3 para permitir que este mida tensión y corriente.</p>

Tabla B.6. Procedimiento experimental. Programación de señal.

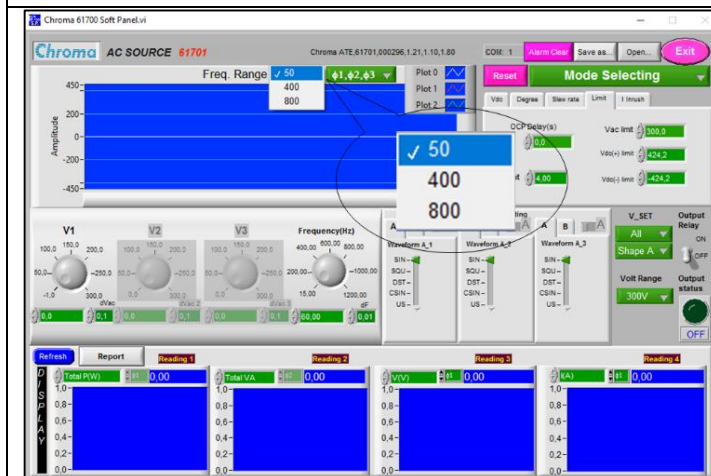
PROGRAMACION DE SEÑAL	OBSERVACIONES
	<p>Se abre el programa de la fuente ubicado en el escritorio del computador y luego se oprime el botón 'SET OK'</p>

PROGRAMACION DE SEÑAL

OBSERVACIONES



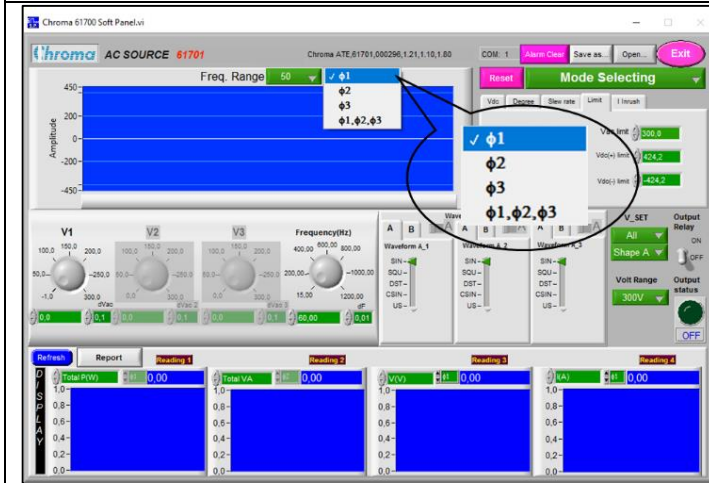
Aparece la pantalla de trabajo de la fuente programable Chroma



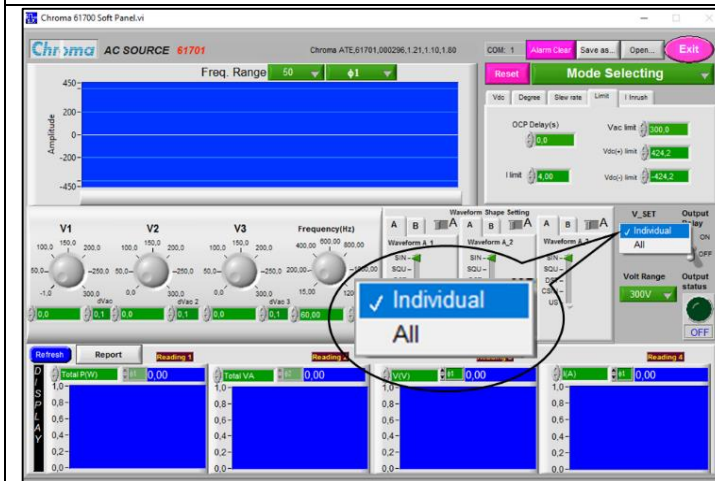
Se elige el rango de frecuencia a manejar en la pantalla gráfica. En este caso se elige 50.

PROGRAMACION DE SEÑAL

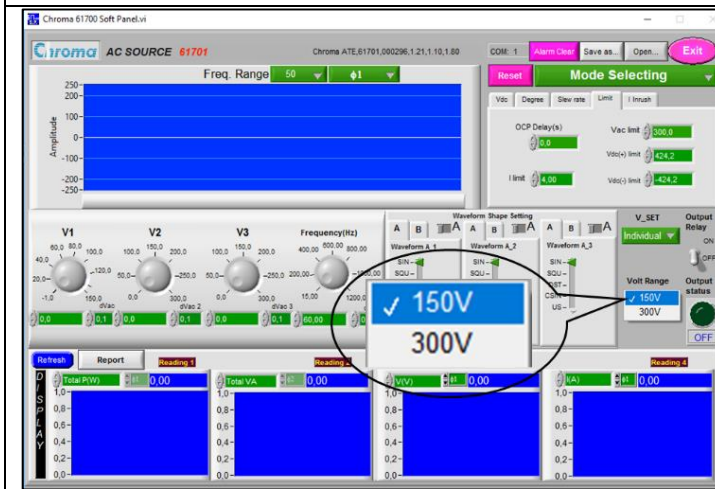
OBSERVACIONES



Se elige el número de fases a trabajar. En este caso se eligió monofásica $\phi 1$



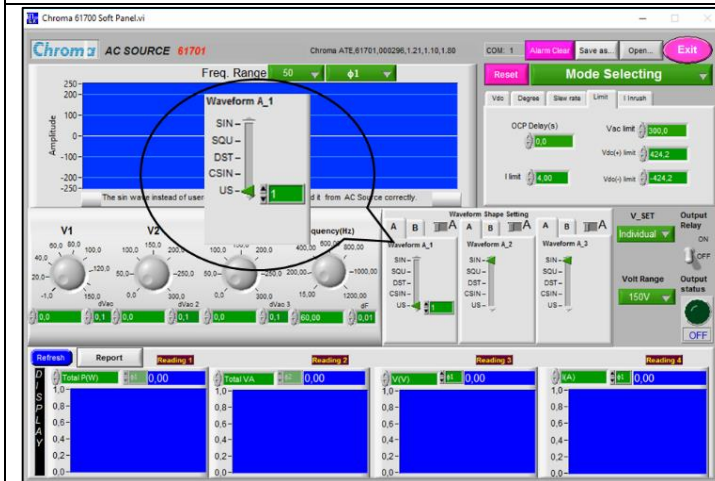
Se elige la opción 'Individual' para poder programar de forma independiente los valores de tensión de frecuencia fundamental de las fases. En este caso en la fase V1.



Se elige el rango de tensión en la que podrá aparecer la gráfica en la pantalla. En este caso se eligió 150V.

PROGRAMACION DE SEÑAL

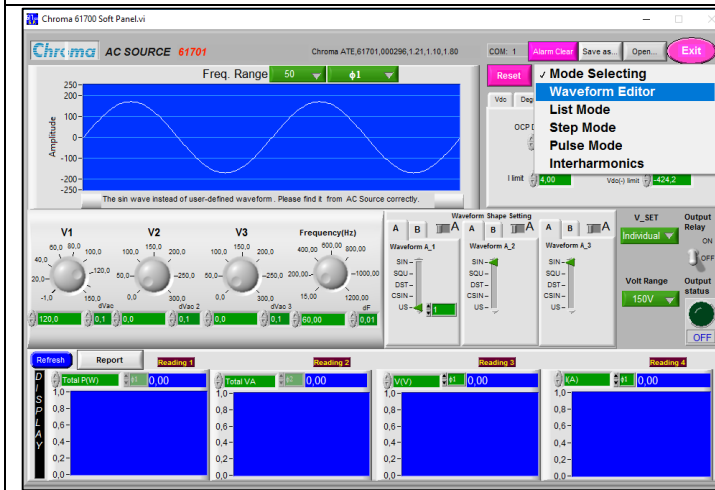
OBSERVACIONES



Se elige la forma de onda a establecer por el usuario US en este caso, dentro de las otras cuatro opciones.



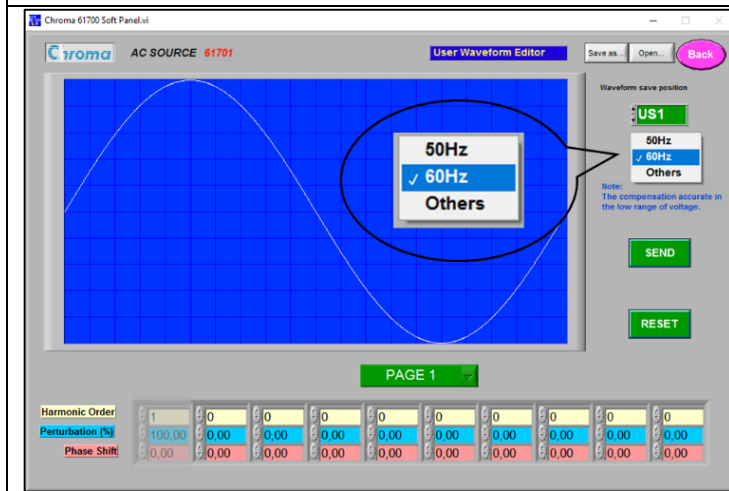
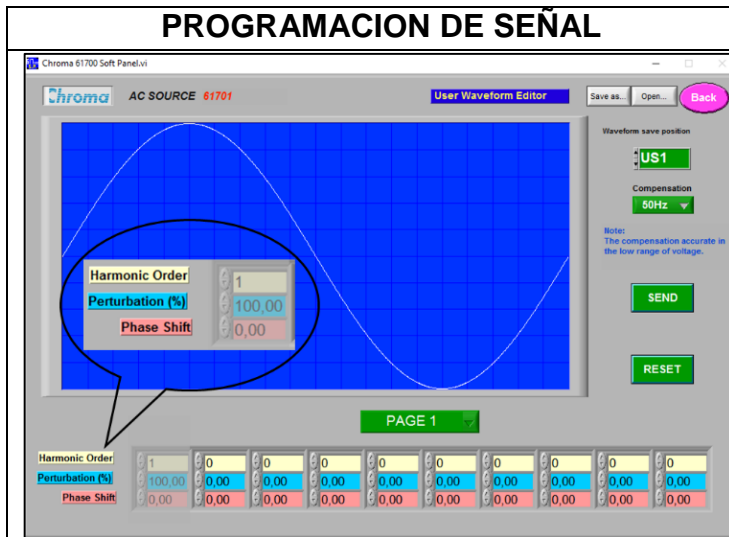
Se establece el valor RMS de tensión del armónico fundamental y la frecuencia del mismo.



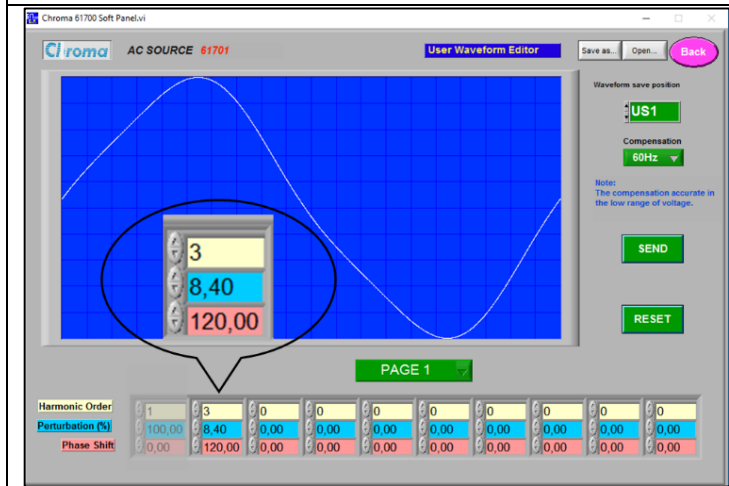
Se elige el modo de editor de forma de onda 'WAVEFORM EDITOR'. Luego se nos presenta el panel de edición de forma de onda con la opción de agregar hasta 32 armónicos de distinto orden, porcentaje de perturbación respecto al fundamental, y ángulo de fase en °.

PROGRAMACION DE SEÑAL

OBSERVACIONES

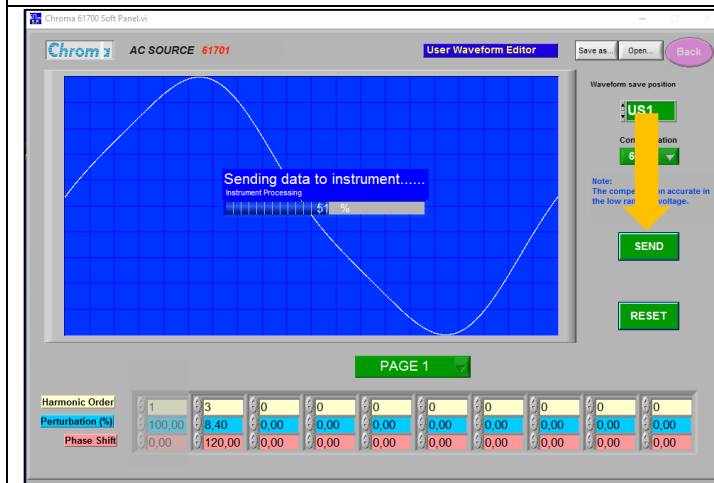


Se escoge la frecuencia igual a la establecida anteriormente en el armónico fundamental.



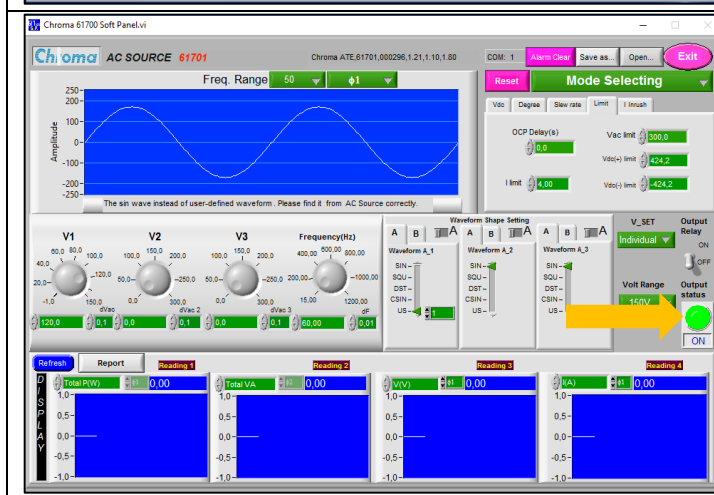
Se establece la información de los armónicos presentes en la señal que será generada por la fuente.

PROGRAMACION DE SEÑAL



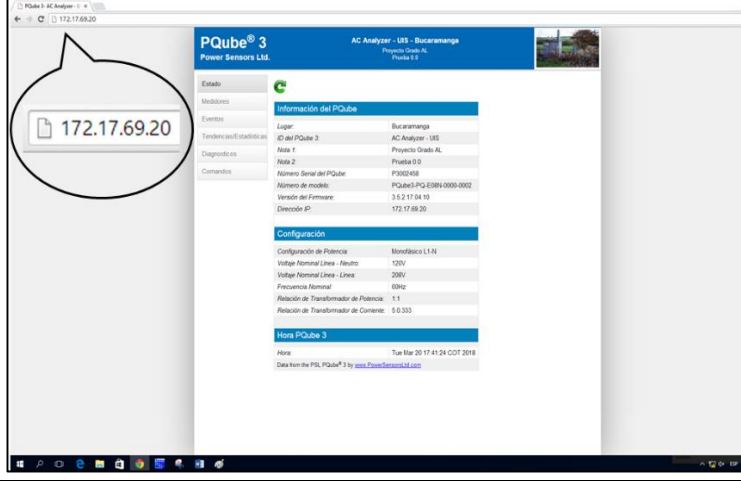
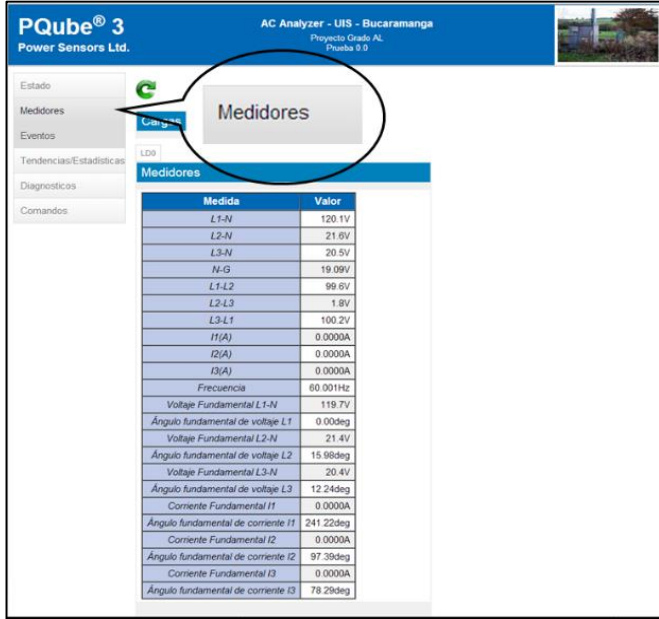
OBSERVACIONES

Se envía los datos de la señal a la fuente y luego se presiona el botón 'BACK' para devolverse a la pantalla principal del programa.



Se presiona el botón para energizar la fuente programable Chroma.

Tabla B.7. Procedimiento experimental. Toma de muestras.

TOMA DE MUESTRAS	OBSERVACIONES																																																
 <p>The screenshot shows the PQube 3 web interface. A speech bubble highlights the IP address 172.17.69.20 in the browser's address bar. The interface displays various sections including 'Información del PQube' and 'Configuración'.</p>	<p>Abriendo una ventana en Google Chrome, se inicia el programa remoto del analizador PQube 3, con el número de IP 172.17.69.20</p>																																																
 <p>The screenshot shows the 'Medidores' section of the PQube 3 web interface. A speech bubble highlights the 'Medidores' menu item. Below it is a table with the following data:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Medida</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>L1-N</td><td>120.1V</td></tr> <tr><td>L2-N</td><td>21.6V</td></tr> <tr><td>L3-N</td><td>20.5V</td></tr> <tr><td>N-G</td><td>19.09V</td></tr> <tr><td>L1-L2</td><td>99.6V</td></tr> <tr><td>L2-L3</td><td>1.8V</td></tr> <tr><td>L3-L1</td><td>100.2V</td></tr> <tr><td>I1(A)</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>I2(A)</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>I3(A)</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>Frecuencia</td><td>60.001Hz</td></tr> <tr><td>Voltaje Fundamental L1-N</td><td>119.7V</td></tr> <tr><td>Ángulo fundamental de voltaje L1</td><td>0.003deg</td></tr> <tr><td>Voltaje Fundamental L2-N</td><td>21.4V</td></tr> <tr><td>Ángulo fundamental de voltaje L2</td><td>15.983deg</td></tr> <tr><td>Voltaje Fundamental L3-N</td><td>20.4V</td></tr> <tr><td>Ángulo fundamental de voltaje L3</td><td>12.249deg</td></tr> <tr><td>Corriente Fundamental I1</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>Ángulo fundamental de corriente I1</td><td>241.229deg</td></tr> <tr><td>Corriente Fundamental I2</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>Ángulo fundamental de corriente I2</td><td>97.394deg</td></tr> <tr><td>Corriente Fundamental I3</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>Ángulo fundamental de corriente I3</td><td>78.294deg</td></tr> </tbody> </table>	Medida	Valor	L1-N	120.1V	L2-N	21.6V	L3-N	20.5V	N-G	19.09V	L1-L2	99.6V	L2-L3	1.8V	L3-L1	100.2V	I1(A)	0.0000A	I2(A)	0.0000A	I3(A)	0.0000A	Frecuencia	60.001Hz	Voltaje Fundamental L1-N	119.7V	Ángulo fundamental de voltaje L1	0.003deg	Voltaje Fundamental L2-N	21.4V	Ángulo fundamental de voltaje L2	15.983deg	Voltaje Fundamental L3-N	20.4V	Ángulo fundamental de voltaje L3	12.249deg	Corriente Fundamental I1	0.0000A	Ángulo fundamental de corriente I1	241.229deg	Corriente Fundamental I2	0.0000A	Ángulo fundamental de corriente I2	97.394deg	Corriente Fundamental I3	0.0000A	Ángulo fundamental de corriente I3	78.294deg	<p>En la sección de MEDIDORES se pueden observar diferentes valores característicos de las señales que el analizador está midiendo. Primero se visualizara el reporte de Medidores, el cual mostrara valores eficaces de tensión y corriente y valores de tensión y corriente del armónico fundamental con su ángulo de fase en grados.</p>
Medida	Valor																																																
L1-N	120.1V																																																
L2-N	21.6V																																																
L3-N	20.5V																																																
N-G	19.09V																																																
L1-L2	99.6V																																																
L2-L3	1.8V																																																
L3-L1	100.2V																																																
I1(A)	0.0000A																																																
I2(A)	0.0000A																																																
I3(A)	0.0000A																																																
Frecuencia	60.001Hz																																																
Voltaje Fundamental L1-N	119.7V																																																
Ángulo fundamental de voltaje L1	0.003deg																																																
Voltaje Fundamental L2-N	21.4V																																																
Ángulo fundamental de voltaje L2	15.983deg																																																
Voltaje Fundamental L3-N	20.4V																																																
Ángulo fundamental de voltaje L3	12.249deg																																																
Corriente Fundamental I1	0.0000A																																																
Ángulo fundamental de corriente I1	241.229deg																																																
Corriente Fundamental I2	0.0000A																																																
Ángulo fundamental de corriente I2	97.394deg																																																
Corriente Fundamental I3	0.0000A																																																
Ángulo fundamental de corriente I3	78.294deg																																																

TOMA DE MUESTRAS	OBSERVACIONES																																																															
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: #0070C0; color: white; margin: 0;">Energía/Potencia</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">Medida</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Potencia Real L1</td><td>63.640W</td></tr> <tr><td>VA L1</td><td>63.986VA</td></tr> <tr><td>iPF L1</td><td>0.99</td></tr> <tr><td>VAR L1</td><td>-4.416VAR</td></tr> <tr><td>Energía (desde 2017/06/05)</td><td>3.485421KWh</td></tr> <tr><td>Energía consumida (desde 2017/06/05)</td><td>3.505553KWh</td></tr> <tr><td>Energía generada (desde 2017/06/05)</td><td>-0.020131kWh</td></tr> <tr><td>Energía Aparente (desde 2017/06/05)</td><td>3.733kVAh</td></tr> <tr><td>Energía Reactiva (desde 2017/06/05)</td><td>-0.341kVARh</td></tr> <tr><td>Energía Reactiva Positiva (desde 2017/06/05)</td><td>0.004kVARh</td></tr> <tr><td>Energía Reactiva Negativa (desde 2017/06/05)</td><td>-0.345kVARh</td></tr> <tr><td rowspan="3">Corriente Pico RMS (desde 00/00/00)</td><td>1 ciclo</td><td>3.5060Arms</td></tr> <tr><td>1 minuto</td><td>1.0648Arms</td></tr> <tr><td>3 minuto</td><td>0.9634Arms</td></tr> <tr><td rowspan="3">Potencia Pico (desde 00/00/00)</td><td>1 ciclo</td><td>-0.129W</td></tr> <tr><td>1 minuto</td><td>-0.106W</td></tr> <tr><td>3 minuto</td><td>-0.010W</td></tr> <tr><td rowspan="3">Potencia Pico Aparente (desde 00/00/00)</td><td>1 ciclo</td><td>395.212VA</td></tr> <tr><td>1 minuto</td><td>127.929VA</td></tr> <tr><td>3 minuto</td><td>123.198VA</td></tr> </tbody> </table> </div>	Medida	Valor	Potencia Real L1	63.640W	VA L1	63.986VA	iPF L1	0.99	VAR L1	-4.416VAR	Energía (desde 2017/06/05)	3.485421KWh	Energía consumida (desde 2017/06/05)	3.505553KWh	Energía generada (desde 2017/06/05)	-0.020131kWh	Energía Aparente (desde 2017/06/05)	3.733kVAh	Energía Reactiva (desde 2017/06/05)	-0.341kVARh	Energía Reactiva Positiva (desde 2017/06/05)	0.004kVARh	Energía Reactiva Negativa (desde 2017/06/05)	-0.345kVARh	Corriente Pico RMS (desde 00/00/00)	1 ciclo	3.5060Arms	1 minuto	1.0648Arms	3 minuto	0.9634Arms	Potencia Pico (desde 00/00/00)	1 ciclo	-0.129W	1 minuto	-0.106W	3 minuto	-0.010W	Potencia Pico Aparente (desde 00/00/00)	1 ciclo	395.212VA	1 minuto	127.929VA	3 minuto	123.198VA	<p>Continuando con la sección anterior, se observa también un reporte de potencia y energía en la fase en que se está trabajando.</p>																		
Medida	Valor																																																															
Potencia Real L1	63.640W																																																															
VA L1	63.986VA																																																															
iPF L1	0.99																																																															
VAR L1	-4.416VAR																																																															
Energía (desde 2017/06/05)	3.485421KWh																																																															
Energía consumida (desde 2017/06/05)	3.505553KWh																																																															
Energía generada (desde 2017/06/05)	-0.020131kWh																																																															
Energía Aparente (desde 2017/06/05)	3.733kVAh																																																															
Energía Reactiva (desde 2017/06/05)	-0.341kVARh																																																															
Energía Reactiva Positiva (desde 2017/06/05)	0.004kVARh																																																															
Energía Reactiva Negativa (desde 2017/06/05)	-0.345kVARh																																																															
Corriente Pico RMS (desde 00/00/00)	1 ciclo	3.5060Arms																																																														
	1 minuto	1.0648Arms																																																														
	3 minuto	0.9634Arms																																																														
Potencia Pico (desde 00/00/00)	1 ciclo	-0.129W																																																														
	1 minuto	-0.106W																																																														
	3 minuto	-0.010W																																																														
Potencia Pico Aparente (desde 00/00/00)	1 ciclo	395.212VA																																																														
	1 minuto	127.929VA																																																														
	3 minuto	123.198VA																																																														
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: #0070C0; color: white; margin: 0;">Armónica</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">Medida</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">L1-N</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">L2-N</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">L3-N</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">I1(A)</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">I2(A)</th> <th style="background-color: #0070C0; color: white;">I3(A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>H3</td><td>8.5%</td><td>11.7%</td><td>11.1%</td><td>0.0539A</td><td>0.0001A</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>H5</td><td>0.0%</td><td>0.1%</td><td>0.0%</td><td>0.0258A</td><td>0.0000A</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>H7</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0161A</td><td>0.0000A</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>H9</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0096A</td><td>0.0000A</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>H11</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0052A</td><td>0.0000A</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>H13</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0026A</td><td>0.0000A</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>H15</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0010A</td><td>0.0000A</td><td>0.0000A</td></tr> <tr><td>H17</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td>0.0008A</td><td>0.0000A</td><td>0.0000A</td></tr> </tbody> </table> </div>	Medida	L1-N	L2-N	L3-N	I1(A)	I2(A)	I3(A)	H3	8.5%	11.7%	11.1%	0.0539A	0.0001A	0.0000A	H5	0.0%	0.1%	0.0%	0.0258A	0.0000A	0.0000A	H7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0161A	0.0000A	0.0000A	H9	0.0%	0.0%	0.0%	0.0096A	0.0000A	0.0000A	H11	0.0%	0.0%	0.0%	0.0052A	0.0000A	0.0000A	H13	0.0%	0.0%	0.0%	0.0026A	0.0000A	0.0000A	H15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0010A	0.0000A	0.0000A	H17	0.0%	0.0%	0.0%	0.0008A	0.0000A	0.0000A	<p>Y por último en la sección de MEDIDORES, se encuentra un reporte de armónicos en el que se presenta el IDH en las diferentes fases de tensión y el valor eficaz de la corriente en las mismas.</p>
Medida	L1-N	L2-N	L3-N	I1(A)	I2(A)	I3(A)																																																										
H3	8.5%	11.7%	11.1%	0.0539A	0.0001A	0.0000A																																																										
H5	0.0%	0.1%	0.0%	0.0258A	0.0000A	0.0000A																																																										
H7	0.0%	0.0%	0.0%	0.0161A	0.0000A	0.0000A																																																										
H9	0.0%	0.0%	0.0%	0.0096A	0.0000A	0.0000A																																																										
H11	0.0%	0.0%	0.0%	0.0052A	0.0000A	0.0000A																																																										
H13	0.0%	0.0%	0.0%	0.0026A	0.0000A	0.0000A																																																										
H15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0010A	0.0000A	0.0000A																																																										
H17	0.0%	0.0%	0.0%	0.0008A	0.0000A	0.0000A																																																										
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> </div>	<p>En la sección de COMANDOS se tiene el botón de GENERAR INSTANTANEA, y este se oprime una vez pasado el tiempo necesario para que la señal de tensión sea estable. (DEPENDIENDO DE LA CARGA)</p>																																																															

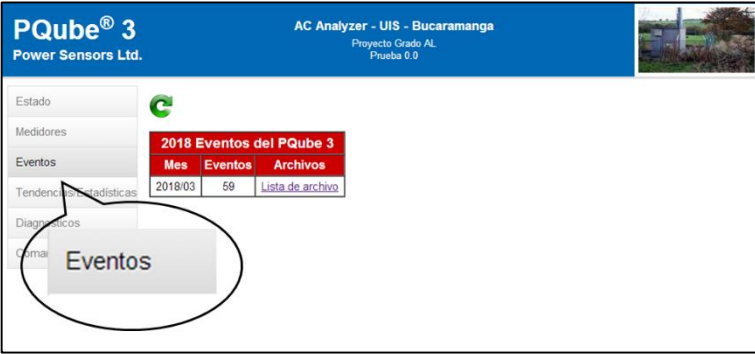


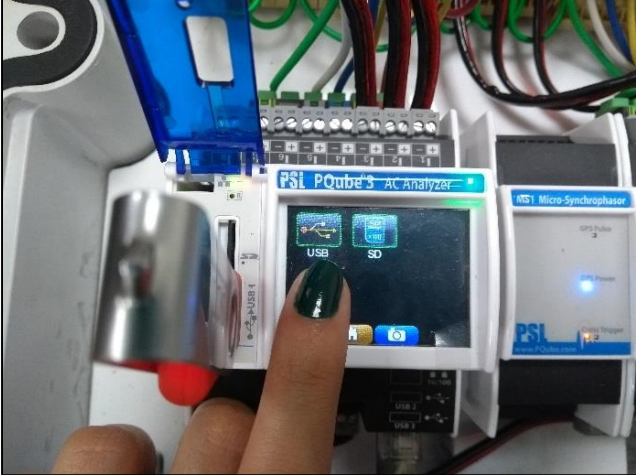

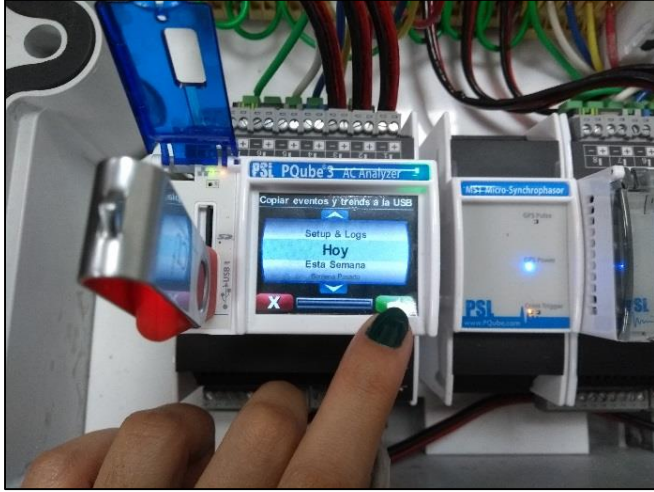


TOMA DE MUESTRAS	OBSERVACIONES							
	<p>Por último, aproximadamente cinco minutos después de haber generado la instantánea en la sección de EVENTOS, aparecerá el evento que el analizador acaba de recopilar.</p>							
<p style="text-align: center;">Graphs</p> <p>P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_Current_Harmonic.gif P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_RMS.gif P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_Voltage_Harmonic.gif P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_Waveform.gif</p>	<p>La información del evento se presentara en cuatro distintas formas, GRAFICAS, archivo PQDIF, archivos .CSV y resúmenes en .TXT, .HTM y .XML</p>							
<p style="text-align: center;">PQDIF</p> <p>P3002458_2018-03-14_T_18-37-13.878_Snapshot_PQDIF.pqd</p>								
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Spreadsheets</th> <th style="text-align: center;">Summaries</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_Harmonic.csv</td> <td>P3002458_Event.htm</td> </tr> <tr> <td>P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_RMS.csv</td> <td>P3002458_Event.txt</td> </tr> <tr> <td>P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_Waveform.csv</td> <td>P3002458_Event.xml</td> </tr> </tbody> </table>		Spreadsheets	Summaries	P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_Harmonic.csv	P3002458_Event.htm	P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_RMS.csv	P3002458_Event.txt	P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_Waveform.csv
Spreadsheets	Summaries							
P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_Harmonic.csv	P3002458_Event.htm							
P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_RMS.csv	P3002458_Event.txt							
P3002458_2018-03-14_T_18-37-13-878_Snapshot_Waveform.csv	P3002458_Event.xml							

Tabla B.8. Procedimiento experimental. Almacenamiento de datos.

<p align="center">ALMACENAMIENTO DE DATOS RECOPIADOS</p>	<p align="center">OBSERVACIONES</p>
	<p>Una vez introducida la memoria USB en el puerto, el PQube la reconocerá y estará conectada al analizador.</p>
	<p>En la pantalla principal del analizador, se oprime la opción de GUARDAR.</p>
	<p>Siguiendo el paso anterior, se oprime la opción de USB.</p>

ALMACENAMIENTO DE DATOS RECOPIADOS	OBSERVACIONES
	<p>Luego, se presentan las opciones de copiar a la memoria USB.</p>
	<p>Se elige la opción de HOY para copiar en la memoria los datos recopilados en el día de trabajo.</p>
	<p>Una vez el PQube 3 copia los datos a la memoria USB, pide al usuario si quiere extraer la memoria.</p>

ALMACENAMIENTO DE DATOS RECOPIRADOS	OBSERVACIONES
	<p>Finalmente la memoria puede ser extraída una vez que el PQube le advierta tal cosa.</p>

ANEXO C. PROGRAMAS EN MATLAB

Este anexo presenta los programas desarrollados en MATLAB que permiten calcular tanto los parámetros de los modelos de carga ZIP, Exponencial y Norton, como la información de potencias y tensiones RMS de las señales. Inicialmente, se describe el procedimiento para la ejecución de los programas utilizados en el Capítulo 3 y, por último, se adjuntan las líneas de códigos de los programas desarrollados.

1. Procedimiento para la ejecución de los programas

Antes de llamar el programa, en el *Current Folder* deben estar cargados los códigos de los programas como se observa en la Figura C.1. Los programas MODELOS, ZIP, EXPONENCIAL y NORTON son los principales y los demás programas se desarrollan dentro de los principales.

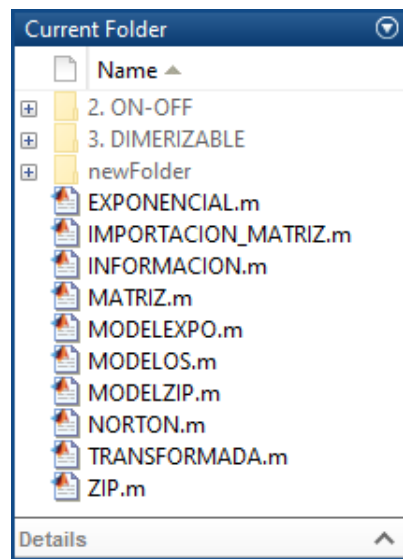


Figura C.1. Códigos del programa.

Programa MODELOS

1. Inicio

Escribir MODELOS en la ventana *Command Window*.

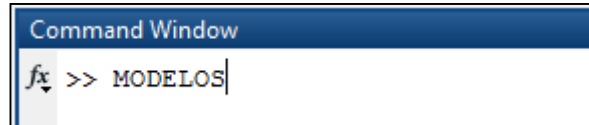


Figura C.2. Iniciar el programa.

2. Definir los datos:

Una vez llamado el programa, este pedirá ingresar los datos de potencia nominal de la carga en W , factor de potencia de la carga, tensión nominal de la carga en V , número de muestras por ciclo, frecuencia fundamental en Hz y el número de armónicos a analizar. En la Figura C.3 se observa un ejemplo, con datos de una luminaria On-Off que se mencionaron en el Capítulo 2.

```
Command Window

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE POTENCIAS CONSUMIDAS POR LA CARGA Y PARÁMETROS DE LOS MODELOS
DE CARGA ZIP Y EXPONENCIAL

Autoras: Luisa Fernanda Carrillo, Alejandra Martínez Director: German Alfonso Osma Pinto
Codirectores: Gabriel Alexis Malagón Carvajal, Julián Oswaldo Flórez Reyes

Titulo del trabajo de grado:
Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de cargas luminicas del Edificio
de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación

Este programa realiza el cálculo de: Tensiones RMS, potencias activas, potencias aparentes, potencias reactivas
potencias reactivas y de distorsión de Budeanude de la carga y los parámetros de los modelos ZIP y EXPONENCIAL.

Potencia nominal de la carga (W):67.2
Factor de potencia de la carga:0.99
Tensión nominal de la carga (V):120
Número de muestras por ciclo:128
Frecuencia fundamental (Hz):60
fx Número de armónicos (impares) a analizar:2
```

Figura C.3. Ejemplo de ingreso de datos en el programa.

