

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

Fainner Leonardo Monsalve Hernández, Jesús Alberto García Aparicio, Juan Pablo Barbosa Meneses

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

**Director:
Gabriel Ordóñez Plata
Doctor- Ingeniero Electricista**

**Codirector:
Gabriel Alexis Malagón Carvajal
MSc en Ingeniería Eléctrica**

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas
Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Bucaramanga**

2017

Agradecimientos

A:

Dios, por bendecirme, protegerme y darme la sabiduría necesaria para lograr mis objetivos.

Mis padres, que con su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional hicieron posible este logro, junto con mi hermana y mi hija fueron mi mayor motivación para seguir adelante en los momentos más difíciles. Hoy mi sueño, su sueño es una realidad.

Mi hermosa hija, por convertirse en el eje central de mi vida y alegrarme los días con su maravillosa sonrisa.

Mi novia Karen, por sus consejos, ánimo, colaboración y leal compañía en todo momento.

Los familiares y amigos que me acompañaron en esta etapa de mi vida.

El Dr. Gabriel Ordóñez Plata y al MSc. Gabriel Alexis Malagón, por su apoyo y orientación ofrecida. Fueron parte fundamental para el éxito de este proyecto.

Mis compañeros de trabajo de grado, por su trabajo y constancia.

La Universidad Industrial de Santander y todos los docentes que hicieron parte del desarrollo de mi formación profesional.

Jesús García Aparicio.

Inicialmente deseo dedicarles este trabajo a todas las personas que siempre creyeron en mi capacidad, fuerza y determinación para alcanzar este logro tan importante en mi vida.

A Dios por ser siempre ese sentimiento de alegría, tranquilidad y serenidad en cada momento de esta etapa de vida que esta próxima a culminar esperando ser digno por tan valioso esfuerzo.

A mis padres, mamá (Eloisa Meneses), Papá (Rafael H. Barbosa), no hay un día en el que no le agradezca a Dios haberme colocado entre ustedes, la fortuna más grande es tenerlos conmigo y el tesoro más valioso son todos y cada uno de los valores que me inculcaron. Siempre agradeceré sus consejos, comprensión, amor ayuda en los momentos difíciles y por brindarme todos los recursos para formarme. Me han dado todo lo que soy como persona mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia y el coraje para conseguir mis objetivos.

Si algo me enseñó esta carrera es que existen personas valiosas, compañeros de armas Fainer Monsalve, Jaime Lopez, Roque David Sanchez y Jesus Garcia amigos con quienes valió la pena luchar juntos por una meta, si bien a de terminar esta etapa me queda la satisfacción de haber compartido con personas valiosas como ustedes, les doy las gracias por su apoyo y afecto.

“... se requiere de muchos estudios para ser profesional, pero se Requiere toda una vida para aprender a ser persona”

Juan Pablo Barbosa Meneses

El sacrificio y el esfuerzo personal son necesarios e insustituibles para alcanzar un objetivo, pero no sería posible sin la fe y ayuda de Dios.

Este triunfo se lo quiero dedicar a mis padres y a mi hermana. Madre, tú desde que estaba pequeño me has enseñado a dar siempre lo mejor de mí, a soñar en grande pero recordando siempre de dónde vengo y quien soy.

Padre, tu eres mi ejemplo, tu entrega y confianza incondicional me permitieron alcanzar esta meta. Tu pilar principal siempre ha sido la familia y me ha enseñado que eso es lo más importante.

Daniela, además de ser su hermano mayor sé que me ves como tu ejemplo y siempre he querido hacerlo de la mejor manera, hoy soy yo el que alcanza esta meta y sé que dentro de muy poco todos estaremos acompañándote en este logro.

Adicionalmente quiero agradecer al Dr. Gabriel Ordoñez Plata y al Msc. Gabriel Alexis Malagón Carvajal por su apoyo en el desarrollo de este trabajo de grado. Sus aportes fueron fundamentales para alcanzar este objetivo.

Finalmente, quiero agradecer a todos mis amigos que de una u otra manera estuvieron acompañándome en este proceso y a todos los docentes de la Universidad Industrial de Santander que ayudaron a mi formación profesional.

Fainner Leonardo Monsalve Hernández

Contenido

	Pág.
Introducción	19
1. Objetivos	21
1.1 Objetivo General	21
1.2 Objetivos Específicos.....	21
2. Marco de Referencia	22
2.1 Antecedentes	22
2.2 Marco Teórico.....	24
2.2.1 Señales distorsionadas típicas: tipo <i>flat-top</i> y <i>pointed-top</i>	25
2.2.2 Modelo CVR.....	26
2.2.2.1 Modelo exponencial.....	27
2.2.2.2 Modelo ZIP.....	27
2.2.3 Parámetros de potencia eléctrica.....	28
3. Evidencias	31
3.1 Selección de cargas	31
3.2 Definición de escenarios de prueba	37
3.3 Procedimiento para la adquisición de las muestras.....	39
3.4 Metodología para realizar el análisis de las medidas.....	40
3.5 Análisis de resultados	46

3.5.1 Efecto de la distorsion de tensión de alimentación sobre la potencia en los modelos propuestos por Budeanu, Fryze e IEEE 1459 46

3.5.2 Comportamiento de los parámetros de los modelos ZIP y exponencial frente a variaciones de amplitud, ángulo de fase, regulación y distorsión de la señal de tensión de alimentación 53

3.5.2.1 