3. Llamada de datos de medición

El valor ingresado en “número de armónicos (impares) a analizar”, hace referencia a la cantidad de archivos encontrados .mat.

```
for ii = 1:arc
    yy = 2*ii-1;
    numelec= num2str(yy,'%02d');
    load(['time_sweep(ZIP & EXP)\time_sweep_',numelec,'.mat']);
```

Figura C.4. Ruta de la carpeta donde se encuentran los archivos de muestras en .mat.

La ruta indicada en la figura anterior, lleva a la carpeta llamada time_sweep(ZIP & EXP) donde se encuentra los archivos .mat llamados time_sweep_01 y time_sweep_03, como se observa en la Figura C.5.

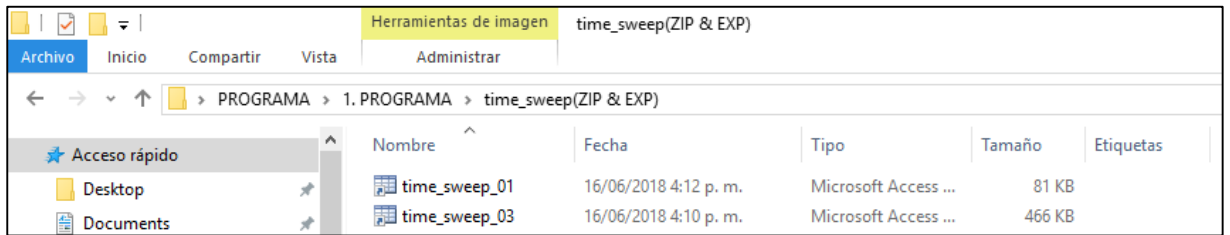


Figura C.5. Archivos. mat de la ruta indicada en el programa.

Cada archivo .mat representa las muestras de mediciones por armónico, y que será la cantidad de sentencias que realizará el programa.

4. Transformada

Dentro del programa MODELOS se ejecuta el código TRASNFORMADA, que tiene como función, encontrar los componentes de frecuencia de la señal en el tiempo, utilizando la función *fft* (*Fast Fourier Transform*), transformada rápida de Fourier.

5. Información

Una vez realizada la FFT, se tienen las muestras en frecuencia (magnitud y ángulo). El código INFORMACIÓN, que se ejecuta dentro del programa MODELOS, utiliza estos datos para calcular las tensiones RMS de las señales, potencias activas, potencias aparentes, potencias reactivas de Fryze, potencias reactivas y de distorsión de Budeanu, como se observa en la Figura C.6, siguiendo con el ejemplo de la luminaria On-Off.

Command Window						
armonico número 1						
INFORMACIÓN DE LAS SEÑALES						
N°V	Vrms	PT	S	QF	QB	DB
1.0000	100.0113	68.6069	68.8153	-5.3521	-2.7604	4.5853
2.0000	104.0278	68.9426	69.1578	-5.4517	-3.0134	4.5432
3.0000	108.0430	68.7669	68.9887	-5.5280	-3.2554	4.4679
4.0000	112.0609	68.5420	68.7729	-5.6311	-3.5019	4.4098
5.0000	116.0746	68.4342	68.6740	-5.7337	-3.7433	4.3431
6.0000	119.9981	68.2252	68.4756	-5.8508	-3.9999	4.2700
7.0000	124.1107	68.0156	68.2803	-6.0061	-4.2901	4.2033
8.0000	128.0240	67.9591	68.2368	-6.1499	-4.5466	4.1413
9.0000	130.1353	68.0036	68.2912	-6.2616	-4.6877	4.1513

Figura C.6. Información de las señales.

6. Parámetros del modelo ZIP y EXPONENCIAL

El programa le da la opción al usuario si desea obtener los parámetros del modelo ZIP y exponencial, luego de obtener la información de las señales que se están estudiando en esa sentencia, como se observa en las figuras C.7 y C.8.

```
fx Desea obtener los parámetros del modelo ZIP (1=SI,0=NO):|
```

Figura C.7. Pregunta de condición para pará cálculo de parámetros del modelo ZIP.

```
fx Desea obtener los parámetros del modelo exponencial (1=SI,0=NO):|
```

Figura C.8. Pregunta de condición para pará cálculo de parámetros del modelo exponencial.

Se explica los resultados de estas condiciones en los numerales 2 y 3.

7. Fin del programa

Una vez se acaban las sentencias del ciclo, el programa finaliza como se observa en la Figura C.9.

```
No hay mas datos para analizar
FIN
fx >> |
```

Figura C.9. Fin del programa.

Programa ZIP

4. Inicio

Escribir ZIP en la ventana *Command Window*.

```
Command Window
fx >> ZIP|
```

Figura C.10. Iniciar el programa.

5. Definir los datos

Como en el programa MODELOS, se pedirán los mismos datos de entrada para el de ZIP. En la Figura C.11 se observa el ejemplo, con datos de una luminaria On-Off.

```
Command Window

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL MODELO ZIP

Autoras: Luisa Fernanda Carrillo, Alejandra Martínez      Director: German Alfonso Osma Pinto
Codirectores: Gabriel Alexis Malagón Carvajal, Julián Oswaldo Flórez Reyes

Título del trabajo de grado:
Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de cargas lumínicas del Edificio
de Ingeniería Electrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación

Este programa realiza el cálculo de los parámetros Z, I y P del modelo ZIP

Potencia nominal de la carga (W):67.2
Factor de potencia de la carga:0.99
Tensión nominal de la carga (V):120
Número de muestras por ciclo:128
Frecuencia fundamental (Hz):60
Número de armónicos (impares) a analizar:2
```

Figura C.11. Ejemplo de ingreso de datos en el programa.

Los pasos 3, 4 y 5 del programa MODELOS, que son la llamada de datos de medición, transformada e información, son los mismos pasos para los programas ZIP, EXPONENCIAL y NORTON, por el cual se omite la explicación de estos pasos.

6. Parámetros del modelo ZIP

El programa ZIP desarrolla el primer método mencionado en el Capítulo 1, donde utiliza la función *polyfit* de MATLAB, para el cálculo de los parámetros de impedancia constante, corriente constante y potencia constante. Este método fue elegido entre los tres mencionados, debido a que todos muestran iguales resultados y *polyfit* presenta una programación más sencilla. Los resultados se muestran como se observan en las figuras C.12 y C.13, siguiendo con el ejemplo de la luminaria On-Off.

```

Command Window

Armonico número 1

PARÁMETROS DEL MODELOS ZIP POTENCIA ACTIVA

P1=Po (Pp + Ip (v1/v0) + Zp (v1/v0)^2)

      Pp      Ip      Zp
0.9558  0.1863  -0.1256

PARÁMETROS DEL MODELOS ZIP POTENCIA NO ACTIVA

Q1=Qo (Pq + Iq (v1/v0) + Zq (v1/v0)^2)

      Pq      Iq      Zq
-0.8484  0.8932  -0.6570

```

Figura C.12. Parámetros del modelo ZIP.

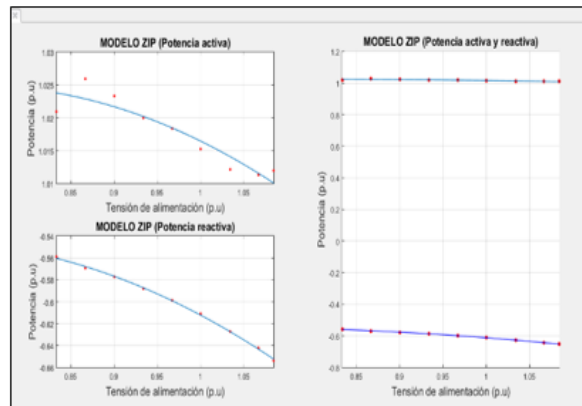


Figura C.13. Graficas de potencias contra tensión del modelo ZIP.

7. Fin del programa

Una vez se acaban las sentencias del ciclo, el programa finaliza como se observa en la Figura C.14.

```

No hay mas datos para analizar
FIN
fx >> |

```

Figura C.14. Fin del programa.

Programa EXPONENCIAL

1. Inicio

Escribir ZIP en la ventana Command Window.

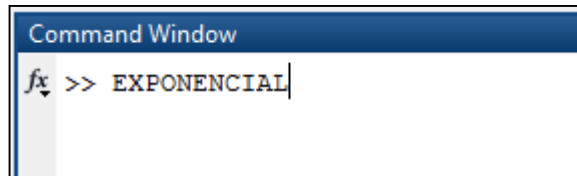


Figura C.15. Iniciar el programa.

2. Definir datos

Se ingresan los datos requeridos por el programa, como se observa en la Figura C.16, siguiendo con el ejemplo de la luminaria On-Off.

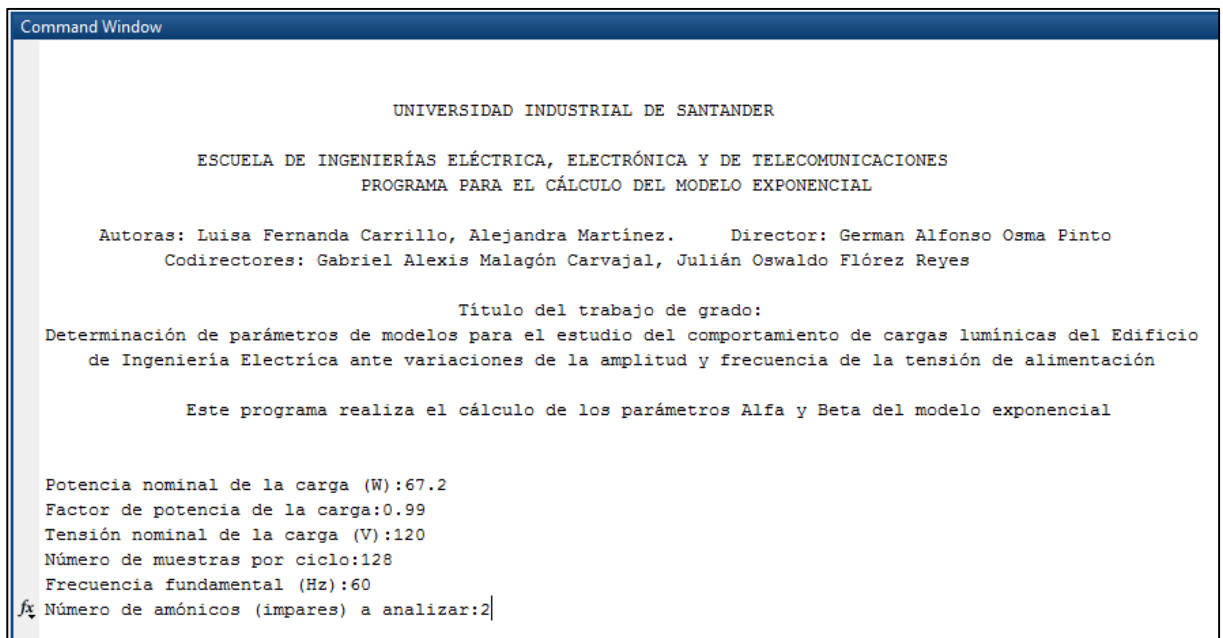


Figura C.17. Ejemplo de ingreso de datos en el programa.

3. Parámetros del modelo exponencial

Los parámetros del modelo exponencial se calculan con el método mencionado en el Numeral 2.5.1, donde utiliza la función *polyfit* de MATLAB. Este método fue elegido entre los dos mencionados, debido a que ambos muestran iguales resultados y *polyfit* presenta una programación más sencilla.

Los resultados se muestran como se observan en las figuras C.18 y C.19, siguiendo con el ejemplo de la luminaria On-Off.

```
Command Window
Armonico número 1

PARÁMETROS DEL MODELOS EXPONENCIAL POTENCIA ACTIVA

P=Po (v/v0)^b

Po      b
1.0156  -0.0517

PARÁMETROS DEL MODELOS EXPONENCIAL POTENCIA NO ACTIVA

Q=Qo (v/v0)^c

Qo      c
-0.6161  0.5845
```

Figura C.18. Parámetros del modelo exponencial

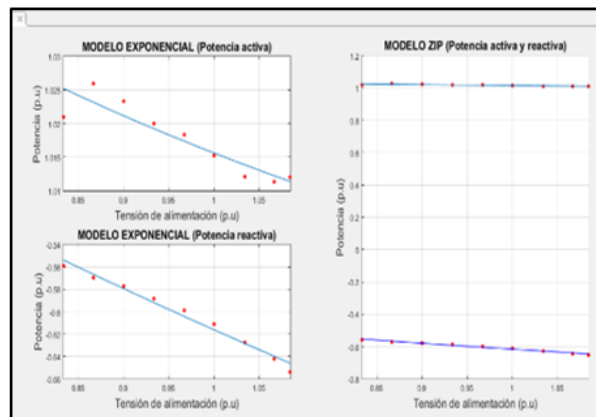


Figura C.19. Graficas de potencias contra tensión del modelo ZIP.

4. Fin del programa

Una vez el programa muestre todas las informaciones de las señales o de la matriz según se indique, el programa finaliza como se observa en la Figura C.20.

```
No hay mas datos para analizar
FIN
fx >> |
```

Figura C.20. Fin del programa.

Programa NORTON

1. Inicio

Escribir NORTON en la ventana *Command Window*.

```
Command Window
fx >> NORTON|
```

Figura C.21. Iniciar el programa.

2. Definir datos

Se ingresan los datos requeridos por el programa, como se observa en la Figura C.22, para el cálculo de la matriz de admitancias y la información de las señales.

```

Command Window

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LA MATRIZ DE ADMITANCIAS DEL MODELO NORTON

Autoras: Luisa Fernanda Carrillo, Alejandra Martínez.    Director: German Alfonso Osma Pinto
Codirectores: Gabriel Alexis Malagón Carvajal, Julián Oswaldo Flórez Reyes

Titulo del trabajo de grado:
Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de cargas luminicas del Edificio
de Ingeniería Electrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación

Este programa realiza el cálculo de los de la matriz de admitancias del modelo Norton, y el cálculo de potencias

Potencia nominal de la carga (W):67.2
Factor de potencia de la carga:0.99
Tensión nominal de la carga (V):120
Número de muestras por ciclo:128
Frecuencia fundamental (Hz):60
fx Número de armónicos impares: 6

```

Figura C.22. Toma de datos, ejemplo datos luminaria On-Off.

3. Matrices de datos en números complejos

Los componentes de la matriz de admitancias para el modelo Norton son números complejos (fasores), por lo que se requiere que los datos de las muestras, luego de hacer la transformada, estén en forma fasorial. En la Figura C.23 se observa un ejemplo de matriz en números complejos obtenida a partir de los datos de mediciones con la luminaria On-Off.

	1	2	3	4	5	6	7
1	1.2012e+02 + 0....	1.2011e+02 + 0...	1.2011e+02 + 0....	1.2011e+02 + 0....	1.2010e+02 + ...	1.2011e+02 + 0...	1.2008e+02 + 0....
2	0.9937 - 0.0583i	0.5025 + 0.8206i	-0.5027 + 0.8343i	-1.0200 - 0.0303i	-0.5282 - 0.9134i	0.4783 - 0.9237i	2.9873 - 0.0875i
3	-0.0004 - 0.0058i	0.0024 - 0.0092i	0.0022 - 0.0068i	0.0003 - 0.0045i	0.0005 - 0.0038i	-0.0008 - 0.0057i	-0.0035 - 0.0119i
4	0.0032 + 0.0084i	0.0059 + 0.0084i	0.0082 + 0.0094i	0.0045 + 0.0103i	0.0044 + 0.0122i	0.0048 + 0.0095i	0.0040 + 0.0094i
5	0.0045 + 0.0081i	-0.0020 + 0.0053i	-0.0013 + 0.0071i	0.0030 + 0.0066i	0.0005 + 0.0055i	0.0059 + 0.0072i	0.0040 + 0.0081i
6	-0.0005 + 0.0067i	0.0007 + 0.0039i	0.0013 + 0.0024i	0.0006 + 0.0035i	0.0006 + 0.0054i	0.0022 + 0.0057i	0.0001 + 0.0030i
7							

Figura C.23. Toma de datos, ejemplo matriz de datos en números complejos de luminaria On-Off.

4. Formación de una sola matriz de tensión y una de corriente

Con las matrices en números complejos armadas por armónico en el punto anterior, se forman una sola matriz de tensión y una sola de corriente. Para este ejemplo de muestra, cada matriz de cada armónico es del tamaño [6x36] para tensión y corriente, por lo que resulta una sola matriz de tamaño [6x216] para tensión y corriente, respectivamente.

5. Matriz de admitancias

La matriz de admitancia se calcula como se indica en el Numeral 2.8 del marco teórico. Los resultados se muestran como se observa en la Figura C.24.

```
Matriz de admitancias
Columns 1 through 6
0.0000 - 0.0000i  0.0047 + 0.0003i  -0.0001 - 0.0001i  -0.0004 - 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i  -0.0003 - 0.0000i
0.0000 - 0.0000i  -0.0001 - 0.0001i  0.0047 + 0.0006i  0.0000 - 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i  -0.0005 - 0.0000i
0.0000 - 0.0000i  -0.0002 - 0.0000i  0.0000 - 0.0001i  0.0047 + 0.0008i  0.0001 - 0.0001i  -0.0004 - 0.0000i
0.0001 - 0.0000i  -0.0001 + 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i  0.0000 - 0.0001i  0.0046 + 0.0011i  0.0000 - 0.0001i
0.0001 - 0.0000i  -0.0001 - 0.0000i  -0.0005 + 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i  0.0001 - 0.0002i  0.0049 + 0.0014i
0.0000 + 0.0000i  -0.0000 - 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i  -0.0005 + 0.0000i  -0.0004 - 0.0000i  0.0000 - 0.0002i

Column 7
-0.0002 - 0.0000i
-0.0004 - 0.0000i
-0.0005 - 0.0000i
-0.0004 - 0.0000i
0.0000 - 0.0001i
0.0050 + 0.0016i
```

Figura C.24. Matriz de admitancias.

2. Códigos de los programas desarrollados

Se presenta los códigos de los programas principales descritos en el Capítulo 3 y los códigos de los programas que se desarrollan dentro de los programas principales. Las direcciones de ubicación de las carpetas deben ser cambiadas por el usuario indicando la dirección donde se encuentren los archivos .mat a analizar.

Programas principales

Los programas principales desarrollados en MATLAB, son los encargados de pedir al usuario los datos de las cargas, la cantidad de armónicos a analizar y las decisiones de lo que se desee hallar. Estos programas se describen a continuación.

1. Programa MODELOS

```
clc;
clear all;
disp(' ');
disp(' ');
disp('                                UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER');
disp(' ');
disp('    ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES');
disp('                                PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LOS MODELOS DE CARGA ');
disp('                                ZIP Y EXPONENCIAL ');
disp(' ');
disp('Autoras: Luisa Fernanda Carrillo, Alejandra Martínez')
disp('Director: German Alfonso Osma Pinto')
disp('Codirectores: Gabriel Alexis Malagón Carvajal, Julián Oswaldo Flórez Reyes')
disp(' ');
disp('                                Título del trabajo de grado: ')
disp('Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de
disp('cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de
la
disp('    amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación')
disp(' ');
disp(' ');
disp(' Este programa realiza el cálculo de los parámetros de los modelos ZIP y
exponencial por armónico ');
disp(' ');
disp(' ');

Pnominal=input('Potencia nominal de la carga (W):');
fp=input('Factor de potencia de la carga:');
Vnominal=input('Tensión nominal de la carga (V):');
samples=input('Número de muestras por ciclo:');
fo=input('Frecuencia fundamental (Hz):');
w=input('Número de armónicos (impares) a analizar:');
disp(' ');

%FORMAS DE SEÑALES DE TENSIÓN Y CORRIENTE
arc=w;
for ii = 1:arc
    yy = 2*ii-1;
    numelec= num2str(yy,'%02d');
    load(['time_sweep(ZIP & EXP)\time_sweep_',numelec,'.mat']);
[c,r]=size(Im);
NUM=[1:r];
Vrmst=zeros(1,1);
```

```

Irmst=zeros(1,1);
Pt=zeros(1,1);
Qt=zeros(1,1);
qt=zeros(1,1);
st=zeros(1,1);
t=1;
h=6;
fs=samples*fo;
N=fs/fo;
Snominal=Pnominal/fp;
Qnominal=Snominal*sin(acos(fp));

%Order of the harmonics
h = 2*h-1;
har_num=1:1:h;

TRANSFORMADA
INFORMACION

disp('')
zip=input('Desea obtener los parámetros del modelo ZIP (1=SI,0=NO):');
if zip==1;
    MODELZIP;
elseif zip==0;
end

disp('')
exp=input('Desea obtener los parámetros del modelo exponencial (1=SI,0=NO):');
if exp==1;
    MODELEXPO;
elseif exp==0;
end
    e=input('Siguiete archivo:');
    if e==1;
        arc=arc+1;
    elseif e==0;
    end
end
disp('No hay más datos para analizar')
disp('FIN')

```

2. Programa ZIP

```

clear all;
clc;
disp(' ');
disp(' ');
disp('                                UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER');
disp(' ');
disp(' ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES');
disp('                                PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL MODELO ZIP ');
disp(' ');
disp('Autoras: Luisa Fernanda Carrillo, Alejandra Martínez')
disp('Director: German Alfonso Osma Pinto')
disp('Codirectores: Gabriel Alexis Malagón Carvajal, Julián Oswaldo Flórez Reyes')
disp(' ');

```

```

disp('                                Título del trabajo de grado: ')
disp('Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de
disp(' cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de
la
disp('                                amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación')
disp(' ');
disp(' ');
disp('Este programa realiza el cálculo de los parámetros Z, I y P del modelo ZIP
');
disp(' ');
disp(' ');

Pnominal=input('Potencia nominal de la carga (W):');
fp=input('Factor de potencia de la carga:');
Vnominal=input ('Tensión nominal de la carga (V):');
samples=input('Número de muestras por ciclo:');
fo=input('Frecuencia fundamental (Hz):');
w=input('Número de armónicos (impares) a analizar:');
disp(' ');

arc=w;
for ii = 1:arc
    yy = 2*ii-1;
    numelec= num2str(yy,'%02d');
    load(['time_sweep(ZIP & EXP)\time_sweep_',numelec, '.mat']);

[c,r]=size(Im);
NUM=[1:r];
Vrmst=zeros(1,1);
Irmst=zeros(1,1,1);
Pt=zeros(1,1);
Qt=zeros(1,1);
qt=zeros(1,1);
st=zeros(1,1);
t=1;
h=6;
fs=samples*fo;
N=fs/fo;
Snominal=Pnominal/fp;
Qnominal=Snominal*sin(acos(fp));

%Order of the harmonics
h = 2*h-1;
har_num=1:1:h;

TRANSFORMADA
INFORMACION
MODELZIP

e=input('siguiente archivo:');
if e==1;
    arc=arc+1;
    if arc==w;
        disp('no hay más datos para analizar')
    elseif e==0;
    end
end
end
disp('no hay más datos para analizar')
disp('fin')

```

3. Programa EXPONENCIAL

```
clear all;
clc;
disp(' ');
disp(' ');
disp('                                UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER');
disp(' ');
disp(' ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES');
disp('                                PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL MODELO EXPONENCIAL');
disp(' ');
disp('Autoras: Luisa Fernanda Carrillo, Alejandra Martínez')
disp('Director: German Alfonso Osma Pinto')
disp('Codirectores: Gabriel Alexis Malagón Carvajal, Julián Oswaldo Flórez
Reyes')
disp(' ');
disp('                                Título del trabajo de grado: ')
disp('Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de
disp(' cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de
la
disp('                                amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación')
disp(' ');
disp(' ');
disp('Este programa realiza el cálculo de los parámetros Alfa y Beta del modelo
exponencial');
disp(' ');
disp(' ');
disp(' ');
disp(' ');
Pnominal=input('Potencia nominal de la carga (W):');
fp=input('Factor de potencia de la carga:');
Vnominal=input ('Tensión nominal de la carga (V):');
samples=input('Número de muestras por ciclo:');
fo=input('Frecuencia fundamental (Hz):');
w=input('Número de armónicos (impares) a analizar:');
disp(' ');

arc=w;
for ii = 1:arc
    yy = 2*ii-1;
    numelec= num2str(yy,'%02d');
    load(['time_sweep(ZIP & EXP)\time_sweep_',numelec,'.mat']);
[c,r]=size(Im);
NUM=[1:r];
Vrmst=zeros(1,1);
Irmst=zeros(1,1);
Pt=zeros(1,1);
Qt=zeros(1,1);
qt=zeros(1,1);
st=zeros(1,1);
t=1;
h=6;
fs=samples*fo;
N=fs/fo;
Snominal=Pnominal/fp;
Qnominal=Snominal*sin(acos(fp));

%Order of the harmonics
```

```

h = 2*h-1;
har_num=1:1:h;

TRANSFORMADA
INFORMACION
MODELEXPO

e=input('siguiente archivo:');
    if e==1;
        arc=arc+1;
    elseif e==0;
    end
end
disp('no hay más datos para analizar')
disp('fin')

```

4. Programa NORTON

```

clear all;
clc;
disp(' ');
disp(' ');
disp('                                UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER');
disp(' ');
disp(' ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES');
disp('PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE LA MATRIZ DE ADMITANCIAS DEL MODELO NORTON');
disp(' ');
disp('Autoras: Luisa Fernanda Carrillo, Alejandra Martínez')
disp('Director: German Alfonso Osma Pinto')
disp('Codirectores: Gabriel Alexis Malagón Carvajal, Julián Oswaldo Flórez Reyes')
disp(' ');
disp('                                Título del trabajo de grado: ')
disp('Determinación de parámetros de modelos para el estudio del comportamiento de
disp(' cargas lumínicas del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de
la
disp('                                amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación'))
disp(' ');
disp(' ');
disp(' Este programa realiza el cálculo de los de la matriz de admitancias del
modelo Norton, y el cálculo de potencias');
disp(' ');
disp(' ');
disp(' ');
disp(' ');
Pnominal=input('Potencia nominal de la carga (W):');
fp=input('Factor de potencia de la carga:');
Vnominal=input ('Tensión nominal de la carga (V):');
samples=input('Número de muestras por ciclo:');
fo=input('Frecuencia fundamental (Hz):');
a=input('Número de armónicos impares: ');
%%
MATRIZ;
t=1;
for i = 1: a

```

```

    y = 2*i-1;
    numelec = num2str(y, '%02d');
    load(['newFolder\complex_sweep_', numelec, '.mat']);
    T=length(V);

    for ii=1:T
        j=V(:,ii);
        jj=I(:,ii);
        MV(:,t)=j;
        MI(:,t)=jj;
        t=t+1;
    end
end

%TENSIÓN
u=ones(1,T*a);
A=[u(:, :); MV(:, :)];
mv=A';
x=MI*mv*inv([A*mv]);

%prueba NORTON
N=x*A;
mgN=abs(N);
phN=abs(angle(N));

%prueba Muestra
mgM=abs(MI);
phM=abs(angle(MI));

%Errores
EM=abs((mgM-mgN))*100;
EP=abs((phM-phN))*100;

disp(' ')
disp('Matriz de admitancias')
disp(' ')
disp(x)
e=input('');
    if e==1;
        arc=arc+1;
    elseif e==0;
    end
end

%%
    e=input('¿Desea obtener la información de las señales? (1=SI,0=NO):');
if e==1
    for ii = 1:a
        yy = 2*ii-1;
        numelec= num2str(yy, '%02d');
        load(['newFolder\complex_sweep_', numelec, '.mat']);
        [c,r]=size(Im);
        NUM=[1:r];
        Vrmst=zeros(1,1);
        Irmst=zeros(1,1);
        Pt=zeros(1,1);
        Qt=zeros(1,1);
        qt=zeros(1,1);
        st=zeros(1,1);
        Dt=zeros(1,1);
        t=1;
        h=6;
    end
end

```

```

    fs=samples*fo;
    N=fs/fo;
    Snominal=Pnominal/fp;
    Qnominal=Snominal*sin(acos(fp));

%Order of the harmonics
h = 2*h-1;
har_num=1:1:h;
TRANSFORMADA
INFORMACION
e=input('siguiente archivo:');
if e==1;
    arc=arc+1;
elseif e==0;
end
end
elseif e==0
end
disp('no hay mas datos para analizar')
disp('FIN')

```

PROGRAMAS SECUNDARIOS

Los programas secundarios son los que desarrollan una tarea específica dentro de los programas principales. A continuación, se presentan estos programas.

1. Programa INFORMACIÓN

Este programa calcula Tensiones RMS, potencias activas, potencias aparentes, potencias reactivas de Fryze, potencias reactivas y de distorsión de Budeanu.

```

clc;
% Este programa calcula Tensiones RMS, potencias activas, potencias aparentes,
% potencias reactivas de Fryze, potencias reactivas y de distorsión de Budeanu.
name = 'armonico ';
X = [name, ' número ', num2str(yy)];
disp(X)

if t<r+1
    Vn=[Vn(:, :), zeros(h, (r+1)-t)];
    In=[In(:, :), zeros(h, (r+1)-t)];
    U=Vm(:, t-1);
    I=Im(:, t-1);

    %Vrms - Irms
    Vrmst=(sqrt(sum((Vn(:, :)).^2)));
    Irmst=(sqrt(sum((In(:, :)).^2)));

    U=[U(:, :), zeros(length(U), (r+1)-t)];

```

```

I=[I(:, :), zeros(length(I), (r+1)-t)];

Ktp=fs/(pi*fo);
Btp=(1-Ktp)/(1+Ktp);
ufilt=filtfilt([Atp Atp],[1 Btp],U);

sx=sign(ufilt);
ndd=sx(2:end)-sx(1:(end-1));

for ii=1:length(ndd)
    if ndd(ii)==1 && ndd(ii+1)==1
        ndd(ii)=0;
    end
end

ndg=find(ndd>=1);
if length(ndg)>2
    m1=ndg(2);
    m2=ndg(length(ndg)-1)-1;
else
    m1=ndg(1);
    m2=ndg(2)-1;
end
u=U(m1:m2);
i=I(m1:m2);

% POTENCIAS
%POTENCIA ACTIVA
per=round((length(U)/fs)/(1/fo));
p=(U.*I);
Pt=(1/length(U))*sum(p);

%POTENCIA REACTIVA (BUDEANU)
perl=length(U)/per;

for jj=1:t-1
    I=I(jj:perl);
    U=U(jj:perl);
    e=length(I);
    Dez=e/4;

for j=1:e
    if j<=e*3/4
        Iabu(j) = I(Dez+j);
    else
        Iabu(j) = I(j-(3*Dez));
    end
end
qa = U.*Iabu;
q=(1/e)*sum(qa);
qt(:,t-1)=q;

%POTENCIA APARENTE
s=sqrt((1/length(U))*sum(U.^2))*sqrt((1/length(U))*sum(I.^2));
st(:,t-1)=s;

%POTENCIA REACTIVA (FRYZE)
Q=-sqrt(s^2-p1^2);
Qt(:,t-1)=Q;
end

```

```

z=zeros(length(qt),(r+1)-t);
qt=[qt(:, :), z];
st=[st(:, :), z];
Qt=[Qt(:, :), z];
Dt=[Dt(:, :), z];

%DISTORSIÓN DE BUDEANU
Dt=sqrt(st.^2-Pt.^2-qt.^2);
end

disp('');
disp('');
disp('          INFORMACIÓN DE LAS SEÑALES ');
disp('');
disp('          N°V          Vrms          PT          S          QF          QB          DB          ');
m=[ NUM'          Vrmst'          Pt'          st'          Qt'          qt'          Dt'];
disp( m)

```

2. Programa TRANSFORMADA

Este programa tiene como función, encontrar los componentes de frecuencia de la señal en el tiempo, utilizando la función fft (Fast Fourier Transform), transformada rápida de Fourier. Una vez realizada la FFT, se tienen las muestras en frecuencia (magnitud y ángulo).

```

for i=1:r
%SELECTING ONLY COMPLETE PERIODS
u=Vm(:,i);
i=Im(:,i);

Ktp=fs/(pi*fo);
Atp=1-Ktp/(1+Ktp);
Btp=(1-Ktp)/(1+Ktp);
ufilt=filtfilt([Atp Atp],[1 Btp],u);
sx=sign(ufilt);
ndd=sx(2:end)-sx(1:(end-1));

for ii=1:length(ndd)
    if ndd(ii)==1 && ndd(ii+1)==1
        ndd(ii)=0;
    end
end
ndg1=find(ndd<=0);
if length(ndd)==length(ndg1)
    u=zeros(r,1);
    i=zeros(r,1);
else
    ndg=find(ndd>=1);
    if length(ndg)>2
        m1=ndg(2);
        m2=ndg(length(ndg)-1)-1;
    end
end

```

```

        else
            m1=ndg(1);
            m2=ndg(2)-1;
        end
        u=u(m1:m2);
        i=i(m1:m2);
    end

%NUMBER OF PERIODS
per=round((length(u)/fs)/(1/fo));
if per==0
    V=zeros(h,t);
else
M=length(u);

%FOURIER
fu=fft(u)/M;
fu=fu(2:M);
afu=(abs(fu).*2*pi)/(sqrt(2)*pi);
wfu=angle(fu);
afu=afu(har_num*per);
wfu=wfu(har_num*per);
wful=angle(fu(per)); %Referencia

% ANGLES CORRECTION
for ii=1:1:length(wfu)
    wfu_korr(ii,1)=(wfu(ii)-wful*(ii))-((ii-1)*pi/2);
end
wfu_korr=mod(wfu_korr,2*pi);
harmu=[(afu) (wfu_korr.*180./pi)];
V=afu;
Vn(:,t)=V;

%CORRIENTE
Mi=length(i);
har_numi=1:1:11;

%FOURIER
fi=fft(i)./length(i).*2;
fi=fi(2:Mi);
afi=abs(fi)./sqrt(2);
wfi=angle(fi);
afi=afi(har_num*per);
wfi=wfi(har_num.*per);

% ANGLES CORRECTION
for ii=1:1:length(wfi)
    wfi_korr(ii,1)=(wfi(ii)-wful*ii)-((ii-1)*pi/2);
end
wfi_korr=mod(wfi_korr,2*pi);
harmi=[(afi) (wfi_korr.*180./pi)];
harmu2=afi;
In(:,t)=harmu2;

%POTENCIAS
%POTENCIA ACTIVA
p=(u.*i);
p1=(1/length(u))*sum(p)';
Pt(:,t)=p1;

```

```

%POTENCIA REACTIVA (BUDEANU)
per1=round(length(u)/per);
I=i(1:per1);
U=u(1:per1);
e=length(I);
Dez=e/4;
for j=1:e
    if j<=e*3/4
        Iabu(j) = I(Dez+j);
    else
        Iabu(j) = I(j-(3*Dez));
    end
end

qa = U.*Iabu';
q=(1/e)*sum(qa);
qt(:,t)=q;

Vrms=(sqrt(sum((V).^2)));
Vrmst(:,t)=Vrms;
Irms=(sqrt(sum((afi).^2)));
Irmst(:,t)=Irms;

%POTENCIA APARENTE
s=sqrt((1/length(u))*sum(u.^2))*sqrt((1/length(i))*sum(i.^2));
st(:,t)=s;

%POTENCIA REACTIVA (FRYZE)
Q=-sqrt(s^2-p1^2);
Qt(:,t)=Q;

%DISTORSION ARMONICA DE BUDEANU
D=sqrt(s^2-p1^2-q^2);
Dt(:,t)=D;
t=t+1;
end
end

```

3. Programa MODELZIP

Este programa desarrolla el primer método mencionado en el Capítulo 1, para el cálculo de los parámetros del modelo ZIP.

```

clc;
name = 'Armonico ';
X = [name, ' número ', num2str(yy)];
disp(X)
format short;

y=Pt./Pnominal;
y1=Qt./Qnominal;
x=Vrmst./Vnominal;

```

```

%ZIP POTENCIA ACTIVA
Pt1=zeros(1,1);
t=1;
p=(polyfit(x,y,2))';
a=p(3);
b=p(2);
c=p(1);
d=[a b c];
r=x.*x;
p1=(a+(x.*b)+(c*(r)));
e=abs(y-p1)*100;

disp(' ')
disp(' PARÁMETROS DEL MODELOS ZIP POTENCIA ACTIVA')
disp(' ')
disp('P1=Po(Pp + Ip(v1/vo) + Zp(v1/vo)^2)')
disp(' ')
disp(' Pp Ip Zp')
disp(d)

%ZIP POTENCIA NO REACTIVA
Qt1=zeros(1,1);
q=(polyfit(x,y1,2))';
a1=q(3);
b1=q(2);
c1=q(1);
d1=[a1 b1 c1];
t=1;
r=x.*x;
q1=(a1+(x.*b1)+(c1*(r)));
e1=abs(y1-q1)*100;

disp(' ')
disp(' PARÁMETROS DEL MODELOS ZIP POTENCIA NO ACTIVA')
disp(' ')
disp('Q1=Qo(Pq + Iq(v1/vo) + Zq(v1/vo)^2)')
disp(' ')
disp(' Pq Iq Zq')
disp(d1)

%gráficos
figure('Color','white')
subplot(2,2,1),plot(x,y,'r. ');
hold on
subplot(2,2,1),plot(x,y,'r.','markersize',4,'markerfacecolor','r');
z=@(x) polyval(p,x);
fplot(z,[x(1),x(end)])
xlabel('Tensión de alimentación (p.u)','FontSize',11)
ylabel('Potencia (p.u)','FontSize',11)
title('MODELO ZIP (Potencia activa)','FontSize',12,'FontWeight','demi')
grid on
hold off

subplot(2,2,3),plot(x,y1,'r. ');
hold on
subplot(2,2,3), plot(x,y1,'r.','markersize',4,'markerfacecolor','r');
z=@(x) polyval(q,x);
fplot(z,[x(1),x(end)])
xlabel('Tensión de alimentación (p.u)','FontSize',11)
ylabel('Potencia (p.u)','FontSize',11)

```

```

title('MODELO ZIP (Potencia reactiva)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'demi')
grid on
hold off

subplot(2,2,[2 4]);
hold on
subplot(2,2,[2 4]);
plot(x,y, 'ro', 'markersize', 4, 'markerfacecolor', 'r')
z=@(x) polyval(p,x);
fplot(z,[x(1),x(end)])
plot(x,y1, 'ro', 'markersize', 4, 'markerfacecolor', 'r')
z=@(x) polyval(q,x);
fplot(z,[x(1),x(end)], 'b')
xlabel('Tensión de alimentación (p.u)', 'FontSize', 11)
ylabel('Potencia (p.u)', 'FontSize', 11)
title('MODELO ZIP (Potencia activa y
reactiva)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'demi')
box on
grid on
hold off

```

4. Programa MODELEXPO

Este programa desarrolla el primer método mencionado en el Capítulo 1, para el cálculo de los parámetros del modelo EXPONENCIAL.

```

clc;
name = 'Armonico ';
X = [name, ' número ', num2str(yy)];
disp(X)
%PARÁMETROS EXPONENCIAL POTENCIA ACTIVA
y=Pt/Pnominal;
x=Vrmst/Vnominal;
p=polyfit(log10(x), log10(y), 1);
p1=[10^p(2) p(1)];
pp=(p1(1)*x.^p1(2));
e=abs(y-pp)*100;

disp(' ')
disp(' PARÁMETROS DEL MODELOS EXPONENCIAL POTENCIA ACTIVA ')
disp(' ')
disp('P=Po(v/vo)^b')
disp(' ')
disp(' Po b ')
disp(p1 )

figure('Color', 'white')
subplot(2,2,1), plot(x,y, 'r. ');
hold on
plot(x,y, 'ro', 'markersize', 4, 'markerfacecolor', 'r')
z=@(x) (10^p(2))*x.^p(1);
fplot(z,[x(1),x(end)])
xlabel('Tensión de alimentación (p.u)', 'FontSize', 11)
ylabel('Potencia (p.u)', 'FontSize', 11)
grid on

```

```

title('MODELO EXPONENCIAL (Potencia activa)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'demi')
%legend('Potencia reactiva', -1)
hold off

%PARÁMETROS EXPONENCIAL POTENCIA NO ACTIVA
yq=(Qt/Qnominal);
q=polyfit(log10(x), log10(yq), 1);
q1=[real(10^q(2)) real(q(1))];
qq=(q1(1)*x.^q1(2));
e1=abs(yq-qq)*100;

disp(' ')
disp(' PARÁMETROS DEL MODELOS EXPONENCIAL POTENCIA NO ACTIVA ')
disp(' ')
disp('Q=Qo(v/vo)^c')
disp(' ')
disp(' Qo c ')
disp(q1 )

subplot(2,2,3), plot(x, yq, 'r. ');
hold on
plot(x, yq, 'ro', 'markersize', 4, 'markerfacecolor', 'r')
z=@(x) (q1(1))*x.^q1(2);
fplot(z, [x(1), x(end)])
xlabel('Tensión de alimentación (p.u)', 'FontSize', 11)
ylabel('Potencia (p.u)', 'FontSize', 11)
grid on
title('MODELO EXPONENCIAL (Potencia reactiva)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'demi')
% legend('', 'Potencia activa', '', 'Potencia reactiva', -1)
% legend('Potencia activa', -1)
% legend('Potencia reactiva', -1)
hold off

subplot(2,2,[2 4]);
hold on
subplot(2,2,[2 4]);
plot(x, y, 'ro', 'markersize', 4, 'markerfacecolor', 'r')
z=@(x) (10^p(2))*x.^p(1);
fplot(z, [x(1), x(end)])
plot(x, yq, 'ro', 'markersize', 4, 'markerfacecolor', 'r')
z=@(x) (q1(1))*x.^q1(2);
fplot(z, [x(1), x(end)], 'b')
xlabel('Tensión de alimentación (p.u)', 'FontSize', 11)
ylabel('Potencia (p.u)', 'FontSize', 11)
title('MODELO ZIP (Potencia activa y
reactiva)', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'demi')
box on
grid on
hold off

```

5. Programa MATRIZ

Este programa forma matrices de tensión y corriente a partir de los datos de muestra en valores complejos.

```

for i = 1: a
    y = 2*i-1;
    numelec = num2str(y, '%02d');
load(['Frequency_Sweep_Results\time_sweep_', numelec, '.mat']);
[c,r]=size(Im);
NUM=[1:r];
h=6;
fs=samples*fo;

%ORDER OF THE HARMONICS
h = 2*h-1;
har_num=1:1:h;
Va=zeros(h,1);
Ia=zeros(h,1);
un=zeros(h,1);
in=zeros(h,1);
t=1;

for i=1:r
%SELECTING ONLY COMPLETE PERIODS
u=Vm(:,i);
i=Im(:,i);
Ktp=fs/(pi*fo);
Atp=1-Ktp/(1+Ktp);
Btp=(1-Ktp)/(1+Ktp);
ufilt=filtfilt([Atp Atp],[1 Btp],u);
sx=sign(ufilt);
ndd=sx(2:end)-sx(1:(end-1));
for ii=1:length(ndd)
    if ndd(ii)==1 && ndd(ii+1)==1
        ndd(ii)=0;
    end
end
end

ndg1=find(ndd<=0);
if length(ndd)==length(ndg1)
    u=zeros(r);
    i=zeros(r);
else
    ndg=find(ndd>=1);
    if length(ndg)>2
        m1=ndg(2);
        m2=ndg(length(ndg)-1)-1;
    else
        m1=ndg(1);
        m2=ndg(2)-1;
    end
    u=u(m1:m2);
    i=i(m1:m2);
end

%NUMBER OF PERIODS
per=round((length(u)/fs)/(1/fo));
if per==0
    V=zeros(h,t);
else
M=length(u);

%FOURIER
fu=fft(u)/M;

```

```

fu=fu(2:M);
afu=(abs(fu).*2*pi)/(sqrt(2)*pi);
wfu=angle(fu);
afu=afu(har_num*per);
wfu=wfu(har_num*per);
wfu1=angle(fu(per)); %Referencia

% ANGLES CORRECTION
for ii=1:1:length(wfu)
    wfu_korr(ii,1)=(wfu(ii)-wfu1*(ii))-((ii-1)*(pi/2));
end
wfu_korr=mod(wfu_korr,2*pi);
harmu=[(afu) (wfu_korr+(pi/2))];
% harmul=(wfu_korr*(180/pi));
harmul=afu.*(cos(wfu_korr)+j*sin(wfu_korr));
V=afu;
%Vn(:,t)=V;
Va(:,t)=harmul;

%CORRIENTE
Mi=length(i);
har_numi=1:1:11;

%FOURIER
fi=fft(i)./length(i).*2;
fi=fi(2:Mi);
afi=abs(fi)./sqrt(2);
wfi=angle(fi);
afi=afi(har_num*per);
wfi=wfi((har_num.*per));
wfu1=angle(fu(per)); %Referencia

% ANGLES CORRECTION
for ii=1:1:length(wfu)
    wfi_korr(ii,1)=(wfi(ii)-wfu1*ii))-((ii-1)*(pi/2));
end
wfi_korr=mod(wfi_korr,2*pi);
harmi=[(afi) (wfi_korr+(pi/2))];
harmil=afi.*(cos(wfi_korr)+j*sin(wfi_korr));
harmu2=afi;
Ia(:,t)=harmil;
t=t+1;

V = Va(1:2:h,:);
I = Ia(1:2:h,:);
end
end
if t<r+1

    Va=[Va(:,,:),zeros(h,(r+1)-t)];
    Ia=[Ia(:,,:),zeros(h,(r+1)-t)];
    V= Va(1:2:h,:);
    I= Ia(1:2:h,:);
end
save(sprintf('complex_sweep_%02d',y),'V','I');
movefile com* newFolder
end

```

ANEXO D. RESULTADOS DEL ANALISIS DE DATOS

Este anexo presenta el análisis de los resultados obtenidos en la programación desarrollada en MATLAB para los tres modelos elegidos, para el estudio de los estados de operación, mínimo (0 V) y máximo (10 V), de la luminaria dimerizable.

I. Modelos ZIP y Exponencial

Para la evaluación del ajuste realizado de los modelos estáticos ZIP y Exponencial, para los estados de operación, mínimo y máximo, de las luminarias se tomó en cuenta el coeficiente de determinación múltiple R^2 , el cual es un indicador de la dispersión de los datos alrededor de la regresión realizada.

a. Estado de operación mínimo (0 V)

En la Figura D.1, se observa que la naturaleza de la luminaria en el estado mínimo de operación afecta de manera contundente la dispersión de los datos alrededor del ajuste del modelo realizado, reflejándose en el coeficiente R^2 , el cual indica que en potencia activa, para la señal de tipo sinusoidal, los datos están variando en un 50.52% del ajuste del modelo y, para la señal distorsionada, la variación de los datos alrededor del ajuste disminuye a un 28.4%. Por tanto, los valores de los coeficientes R^2 sugieren que el modelo es poco confiable para describir el comportamiento de la luminaria en el estado de operación mínimo.

Se observa en la Figura D.2, que la variación total de los datos respecto al ajuste del modelo se ve afectado drásticamente en los dos escenarios de potencia activa para cada uno de los tipos de señal de alimentación, reflejando este comportamiento en los valores bajos, cercanos a cero, del coeficiente R^2 de 0.047%, para la señal

sinusoidal y, de 26.7% para una señal con distorsión armónica. Lo anterior, nos sugiere que el ajuste del modelo es poco confiable.

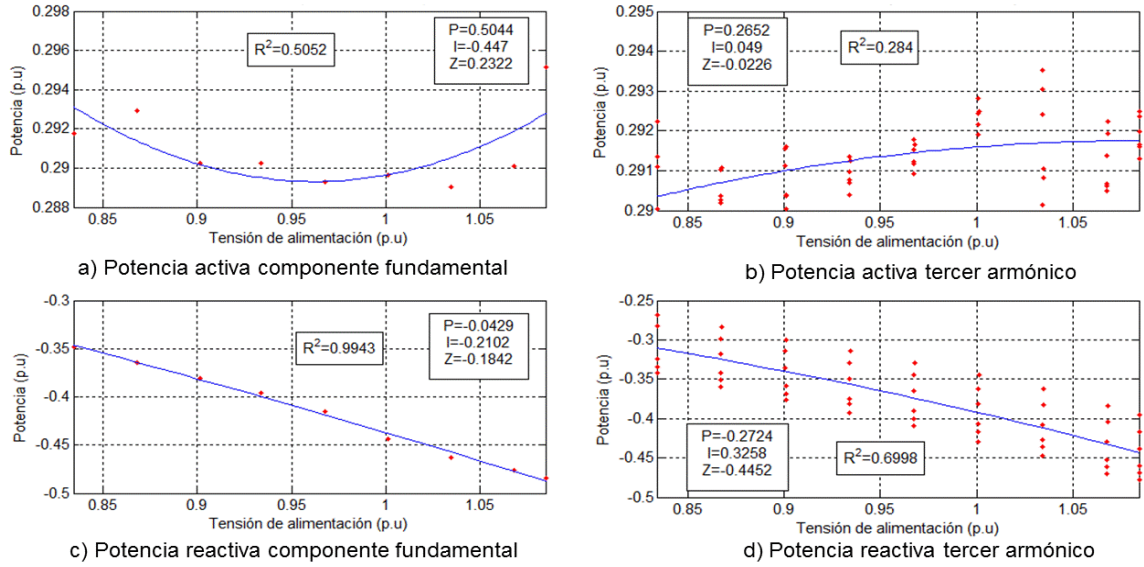


Figura D.1. Ajuste de modelo ZIP para luminaria dimerizable operación mínima.

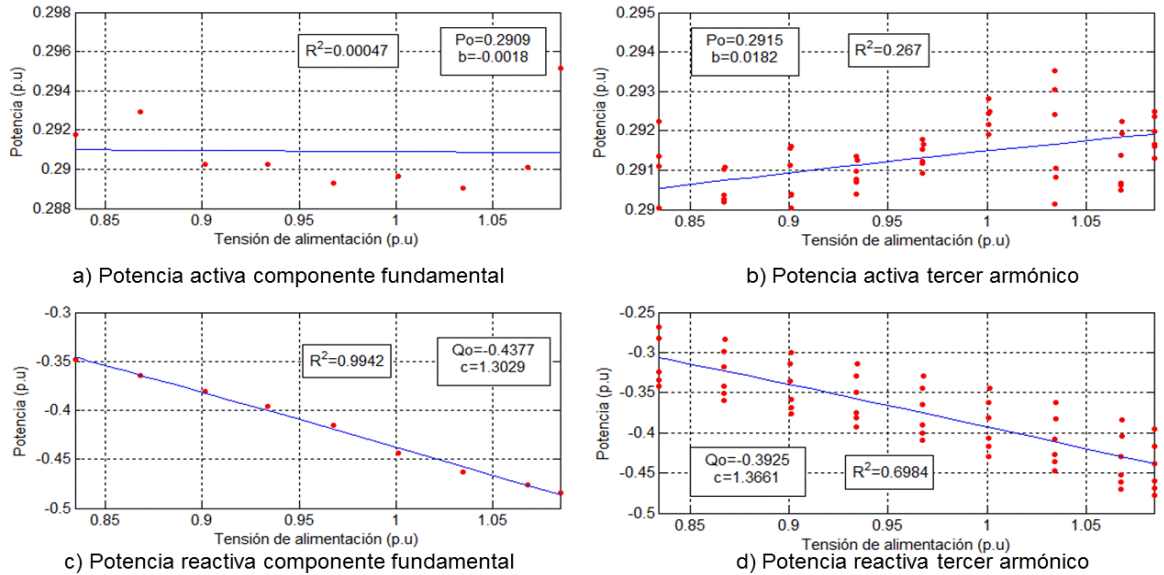


Figura D.2. Ajuste de modelo Exponencial para luminaria dimerizable operación mínima.

En la Tabla D.1 se muestra un resumen de los parámetros de los modelos y de los coeficientes de determinación múltiple para cada uno de los ajustes realizados en potencia activa y reactiva para el estado de operación mínima de la luminaria.

Tabla D.1. Parámetros del ajuste de modelos ZIP y Exponencial de luminaria dimerizable operación mínima.

		PARAMETROS	ZIP	PARAMETROS	EXPONENCIAL
Componente fundamental	Potencia activa P	P	0.5044	Po	0.2909
		I	-0.4470	b	-0.0018
		Z	0.2322	R²	0.00047
		R²	0.5052		
	Potencia reactiva Q	P	0.2652	Qo	-0.4377
		I	0.049	c	1.3029
		Z	-0.0226	R²	0.9942
		R²	0.284		
Componente de tercer armónico	Potencia activa P	P	-0.0429	Po	0.2915
		I	-0.2102	b	0.0182
		Z	-0.1842	R²	0.267
		R²	0.9943		
	Potencia reactiva Q	P	-0.274	Qo	-0.3925
		I	.3258	c	1.3661
		Z	-0.4452	R²	0.6984
		R²	0.6998		

b. Estado de operación máximo (10 V)

En la Figura D.3, se observa que la naturaleza de la luminaria en el estado máximo de operación no afecta la dispersión de los datos alrededor del ajuste del modelo realizado cuando la luminaria es alimentada por una señal de tipo sinusoidal, reflejándose en el coeficiente R^2 de valor de 94.46% en potencia activa y, 99.9% en potencia reactiva; sin embargo, el cambio en la señal de alimentación a una tensión distorsionada, se vio reflejado en la variación de la capacidad predictiva del modelo con los valores del coeficiente R^2 , los cuales disminuyeron a 51.31%, en potencia activa y, 80.61% en potencia reactiva. Por tanto, se sugiere que debido a la disminución en el valor del coeficiente R^2 de potencia activa, el ajuste de modelo no es confiable.

Se observa en la Figura D.4, que la variación total de los datos respecto al ajuste del modelo se ve afectado drásticamente en los dos escenarios de potencia activa para cada uno de los tipos de señal de alimentación, reflejando este comportamiento en los valores del coeficiente R^2 de 18.05%, para la señal sinusoidal y, de 39.34% para una señal con distorsión armónica; sin embargo, los parámetros del modelo no se ven afectados por la dispersión de los datos alrededor de la regresión del modelo.

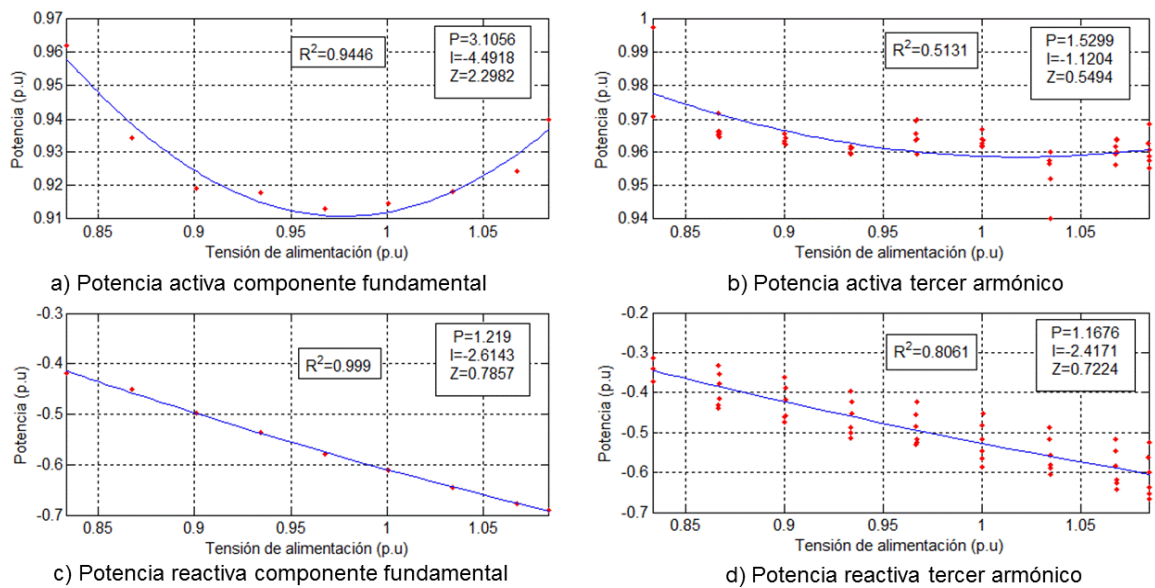


Figura D.3. Ajuste de modelo ZIP para luminaria dimerizable operación máxima.

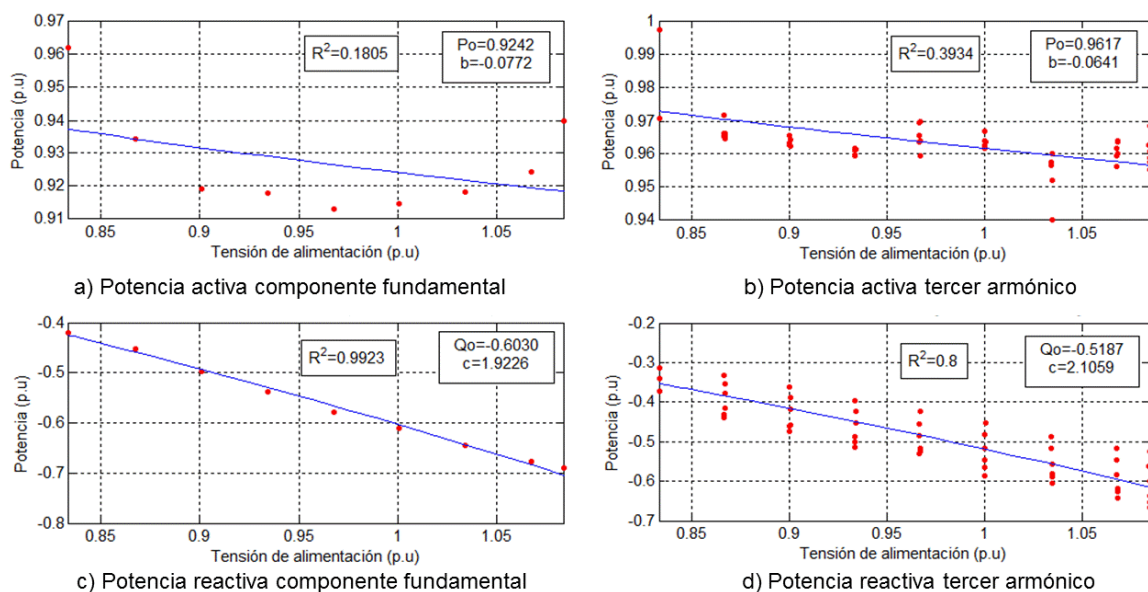


Figura D.4. Ajuste de modelo Exponencial para luminaria dimerizable operación máxima.

En la Tabla D.2 se muestra un resumen de los parámetros de los modelos y de los coeficientes de determinación múltiple para cada uno de los ajustes realizados en potencia activa y reactiva para el estado de operación máxima de la luminaria

Tabla D.2. Parámetros del ajuste de modelos ZIP y Exponencial de luminaria dimerizable operación máxima.

		PARAMETROS	ZIP	PARAMETROS	EXPONENCIAL
Componente fundamental	Potencia activa P	P	3.1056	P_0	0.9242
		I	-4.4918	b	-0.0772
		Z	2.2982	R^2	0.1805
		R^2	0.9446		
Componente fundamental	Potencia reactiva Q	P	1.5299	Q_0	-0.6030
		I	-1.1204	c	1.9226
		Z	0.5494	R^2	0.9923
		R^2	0.5131		
Componente de tercer armónico	Potencia activa P	P	1.219	P_0	0.9617
		I	-2.6143	b	-0.0641
		Z	0.7857	R^2	0.3934
		R^2	0.999		
Componente de tercer armónico	Potencia reactiva Q	P	1.1676	Q_0	-0.5187
		I	-2.4171	c	2.1059
		Z	0.7224	R^2	0.8
		R^2	0.8061		

II. Modelo Norton

Para la evaluación de este modelo en el dominio de la frecuencia, se tomaron en cuenta dos herramientas para darle validez, Training y Validación. Para la herramienta Training se utilizó el diagrama de caja o boxplot, el cual es una presentación visual de distintas características que describen un conjunto de datos; Para la herramienta Validación se utilizaron los diagramas de barras para realizar una comparación entre los datos de las muestras y los resultados del modelo.

a. Estado de operación mínimo (0 V)

La Tabla D.3 presenta la matriz de admitancias con vector columna de corrientes de referencia, la cual es solución al modelo planteado en la ecuación (8), para el estado de operación mínimo de la luminaria.

Tabla D.3. Matriz solución $[I_{ref} \ Y]$ de modelo Norton para luminaria dimerizable operación mínima.

-2,1487e-05 - 5,7947e-06i	0,0015 + 0,0001i	-0,0003 - 4,3380e-05i	-0,0001 - 3,4105e-05i	-8,6090e-05 - 3,1930e-05i	-5,2565e-05 - 1,9268e-06i	-2,925e-05 + 8,5677e-07i
2,1472e-05 - 3,9363e-06i	-0,0003 - 8,4037e-06i	0,0021 + 0,0004i	-0,0006 - 7,8296e-06i	-0,0003 - 2,7233e-05i	-0,0001 - 1,8419e-05i	-9,5557e-05 - 5,1372e-06i
1,0908e-05 + 1,1397e-06i	-5,6981e-05 - 1,7721e-05i	-0,0006 + 1,6848e-05i	0,0021 + 0,0006i	-0,0006+ 1,9341e-05i	-0,0003 - 2,3473e-05i	-0,0002 - 2,0908e-05i
1,3777e-05 + 5,4399e-06i	-2,3855e-05 - 1,9353e-05i	-0,0002 - 3,7631e-05i	-0,0005 + 1,9561e-05i	0,0021 + 0,0007i	-0,0006 + 2,3234e-05i	-0,0003 - 2,4820e-05i
5,9092e-06 + 9,0278e-06i	-1,2255e-05 - 1,3546e-05i	-0,0001 - 7,7473e-05i	-0,0002 - 5,5122e-05i	-0,0005 + 1,2071e-05i	0,0022 + 0,0009i	-0,0006 + 2,5958e-05i
3,4628e-06 + 6,6868e-06i	-5,3871e-06 - 6,4722e-06i	-7,7489e-05 - 7,2931e-05i	-0,0001 - 8,8669e-05i	-0,0002 - 7,4231e-05i	-0,0005+ 4,7146e-06i	0,0022 + 0,0012i

Las figuras D.5 y D.6 presentan los resultados gráficos de la herramienta de validez Training para el estado de operación mínima de la luminaria.

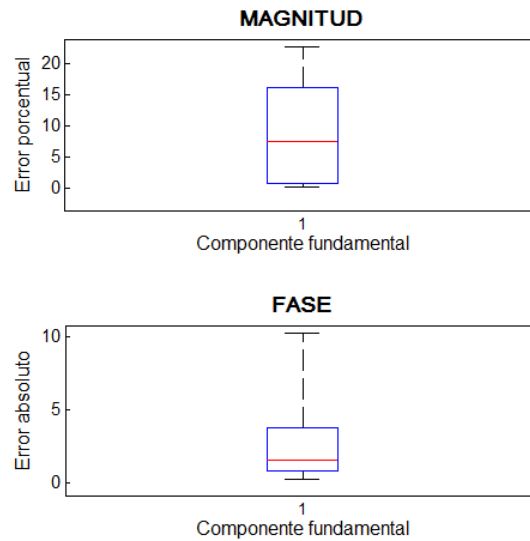


Figura D.5. Training componente fundamental de luminaria dimerizable operación mínima.

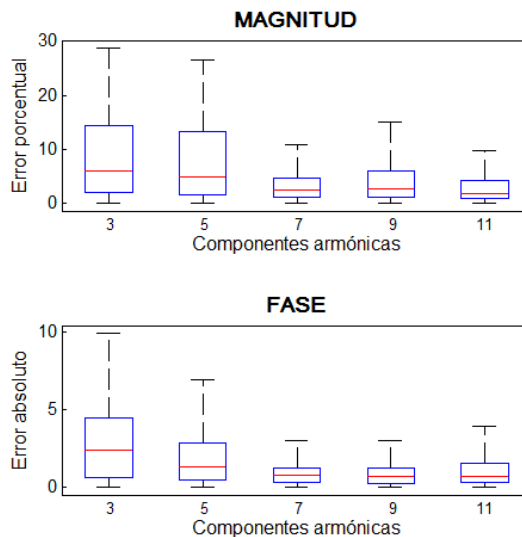


Figura D.6. Training componentes armónicas luminaria dimerizable operación máxima.

Se puede observar que la distribución de los errores porcentuales, en el caso de la magnitud y, de los errores absolutos, en el caso de los ángulos de fase, de las componentes fundamental y armónicas es asimétrica sesgada positivamente,

debido a que el 75% de los datos en observacion se encuentran concentrados entre el primer y tercer cuartil, teniendo valores entre 0% y 15%, para errores porcentuales, y entre 0% y 4%, para errores absolutos.

En las figuras D.7, D.8 y D.9, se presentan los resultados graficos de la herramienta Validacion para las señales descritas en los escenarios del Numeral 2.3.

Se observa de las figuras, que los resultados de los modelos para las corrientes armónicas se consideran aceptables debido a la similitud de los valores entre los de la izquierda, las muestras de laboratorio, y los de la derecha, resultados del modelo Norton; sin embargo, se destaca que en los ángulos de fase de la séptima y onceava componente armónica de las señales de la red del Edificio, existe una diferencia que conlleva a un error absoluto de más de 40%.

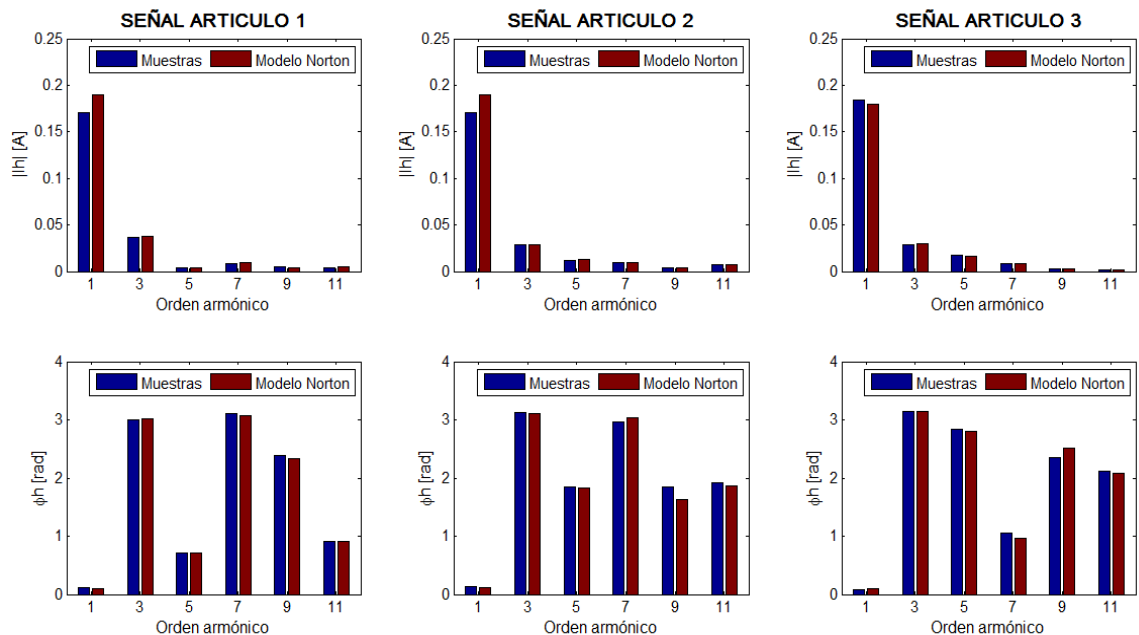


Figura D.7. Validación señales de artículos de investigación luminaria dimerizable operación mínima.

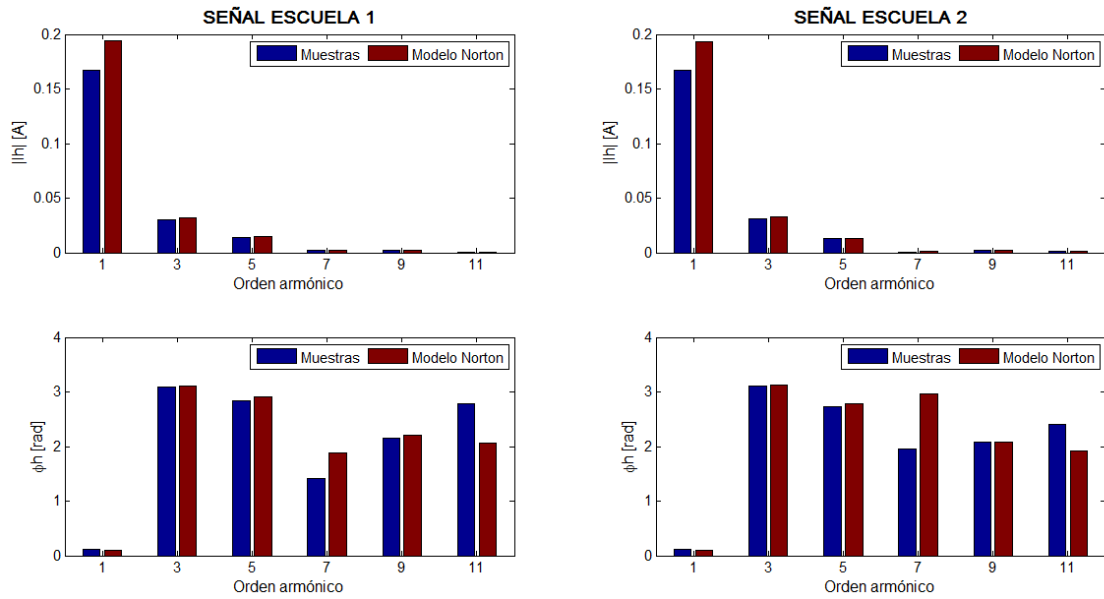


Figura D.8. Validación señales de red de Edificio luminaria dimerizable operación mínima.

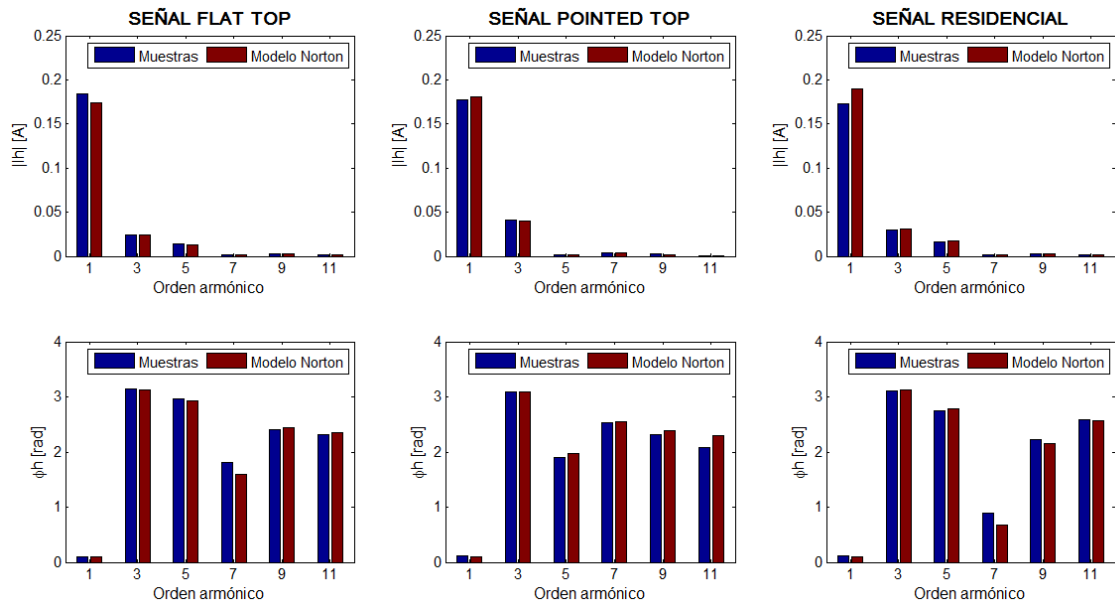


Figura D.9. Validación señales de posgrado luminaria dimerizable operación mínima.

b. Estado de operación máximo (10 V)

La Tabla D.5 presenta la matriz de admitancias con vector columna de corrientes de referencia, la cual es la solución al planteamiento del modelo de la ecuación (8), para el estado máximo de la luminaria.

Tabla D.5. Matriz solución $[I_{ref} Y]$ de modelo Norton para luminaria dimerizable operación máxima.

-2,061e-05 - 7,7012e-06i	0,0049 + 0,0002i	-0,0003 - 4,46306e-05i	-0,0003- 1,2381e-05i	-0,0002 - 3,8445e-05i	-0,0002- 6,9061e-05i	-7,3007e-05 - 7,4942e-05i
2,001e-05 - 7,5561e-06i	-0,0004- 2,0282e-06i	0,0055 + 0,0002i	-0,0006 + 3,1197e-05i	-0,0004 - 4,9985e-05i	-0,0003 - 3,0539e-05i	-0,0002 - 3,5262e-05i
2,4212- 9,4384e-06i	-0,0001+ 1,6659e-05i	-0,0006+ 2,5239e-05i	0,0054 + 0,0002i	-0,0006 + 1,4597e-05i	-0,0004 - 3,8435e-06i	-0,0003 - 1,2635e-05i
2,6495- 1,0807e-05i	-6,1682e-05 + 1,110e-05i	-0,0004+ 6,2219e-05i	-0,0006 + 6,1881e-05i	0,0053 + 0,0002i	-0,0006 + 5,9997e-05i	-0,0004 + 2,3238e-05i
1,9688e-05 - 9,3642e-06i	-3,033e-05 + 7,2256e-06i	-0,0003 + 5,5504e-05i	-0,0004 + 7,8654e-05i	-0,0006 + 4,0296e-05i	0,0053 + 0,0003i	-0,0006 + 9,7264e-05i
1,6654e-05 - 8,7168e-06i	-1,4824e-05 + 4,525e-06i	-0,0002 + 4,6257e-05i	-0,0003 + 6,0380e-05i	-0,0004+ 4,7110e-05i	-0,0006 + 6,5172e-05i	0,0054 + 0,0004i

En las figuras D.10 y D.11, se presentan los resultados gráficos de la herramienta de validez Training para el estado de operación máximo de la luminaria.

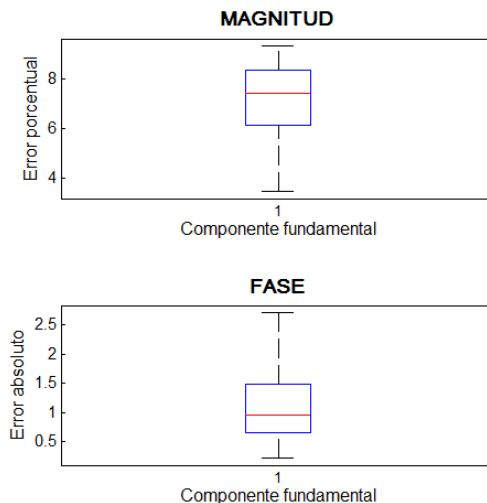


Figura D.10. Training componente fundamental de luminaria dimerizable operación maxima.

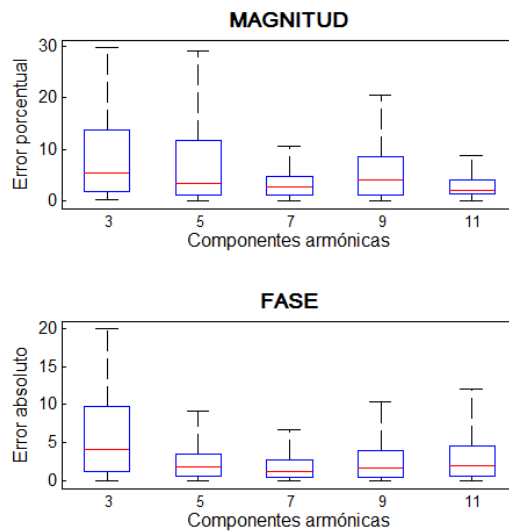


Figura D.11. Training componentes armónicas de luminaria dimerizable operación maxima.

La distribución de la magnitud y el ángulo fase de los errores porcentual y absoluto, respectivamente, de las componentes armónicas observadas en la Figura D.11, es asimétrica sesgada positivamente debido a que el 75% de errores porcentuales y errores absolutos se encuentran concentrados entre el primer y tercer cuartil de los diagramas, obteniendo así valores de errores entre 0% y 15%.

Por otro lado, en la Figura D.10 se observa que la distribución de los errores porcentuales, en el caso de la magnitud de la componente fundamental, se encuentra sesgada negativamente, lo cual implica que el 25% de los errores que se encuentran entre el segundo y tercer cuartil, ocupan una menor proporción que los errores entre en primer y segundo cuartil. Sin embargo, el 50% de los errores porcentuales se concentran en el rango intercuartílico (6-8%). Las figuras D.12, D.13 y D.14, presentan los resultados de la herramienta Validación para el estado de operación máximo de la luminaria, cuando se alimentó de las señales de tensión específicas descritas en el Numeral 2.3.

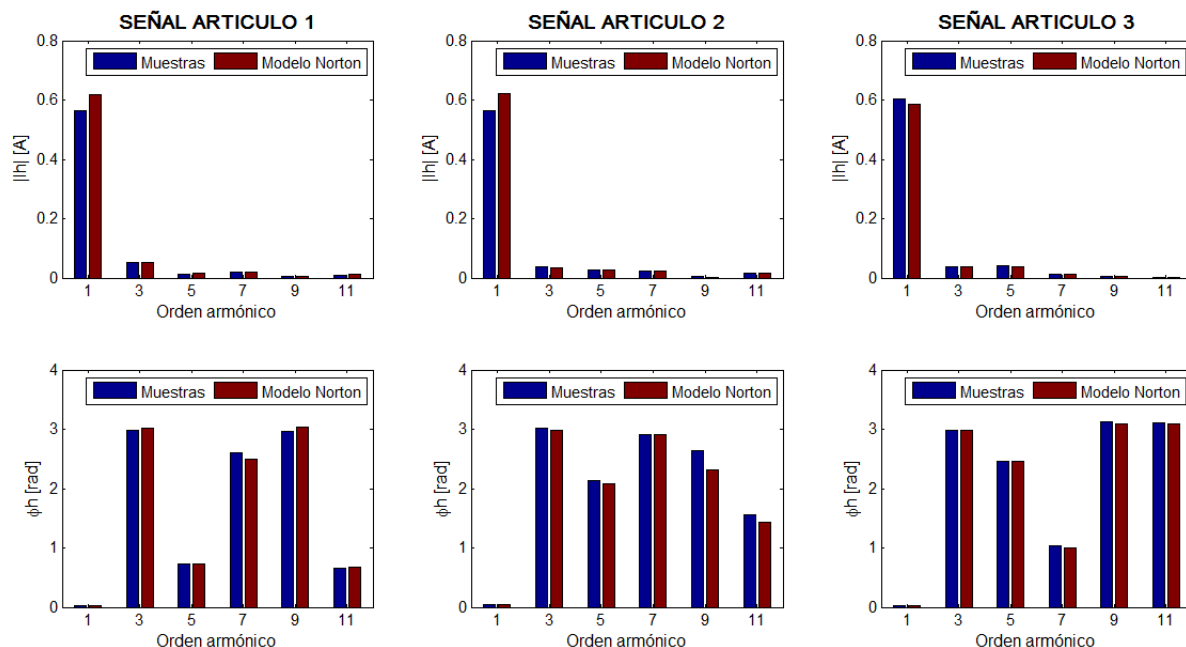


Figura D.12. Validación señales de artículos de investigación luminaria dimerizable operación máxima.

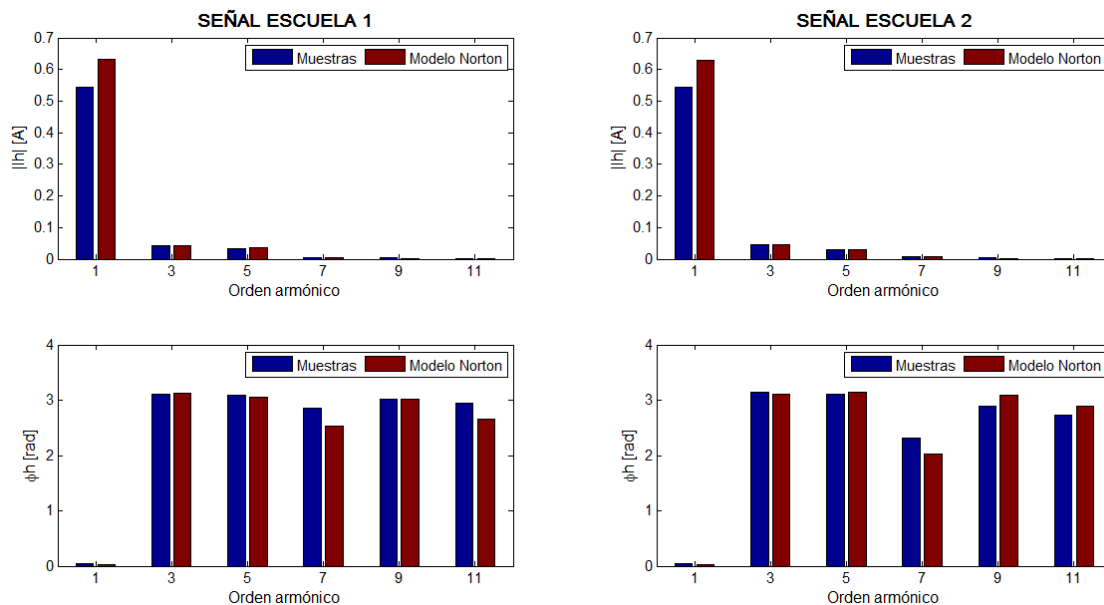


Figura D.13. Validación señales de red de Edificio luminaria dimerizable operación máxima.

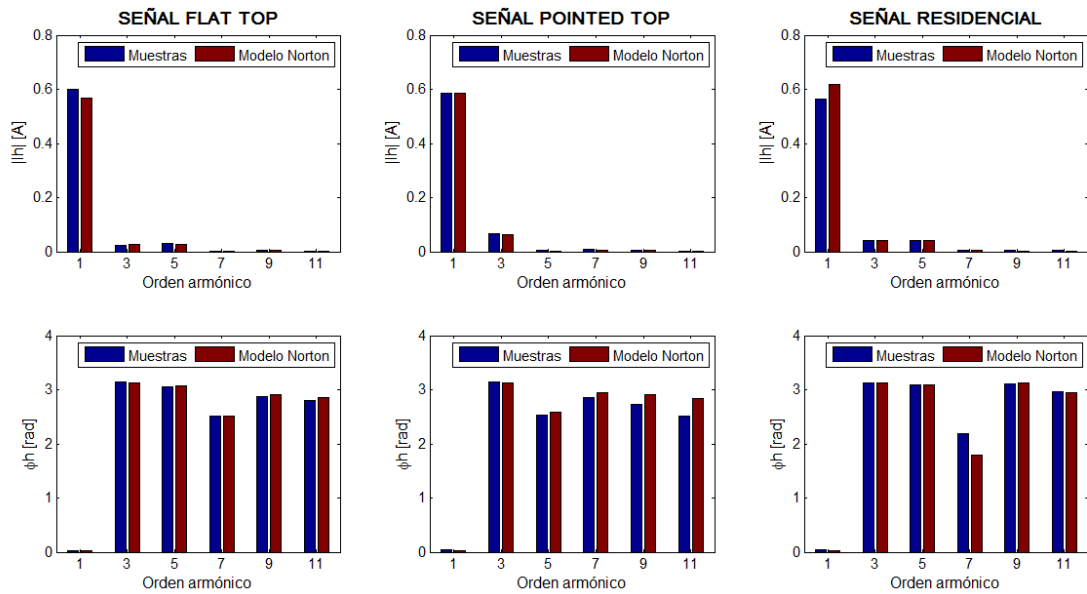


Figura D.14. Validación señales de posgrado luminaria dimerizable operación máxima.

Los resultados obtenidos de la comparación entre los valores de las señales muestreadas, izquierda, y los valores obtenidos del modelo Norton, derecha, visualmente presentan similitud entre estos siendo así aceptables para la validación del modelo; sin embargo, para los valores de magnitud del noveno y onceavo armónico de las señales de la red del Edificio y la señal residencial, existe una diferencia reflejada en un error porcentual mayor al 20%; además, se resalta que en los valores de ángulos de fase del séptimo armónico de estas mismas señales, la diferencia está en un error absoluto por encima del 25%.

ANEXO E. POTENCIAS CONSUMIDAS POR LAS LUMINARIAS

Este Anexo presenta información sobre las potencias activas y reactivas consumidas por las luminarias On-Off y dimerizable del Edificio de Ingeniería Eléctrica ante variaciones de la amplitud y frecuencia de la tensión de alimentación.

1. Luminaria On-Off

Las potencias activas, reactivas y tensiones RMS fueron calculadas mediante las fórmulas presentadas en la Sección 1.4, con los datos de muestras obtenidos del medidor. A continuación, se presenta los casos de estudio.

Tensión de alimentación con tercer armónico sin cambio de fase.

Las tablas E.1, E.2 y E.3 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más tercer armónico sin cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.1. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva, fp y THDi para los casos de fundamental más tercer armónico de 1 V y 3 V.

Fundamental más tercer armónico de 1 V					Fundamental más tercer armónico de 3 V				
VRMS	P [W]	Q[VAR]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VAR]	FP	THDI
100.012	68.684	-5.460	0.997	6.220	100.009	69.019	-5.362	0.997	5.356
104.014	69.063	-5.528	0.997	6.147	104.019	69.076	-5.426	0.997	5.394
108.027	68.979	-5.588	0.997	6.063	108.035	68.973	-5.487	0.997	5.400
112.091	68.940	-5.645	0.997	5.871	112.042	68.877	-5.542	0.997	5.402
116.062	68.785	-5.745	0.997	5.906	116.064	68.782	-5.648	0.997	5.429
120.076	68.426	-5.812	0.996	5.791	120.074	68.665	-5.734	0.997	5.437
124.129	67.170	-5.929	0.996	5.805	124.126	67.652	-5.861	0.996	5.492
128.038	68.072	-6.136	0.996	5.773	128.031	68.428	-6.046	0.996	5.507

Fundamental más tercer armónico de 1 V					Fundamental más tercer armónico de 3 V				
VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi
130.040	66.779	-6.129	0.996	5.698	130.045	66.267	-6.009	0.996	5.627

Tabla E.2. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva, fp y THDi para los casos de fundamental más tercer armónico de 5 V y 10 V.

Fundamental más tercer armónico de 5 V					Fundamental más tercer armónico de 10 V				
VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi
100.006	69.041	-5.256	0.997	5.377	100.023	69.113	-5.000	0.997	8.558
104.022	69.096	-5.322	0.997	5.427	104.034	69.120	-5.081	0.997	8.387
108.035	68.973	-5.380	0.997	5.479	108.044	69.030	-5.167	0.997	8.268
112.045	68.901	-5.460	0.997	5.533	112.056	68.873	-5.259	0.997	8.199
116.062	68.728	-5.541	0.997	5.598	116.110	68.872	-5.355	0.997	8.143
120.072	68.836	-5.668	0.997	5.651	120.040	68.093	-5.367	0.997	8.361
124.128	68.110	-5.814	0.996	5.721	124.036	68.054	-5.626	0.997	8.069
128.028	68.585	-5.960	0.996	5.740	128.047	68.669	-5.765	0.997	8.232
130.045	66.502	-5.941	0.996	5.995	130.052	66.080	-5.739	0.996	8.417

Tabla E.3. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva, fp y THDi para los casos de fundamental más tercer armónico de 15 V y 20 V.

Fundamental más tercer armónico de 15 V					Fundamental más tercer armónico de 20 V				
VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi
100.047	69.210	-4.782	0.998	13.368	99.968	69.179	-4.584	0.998	18.579
104.055	69.151	-4.887	0.998	12.919	103.980	69.162	-4.697	0.998	17.845
108.070	69.036	-4.983	0.997	12.527	107.988	69.053	-4.807	0.998	17.209
112.084	68.913	-5.073	0.997	12.255	112.001	68.972	-4.922	0.998	16.651
115.993	68.843	-5.184	0.997	11.976	116.014	68.797	-5.045	0.997	16.164
120.048	68.760	-5.240	0.997	11.911	120.067	68.670	-5.125	0.997	15.910
124.052	68.083	-5.475	0.997	11.541	124.072	68.112	-5.354	0.997	15.340
128.062	67.380	-5.596	0.997	11.499	128.085	67.280	-5.484	0.997	15.135
130.071	65.574	-5.564	0.996	11.724	130.089	66.315	-5.482	0.997	15.192

Tensión de alimentación con tercer armónico y cambio de fase.

Las tablas E.4, E.5 y E.6 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más tercer armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.4. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 1 V					Fundamental más tercer armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	68.426	-5.812	0.996	5.791	0	68.665	-5.734	0.997	5.437
60	67.335	-5.826	0.996	6.012	60	68.536	-5.820	0.996	5.643
120	67.708	-5.886	0.996	6.457	120	68.395	-5.948	0.996	7.013
180	67.814	-5.927	0.996	6.810	180	68.420	-6.039	0.996	8.012
240	68.012	-5.912	0.996	6.635	240	68.424	-5.996	0.996	7.542
300	68.229	-5.862	0.996	6.172	300	68.478	-5.851	0.996	6.319

Tabla E.5. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 5 V					Fundamental más tercer armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	68.836	-5.668	0.997	5.651	0	68.093	-5.367	0.997	8.361
60	68.454	-5.762	0.997	5.763	60	68.577	-5.644	0.997	7.692
120	68.454	-5.980	0.996	7.872	120	68.455	-6.054	0.996	10.785
180	68.472	-6.145	0.996	9.474	180	68.374	-6.383	0.996	13.692
240	68.503	-6.062	0.996	8.680	240	68.524	-6.235	0.996	11.861
300	68.564	-5.816	0.996	6.911	300	68.687	-5.696	0.997	9.453

Tabla E.6. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 15 V					Fundamental más tercer armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	68.760	-5.240	0.997	11.911	0	68.670	-5.125	0.997	15.910
60	68.517	-5.536	0.997	10.805	60	68.557	-5.471	0.997	14.549
120	68.421	-6.111	0.996	13.985	120	68.467	-6.215	0.996	17.655
180	68.153	-6.601	0.995	18.076	180	68.289	-6.801	0.995	22.646
240	68.174	-6.436	0.996	15.248	240	68.365	-6.667	0.995	18.843
300	68.294	-5.598	0.997	12.856	300	68.468	-5.508	0.997	16.678

Tensión de alimentación con quinto armónico y cambio de fase.

Las tablas E.7, E.8 y E.9 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente

fundamental más quinto armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.7. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 1 V					Fundamental más quinto armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	67.489	-5.783	0.996	5.566	0	66.883	-5.791	0.996	4.951
60	67.306	-5.795	0.996	6.028	60	66.461	-5.765	0.996	6.113
120	67.670	-5.838	0.996	6.631	120	66.881	-5.857	0.996	7.776
180	66.049	-5.874	0.996	7.059	180	67.486	-5.999	0.996	8.438
240	67.021	-5.919	0.996	6.639	240	67.610	-6.036	0.996	7.409
300	67.687	-5.907	0.996	6.006	300	67.987	-5.957	0.996	5.636

Tabla E.8. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 5 V					Fundamental más quinto armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	67.592	-5.763	0.996	4.708	0	67.967	-5.640	0.997	6.806
60	67.461	-5.729	0.996	6.397	60	67.518	-5.590	0.997	8.769
120	67.892	-5.878	0.996	8.891	120	67.202	-5.916	0.996	12.364
180	67.750	-6.061	0.996	9.921	180	67.420	-6.110	0.996	13.825
240	67.630	-6.186	0.996	8.543	240	67.620	-6.521	0.995	11.697
300	67.868	-5.996	0.996	5.824	300	67.445	-6.110	0.996	8.122

Tabla E.9. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 15 V					Fundamental más quinto armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	67.586	-5.525	0.997	10.648	0	68.123	-5.489	0.997	15.131
60	68.050	-5.470	0.997	12.133	60	68.163	-5.456	0.997	16.251
120	67.735	-6.078	0.996	15.935	120	68.316	-6.355	0.996	19.728
180	67.654	-6.110	0.996	17.574	180	67.946	-6.010	0.996	20.902
240	67.630	-6.925	0.995	15.086	240	67.668	-7.370	0.994	18.755
300	67.938	-6.209	0.996	11.541	300	67.781	-6.261	0.996	15.590

Tensión de alimentación con séptimo armónico y cambio de fase.

Las tablas E.10, E.11 y E.12 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más séptimo armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.10. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 1V					Fundamental más séptimo armónico de 3V				
Fase [°]	P[W]	Q[VA _r]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VA _r]	FP	THDi
0	67.366	-5.792	0.996	5.7662	0	67.230	-5.755	0.996	5.278
60	66.978	-5.760	0.996	6.073	60	67.051	-5.704	0.996	6.163
120	67.142	-5.776	0.996	6.505	120	67.107	-5.745	0.996	7.384
180	67.153	-5.793	0.996	6.631	180	67.185	-5.820	0.996	7.779
240	67.148	-5.825	0.996	6.360	240	66.934	-5.889	0.996	7.015
300	67.185	-5.811	0.996	5.915	300	66.664	-5.854	0.996	5.759

Tabla E.11. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 5V					Fundamental más séptimo armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VA _r]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VA _r]	FP	THDi
0	66.690	-5.692	0.996	5.365	0	66.324	-5.634	0.996	7.839
60	66.746	-5.655	0.996	6.736	60	66.290	-5.625	0.996	9.518
120	66.877	-5.723	0.996	8.511	120	66.265	-5.804	0.996	11.970
180	66.710	-5.791	0.996	8.997	180	66.036	-5.757	0.996	12.445
240	66.635	-5.984	0.996	8.057	240	66.357	-6.268	0.996	11.196
300	66.598	-5.913	0.996	6.085	300	66.263	-6.153	0.996	8.775

Tabla E.12. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 15V					Fundamental más séptimo armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VA _r]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VA _r]	FP	THDi
0	66.339	-5.667	0.996	11.744	0	66.030	-5.789	0.996	16.300
60	66.269	-5.708	0.996	13.263	60	65.941	-5.890	0.996	17.533
120	66.189	-6.038	0.996	15.648	120	65.882	-6.331	0.995	19.455
180	66.212	-5.731	0.996	15.695	180	65.551	-5.774	0.996	19.051

Fundamental más séptimo armónico de 15V					Fundamental más séptimo armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
240	66.190	-6.578	0.995	14.641	240	65.643	-6.874	0.995	18.391
300	66.292	-6.426	0.995	12.456	300	65.837	-6.713	0.995	16.736

Tensión de alimentación con noveno armónico y cambio de fase.

Las tablas E.13, E.14 y E.15 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más noveno armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.13. Potencias para el caso de señales con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 1 V					Fundamental más noveno armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	65.748	-5.733	0.996	5.984	0	67.987	-5.870	0.996	5.901
60	65.639	-5.699	0.996	6.158	60	68.385	-5.827	0.996	6.421
120	65.532	-5.669	0.996	6.379	120	67.313	-5.792	0.996	7.203
180	65.651	-5.681	0.996	6.422	180	67.670	-5.780	0.996	7.258
240	65.486	-5.701	0.996	6.249	240	68.214	-5.932	0.996	6.896
300	68.476	-5.823	0.996	5.891	300	68.386	-6.035	0.996	6.353

Tabla E.14 Potencias para el caso de Señal con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 5 V					Fundamental más noveno armónico de 10V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	68.453	-6.062	0.996	6.702	0	68.618	-6.213	0.996	9.609
60	68.442	-5.977	0.996	7.489	60	68.744	-6.184	0.996	10.692
120	68.361	-5.845	0.996	8.233	120	68.606	-5.901	0.996	11.531
180	68.341	-5.777	0.996	8.283	180	68.501	-5.664	0.997	11.383
240	68.333	-6.013	0.996	7.890	240	68.542	-6.147	0.996	10.824
300	68.552	-6.179	0.996	7.016	300	68.502	-6.564	0.995	10.133

Tabla E.15. Potencias para el caso de Señal con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 15V					Fundamental más noveno armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	68.613	-6.462	0.996	13.710	0	68.575	-6.833	0.995	18.236
60	68.674	-6.461	0.996	14.697	60	68.701	-6.852	0.995	19.203
120	68.703	-6.095	0.996	15.142	120	68.615	-6.423	0.996	19.089
180	68.585	-5.665	0.997	14.692	180	68.571	-5.876	0.996	18.303
240	68.547	-6.366	0.996	14.600	240	68.614	-6.667	0.995	18.451
300	68.611	-6.995	0.995	14.036	300	68.726	-7.382	0.994	18.432

Tensión de alimentación con onceavo armónico y cambio de fase.

Las tablas E.16, E.17 y E.18 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más onceavo armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.16 Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 1V					Fundamental más onceavo armónico de 3V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	68.656	-5.964	0.996	6.251	0	68.642	-6.111	0.996	6.690
60	68.692	-5.920	0.996	6.311	60	68.618	-6.000	0.996	6.882
120	68.672	-5.868	0.996	6.354	120	68.596	-5.823	0.996	6.945
180	68.624	-5.850	0.996	6.349	180	68.566	-5.750	0.997	6.856
240	68.622	-5.886	0.996	6.268	240	68.598	-5.887	0.996	6.729
300	68.603	-5.949	0.996	6.254	300	68.588	-6.070	0.996	6.656

Tabla E.17 Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 5V					Fundamental más onceavo armónico de 10V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	68.619	-6.255	0.996	7.542	0	68.634	-6.631	0.995	10.902
60	68.590	-6.100	0.996	7.889	60	68.672	-6.479	0.996	11.496
120	68.583	-5.801	0.996	7.884	120	68.561	-5.877	0.996	11.198
180	68.556	-5.670	0.997	7.717	180	68.540	-5.575	0.997	10.830

Fundamental más onceavo armónico de 5V					Fundamental más onceavo armónico de 10V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
240	68.536	-5.907	0.996	7.648	240	68.571	-6.034	0.996	10.873
300	68.593	-6.204	0.996	7.502	300	68.649	-6.635	0.995	10.894

Tabla E.18 Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 15 V					Fundamental más onceavo armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	68.676	-7.044	0.995	15.077	0	68.809	-7.570	0.994	19.824
60	68.766	-6.885	0.995	15.612	60	68.796	-7.334	0.994	20.017
120	68.570	-6.180	0.996	14.934	120	68.673	-6.672	0.995	19.188
180	68.494	-5.778	0.997	14.427	180	68.656	-6.248	0.996	18.461
240	68.594	-6.274	0.996	14.617	240	68.631	-6.648	0.995	18.718
300	68.695	-7.085	0.995	14.852	300	68.694	-7.502	0.994	19.190

2. Luminaria dimerizable

A continuación, se presenta las potencias activas, reactivas y tensiones RMS de los casos de estudio en los estados de operación mínima (0 V), intermedio (5 V) y máximo (10 V) de la luminaria dimerizable.

Operación mínima (0 V)

Se presentan las potencias activas y reactivas de la luminaria en estado de operación mínima, para los casos de alimentación con señales con 3° al 11° armónico.

Tensión de alimentación con tercer armónico sin cambio de fase.

Las tablas E.19, E.20 y E.21 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más tercer armónico sin cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.19. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva para los casos de fundamental más tercer armónico de 1 V y 3 V.

Fundamental más tercer armónico de 1 V					Fundamental más tercer armónico de 3 V				
VRMS	P [W]	Q[VA _r]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VA _r]	FP	THDI
100.143	21.742	-3.629	0.986	13.96	100.141	21.676	-3.545	0.987	11.800
104.040	21.652	-3.809	0.985	14.660	104.043	21.596	-3.721	0.986	12.590
108.152	21.578	-3.994	0.983	15.310	108.152	21.605	-3.907	0.984	13.190
112.057	21.605	-4.163	0.982	15.870	112.054	21.628	-4.049	0.983	13.730
116.071	21.667	-4.339	0.981	16.430	116.074	21.645	-4.243	0.981	14.360
120.078	21.785	-4.552	0.979	17.130	120.085	21.757	-4.426	0.980	15.010
124.125	21.838	-4.739	0.977	17.820	124.124	21.803	-4.628	0.978	15.730
128.128	21.612	-4.989	0.974	18.930	128.128	21.626	-4.894	0.975	17.010
130.126	21.699	-5.063	0.974	19.080	130.130	21.672	-4.966	0.975	17.180

Tabla E.20. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva para los casos de fundamental más tercer armónico de 5 V y 10 V.

Fundamental más tercer armónico de 5 V					Fundamental más tercer armónico de 10 V				
VRMS	P [W]	Q[VA _r]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VA _r]	FP	THDI
100.139	21.658	-3.435	0.988	9.780	100.057	21.512	-3.205	0.989	7.590
104.048	21.603	-3.631	0.986	10.550	104.055	21.590	-3.371	0.988	7.840
108.154	21.603	-3.795	0.985	11.240	108.062	21.691	-3.558	0.987	8.140
112.061	21.649	-3.969	0.984	11.810	112.072	21.634	-3.712	0.986	8.570
116.073	21.664	-4.140	0.982	12.410	116.080	21.708	-3.873	0.985	8.900
120.078	21.718	-4.313	0.981	13.060	120.090	21.737	-4.049	0.983	9.340
124.122	21.756	-4.531	0.979	13.830	124.131	21.586	-4.323	0.981	10.200
128.120	21.623	-4.803	0.976	15.110	128.140	21.678	-4.551	0.979	11.020
130.134	21.696	-4.880	0.976	15.340	130.134	21.724	-4.649	0.978	11.410

Tabla E.21. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva para los casos de fundamental más tercer armónico de 15 V y 20 V.

Fundamental más tercer armónico de 15 V					Fundamental más tercer armónico de 20 V				
VRMS	P [W]	Q[VA _r]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VA _r]	FP	THDI
100.078	21.566	-2.998	0.991	11.110	100.100	21.578	-2.842	0.991	17.360
104.073	21.596	-3.170	0.989	10.580	104.107	21.656	-3.011	0.991	16.430
108.085	21.659	-3.323	0.988	10.170	108.105	21.695	-3.184	0.989	15.510
112.100	21.676	-3.488	0.987	9.820	112.117	21.670	-3.330	0.988	14.700
116.103	21.689	-3.657	0.986	9.540	116.126	21.698	-3.491	0.987	13.960
120.104	21.737	-3.844	0.985	9.390	120.127	21.761	-3.655	0.986	13.380
124.145	21.637	-4.058	0.983	9.290	124.167	21.655	-3.838	0.985	12.740
128.152	21.720	-4.286	0.981	9.400	128.175	21.742	-4.074	0.983	12.100

Fundamental más tercer armónico de 15 V					Fundamental más tercer armónico de 20 V				
VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi
130.158	21.762	-4.425	0.980	9.680	130.184	21.751	-4.197	0.982	11.920

Tensión de alimentación con tercer armónico y cambio de fase.

Las tablas E.22, E.23 y E.24 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más tercer armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.22. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 1 V					Fundamental más tercer armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.725	-4.535	0.979	17.100	0	21.730	-4.461	0.980	15.206
60	21.681	-4.575	0.979	17.955	60	21.694	-4.521	0.979	17.540
120	21.679	-4.653	0.978	19.206	120	21.705	-4.699	0.977	20.730
180	21.670	-4.686	0.977	19.631	180	21.733	-4.797	0.977	21.727
240	21.706	-4.678	0.978	18.954	240	21.712	-4.770	0.977	20.038
300	21.691	-4.609	0.978	17.786	300	21.744	-4.601	0.978	16.685

Tabla E.23. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 5 V					Fundamental más tercer armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.818	-4.351	0.981	13.095	0	21.877	-4.073	0.983	9.279
60	21.806	-4.453	0.980	17.185	60	21.845	-4.363	0.981	17.941
120	21.784	-4.736	0.977	22.266	120	21.820	-4.866	0.976	26.755
180	21.736	-4.873	0.976	23.887	180	21.750	-5.082	0.974	29.349
240	21.840	-4.848	0.976	20.928	240	21.826	-5.149	0.973	24.701
300	21.821	-4.610	0.978	15.753	300	21.910	-4.612	0.979	15.063

Tabla E.24. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 15 V					Fundamental más tercer armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi
0	21.976	-3.842	0.985	9.416	0	21.755	-3.671	0.986	13.339
60	21.912	-4.355	0.981	20.549	60	21.714	-4.433	0.980	24.755
120	21.869	-5.057	0.974	31.336	120	21.657	-5.245	0.972	36.318
180	21.702	-5.228	0.972	34.442	180	21.525	-5.249	0.972	39.132
240	21.704	-5.410	0.970	28.859	240	21.599	-5.722	0.967	33.371
300	21.748	-4.703	0.977	16.975	300	21.652	-4.867	0.976	20.661

Tensión de alimentación con quinto armónico y cambio de fase.

Las tablas E.25, E.26 y E.27 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más quinto armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.25. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 1 V					Fundamental más quinto armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi
0	21.724	-4.628	0.978	18.285	0	21.757	-4.766	0.977	18.874
60	21.719	-4.654	0.978	18.512	60	21.735	-4.673	0.978	18.875
120	21.680	-4.595	0.978	18.480	120	21.725	-4.543	0.979	18.678
180	21.695	-4.586	0.978	18.422	180	21.805	-4.464	0.980	18.461
240	21.702	-4.588	0.978	18.363	240	21.781	-4.572	0.979	18.588
300	21.720	-4.662	0.978	18.444	300	21.872	-4.693	0.978	18.440

Tabla E.26. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 5 V					Fundamental más quinto armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi
0	21.836	-4.818	0.977	19.267	0	21.805	-5.127	0.974	22.490
60	21.789	-4.708	0.977	19.455	60	21.760	-4.938	0.975	22.713
120	21.878	-4.461	0.980	19.015	120	21.762	-4.497	0.979	22.004
180	21.778	-4.417	0.980	18.991	180	21.735	-4.235	0.982	21.439

Fundamental más quinto armónico de 5 V					Fundamental más quinto armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
240	21.745	-4.587	0.979	19.103	240	21.707	-4.659	0.978	22.032
300	21.752	-4.790	0.977	19.437	300	21.775	-5.048	0.974	22.231

Tabla E.27. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 15 V					Fundamental más quinto armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.793	-5.427	0.970	26.694	0	21.748	-5.674	0.968	31.392
60	21.762	-5.164	0.973	26.821	60	21.775	-5.428	0.970	31.694
120	21.768	-4.572	0.979	25.805	120	21.729	-4.741	0.977	30.444
180	21.687	-4.192	0.982	25.100	180	21.726	-4.212	0.982	29.354
240	21.705	-4.775	0.977	25.730	240	21.718	-4.946	0.975	30.356
300	21.756	-5.303	0.972	26.247	300	21.774	-5.602	0.969	31.063

Tensión de alimentación con séptimo armónico y cambio de fase.

Las tablas E.28, E.29 y E.30 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más séptimo armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.28. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 1V					Fundamental más séptimo armónico de 3V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.411	-4.677	0.977	18.897	0	21.681	-4.715	0.977	18.999
60	21.550	-4.667	0.977	18.755	60	21.661	-4.656	0.978	18.881
120	21.584	-4.636	0.978	18.669	120	21.656	-4.583	0.978	18.714
180	21.613	-4.598	0.978	18.560	180	21.672	-4.544	0.979	18.638
240	21.631	-4.625	0.978	18.535	240	21.661	-4.601	0.978	18.749
300	21.629	-4.648	0.978	18.601	300	21.685	-4.681	0.978	18.881

Tabla E.29. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 5V					Fundamental más séptimo armónico de 10V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.721	-4.781	0.977	19.705	0	21.765	-5.017	0.974	23.055
60	21.705	-4.681	0.978	19.498	60	21.765	-4.873	0.976	22.689
120	21.728	-4.557	0.979	19.173	120	21.756	-4.588	0.979	21.897
180	21.720	-4.506	0.979	19.053	180	21.408	-4.538	0.978	22.191
240	21.730	-4.607	0.978	19.314	240	21.615	-4.684	0.977	22.176
300	21.712	-4.756	0.977	19.763	300	21.365	-5.044	0.973	23.647

Tabla E.30. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 15V					Fundamental más séptimo armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.427	-5.379	0.970	28.205	0	21.397	-5.754	0.966	33.830
60	21.447	-5.183	0.972	27.571	60	21.421	-5.549	0.968	33.062
120	21.389	-4.852	0.975	26.731	120	21.390	-5.090	0.973	31.522
180	21.384	-4.629	0.977	26.000	180	21.362	-4.805	0.976	30.524
240	21.403	-4.889	0.975	26.767	240	21.341	-5.115	0.973	31.608
300	21.388	-5.318	0.971	28.123	300	21.404	-5.639	0.967	33.344

Tensión de alimentación con noveno armónico y cambio de fase.

Las tablas E.31, E.32 y E.33 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más noveno armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.31. Potencias para el caso de señales con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 1 V					Fundamental más noveno armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.774	-4.561	0.979	17.975	0	21.462	-4.703	0.977	19.248
60	21.653	-4.547	0.979	18.051	60	21.470	-4.692	0.977	19.187
120	21.565	-4.566	0.978	18.274	120	21.455	-4.632	0.978	19.082
180	21.469	-4.590	0.978	18.557	180	21.441	-4.605	0.978	19.029

Fundamental más noveno armónico de 1 V					Fundamental más noveno armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
240	21.497	-4.612	0.978	18.594	240	21.403	-4.638	0.977	19.239
300	21.472	-4.630	0.978	18.635	300	21.407	-4.718	0.977	19.392

Tabla E.32. Potencias para el caso de señales con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 5 V					Fundamental más noveno armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.393	-4.806	0.976	20.238	0	21.406	-5.065	0.973	23.902
60	21.389	-4.762	0.976	20.172	60	21.403	-5.011	0.974	23.813
120	21.400	-4.679	0.977	19.958	120	21.380	-4.825	0.976	23.316
180	21.370	-4.613	0.978	19.803	180	21.383	-4.714	0.977	22.931
240	21.362	-4.673	0.977	20.098	240	21.406	-4.807	0.976	23.165
300	21.333	-4.795	0.976	20.393	300	21.572	-4.981	0.974	23.442

Tabla E.33. Potencias para el caso de señales con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 15V					Fundamental más noveno armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.474	-5.389	0.970	28.571	0	21.448	-5.742	0.966	34.201
60	21.440	-5.325	0.971	28.554	60	21.426	-5.699	0.966	34.162
120	21.454	-5.064	0.973	27.624	120	21.438	-5.434	0.969	33.041
180	21.422	-4.945	0.974	27.250	180	21.483	-5.264	0.971	32.444
240	21.402	-5.035	0.973	27.576	240	21.434	-5.381	0.970	32.844
300	21.397	-5.305	0.971	28.515	300	21.561	-5.595	0.968	33.424

Tensión de alimentación con onceavo armónico y cambio de fase.

Las tablas E.34, E.35 y E.36 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más onceavo armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.34. Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 1V					Fundamental más onceavo armónico de 3V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.252	-4.657	0.977	19.003	0	21.389	-4.739	0.976	19.416
60	21.339	-4.655	0.977	18.891	60	21.369	-4.724	0.976	19.450
120	21.397	-4.633	0.977	18.829	120	21.389	-4.662	0.977	19.308
180	21.390	-4.659	0.977	18.901	180	21.412	-4.628	0.977	19.022
240	21.354	-4.636	0.977	18.855	240	21.431	-4.625	0.978	19.087
300	21.367	-4.683	0.977	18.971	300	21.438	-4.666	0.977	19.155

Tabla E.35. Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 5V					Fundamental más onceavo armónico de 10V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.403	-4.791	0.976	20.281	0	21.442	-5.109	0.973	24.042
60	21.438	-4.778	0.976	20.181	60	21.445	-5.089	0.973	24.145
120	21.419	-4.685	0.977	19.990	120	21.443	-4.917	0.975	23.522
180	21.461	-4.596	0.978	19.527	180	21.427	-4.811	0.976	23.121
240	21.413	-4.636	0.977	19.818	240	21.423	-4.836	0.976	23.186
300	21.424	-4.732	0.977	20.015	300	21.421	-4.998	0.974	23.710

Tabla E.36. Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 15V					Fundamental más onceavo armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	21.470	-5.476	0.969	29.031	0	21.564	-5.926	0.964	34.781
60	21.478	-5.471	0.969	29.171	60	21.495	-5.911	0.964	34.571
120	21.539	-5.263	0.971	28.102	120	21.505	-5.715	0.967	33.868
180	21.495	-5.149	0.973	27.795	180	21.556	-5.584	0.968	33.308
240	21.465	-5.185	0.972	27.916	240	21.518	-5.619	0.968	33.491
300	21.519	-5.333	0.971	28.391	300	21.496	-5.754	0.966	34.082

Operación intermedia (5V)

Se presentan las potencias activas y reactivas de la luminaria en estado de operación intermedia, para los casos de alimentación con señales con 3° al 11° armónico.

Tensión de alimentación con tercer armónico sin cambio de fase.

Las tablas E.37, E.38 y E.39 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más tercer armónico sin cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.37. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva para los casos de fundamental más tercer armónico de 1 V y 3 V.

Fundamental más tercer armónico de 1 V					Fundamental más tercer armónico de 3 V				
VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDI
100.058	53.550	-4.328	0.997	6.360	100.055	53.360	-4.247	0.997	4.610
104.062	53.376	-4.660	0.996	6.990	104.066	53.210	-4.553	0.996	5.350
108.082	53.186	-5.007	0.996	7.780	108.083	53.147	-4.886	0.996	6.020
112.088	53.236	-5.341	0.995	8.350	112.086	53.284	-5.187	0.995	6.620
116.098	53.241	-5.627	0.995	8.940	116.004	53.365	-5.485	0.995	7.190
120.013	53.270	-5.942	0.994	9.480	120.012	53.284	-5.819	0.994	7.810
124.182	52.872	-6.137	0.993	9.800	124.069	51.929	-6.092	0.993	8.550
128.074	52.707	-6.538	0.992	10.560	128.069	52.544	-6.419	0.993	9.010
130.074	52.615	-6.730	0.992	10.880	130.081	52.702	-6.606	0.992	9.270

Tabla E.38. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva para los casos de fundamental más tercer armónico de 5 V y 10 V.

Fundamental más tercer armónico de 5 V					Fundamental más tercer armónico de 10 V				
VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDI
100.056	53.505	-4.078	0.997	3.500	100.077	53.008	-3.760	0.998	6.380
104.071	53.201	-4.422	0.997	4.120	104.083	53.308	-4.161	0.997	5.940
108.081	53.105	-4.753	0.996	4.710	108.088	53.263	-4.410	0.997	5.600
112.088	53.262	-5.041	0.996	5.260	112.099	53.305	-4.719	0.996	5.390
116.005	53.291	-5.350	0.995	5.800	116.007	53.207	-5.021	0.996	5.290
120.008	53.191	-5.685	0.994	6.380	120.027	53.320	-5.337	0.995	5.280
124.067	52.666	-5.956	0.994	6.930	124.072	52.499	-5.611	0.994	5.420
128.070	52.575	-6.295	0.993	7.540	128.085	52.703	-5.945	0.994	5.620
130.088	52.715	-6.465	0.993	7.800	130.094	52.816	-6.085	0.993	5.730

Tabla E.39. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva para los casos de fundamental más tercer armónico de 15 V y 20 V.

Fundamental más tercer armónico de 15 V					Fundamental más tercer armónico de 20 V				
VRMS	P [W]	Q[Var]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[Var]	FP	THDi
99.996	53.425	-3.421	0.998	11.910	100.019	53.293	-3.298	0.998	17.800
104.002	53.155	-3.860	0.997	11.050	104.028	53.245	-3.538	0.998	16.720
108.014	53.304	-4.088	0.997	10.300	108.034	53.336	-3.842	0.997	15.750
112.022	53.251	-4.409	0.997	9.630	112.047	53.329	-4.119	0.997	14.870
116.031	53.309	-4.713	0.996	9.020	116.059	53.346	-4.411	0.997	14.010
120.041	53.434	-4.988	0.996	8.500	120.114	53.184	-4.600	0.996	13.340
124.087	52.781	-5.299	0.995	8.030	124.106	52.811	-5.004	0.996	12.500
128.099	52.690	-5.602	0.994	7.650	128.116	52.751	-5.292	0.995	11.820
130.104	52.864	-5.753	0.994	7.490	130.132	52.885	-5.453	0.995	11.490

Tensión de alimentación con tercer armónico y cambio de fase.

Las tablas E.40, E.41 y E.42 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más tercer armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.40. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 1 V					Fundamental más tercer armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[Var]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[Var]	FP	THDi
0	53.740	-5.862	0.994	9.193	0	53.662	-5.769	0.994	7.635
60	53.370	-5.924	0.994	9.873	60	53.522	-5.816	0.994	9.301
120	53.133	-6.006	0.994	10.864	120	53.475	-6.018	0.994	11.932
180	53.172	-6.082	0.994	11.303	180	53.467	-6.178	0.993	13.059
240	53.444	-6.044	0.994	10.719	240	53.485	-6.151	0.994	11.804
300	53.791	-5.919	0.994	9.661	300	53.461	-5.970	0.994	9.231

Tabla E.41. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 5 V					Fundamental más tercer armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	53.560	-5.671	0.994	6.293	0	53.575	-6.009	0.994	10.144
60	53.646	-5.768	0.994	9.176	60	53.469	-6.649	0.992	16.782
120	53.654	-6.070	0.994	13.247	120	53.396	-6.592	0.993	19.914
180	53.581	-6.314	0.993	14.980	180	53.551	-6.233	0.993	17.152
240	53.443	-6.322	0.993	13.137	240	53.601	-5.593	0.995	10.508
300	53.579	-5.969	0.994	8.950	300	53.521	-5.320	0.995	5.305

Tabla E.42. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 15 V					Fundamental más tercer armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	53.545	-5.022	0.996	8.504	0	53.648	-4.703	0.996	13.272
60	53.664	-5.467	0.995	13.520	60	53.784	-5.391	0.995	17.550
120	53.504	-6.432	0.993	21.200	120	53.688	-6.631	0.993	25.342
180	53.411	-6.815	0.992	24.624	180	53.454	-6.833	0.992	29.037
240	53.432	-6.999	0.992	20.670	240	53.508	-7.367	0.991	24.742
300	53.630	-6.032	0.994	13.198	300	53.690	-6.144	0.994	17.271

Tensión de alimentación con quinto armónico y cambio de fase.

Las tablas E.43, E.44 y E.45 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más quinto armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.43. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 1 V					Fundamental más quinto armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	53.393	-5.996	0.994	10.054	0	53.466	-6.049	0.994	9.958
60	53.274	-5.995	0.994	10.254	60	53.314	-6.003	0.994	10.453
120	53.499	-5.945	0.994	10.413	120	53.059	-5.938	0.994	11.203
180	53.516	-5.933	0.994	10.480	180	53.369	-5.882	0.994	11.327

Fundamental más quinto armónico de 1 V					Fundamental más quinto armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
240	53.701	-5.927	0.994	10.215	240	53.304	-5.993	0.994	10.924
300	53.574	-5.984	0.994	10.056	300	53.265	-6.101	0.994	10.319

Tabla E.44. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 5 V					Fundamental más quinto armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	53.419	-6.167	0.993	10.362	0	53.319	-6.331	0.993	12.667
60	53.502	-6.029	0.994	10.967	60	53.312	-6.163	0.993	13.636
120	53.367	-5.905	0.994	12.027	120	53.177	-5.851	0.994	15.150
180	53.192	-5.829	0.994	12.415	180	52.932	-5.682	0.994	15.715
240	53.282	-6.003	0.994	11.709	240	53.255	-6.054	0.994	14.586
300	53.300	-6.146	0.993	10.703	300	53.389	-6.336	0.993	13.067

Tabla E.45. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 15 V					Fundamental más quinto armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	53.458	-6.505	0.993	16.239	0	53.465	-6.608	0.992	20.388
60	53.280	-6.352	0.993	17.327	60	53.332	-6.501	0.993	21.518
120	53.188	-5.900	0.994	18.821	120	53.484	-5.967	0.994	22.806
180	53.162	-5.540	0.995	19.251	180	53.295	-5.349	0.995	23.052
240	53.385	-6.190	0.993	18.130	240	53.296	-6.362	0.993	22.181
300	53.236	-6.568	0.993	16.672	300	53.380	-6.748	0.992	20.833

Tensión de alimentación con séptimo armónico y cambio de fase.

Las tablas E.46, E.47 y E.48 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más séptimo armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.46. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 1V					Fundamental más séptimo armónico de 3V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	52.783	-6.076	0.993	10.497	0	51.903	-6.217	0.993	11.056
60	52.105	-6.069	0.993	10.720	60	51.933	-6.165	0.993	11.188
120	52.013	-6.039	0.993	10.789	120	51.943	-5.999	0.993	11.250
180	52.043	-6.028	0.993	10.808	180	51.704	-5.960	0.993	11.328
240	51.835	-6.059	0.993	10.818	240	51.795	-6.051	0.993	11.194
300	51.931	-6.113	0.993	10.757	300	51.970	-6.194	0.993	11.074

Tabla E.47. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 5V					Fundamental más séptimo armónico de 10V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	52.098	-6.342	0.993	11.693	0	52.533	-6.539	0.992	14.295
60	52.107	-6.219	0.993	11.828	60	52.360	-6.359	0.993	14.564
120	52.022	-5.977	0.994	11.964	120	52.310	-5.926	0.994	14.757
180	51.909	-5.880	0.994	12.022	180	52.215	-5.651	0.994	14.645
240	52.448	-6.025	0.994	11.742	240	52.431	-6.056	0.993	14.501
300	52.225	-6.259	0.993	11.639	300	52.185	-6.458	0.992	14.386

Tabla E.48. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 15V					Fundamental más séptimo armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	52.513	-6.790	0.992	18.061	0	52.422	-7.028	0.991	22.471
60	52.604	-6.540	0.992	18.254	60	52.569	-6.742	0.992	22.580
120	52.530	-5.964	0.994	18.309	120	52.523	-6.076	0.993	22.425
180	52.479	-5.622	0.994	17.834	180	52.573	-5.519	0.995	21.432
240	52.605	-6.124	0.993	17.999	240	52.393	-6.205	0.993	22.145
300	52.437	-6.655	0.992	17.950	300	52.546	-6.859	0.992	22.231

Tensión de alimentación con noveno armónico y cambio de fase.

Las tablas E.49, E.50 y E.51 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente

fundamental más noveno armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.49. Potencias para el caso de señales con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 1 V					Fundamental más noveno armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	52.546	-6.081	0.993	10.605	0	51.968	-6.215	0.993	11.205
60	51.983	-6.067	0.993	10.729	60	52.174	-6.153	0.993	11.185
120	51.802	-6.055	0.993	10.845	120	52.282	-6.025	0.993	11.099
180	52.122	-6.046	0.993	10.775	180	52.515	-5.945	0.994	10.991
240	52.278	-6.068	0.993	10.736	240	52.701	-6.003	0.994	10.909
300	52.244	-6.124	0.993	10.773	300	52.799	-6.100	0.993	10.880

Tabla E.50. Potencias para el caso de señales con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 5 V					Fundamental más noveno armónico de 10V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	52.716	-6.227	0.993	11.625	0	52.155	-6.313	0.993	14.376
60	52.465	-6.157	0.993	11.711	60	52.029	-6.225	0.993	14.531
120	52.339	-5.976	0.994	11.726	120	51.737	-5.997	0.993	14.680
180	52.237	-5.877	0.994	11.680	180	51.697	-5.783	0.994	14.281
240	52.467	-5.994	0.994	11.631	240	52.144	-6.030	0.993	14.489
300	52.393	-6.222	0.993	11.742	300	51.904	-6.415	0.992	14.748

Tabla E.51. Potencias para el caso de señales con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 15 V					Fundamental más noveno armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	52.480	-6.698	0.992	18.429	0	52.512	-6.900	0.992	22.742
60	52.326	-6.526	0.992	18.479	60	52.524	-6.722	0.992	22.589
120	52.257	-6.088	0.993	18.264	120	52.364	-6.219	0.993	22.418
180	52.218	-5.964	0.994	17.190	180	52.276	-5.829	0.994	21.846
240	52.234	-6.121	0.993	18.135	240	52.298	-6.230	0.993	22.215
300	52.299	-6.598	0.992	18.380	300	52.284	-6.798	0.992	22.693

Tensión de alimentación con onceavo armónico y cambio de fase.

Las tablas E.52, E.53 y E.54 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más onceavo armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.52 Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 1 V					Fundamental más onceavo armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	52.311	-5.925	0.994	10.338	0	51.484	-6.198	0.993	11.370
60	51.890	-5.957	0.994	10.523	60	52.140	-6.134	0.993	11.184
120	51.817	-5.979	0.993	10.653	120	51.540	-6.061	0.993	11.274
180	51.396	-6.051	0.993	10.904	180	52.431	-5.917	0.994	10.871
240	51.679	-6.060	0.993	10.855	240	51.654	-6.014	0.993	11.155
300	51.414	-6.115	0.993	10.986	300	51.488	-6.141	0.993	11.265

Tabla E.53 Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 5 V					Fundamental más onceavo armónico de 10V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	51.449	-6.285	0.993	12.094	0	51.816	-6.488	0.992	14.987
60	51.469	-6.200	0.993	12.049	60	51.847	-6.401	0.993	14.925
120	51.721	-6.069	0.993	11.908	120	51.600	-6.151	0.993	14.830
180	51.730	-5.958	0.993	11.809	180	51.763	-6.012	0.993	14.196
240	51.590	-6.085	0.993	11.952	240	51.859	-6.127	0.993	14.726
300	51.665	-6.240	0.993	12.054	300	51.992	-6.413	0.993	14.900

Tabla E.54 Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 15 V					Fundamental más onceavo armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	51.690	-6.706	0.992	18.863	0	52.109	-6.894	0.991	23.129
60	51.766	-6.599	0.992	18.758	60	52.260	-6.750	0.992	22.966
120	51.719	-6.276	0.993	18.485	120	51.890	-6.404	0.993	22.551
180	52.257	-5.998	0.994	17.482	180	51.997	-6.093	0.993	22.194

Fundamental más onceavo armónico de 15 V					Fundamental más onceavo armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
240	52.210	-6.188	0.993	18.207	240	52.157	-6.338	0.993	22.326
300	52.078	-6.579	0.992	18.631	300	52.097	-6.751	0.992	22.932

Operación máxima (10V)

Se presentan las potencias activas y reactivas de la luminaria en estado de operación máxima, para los casos de alimentación con señales con 3° al 11° armónico.

Tensión de alimentación con tercer armónico sin cambio de fase.

Las tablas E.55, E.56 y E.57 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más tercer armónico sin cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.55. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva para los casos de fundamental más tercer armónico de 1 V y 3 V.

Fundamental más tercer armónico de 1 V					Fundamental más tercer armónico de 3 V				
VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi
100.001	74.210	-3.955	0.999	3.330	99.987	73.805	-3.823	0.999	2.050
104.013	72.297	-4.656	0.998	4.650	104.018	71.893	-4.576	0.998	3.180
108.034	71.617	-5.028	0.998	5.460	108.031	71.682	-4.874	0.998	3.890
112.041	71.503	-5.463	0.997	6.100	112.042	71.401	-5.309	0.997	4.500
115.959	72.125	-5.634	0.997	6.290	116.059	72.166	-5.556	0.997	4.770
119.978	71.636	-6.212	0.996	7.020	119.976	71.950	-5.981	0.997	5.390
124.141	70.847	-6.403	0.996	7.510	124.143	71.436	-6.258	0.996	5.910
128.143	71.698	-6.823	0.996	8.010	128.136	71.716	-6.630	0.996	6.430
130.148	71.067	-7.071	0.995	8.410	130.150	71.253	-6.935	0.995	6.900

Tabla E.56. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva para los casos de fundamental más tercer armónico de 5 V y 10 V.

Fundamental más tercer armónico de 5 V					Fundamental más tercer armónico de 10 V				
VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDI
99.989	73.286	-3.775	0.999	2.480	100.013	72.224	-3.600	0.999	7.180
104.024	71.843	-4.398	0.998	2.640	104.034	71.895	-4.006	0.999	6.460
108.036	71.750	-4.866	0.998	2.970	108.045	71.760	-4.440	0.998	5.900
112.048	71.399	-5.158	0.997	3.470	112.059	71.534	-4.801	0.998	5.430
116.058	71.715	-5.477	0.997	3.790	115.967	71.840	-5.147	0.997	5.150
119.968	71.723	-5.798	0.997	4.270	119.982	71.589	-5.483	0.997	4.910
124.147	70.837	-6.161	0.996	4.840	124.157	69.954	-5.903	0.997	4.780
128.136	71.434	-6.553	0.996	5.290	128.058	71.156	-6.179	0.996	4.720
130.152	71.341	-6.765	0.996	5.580	130.155	71.492	-6.361	0.996	4.700

Tabla E.57. Tensiones RMS, potencia activa y reactiva para los casos de fundamental más tercer armónico de 15 V y 20 V.

Fundamental más tercer armónico de 15 V					Fundamental más tercer armónico de 20 V				
VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDi	VRMS	P [W]	Q[VAr]	FP	THDI
100.048	72.231	-3.311	0.999	12.690	99.911	72.602	-3.049	0.999	18.270
104.051	71.781	-3.756	0.999	11.720	103.985	71.822	-3.516	0.999	17.220
108.069	71.614	-4.116	0.998	10.910	107.984	71.837	-3.835	0.999	16.260
112.083	71.529	-4.476	0.998	10.190	112.001	71.558	-4.207	0.998	15.340
115.992	71.705	-4.834	0.998	9.580	116.015	71.394	-4.501	0.998	14.470
120.006	71.564	-5.122	0.997	8.930	120.022	71.709	-4.796	0.998	13.730
124.061	71.164	-5.486	0.997	8.370	124.083	71.245	-5.167	0.997	12.920
128.073	71.562	-5.796	0.997	7.920	128.089	71.394	-5.491	0.997	12.240
130.066	71.637	-5.968	0.997	7.680	130.091	72.068	-5.566	0.997	11.970

Tensión de alimentación con tercer armónico y cambio de fase.

Las tablas E.58, E.59 y E.60 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más tercer armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.58. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 1 V					Fundamental más tercer armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	73.263	-5.781	0.997	6.251	0	71.587	-6.024	0.997	5.440
60	72.951	-5.844	0.997	6.866	60	71.395	-6.156	0.996	7.186
120	72.590	-5.976	0.997	7.854	120	71.577	-6.295	0.996	9.562
180	71.344	-6.249	0.996	8.682	180	71.982	-6.237	0.996	10.166
240	71.783	-6.238	0.996	8.209	240	72.223	-6.234	0.996	9.050
300	71.537	-6.211	0.996	7.424	300	72.129	-6.053	0.997	6.675

Tabla E.59. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 5 V					Fundamental más tercer armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	71.788	-5.682	0.997	4.158	0	71.617	-5.420	0.997	4.955
60	71.817	-5.806	0.997	6.921	60	71.495	-5.641	0.997	8.945
120	71.631	-6.277	0.996	10.803	120	71.407	-6.408	0.996	14.784
180	71.582	-6.486	0.996	12.328	180	71.344	-6.845	0.995	17.173
240	71.269	-6.519	0.996	10.669	240	71.582	-6.873	0.995	14.442
300	71.392	-6.172	0.996	6.913	300	71.565	-6.227	0.996	8.867

Tabla E.60. Potencias para el caso de señales con tercer armónico y cambio de fase.

Fundamental más tercer armónico de 15 V					Fundamental más tercer armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	71.583	-5.135	0.997	8.928	0	71.467	-4.821	0.998	13.714
60	71.683	-5.526	0.997	12.481	60	71.498	-5.420	0.997	16.619
120	71.526	-6.583	0.996	18.804	120	71.249	-6.806	0.996	23.064
180	71.377	-7.146	0.995	21.727	180	71.435	-7.108	0.995	26.116
240	71.277	-7.398	0.995	18.327	240	71.534	-7.778	0.994	22.316
300	71.499	-6.229	0.996	12.542	300	71.647	-6.295	0.996	16.734

Tensión de alimentación con quinto armónico y cambio de fase.

Las tablas E.61, E.62 y E.63 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más quinto armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.61. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 1 V					Fundamental más quinto armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	72.727	-5.850	0.997	7.098	0	71.447	-6.257	0.996	7.628
60	72.394	-5.955	0.997	7.423	60	70.996	-6.187	0.996	8.183
120	72.111	-6.032	0.997	7.810	120	71.172	-6.114	0.996	8.890
180	71.353	-6.183	0.996	8.243	180	71.272	-6.170	0.996	9.067
240	71.549	-6.204	0.996	7.954	240	70.912	-6.224	0.996	8.665
300	71.548	-6.276	0.996	7.725	300	71.173	-6.313	0.996	7.983

Tabla E.62. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 5 V					Fundamental más quinto armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	71.028	-6.400	0.996	8.160	0	71.143	-6.525	0.996	10.755
60	70.821	-6.351	0.996	9.012	60	71.060	-6.369	0.996	11.762
120	70.776	-6.217	0.996	10.068	120	71.211	-6.153	0.996	13.382
180	70.898	-6.178	0.996	10.310	180	71.212	-5.929	0.997	13.773
240	71.092	-6.251	0.996	9.631	240	70.996	-6.334	0.996	12.738
300	71.360	-6.378	0.996	8.504	300	70.947	-6.619	0.996	11.195

Tabla E.63. Potencias para el caso de señales con quinto armónico y cambio de fase.

Fundamental más quinto armónico de 15 V					Fundamental más quinto armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	71.328	-6.653	0.996	14.501	0	71.326	-6.651	0.996	18.643
60	71.241	-6.463	0.996	15.419	60	71.457	-6.564	0.996	19.576
120	71.195	-6.079	0.996	17.011	120	71.472	-6.122	0.996	21.029
180	71.258	-5.709	0.997	17.493	180	71.282	-5.529	0.997	21.261
240	71.379	-6.436	0.996	16.293	240	71.234	-6.719	0.996	20.224
300	71.275	-6.744	0.996	14.918	300	71.426	-6.944	0.995	19.112

Tensión de alimentación con séptimo armónico y cambio de fase.

Las tablas E.64, E.65 y E.66 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente

fundamental más séptimo armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.64. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 1V					Fundamental más séptimo armónico de 3V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	71.423	-5.967	0.997	7.539	0	69.871	-6.415	0.996	8.465
60	70.245	-6.036	0.996	7.881	60	69.657	-6.316	0.996	8.689
120	70.754	-6.069	0.996	7.937	120	70.189	-6.210	0.996	8.870
180	68.351	-6.267	0.996	8.518	180	69.806	-6.220	0.996	8.896
240	69.763	-6.302	0.996	8.237	240	69.034	-6.374	0.996	8.856
300	70.172	-6.334	0.996	8.142	300	68.622	-6.484	0.996	8.787

Tabla E.65. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 5V					Fundamental más séptimo armónico de 10V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	69.732	-6.565	0.996	9.239	0	70.125	-6.621	0.996	11.950
60	69.696	-6.445	0.996	9.528	60	69.703	-6.470	0.996	12.380
120	70.039	-6.269	0.996	9.837	120	69.930	-6.099	0.996	12.859
180	71.812	-5.911	0.997	9.294	180	68.880	-5.922	0.996	12.904
240	70.384	-6.152	0.996	9.213	240	69.611	-6.257	0.996	12.500
300	70.107	-6.368	0.996	8.963	300	69.572	-6.682	0.995	12.106

Tabla E.66. Potencias para el caso de señales con séptimo armónico y cambio de fase.

Fundamental más séptimo armónico de 15 V					Fundamental más séptimo armónico de 20 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	69.004	-6.941	0.995	16.013	0	69.874	-7.129	0.995	20.278
60	68.465	-6.732	0.995	16.402	60	69.306	-6.899	0.995	20.592
120	69.361	-6.133	0.996	16.602	120	68.936	-6.201	0.996	20.718
180	69.947	-5.886	0.997	16.129	180	69.346	-6.082	0.996	20.168
240	68.841	-6.370	0.996	16.276	240	69.229	-6.448	0.996	20.254
300	70.413	-6.820	0.995	15.849	300	69.345	-7.095	0.995	20.331

Tensión de alimentación con noveno armónico y cambio de fase.

Las tablas E.67, E.68 y E.69 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más noveno armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.67. Potencias para el caso de señales con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 1 V					Fundamental más noveno armónico de 3 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	71.431	-6.293	0.996	8.048	0	69.841	-6.468	0.996	8.756
60	71.032	-6.262	0.996	8.143	60	69.991	-6.384	0.996	8.813
120	70.414	-6.368	0.996	8.250	120	69.736	-6.314	0.996	8.917
180	70.219	-6.312	0.996	8.280	180	69.988	-6.247	0.996	8.810
240	69.869	-6.372	0.996	8.327	240	69.661	-6.479	0.996	8.746
300	69.623	-6.450	0.996	8.376	300	70.105	-6.485	0.996	8.709

Tabla E.68. Potencias para el caso de señales con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 5 V					Fundamental más noveno armónico de 10 V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	69.164	-6.646	0.995	9.707	0	70.184	-6.757	0.995	12.553
60	70.117	-6.475	0.996	9.629	60	69.964	-6.609	0.996	12.670
120	70.030	-6.352	0.996	9.755	120	70.429	-6.203	0.996	12.642
180	70.195	-6.212	0.996	9.482	180	72.157	-5.739	0.997	11.573
240	70.408	-6.284	0.996	9.473	240	71.750	-5.961	0.997	11.814
300	69.954	-6.507	0.996	9.529	300	71.288	-6.331	0.996	11.927

Tabla E.69. Potencias para el caso de señales con noveno armónico y cambio de fase.

Fundamental más noveno armónico de 15V					Fundamental más noveno armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	69.338	-6.763	0.995	16.210	0	71.039	-6.893	0.995	20.294
60	70.441	-6.554	0.996	16.187	60	70.976	-6.685	0.996	20.387
120	70.414	-6.088	0.996	16.171	120	69.551	-6.261	0.996	20.461
180	70.049	-6.271	0.996	15.694	180	72.049	-5.652	0.997	20.058

Fundamental más noveno armónico de 15V					Fundamental más noveno armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi
240	70.117	-6.279	0.996	15.894	240	68.871	-6.345	0.996	20.375
300	71.091	-6.662	0.996	15.997	300	69.511	-6.925	0.995	20.524

Tensión de alimentación con onceavo armónico y cambio de fase.

Las tablas E.70, E.71 y E.72 presenta las potencias activas y reactivas consumidas por la luminaria, cuando es alimentada con señales de tensión con componente fundamental más onceavo armónico y cambio de fase, además, presenta los cálculos de factor de potencia y distorsión armónica total de corriente.

Tabla E.70 Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 1V					Fundamental más onceavo armónico de 3V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi
0	70.559	-6.337	0.996	8.253	0	69.976	-6.432	0.996	8.781
60	70.027	-6.296	0.996	8.343	60	69.369	-6.390	0.996	8.919
120	70.241	-6.276	0.996	8.287	120	69.888	-6.318	0.996	8.845
180	69.601	-6.320	0.996	8.377	180	69.474	-6.350	0.996	8.779
240	70.369	-6.360	0.996	8.200	240	69.558	-6.437	0.996	8.685
300	69.866	-6.401	0.996	8.305	300	69.598	-6.466	0.996	8.795

Tabla E.71 Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 5V					Fundamental más onceavo armónico de 10V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAR]	FP	THDi
0	71.354	-6.103	0.996	8.855	0	69.346	-6.627	0.996	12.646
60	70.340	-6.109	0.996	9.112	60	69.122	-6.524	0.996	12.690
120	69.799	-6.043	0.996	9.317	120	68.936	-6.231	0.996	12.654
180	68.108	-6.124	0.996	9.496	180	69.644	-6.337	0.996	12.071
240	69.042	-6.185	0.996	9.411	240	69.292	-6.277	0.996	12.450
300	69.292	-6.381	0.996	9.524	300	69.120	-6.581	0.996	12.687

Tabla E.72 Potencias para el caso de señales con onceavo armónico y cambio de fase.

Fundamental más onceavo armónico de 15V					Fundamental más onceavo armónico de 20V				
Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi	Fase [°]	P[W]	Q[VAr]	FP	THDi
0	69.066	-6.842	0.995	16.557	0	69.631	-6.983	0.995	20.778
60	69.415	-6.694	0.995	16.507	60	69.263	-6.826	0.995	20.779
120	69.459	-6.295	0.996	16.298	120	69.522	-6.364	0.996	20.352
180	69.255	-6.133	0.996	15.906	180	69.326	-6.096	0.996	20.015
240	69.649	-6.314	0.996	16.071	240	68.974	-6.342	0.996	20.267
300	69.335	-6.728	0.995	16.438	300	68.549	-6.901	0.995	20.798

ANEXO F. CÁLCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR LAS LUMINARIAS ON-OFF Y DIMERIZABLE

Este anexo presenta los cálculos de la potencia activa, reactiva y tensiones RMS, para los casos de estudio de tensión con 3°, 5°, 7°, 9° y 11° armónico con cambio de fase en la señal de tensión alimentación, para las luminarias On-Off y dimerizable con estado operación mínima (0V), intermedia (5V) y máxima (10V).

1. Luminarias On-Off

Se realizó las experimentaciones con señales sinusoidales puras y con distorsión armónica, donde se varió tanto la magnitud de la tensión, como los ángulos de fase. A continuación, se presenta los casos de estudio.

Caso de tensión con tercer armónico y cambio de fase

Se considera para el siguiente análisis, cambios de fase en el tercer armónico, donde se toma como referencia la tensión eficaz de 120 V para la fundamental.

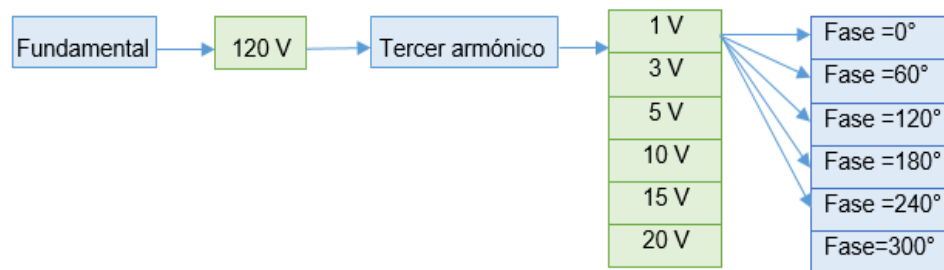


Figura F.1. Señal con tercer armónico y cambio de fase.

Las figuras F.2 y F.3 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva respectivamente. En las tablas E.4, E.5 y E.6 del Anexo

E se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, calculadas para cada valor de tensión del tercer armónico y con tensión fundamental de 120 V.

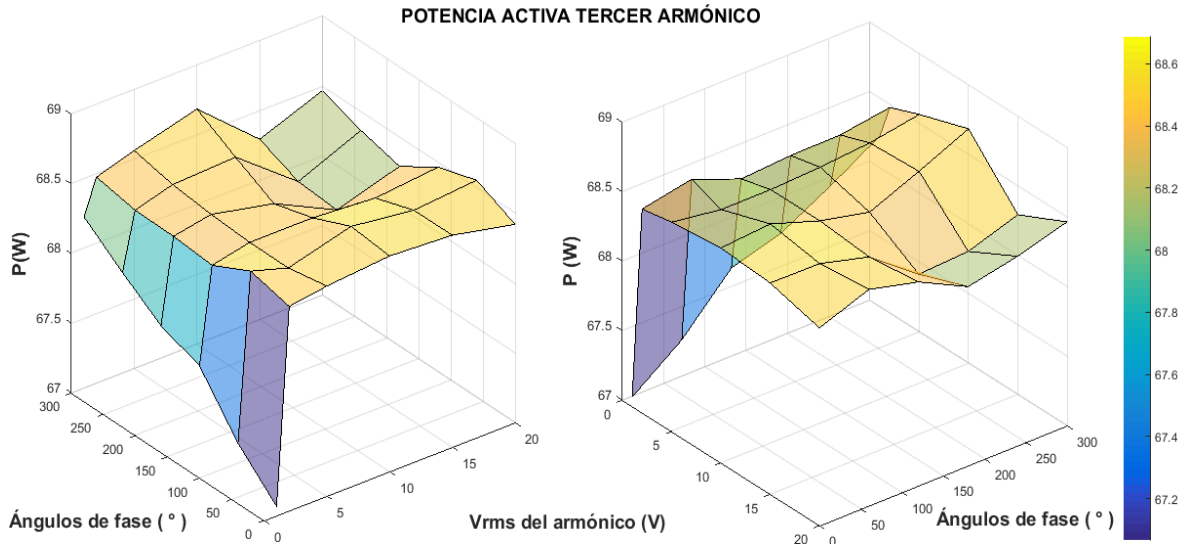


Figura F.2. Potencia activa consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase.

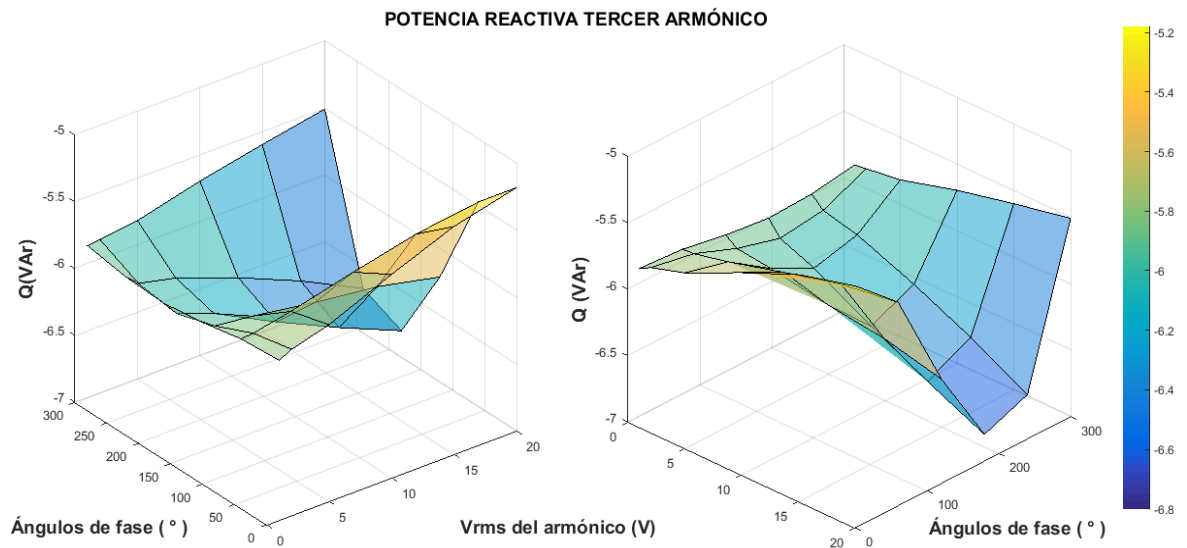


Figura F.3. Potencia activa consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase.

Los porcentajes de diferencia entre la potencia activa y reactiva de la luminaria alimentada con tensiones con tercer armónico y las potencias de solo fundamental se pueden observar en las tablas F.1 y F.2.

Tabla F.1. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Tercer armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-1.304	0.456	0.336	0.515	0.428	0.486
120	-0.758	0.250	0.336	0.337	0.288	0.355
180	-0.603	0.286	0.362	0.218	-0.106	0.094
240	-0.312	0.292	0.407	0.439	-0.076	0.204
300	0.006	0.372	0.497	0.676	0.101	0.356

Tabla F.2. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva -Tercer armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-0.410	-0.521	-1.518	-3.529	-5.374	-6.491
120	0.614	1.670	2.215	3.480	4.454	6.228
180	1.316	3.225	5.020	9.098	12.820	16.235
240	1.053	2.494	3.605	6.573	9.995	13.955
300	0.193	0.009	-0.602	-2.653	-4.324	-5.857

Caso de tensión con quinto armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del quinto armónico, como se observa en la Figura F.4.

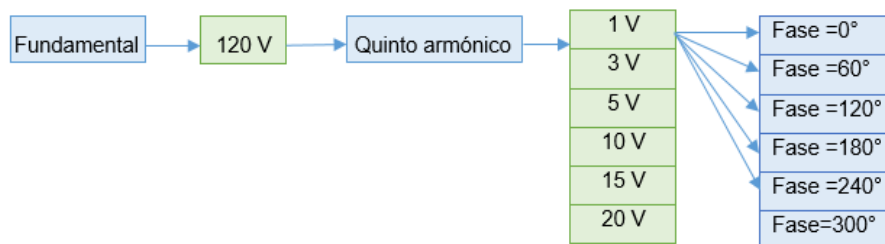


Figura F.4. Señal con quinto armónico y cambio de fase.

Las figuras F.5 y F.6 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva respectivamente. En las tablas E7, E8 y E9 del Anexo E se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, calculadas para cada valor de tensión del quinto armónico y con tensión fundamental de 120 V.

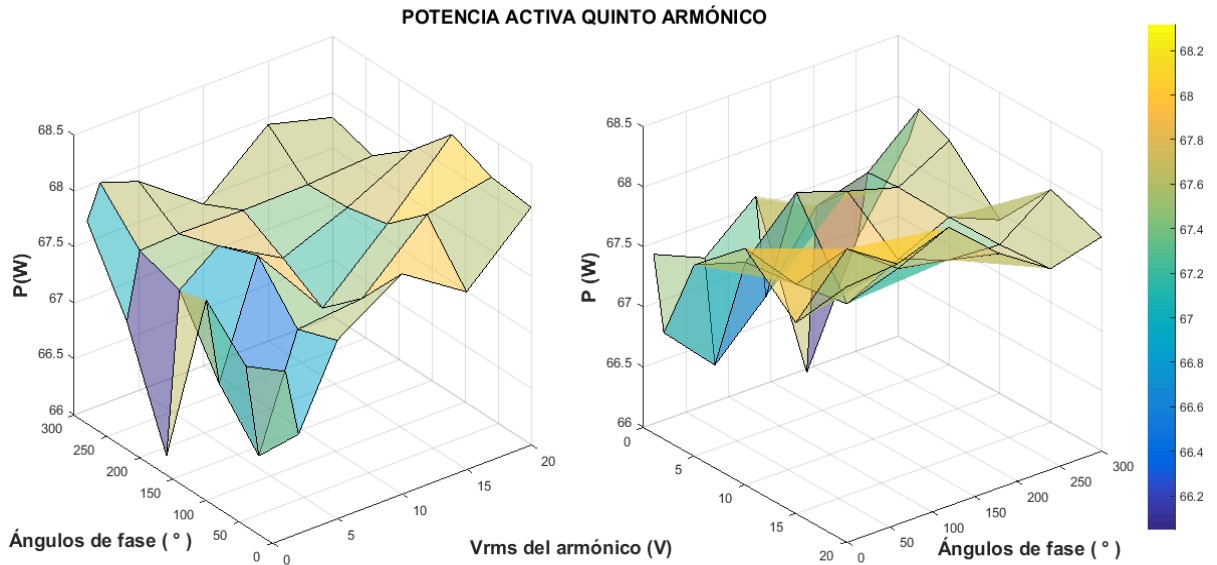


Figura F.5. Potencia activa consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con quinto armónico y cambio de fase.

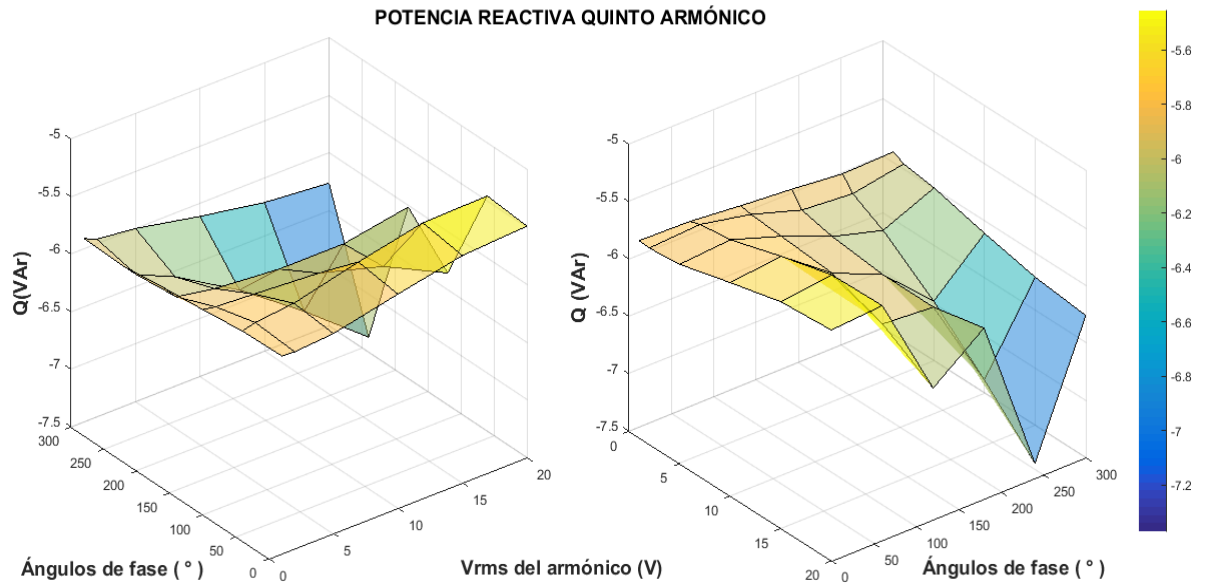


Figura F.6. Potencia reactiva consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con quinto armónico y cambio de fase.

En la Tabla F.3 se muestra los porcentajes de diferencia entre la potencia activa de la luminaria alimentada con tensiones con quinto armónico y las potencias de solo fundamental.

Tabla F.3. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Quinto armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-1.347	-2.586	-1.120	-1.036	-0.257	-0.092
120	-0.814	-1.970	-0.489	-1.500	-0.719	0.133
180	-3.190	-1.083	-0.697	-1.180	-0.837	-0.409
240	-1.765	-0.901	-0.873	-0.888	-0.873	-0.817
300	-0.789	-0.349	-0.523	-1.143	-0.421	-0.651

En comparación con el caso anterior de tensiones con tercer armónico, en este caso se presenta aumento en la potencia reactiva en las fases con ángulo de 240° y 300°. Los porcentajes de aumento y disminución de potencia reactiva se presentan en la Tabla F.4.

Tabla F.4. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Quinto armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-0.957	-1.475	-2.082	-4.452	-6.517	-6.753
120	-0.227	0.104	0.465	1.118	3.875	8.612
180	0.393	2.528	3.584	4.427	4.434	2.724
240	1.162	3.159	5.731	11.462	18.355	25.964
300	0.964	1.807	2.473	4.428	6.121	7.008

Caso de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del séptimo armónico, como se observa en la Figura F.7.

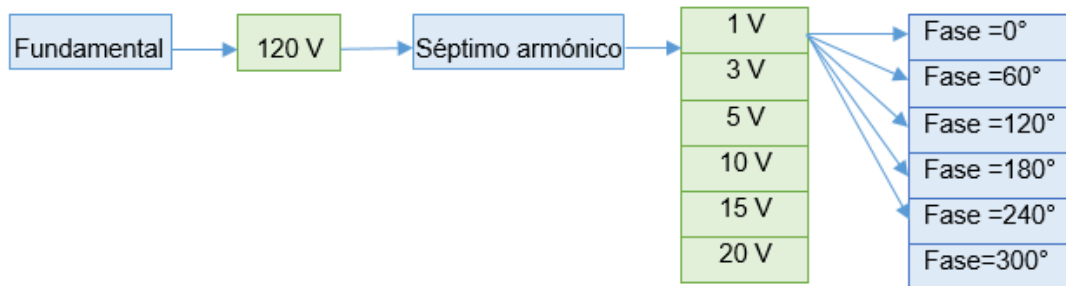


Figura F.7. Señal con séptimo armónico y cambio de fase.

En las figuras F.8 y F.9, se presentan el comportamiento de la luminaria On-Off ante la presencia del armónico séptimo en la tensión de alimentación.

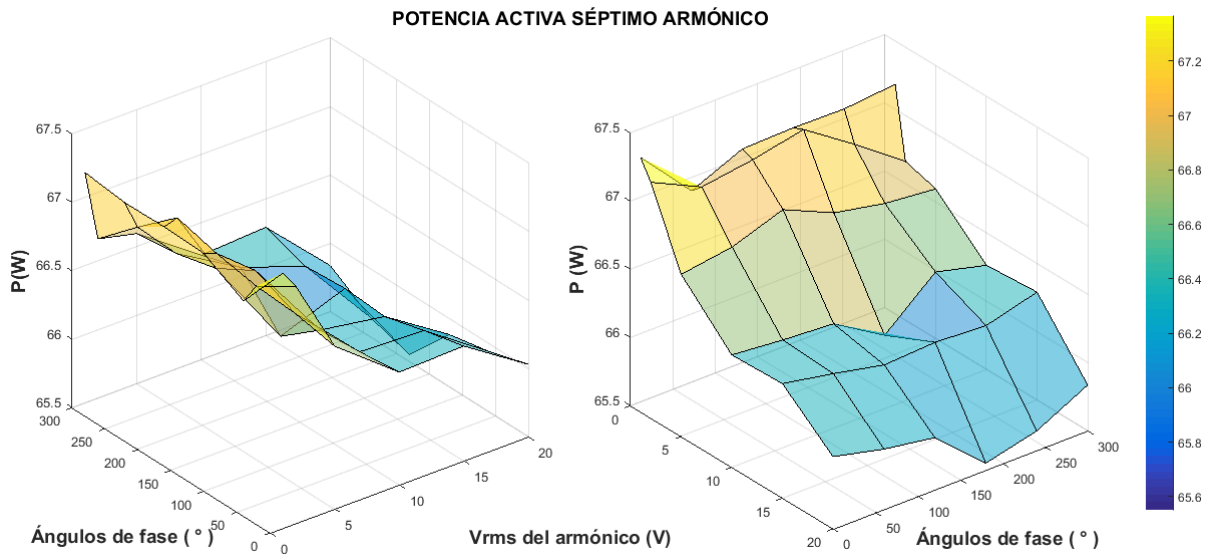


Figura F.8. Potencia activa consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

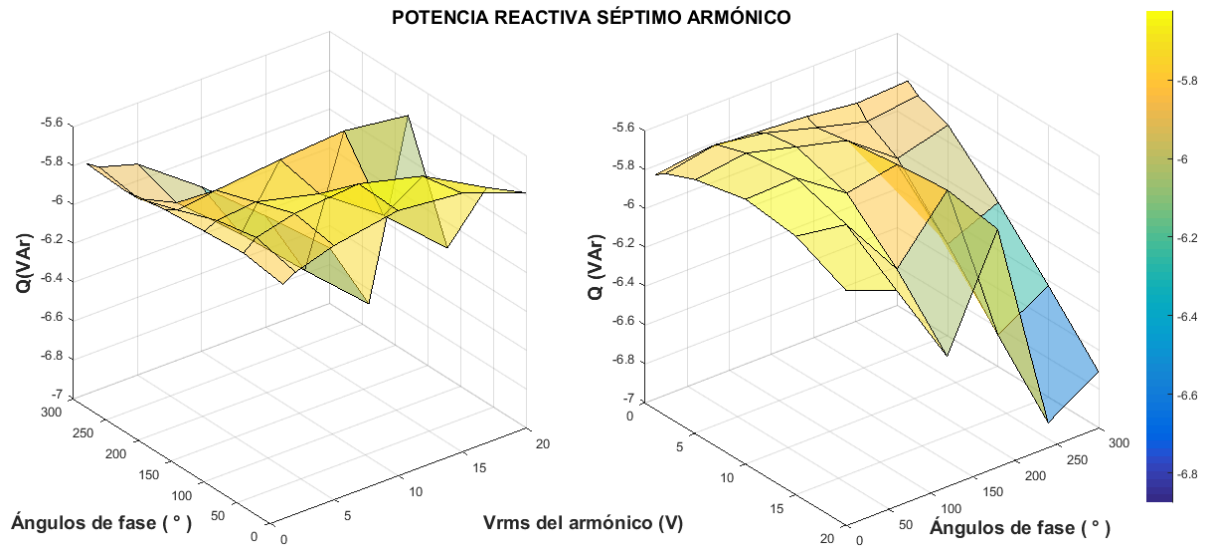


Figura F.9. Potencia reactiva consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

En las tablas E10, E11 y E12 del Anexo E se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, calculadas para cada caso de séptimo armónico con tensión fundamental de 120 V.

A medida que la tensión del séptimo armónico va aumentando, la potencia activa va disminuyendo con respecto a la fundamental. En comparación con los casos anteriores, aquí se presenta mayor disminución de potencia activa. Los porcentajes de aumento y disminución de potencia activa se presentan en la Tabla F.5.

Tabla F.5. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Séptimo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-1.829	-1.720	-2.168	-2.837	-2.867	-1.893
120	-1.588	-1.639	-1.976	-2.873	-2.984	-2.331
180	-1.571	-1.525	-2.221	-3.208	-2.951	-2.738
240	-1.579	-1.893	-2.331	-2.738	-2.983	-2.983
300	-1.525	-2.288	-2.385	-2.876	-2.833	-3.785

En la Figura F.9 se puede observar el aumento de potencia reactiva con el aumento del valor de tensión eficaz del séptimo armónico. Los porcentajes de aumento y disminución de potencia reactiva se presentan en la Tabla F.6.

Tabla F.6. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Séptimo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-1.554	-2.502	-3.352	-3.868	-2.448	0.672
120	-1.284	-1.807	-2.177	-0.803	3.198	8.199
180	-0.988	-0.535	-1.019	-1.612	-2.051	-1.306
240	-0.439	0.653	2.271	7.136	12.436	17.495
300	-0.680	0.062	1.067	5.169	9.831	14.731

Caso de tensión con noveno armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del noveno armónico, como se observa en la Figura F.10. Se presentan el comportamiento de la luminaria On-Off ante la presencia del noveno armónico en su tensión de alimentación en las figuras F.11 y F.12.

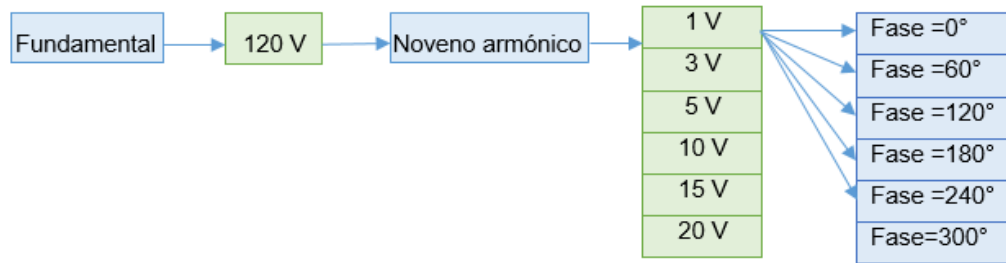


Figura F.10. Señal con séptimo armónico y cambio de fase.

En las tablas E.13, E.14 y E.15 del Anexo E, se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, calculadas para cada caso con noveno armónico con tensión fundamental de 120 V.

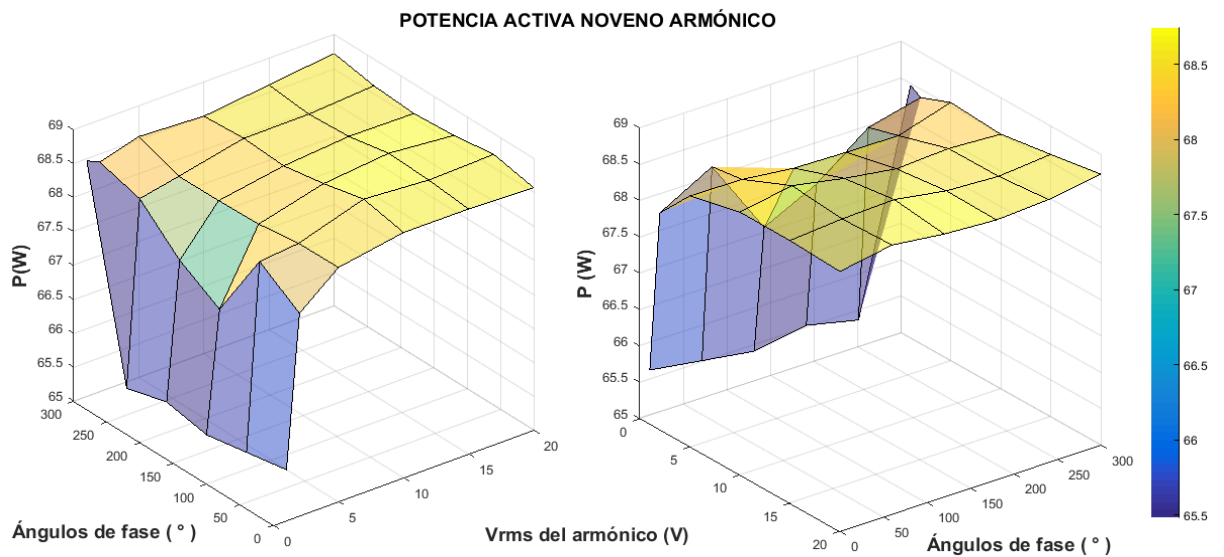


Figura F.11. Potencia activa consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con noveno armónico y cambio de fase.

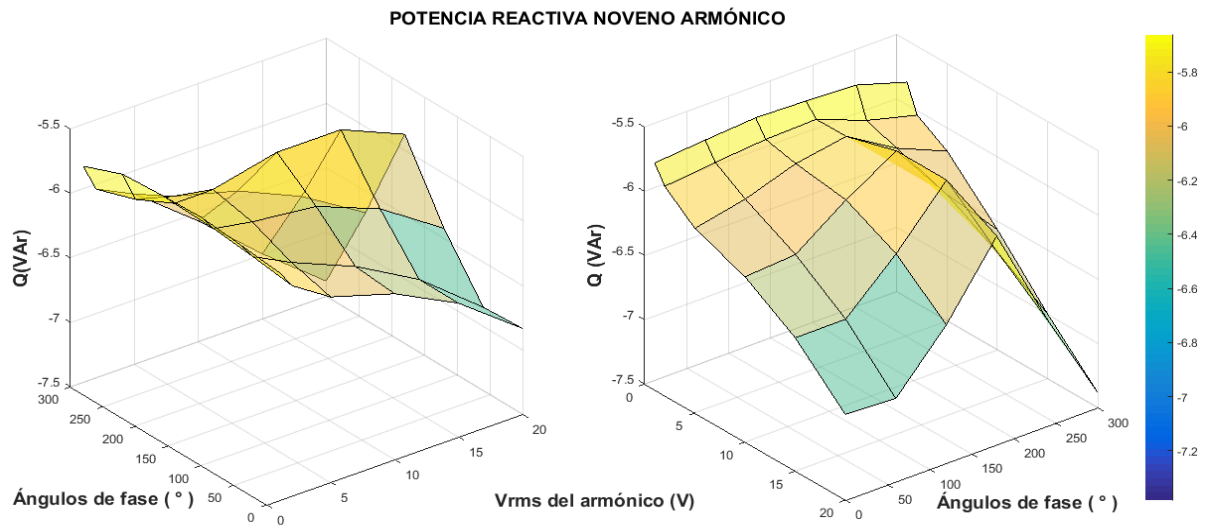


Figura F.12. Potencia reactiva consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con noveno armónico y cambio de fase.

El comportamiento de la potencia activa que se observa en la Figura F.11, va aumentando a medida que se incrementa el valor de la tensión eficaz del noveno armónico.

Tabla F.7. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Noveno armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-3.791	0.234	0.318	0.760	0.657	0.698
120	-3.948	-1.336	0.199	0.559	0.700	0.571
180	-3.774	-0.813	0.169	0.404	0.527	0.507
240	-4.015	-0.017	0.158	0.465	0.472	0.570
300	0.368	0.236	0.479	0.405	0.565	0.734

En la Figura F.12 se presenta el comportamiento de la potencia reactiva, donde se aprecia que a medida que va aumentando la tensión del noveno armónico, la potencia reactiva también va aumentando en mayor medida en las fases de 60° y 300°. Los porcentajes de aumento y disminución de potencia reactiva con respecto a la fundamental se presentan en la Tabla F.8.

Tabla F.8. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Novena armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-2.598	-0.403	2.159	5.693	10.431	17.119
120	-3.112	-1.000	-0.099	0.863	4.177	9.780
180	-2.897	-1.219	-1.266	-3.198	-3.181	0.427
240	-2.553	1.383	2.769	5.064	8.806	13.955
300	-0.484	3.147	5.609	12.183	19.553	26.164

Caso de tensión con onceavo armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del onceavo armónico, como se observa en la Figura F.13.

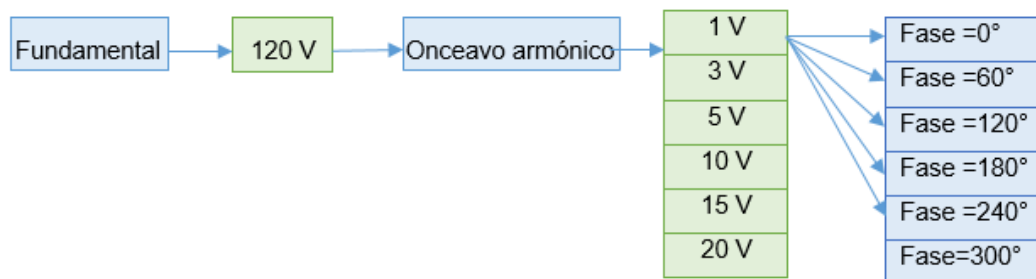


Figura F.13. Señal con onceavo armónico y cambio de fase.

En las figuras F.14 y F.15 se presentan el comportamiento de la luminaria On-Off ante la presencia del onceavo armónico en su tensión de alimentación.

En las tablas E.16, E.17 y E.18 del Anexo E, se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, calculadas para cada caso con el onceavo armónico con tensión fundamental de 120 V.

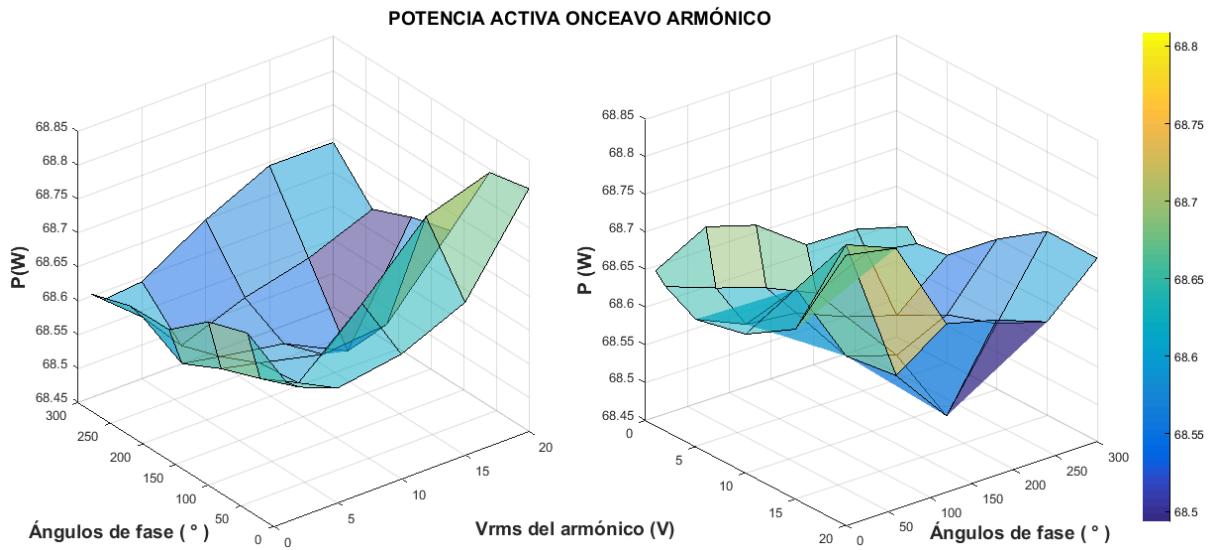


Figura F.14. Potencia activa consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con onceavo armónico y cambio de fase.

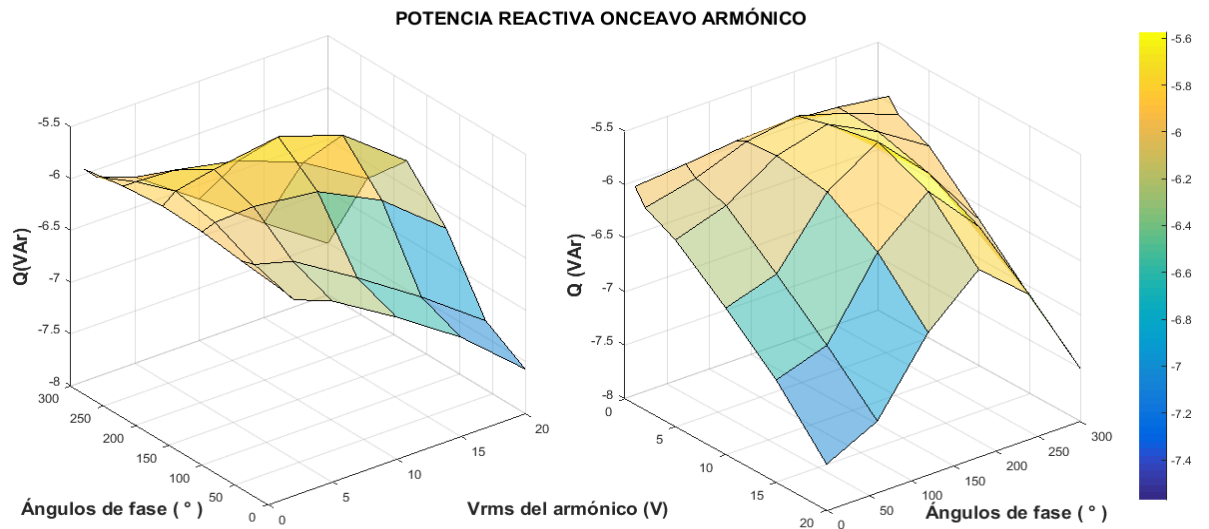


Figura F.15. Potencia reactiva consumida por la luminaria On-Off con señales de tensión con noveno armónico y cambio de fase.

El comportamiento de la potencia activa como se observa en la Figura F.14 y en los porcentajes de la Tabla F.9, se presenta aumento con respecto a la fundamental en todos los valores de tensión del armónico y en todas las fases, siendo los porcentajes más altos en las fases de 60° y 300° .

Tabla F.9. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Onceavo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	0.684	0.575	0.535	0.655	0.792	0.836
120	0.655	0.543	0.524	0.491	0.505	0.657
180	0.584	0.500	0.485	0.461	0.393	0.632
240	0.582	0.547	0.455	0.507	0.541	0.595
300	0.554	0.531	0.540	0.622	0.688	0.687

En la potencia reactiva también se presenta un aumento con el cambio el cambio de la tensión del armónico y en los ángulos de fase, siendo los valores más altos en los ángulos de 60° y 300°.

Tabla F.10. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Onceavo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	1.190	2.550	4.256	10.739	17.673	25.350
120	0.292	-0.484	-0.858	0.444	5.628	14.034
180	-0.017	-1.731	-3.087	-4.716	-1.244	6.782
240	0.595	0.626	0.954	3.135	7.225	13.632
300	1.685	3.741	6.044	13.396	21.095	28.227

2. Luminaria dimerizable

Se realizó las experimentaciones con señales sinusoidales puras y con distorsión armónica, donde se varió tanto la magnitud de la tensión, como los ángulos de fase. A continuación, se presenta los casos de estudio para los tres estados de operación.

Operación mínima (0 V)

Se presentan los casos de tensión 3°, 5°, 7°, 9° y 11° armónico con cambio de fase para la luminaria dimerizable en estado de operación mínima.

Caso de tensión con tercer armónico y cambio de fase

Se considera para el siguiente análisis, cambios de fase en el tercer armónico, como en el caso de la luminaria On-Off. Las figuras F.16 y F.17 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva respectivamente. En las tablas E.22, E.23 y E.24 del Anexo E se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase.

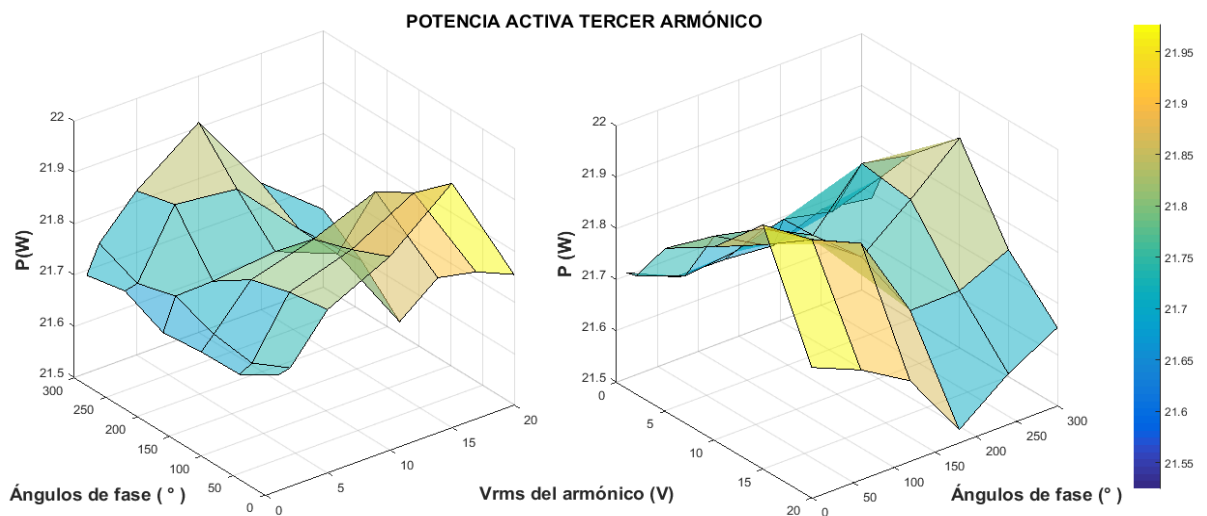


Figura F.16. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase.

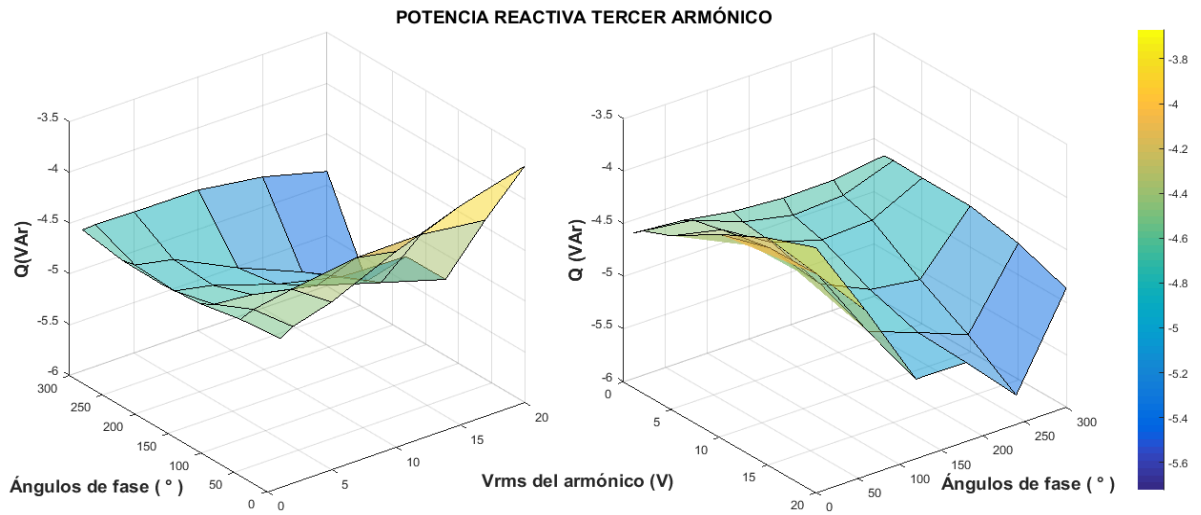


Figura F.17. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase.

Tabla F.11. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Tercer armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	0.613	0.675	1.194	1.376	1.685	0.767
120	0.604	0.725	1.094	1.258	1.485	0.501
180	0.565	0.856	0.869	0.934	0.710	-0.110
240	0.730	0.758	1.351	1.287	0.721	0.232
300	0.660	0.908	1.262	1.679	0.926	0.482

La potencia reactiva va aumentando con el cambio de tensión en el tercer armónico y sus fases, excepto para el caso del ángulo de fase de 60° que presenta una disminución en todos los casos.

Tabla F.12. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Tercer armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-2.616	-3.770	-5.211	-7.124	-7.301	-5.651
120	-0.964	0.023	0.811	3.565	7.639	11.641
180	-0.258	2.103	3.719	8.174	11.273	11.718
240	-0.421	1.535	3.193	9.597	15.161	21.790
300	-1.901	-2.065	-1.886	-1.833	0.094	3.604

Caso de tensión con quinto armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del quinto armónico, como se observa en la Figura F.4. Las figuras F.18 y F.19 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva respectivamente.

La potencia activa presenta un aumento mínimo con respecto a la fundamental, con porcentajes entre 0.612% y 1.526% como se observa en la Tabla F.13 los porcentajes de aumento.

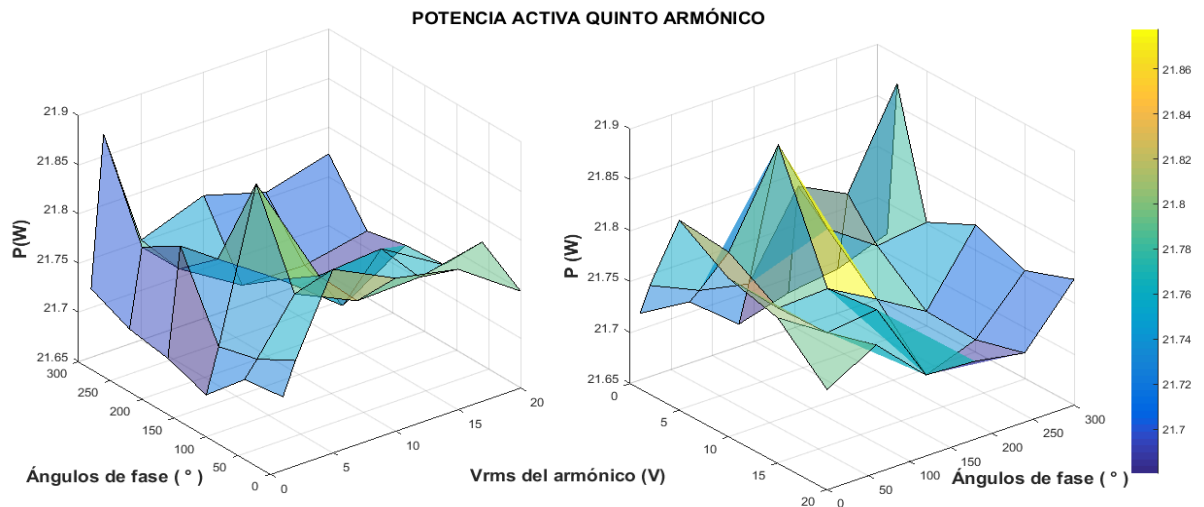


Figura F.18. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con quinto armónico y cambio de fase.

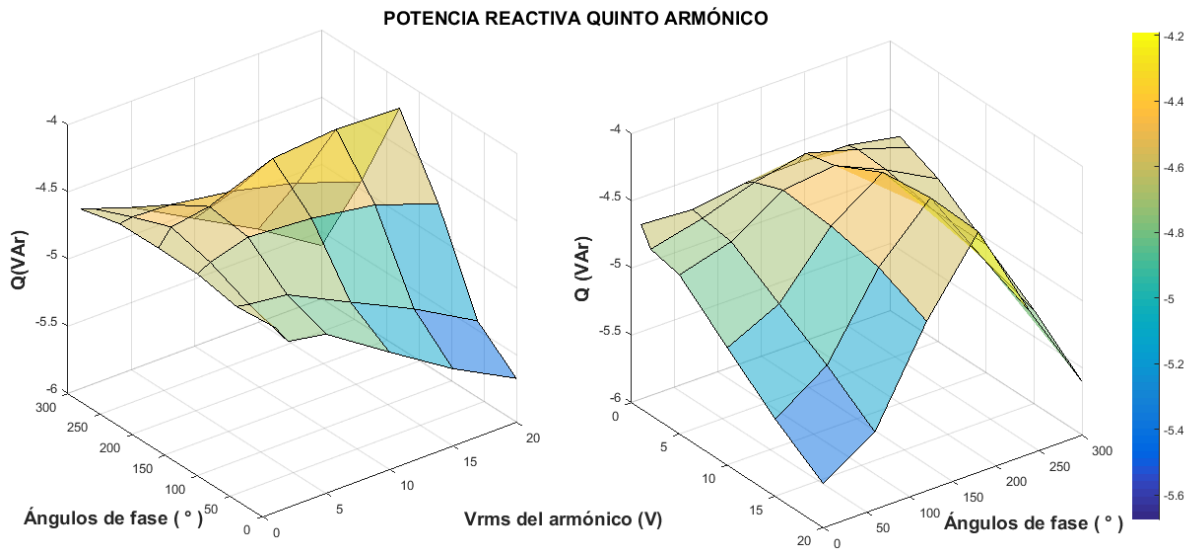


Figura F.19. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con quinto armónico y cambio de fase.

Tabla F.13. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Quinto armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	0.790	0.866	1.113	0.979	0.988	1.052
120	0.612	0.819	1.526	0.991	1.016	0.839
180	0.678	1.188	1.065	0.866	0.641	0.825
240	0.710	1.076	0.912	0.734	0.725	0.786
300	0.794	1.503	0.943	1.051	0.963	1.044

La potencia reactiva disminuye para las tensiones 1 V y 3 V en el quinto armónico con todos los cambios de ángulos de fase de 60° a 300° como se observa en la Tabla F.14. Para el ángulo de fase de 180° disminuye la reactiva en todos los casos de tensión para el quinto armónico.

Tabla F.14. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Quinto armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-0.941	-0.541	0.200	5.111	9.915	15.542
120	-2.199	-3.301	-5.045	-4.287	-2.676	0.913
180	-2.395	-4.987	-5.994	-9.868	-10.770	-10.342
240	-2.348	-2.684	-2.375	-0.824	1.645	5.279
300	-0.779	-0.102	1.954	7.441	12.878	19.231

Caso de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del séptimo armónico, como se observa en la Figura F.7. Las figuras F.20 y F.21 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva respectivamente. En las tablas E.28, E.29 y E.30 del Anexo E se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase.

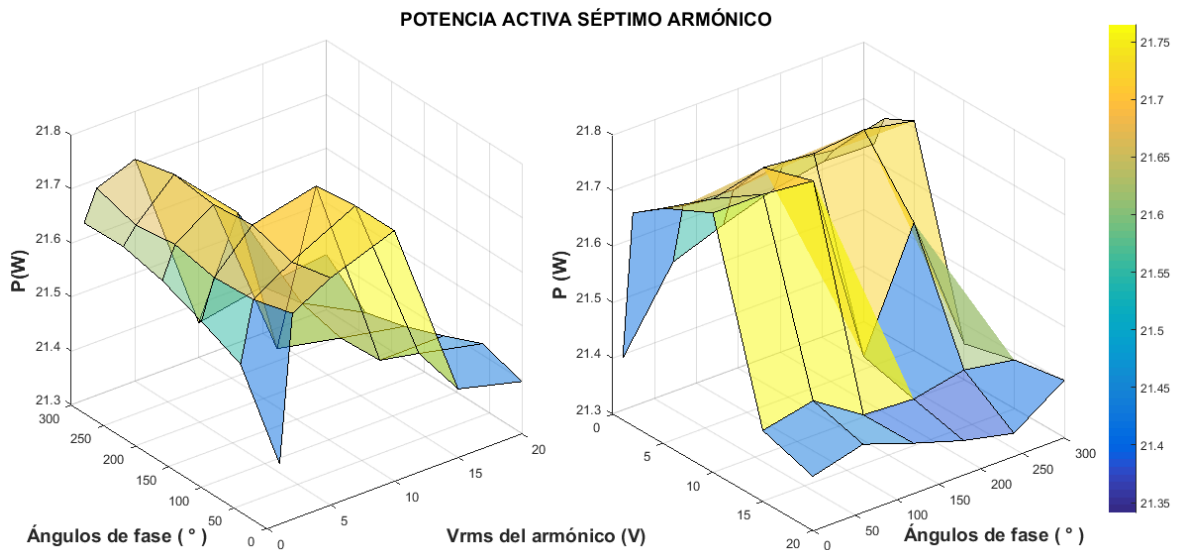


Figura F.20. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con séptimo armónico y cambio de fase

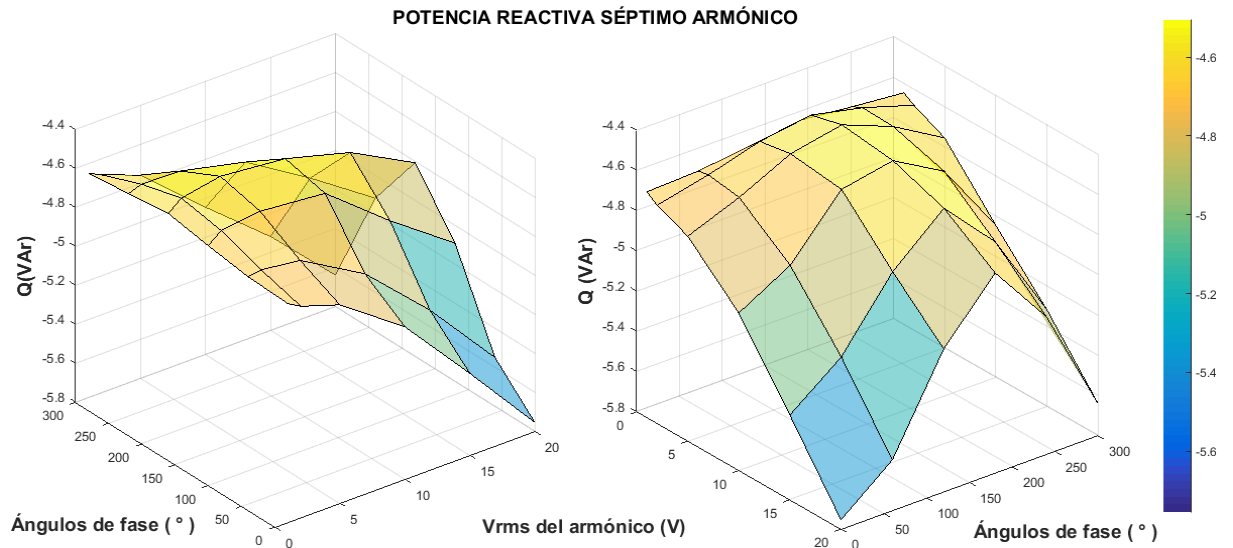


Figura F.21. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

El comportamiento de la potencia activa en este caso de donde la tensión de alimentación presenta el séptimo armónico con cambio de fase, disminuye con respecto a la potencia obtenida con tensiones con solo componente fundamental. En la Tabla F.15 presenta los porcentajes de diferencia de potencia del séptimo armónico con respecto a la fundamental.

Tabla F.15. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Séptimo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	0.006	0.522	0.723	1.003	-0.472	-0.592
120	0.163	0.500	0.830	0.961	-0.743	-0.737
180	0.301	0.572	0.794	-0.652	-0.765	-0.868
240	0.382	0.523	0.840	0.306	-0.676	-0.962
300	0.371	0.632	0.758	-0.854	-0.746	-0.673

La potencia reactiva como se observa en figura F.21 va aumentando con respecto al cambio de tensión del séptimo armónico de 1V a 20V. En la Tabla F.16 se

presenta los porcentajes de incremento y decremento de potencia reactiva con respecto a las reactivas fundamentales.

Tabla F.16. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Séptimo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-0.670	-0.894	-0.358	3.727	10.321	18.112
120	-1.328	-2.458	-3.005	-2.344	3.274	8.344
180	-2.129	-3.278	-4.095	-3.408	-1.464	2.278
240	-1.567	-2.075	-1.948	-0.307	4.068	8.880
300	-1.062	-0.368	1.235	7.367	13.190	20.019

Caso de tensión con noveno armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del noveno armónico, como se observa en la Figura F.10. En las figuras F.22 y F.23 se presentan el comportamiento de la luminaria dimerizable ante la presencia del noveno armónico en su tensión de alimentación.

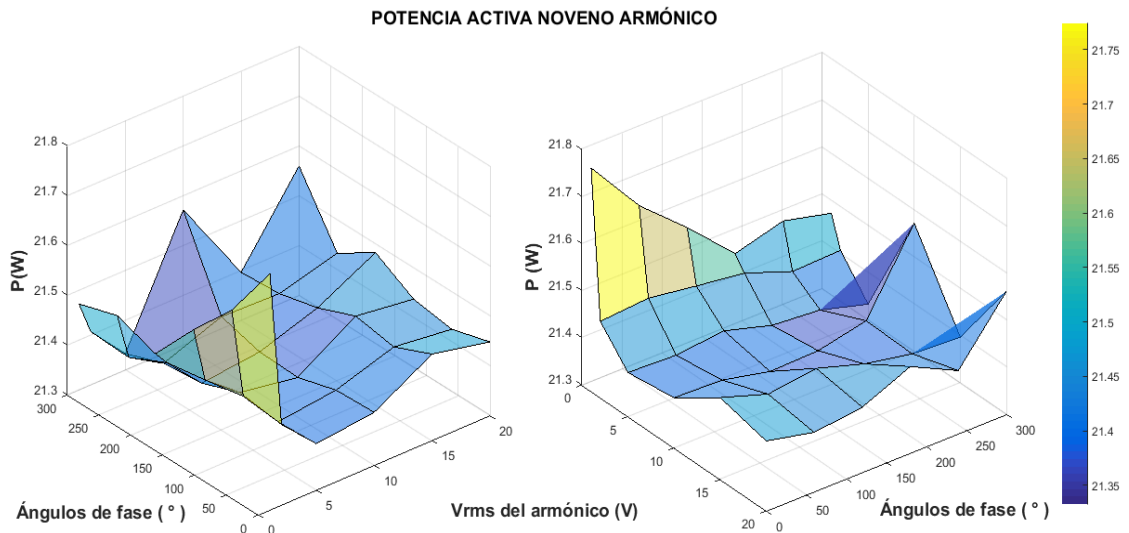


Figura F.22. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con noveno armónico y cambio de fase.

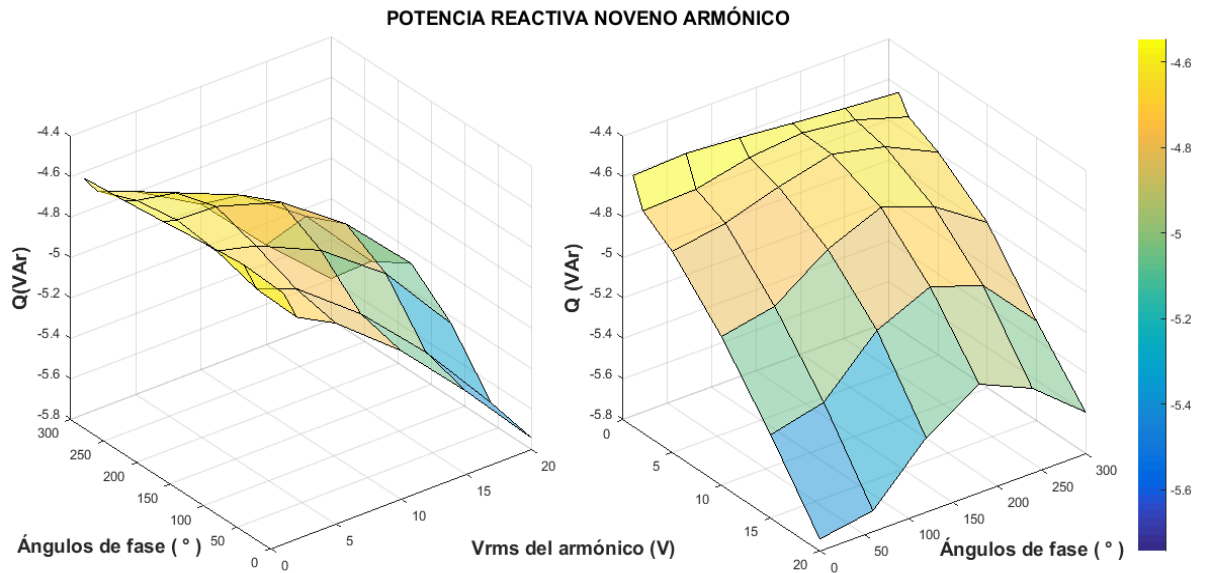


Figura F.23. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con noveno armónico y cambio de fase.

El comportamiento de la potencia activa en este caso de donde la tensión de alimentación presenta el noveno armónico con cambio de fase, disminuye con respecto a la potencia obtenida con tensiones con solo armónicos fundamentales. En la Tabla F.17 presenta los porcentajes de diferencia de potencia activa del séptimo armónico con respecto a la fundamental.

Tabla F.17. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Noveno armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	0.484	-0.366	-0.742	-0.677	-0.504	-0.571
120	0.077	-0.437	-0.692	-0.782	-0.441	-0.513
180	-0.370	-0.500	-0.829	-0.768	-0.588	-0.303
240	-0.238	-0.674	-0.868	-0.664	-0.679	-0.534
300	-0.354	-0.657	-1.001	0.109	-0.705	0.056

En la Tabla F.18 se presentan los porcentajes de incremento y decremento de potencia reactiva con respecto a las reactivas fundamentales.

Tabla F.18. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Séptimo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-3.220	-0.136	1.367	6.669	13.335	21.296
120	-2.818	-1.413	-0.402	2.699	7.793	15.660
180	-2.297	-1.980	-1.813	0.343	5.251	12.050
240	-1.839	-1.288	-0.541	2.320	7.173	14.542
300	-1.456	0.428	2.071	6.013	12.924	19.091

Caso de tensión con onceavo armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del onceavo armónico, como se observa en la Figura F.13. En las figuras F.24 y F.25 se presentan el comportamiento de la luminaria dimerizable ante la presencia del onceavo armónico en su tensión de alimentación.

En la Tabla F.19 presenta los porcentajes de diferencia de potencia del onceavo armónico con respecto a la fundamental y en la Tabla F.20 se presentan los porcentajes de incremento y decremento de potencia reactiva con respecto a las reactivas fundamentales.

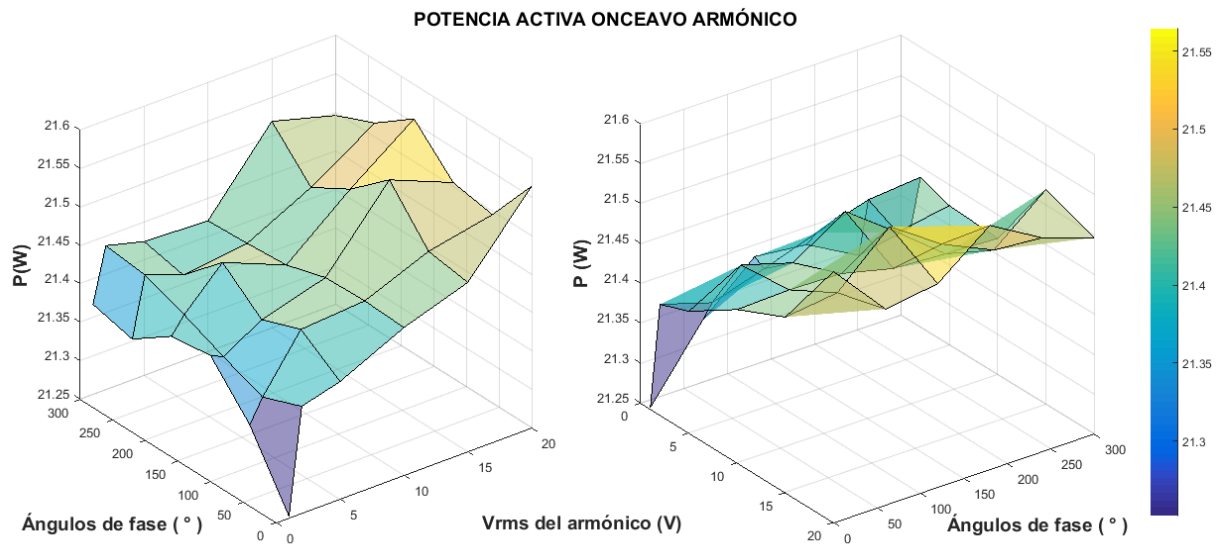


Figura F.24. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con onceavo armónico y cambio de fase.

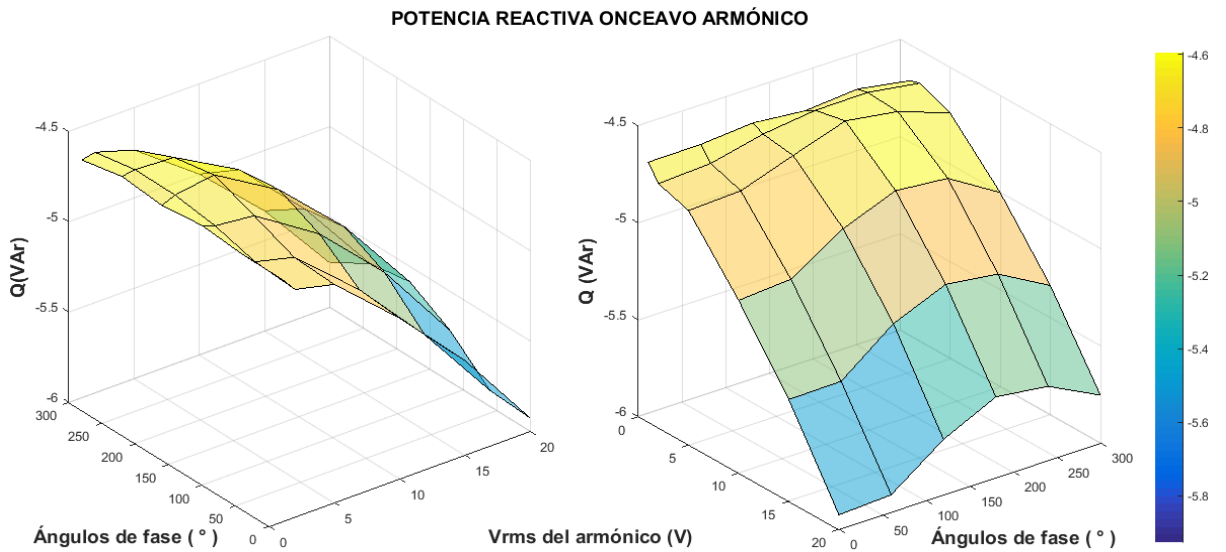


Figura F.25. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con onceavo armónico y cambio de fase.

Tabla F.19. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Onceavo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-0.974	-0.835	-0.511	-0.482	-0.326	-0.247
120	-0.704	-0.740	-0.602	-0.491	-0.043	-0.202
180	-0.737	-0.635	-0.405	-0.563	-0.248	0.034
240	-0.903	-0.544	-0.630	-0.581	-0.386	-0.141
300	-0.842	-0.516	-0.577	-0.594	-0.136	-0.243

Tabla F.20. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Onceavo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-0.922	0.541	1.701	8.325	16.451	25.819
120	-1.384	-0.779	-0.281	4.666	12.013	21.636
180	-0.826	-1.486	-2.184	2.392	9.589	18.859
240	-1.315	-1.558	-1.318	2.935	10.355	19.602
300	-0.332	-0.690	0.730	6.383	13.512	22.467

Operación intermedia (5V)

Se presentan los casos de tensión con 3°, 5°, 7°, 9° y 11° armónico con cambio de fase para la luminaria dimerizable en estado de operación intermedia.

Caso de tensión con tercer armónico y cambio de fase

Se considera para el siguiente análisis, cambios de fase en el tercer armónico como se presenta en la Figura F.1. Las figuras F.26 y F.27 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva respectivamente. En las tablas E.40, E.41 y E.42 del Anexo E se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, calculadas para cada valor de tensión del tercer armónico y con tensión fundamental de 120 V.

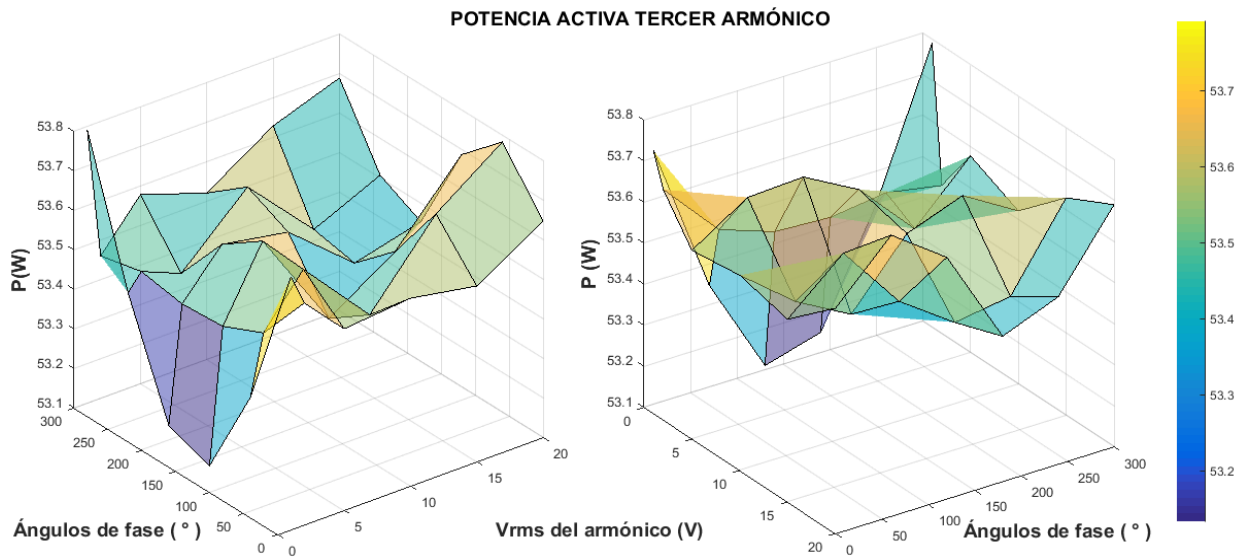


Figura F.26. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase.

La potencia activa como se observa en la Figura F.26, se mantiene en entre las potencias 53.1 W y 53.8 W, con porcentajes entre 4.433% y 5.649% de aumento con respecto a la potencia con solo fundamental. En comparación con el caso anterior de tensiones con tercer armónico sin cambio de fase, en este caso el aumento de potencia activa es mayor aproximadamente con un 1.2%. Los porcentajes para la potencia activa se pueden observar en la Tabla 21.

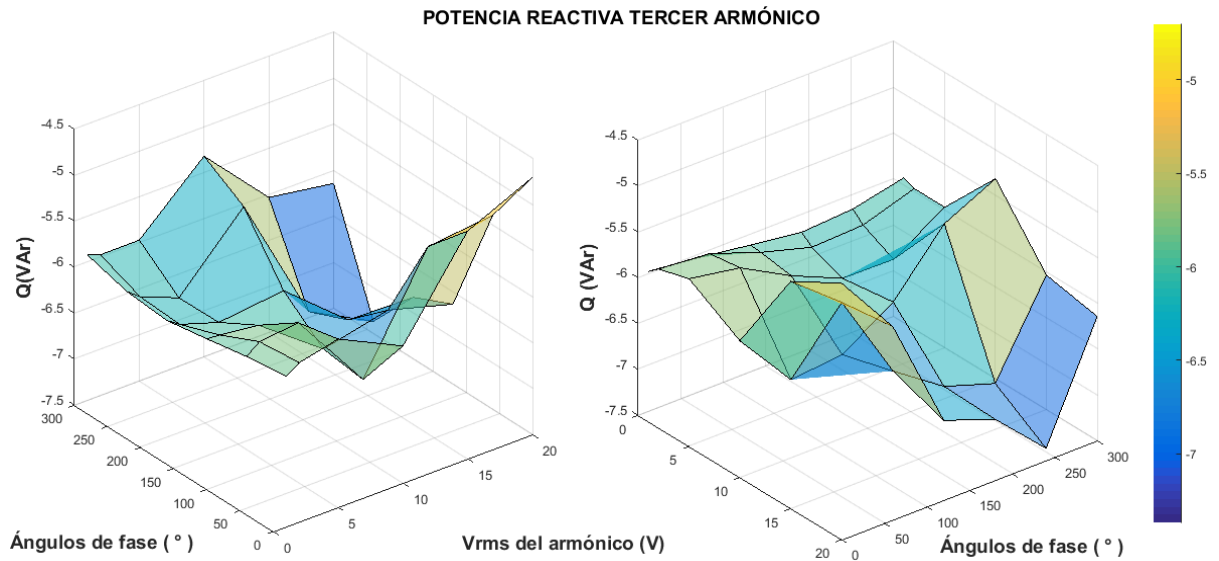


Figura F.27. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase.

Tabla F.21. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Tercer armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	4.823	5.120	5.365	5.017	5.399	5.636
120	4.358	5.028	5.379	4.873	5.086	5.447
180	4.433	5.013	5.237	5.177	4.902	4.987
240	4.967	5.049	4.966	5.276	4.944	5.093
300	5.649	5.000	5.232	5.120	5.333	5.450

En comparación con el caso anterior de tensiones con tercer armónico sin cambio de fase, en este caso se presenta aumento en la potencia reactiva. En la Tabla F.22 se muestra los porcentajes para la potencia reactiva.

Tabla F.22. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva -Tercer armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-3.035	-4.804	-5.591	8.827	-10.516	-11.765
120	-1.692	-1.498	-0.650	7.892	5.277	8.541
180	-0.453	1.111	3.339	2.018	11.539	11.840
240	-1.079	0.681	3.472	-8.449	14.549	20.587
300	-3.125	-2.290	-2.298	-12.930	-1.277	0.561

Caso de tensión con quinto armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del quinto armónico, como se observa en la Figura F.4. Las figuras F.28 y F.29 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva respectivamente. En las tablas E.43, E.44 y E.45 del Anexo E se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, calculadas para cada valor de tensión del quinto armónico y con tensión fundamental de 120 V.

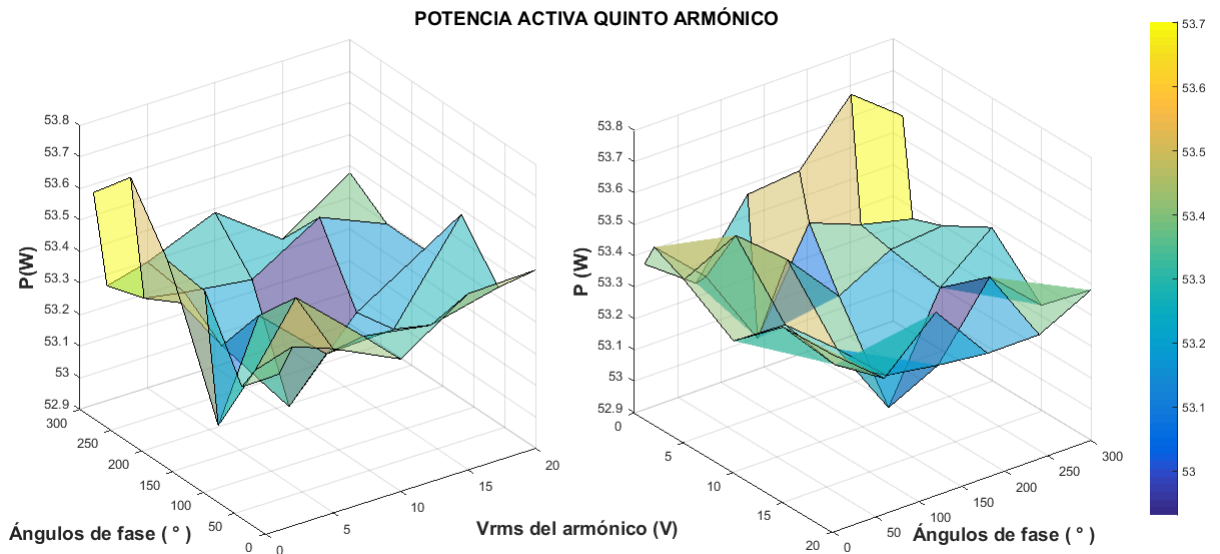


Figura F.28. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con quinto armónico y cambio de fase.

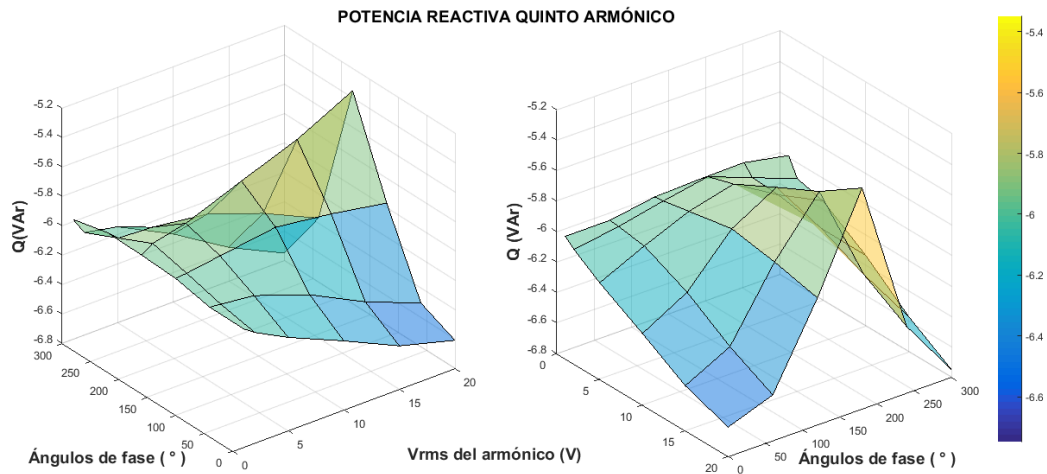


Figura F.29. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con quinto armónico y cambio de fase.

Comparando con el caso anterior del tercer armónico, se presenta un aumento de potencia en la tensión de 1 V en el quinto armónico y disminuye en los otros casos de tensión. En la Tabla F.23 se muestra los porcentajes para la potencia activa.

Tabla F.23. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Quinto armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	4.633	4.712	5.082	4.709	4.645	4.747
120	5.075	4.211	4.816	4.444	4.465	5.046
180	5.108	4.819	4.473	3.961	4.414	4.674
240	5.473	4.694	4.650	4.597	4.851	4.676
300	5.224	4.616	4.684	4.860	4.560	4.841

Para la potencia reactiva como se observa en la Figura F.29, presenta una disminución cuando el ángulo de fase del quinto armónico es de 180° y aumenta con los ángulos de fase de 60°, 240° y 300°.

En comparación con el caso anterior de tensiones con tercer armónico, en este caso se presenta aumento en la potencia reactiva en las fases donde en caso anterior

disminuyó la reactiva. Los porcentajes de aumento y disminución de potencia reactiva se presentan en la Tabla F.24.

Tabla F.24. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Quinto armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-1.882	-1.753	-1.327	0.881	3.971	6.401
120	-2.689	-2.804	-3.355	-4.241	-3.434	-2.331
180	-2.891	-3.729	-4.588	-7.002	-9.321	-12.449
240	-2.990	-1.917	-1.738	-0.912	1.308	4.138
300	-2.053	-0.139	0.601	3.707	7.500	10.446

Caso de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del séptimo armónico, como se observa en la Figura F.7. En las figuras F.30 y F.31, se presentan el comportamiento de la luminaria dimerizable ante la presencia del séptimo armónico en la tensión de alimentación.

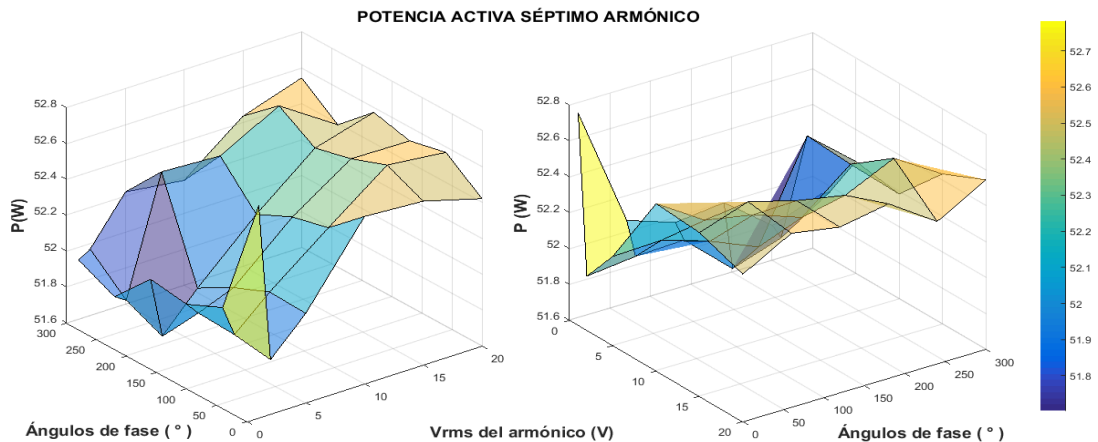


Figura F.30. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

En la Figura F.30, se puede observar el cambio de potencia activa que presenta la luminaria con el cambio de tensión eficaz en el séptimo armónico y el cambio de fase. A medida que la tensión del séptimo armónico va aumentando, la potencia va aumentando con respecto a la fundamental.

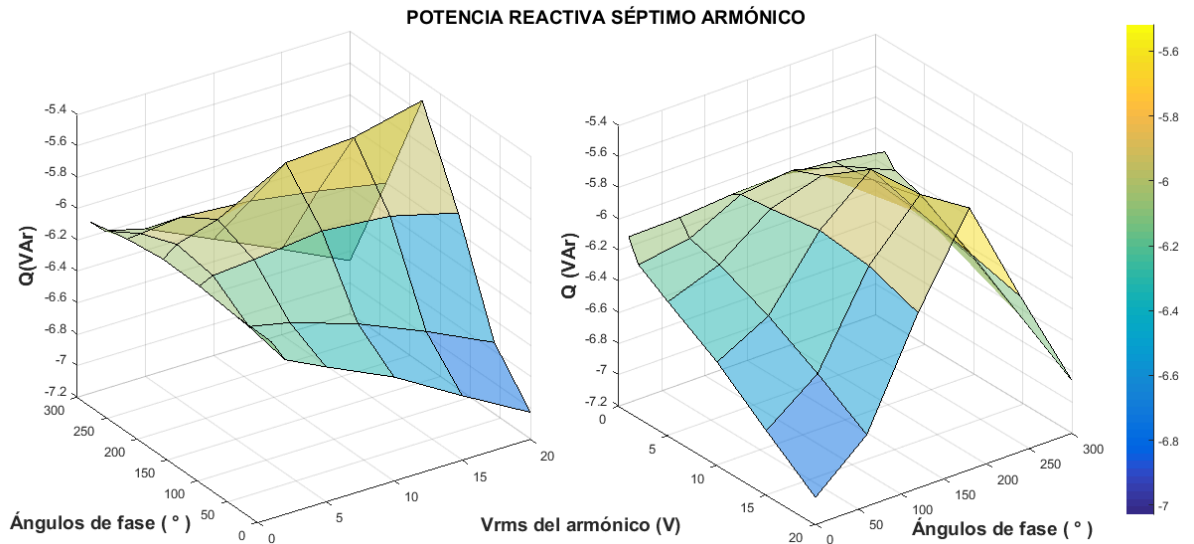


Figura F.31. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

En las tablas E.46, E.47 y E.48 del Anexo E, se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, calculadas para cada caso de séptimo armónico con tensión fundamental de 120 V.

En comparación con los casos anteriores, aquí se presenta un menor aumento de potencia activa. Los porcentajes de aumento y disminución de potencia activa se presentan en la Tabla F.24.

Tabla F.24. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Séptimo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	2.337	2.000	2.342	2.839	3.318	3.249
120	2.158	2.020	2.174	2.740	3.172	3.160
180	2.216	1.550	1.953	2.554	3.073	3.256
240	1.808	1.729	3.011	2.978	3.319	2.904
300	1.996	2.072	2.574	2.494	2.990	3.203

En la Figura F.31 se puede observar el aumento de potencia reactiva con el aumento del valor de tensión eficaz del séptimo armónico. Para los ángulos de fase de 120° y 180° la potencia reactiva va disminuyendo a medida que aumenta el valor de tensión del séptimo armónico y para los ángulos de fase de 60°, 240° y 300° va aumentando. Los porcentajes de aumento y disminución de potencia reactiva se presentan en la Tabla F.25.

Tabla F.25. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Séptimo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-0.673	0.908	1.792	4.089	7.040	10.353
120	-1.151	-1.804	-2.170	-3.000	-2.380	-0.555
180	-1.334	-2.445	-3.751	-7.503	-7.981	-9.667
240	-0.823	-0.958	-1.393	-0.876	0.228	1.563
300	0.052	1.378	2.450	5.694	8.920	12.266

Caso de tensión con noveno armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del noveno armónico, como se observa en la Figura F.10. En las figuras F.32 y F.33 se presentan el comportamiento de la luminaria dimerizable ante la presencia del noveno armónico en su tensión de alimentación.

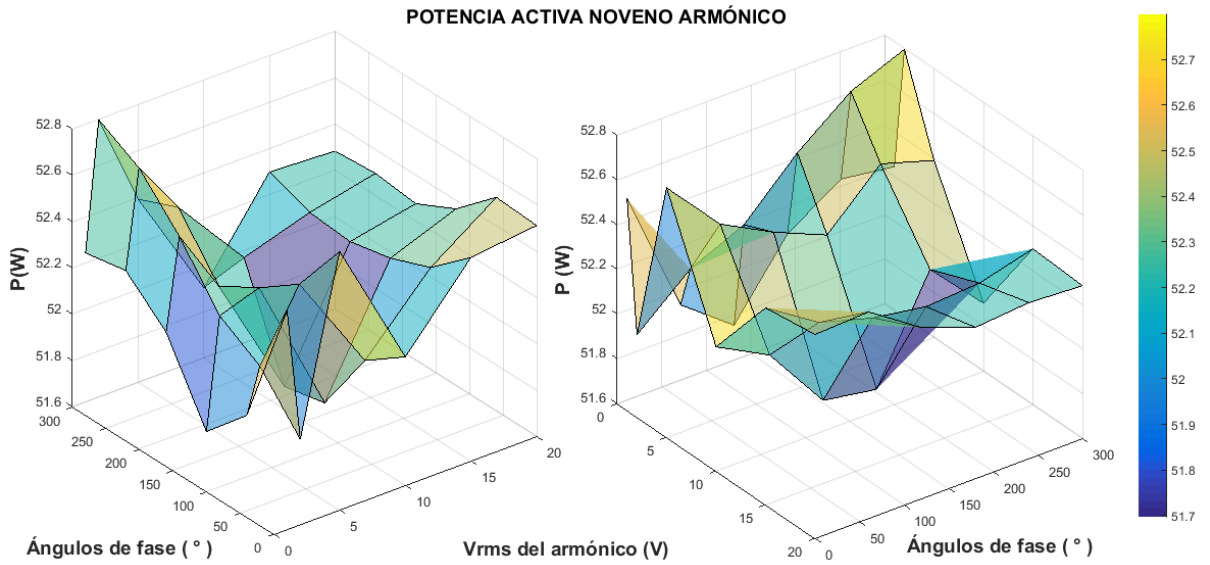


Figura F.32. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con noveno armónico y cambio de fase.

El comportamiento de la potencia activa que se observa en la Figura F.32, presenta un aumento en todos los casos, donde el mayor aumento de potencia en la tensión de 2 V en el noveno armónico con los ángulos de fase de 180° , 240° y 300° . En comparación con el caso anterior de séptimo armónico, la potencia activa disminuyó en las tensiones 10V, 15V y 20V. Los porcentajes de aumento y disminución de potencia activa se presentan en la Tabla F.25.

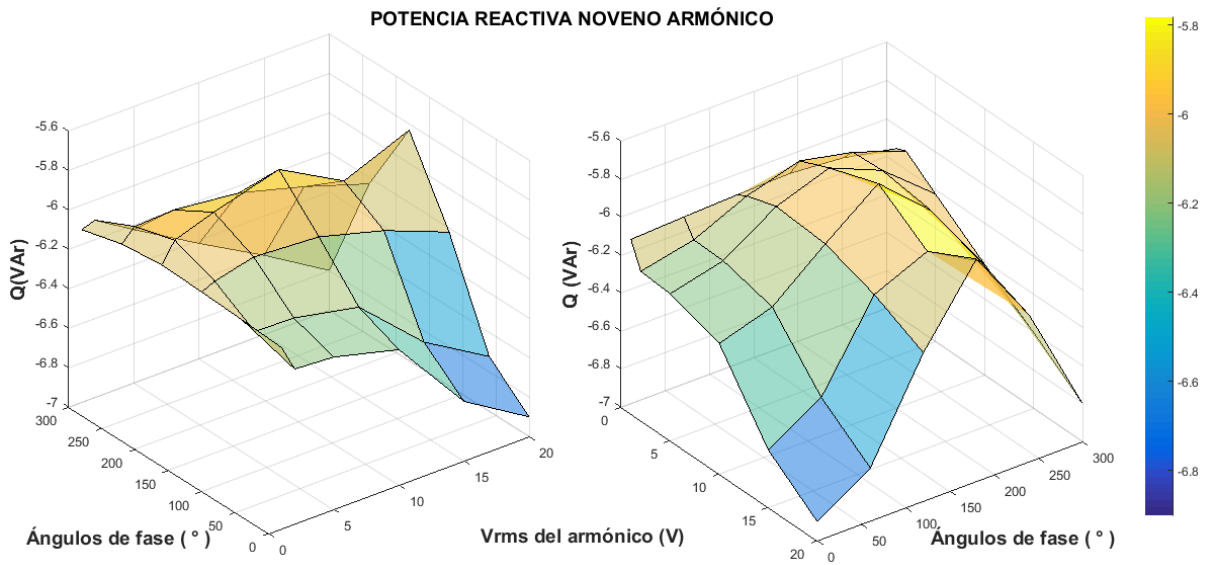


Figura F.33. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con noveno armónico y cambio de fase.

En las tablas E.49, E.50 y E.51 del Anexo E, se encuentran los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, calculadas para cada caso con noveno armónico con tensión fundamental de 120 V.

Tabla F.25. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Noveno armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	2.097	2.473	3.044	2.189	2.771	3.160
120	1.743	2.685	2.798	1.615	2.635	2.846
180	2.371	3.143	2.597	1.537	2.560	2.674
240	2.677	3.508	3.048	2.415	2.592	2.716
300	2.611	3.701	2.903	1.944	2.718	2.690

En la Figura F.33 se presenta el comportamiento de la potencia reactiva, donde se aprecia que en el ángulo de fase de 180° disminuye con el aumento de la tensión del noveno armónico, mientras que en los ángulos de fase 60°, 120°, 240° y 300° presenta aumento de potencia, siendo mayor en 60° y 300°. Los porcentajes de

aumento y disminución de potencia reactiva con respecto a la fundamental se presentan en la Tabla F.26.

Tabla F.26. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Novena armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-0.696	0.704	0.781	1.892	7.269	10.017
120	-0.890	-1.381	-2.192	-1.848	-0.350	1.784
180	-1.046	-2.696	-3.810	-5.347	2.645	-4.591
240	-0.678	-1.738	-1.899	-1.300	2.773	1.969
300	0.229	-0.154	1.833	4.992	9.043	11.264

Caso de tensión con onceavo armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del onceavo armónico, como se observa en la Figura F.13. En las figuras F.34 y F.35 se presenta el comportamiento de la luminaria dimerizable ante la presencia del onceavo armónico en su tensión de alimentación.

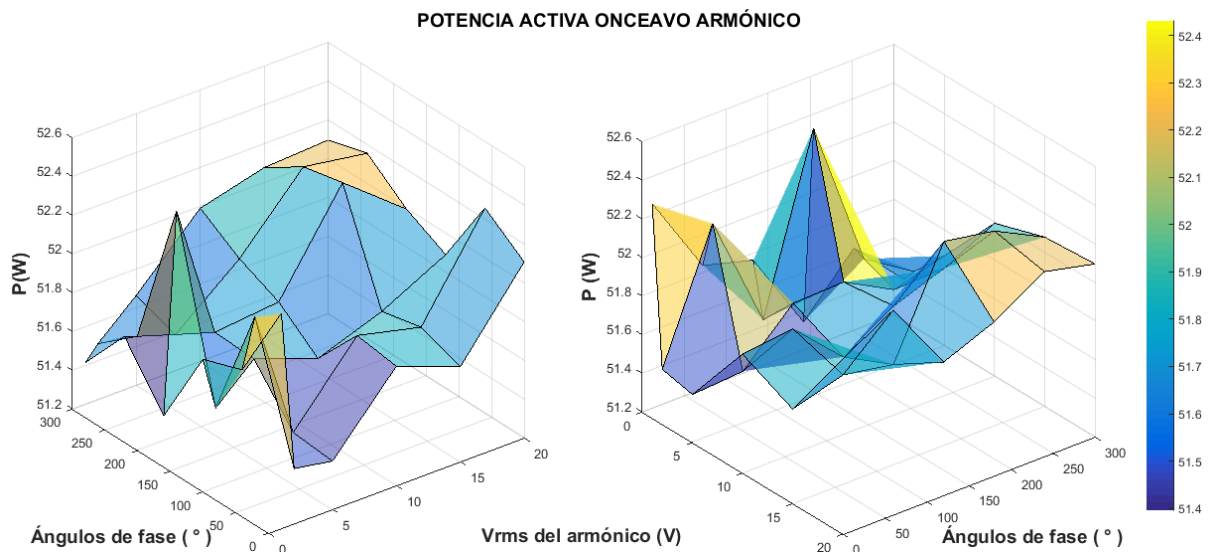


Figura F.34. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con onceavo armónico y cambio de fase.

El comportamiento de la potencia activa como se observa en la Figura F.34 y en los porcentajes de la Tabla F.27, se presenta aumento con respecto a la fundamental en todos los valores de tensión del armónico y en todas las fases.

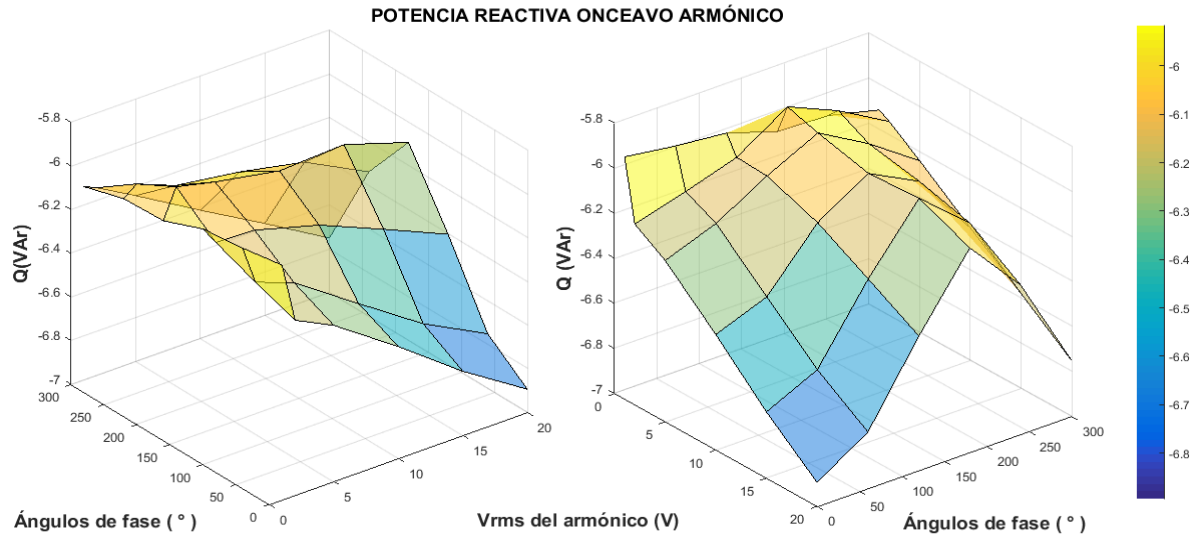


Figura F.35. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con onceavo armónico y cambio de fase.

En las tablas E.52, E.53 y E.54 del Anexo E, se encuentra los valores numéricos de las potencias activas y reactivas por ángulo de fase, calculadas para cada caso con el onceavo armónico con tensión fundamental de 120 V.

Tabla F.27. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Onceavo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	1.916	2.407	1.088	1.830	1.673	2.642
120	1.772	1.228	1.583	1.346	1.580	1.916
180	0.946	2.977	1.601	1.667	2.636	2.126
240	1.501	1.452	1.325	1.854	2.545	2.441
300	0.981	1.126	1.473	2.115	2.284	2.322

En la potencia reactiva también disminuye en el ángulo de fase de 180° en todos los casos de tensión para el onceavo armónico y en los ángulos de fase de 60°, 120°, 240° y 300° aumento de reactiva.

Tabla F.28. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Onceavo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-2.506	0.399	1.480	4.770	8.004	10.480
120	-2.143	-0.789	-0.663	0.679	2.720	4.819
180	-0.953	-3.154	-2.483	-1.591	-1.830	-0.272
240	-0.813	-1.568	-0.409	0.288	1.285	3.735
300	0.088	0.517	2.141	4.961	7.680	10.505

Operación máxima (10 V)

Se presentan los casos de tensión con 3°, 5°, 7°, 9° y 11° armónico con cambio de fase para la luminaria dimerizable en estado de operación máxima.

Caso de tensión con tercer armónico y cambio de fase

Se considera para el siguiente análisis, cambios de fase en el tercer armónico, como en el caso del modo de operación mínimo e intermedio de la luminaria dimerizable. Las figuras F.36 y F.37 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva respectivamente.

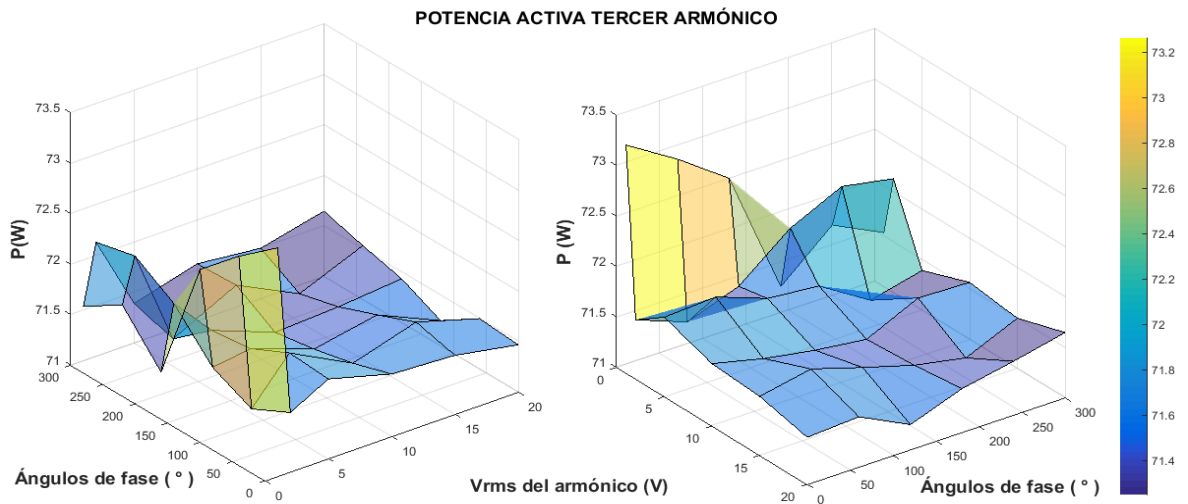


Figura F.36. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase.

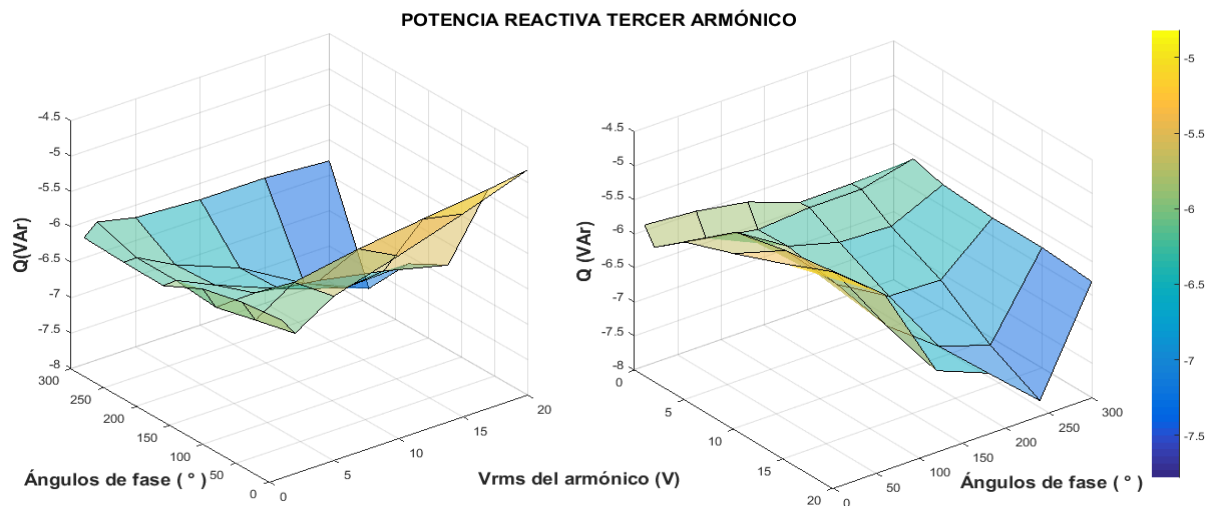


Figura F.37. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con tercer armónico y cambio de fase.

Tabla F.29. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Tercer armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	7.203	4.916	5.536	5.064	5.340	5.068
120	6.672	5.184	5.263	4.933	5.109	4.702
180	4.842	5.779	5.192	4.841	4.889	4.974

240	5.486	6.133	4.731	5.191	4.744	5.121
300	5.125	5.995	4.912	5.166	5.069	5.287

La potencia activa aumenta en todos los casos de tensión del tercer armónico y con cambio de fase, como se observa en la Tabla F.29 los porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Tabla F.30. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Tercer armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-9.817	-4.994	-10.401	-12.943	-14.722	-16.351
120	-7.779	-2.853	-3.127	-1.108	1.596	5.036
180	-3.560	-3.747	0.088	5.636	10.276	9.687
240	-3.728	-3.793	0.608	6.062	14.164	20.027
300	-4.145	-6.588	-4.750	-3.898	-3.870	-2.860

La potencia reactiva aumenta en con los ángulos de fase del tercer armónico de 120°, 180° y 240° como se observa en la Tabla F.30 los porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Caso de tensión con quinto armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del quinto armónico, como en los modos de operación mínimo e intermedio. Las figuras F.38 y F.39 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva respectivamente.

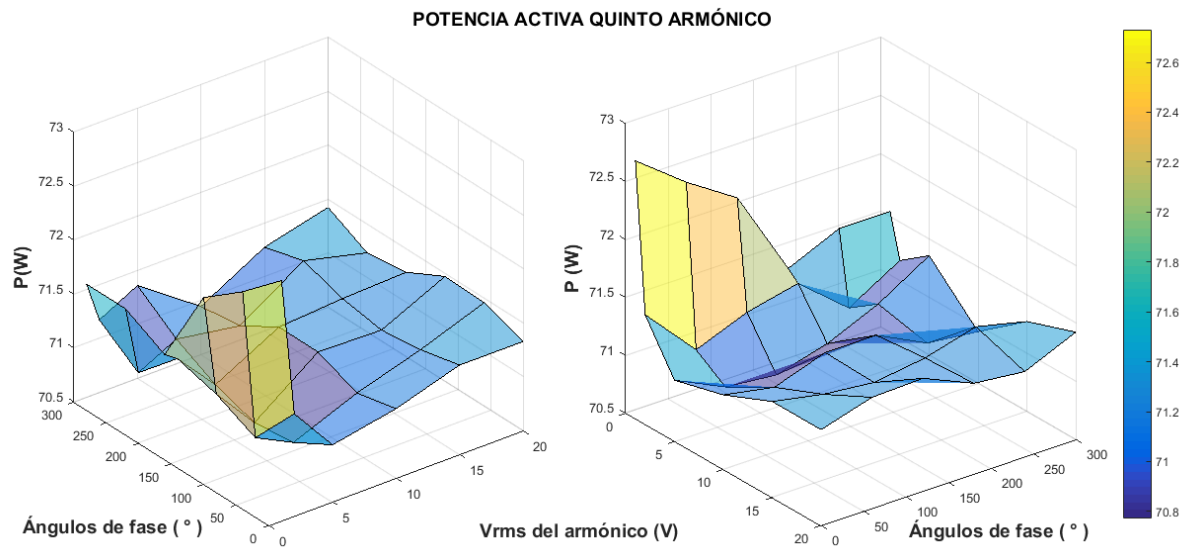


Figura F.38. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con onceavo armónico y cambio de fase.

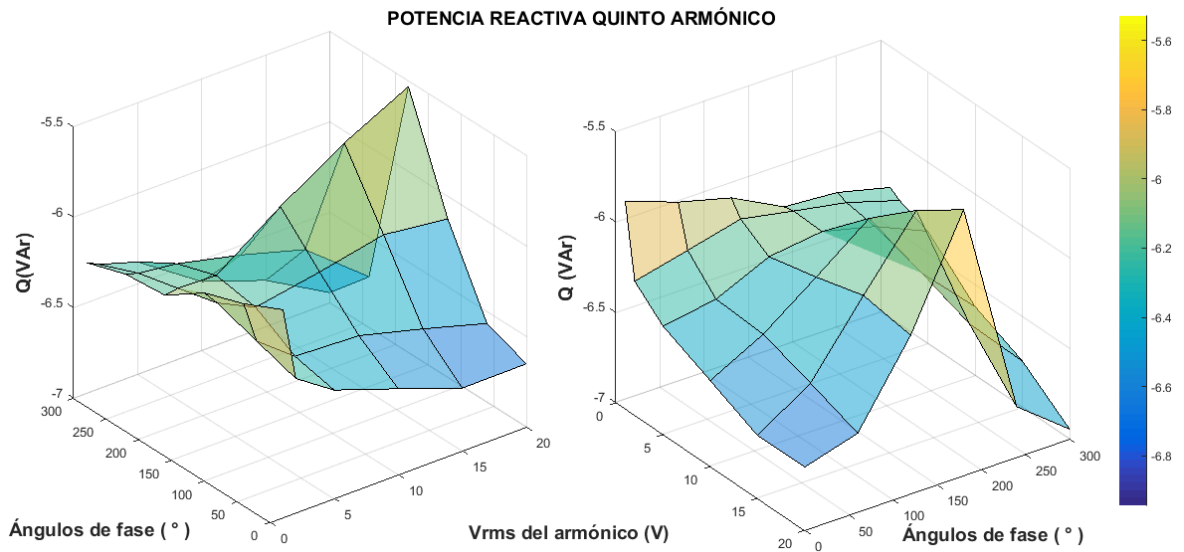


Figura F.39. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con onceavo armónico y cambio de fase.

Tabla F.31. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Quinto armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	6.384	4.331	4.073	4.424	4.690	5.008
120	5.969	4.589	4.007	4.646	4.622	5.030
180	4.854	4.736	4.186	4.648	4.715	4.750
240	5.142	4.207	4.471	4.330	4.893	4.679
300	5.141	4.589	4.865	4.257	4.741	4.961

La potencia activa presenta mayor aumento en la tensión de quinto armónico de 1V con los ángulos de fase de 60° a 300° como se observa en la figura F.38.

Tabla F.32. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Quinto armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-8.100	-4.525	-1.992	-1.716	-0.264	1.304
120	-6.912	-5.650	-4.062	-5.039	-6.188	-5.517
180	-4.588	-4.779	-4.654	-8.506	-11.905	-14.682
240	-4.265	-3.946	-3.540	-2.248	-0.671	3.682
300	-3.140	-2.577	-1.573	2.139	4.071	7.154

La potencia reactiva disminuye en los ángulos de fase de 120° y 180° en todos los valores de tensión del quinto armónico, como se observa en la Tabla F.32.

Caso de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del séptimo armónico, como en los modos de operación mínimo e intermedio. Las figuras F.40 y F.41 muestran el comportamiento de las luminarias con respecto a la potencia activa y reactiva respectivamente.

La potencia activa en este caso, aumenta en con todos los valores de tensión para el séptimo armónico con cambio de fase. En la tabla F.40 se presenta los porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

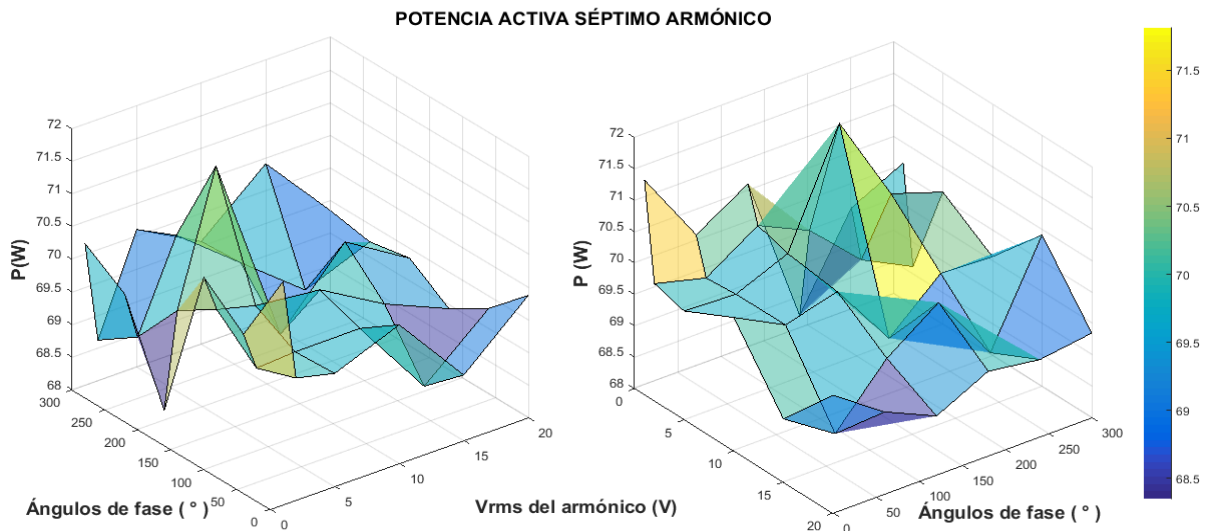


Figura F.40. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

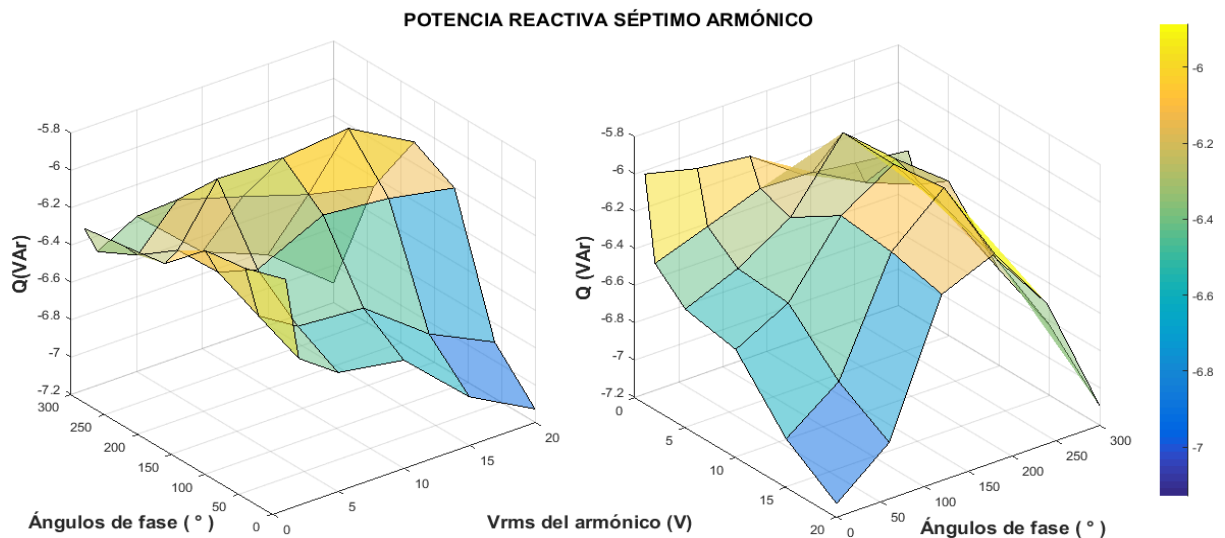


Figura F.41. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con séptimo armónico y cambio de fase.

Tabla F.33. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Séptimo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	3.227	2.362	2.420	2.430	0.610	1.847
120	3.974	3.145	2.923	2.763	1.927	1.303
180	0.443	2.582	5.530	1.220	2.789	1.905
240	2.518	1.447	3.430	2.295	1.164	1.733
300	3.119	0.841	3.023	2.238	3.474	1.904

La potencia reactiva disminuye en los ángulos de fase de 120°, 180° y 240° en todos los valores de tensión del séptimo armónico, como se observa en la Tabla F.34.

Tabla F.34. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Séptimo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-6.854	-2.537	-0.543	-0.151	3.889	6.460
120	-6.344	-4.171	-3.259	-5.875	-5.347	-4.306
180	-3.286	-4.014	-8.778	-8.614	-9.159	-6.137
240	-2.745	-1.628	-5.065	-3.437	-1.702	-0.494
300	-2.248	0.059	-1.721	3.122	5.244	9.492

Caso de tensión con noveno armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del noveno armónico, como en los modos de operación mínimo e intermedio. En las figuras F.42 y F.43 se presenta el comportamiento de la luminaria dimerizable ante la presencia del noveno armónico en su tensión de alimentación.

La potencia activa en este caso, aumenta en con todos los valores de tensión para el noveno armónico con cambio de fase, predominando en la tensión de 20 V con ángulo de fase de 180°. En la tabla F.35 se presenta los porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

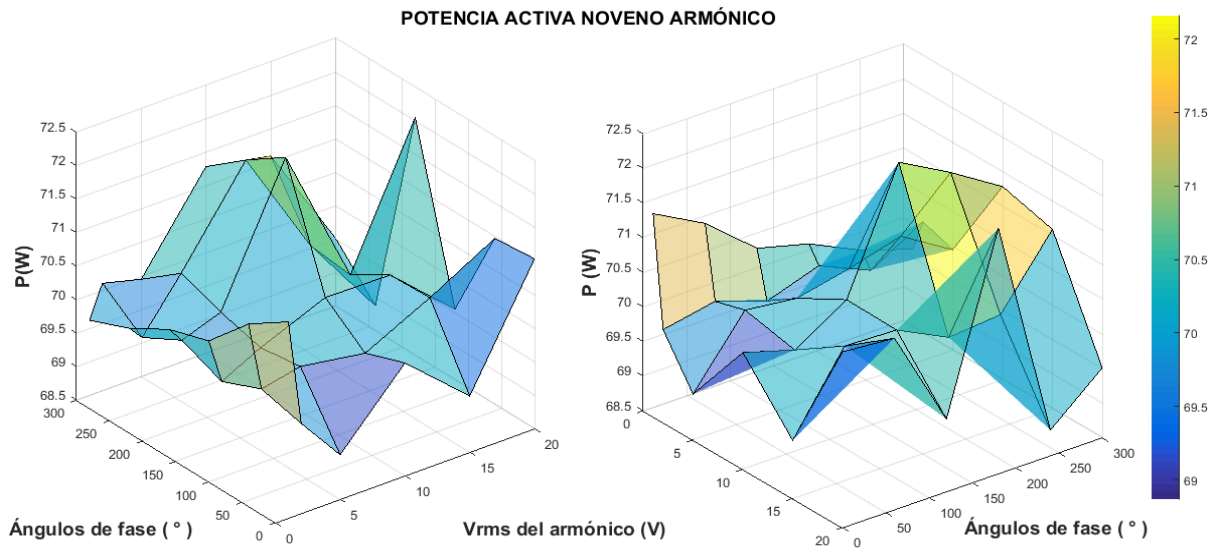


Figura F.42. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con noveno armónico y cambio de fase.

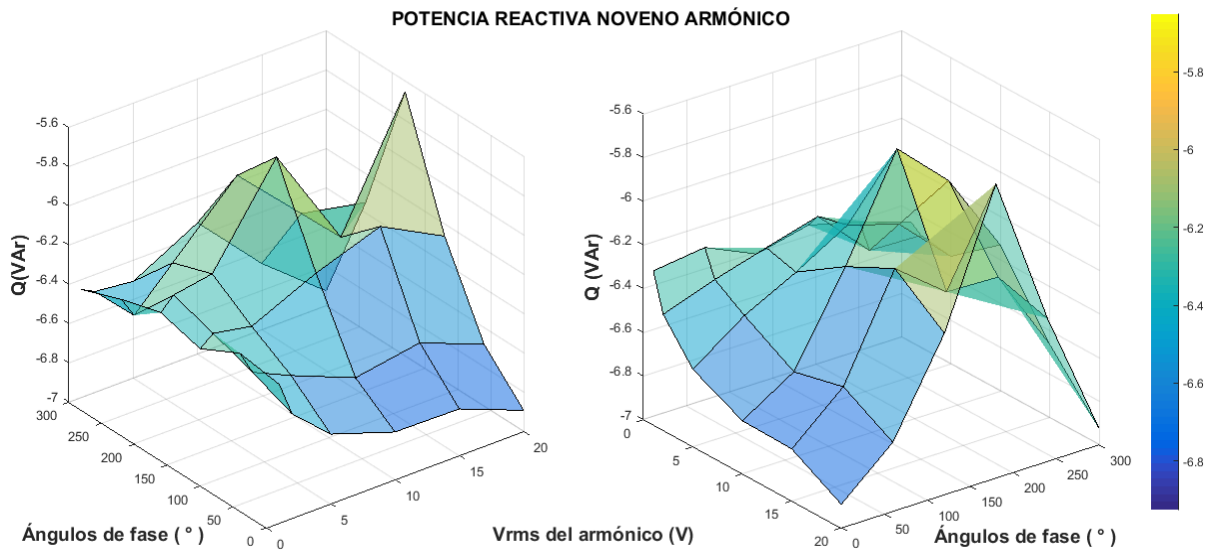


Figura F.43. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con noveno armónico y cambio de fase.

Tabla F.35. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Noveno armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	4.383	2.853	3.038	2.813	3.515	4.301
120	3.475	2.478	2.911	3.497	3.475	2.206
180	3.188	2.848	3.153	6.036	2.938	5.877
240	2.673	2.369	3.466	5.439	3.039	1.208
300	2.312	3.020	2.799	4.758	4.470	2.148

La potencia reactiva disminuye en los ángulos de fase de 120°, 180° y 240° en todos los valores de tensión del noveno armónico, como se observa en la Tabla F.36.

Tabla F.36. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Noveno armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-3.363	-1.478	-0.079	1.989	1.139	3.159
120	-1.728	-2.559	-1.975	-4.273	-6.045	-3.378
180	-2.591	-3.600	-4.131	-11.434	-3.221	-12.773
240	-1.659	-0.022	-3.019	-8.011	-3.100	-2.076
300	-0.455	0.085	0.421	-2.296	2.812	6.866

Caso de tensión con onceavo armónico y cambio de fase

Se varían los valores de fase para cada valor de tensión del onceavo armónico, como en los modos de operación mínimo e intermedio. En las figuras F.44 y F.45 se presentan el comportamiento de la luminaria dimerizable.

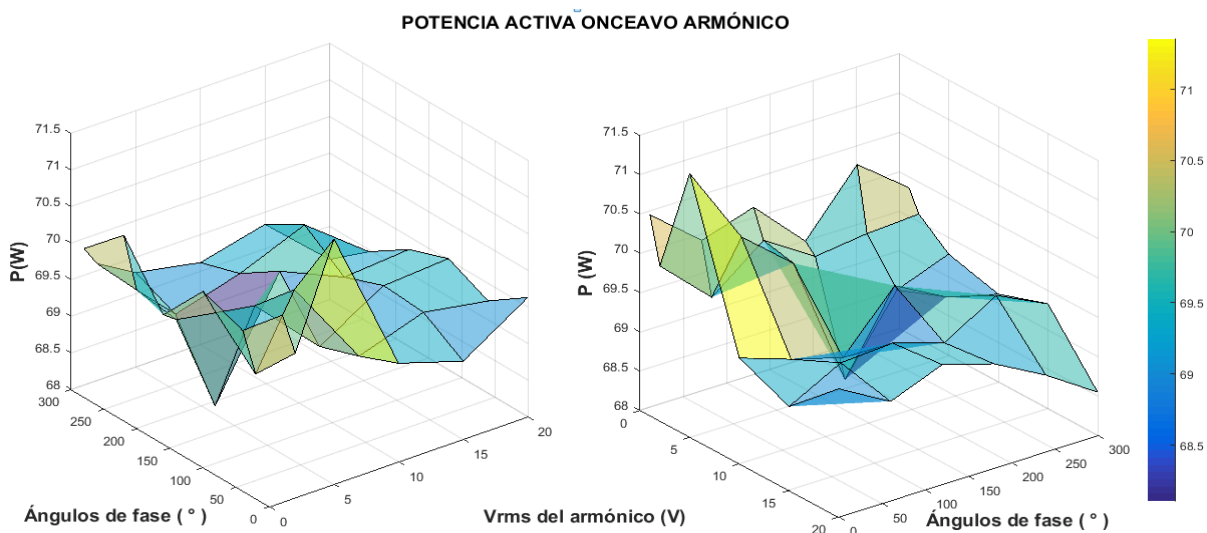


Figura F.44. Potencia activa consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con onceavo armónico y cambio de fase.

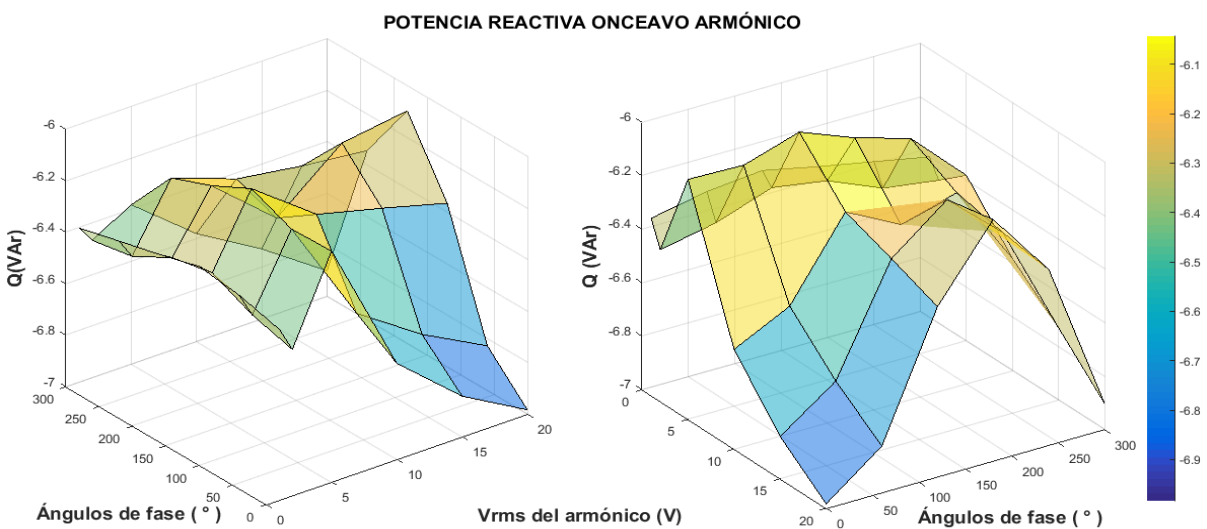


Figura F.45. Potencia reactiva consumida por la luminaria dimerizable con señales de tensión con onceavo armónico y cambio de fase.

La potencia activa en este caso, aumenta en con todos los valores de tensión para el noveno armónico con cambio de fase, pero en menor proporción que en los casos anteriores. En la Tabla F.37 se presenta los porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Tabla F.37. Porcentajes de diferencia de potencia activa con respecto a la fundamental.

Porcentajes de activa - Onceavo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	2.905	1.940	3.367	1.576	2.007	1.783
120	3.221	2.701	2.571	1.303	2.071	2.164
180	2.280	2.093	0.085	2.344	1.771	1.876
240	3.409	2.216	1.459	1.825	2.351	1.359
300	2.670	2.276	1.825	1.573	1.890	0.734

La potencia reactiva disminuye en los ángulos de fase de 120°, 180° y 240° en todos los valores de tensión del noveno armónico, como se observa en la Tabla F.38.

Tabla F.38. Porcentajes de diferencia de potencia reactiva con respecto a la fundamental.

Porcentajes de reactiva - Onceavo armónico						
Fase [°]	1 V	3 V	5 V	10 V	15 V	20 V
60	-2.843	-1.386	-5.728	0.687	3.303	5.343
120	-3.154	-2.505	-6.739	-3.844	-2.853	-1.793
180	-2.466	-1.998	-5.500	-2.202	-5.353	-5.924
240	-1.850	-0.667	-4.557	-3.139	-2.557	-2.125
300	-1.221	-0.215	-1.526	1.554	3.835	6.494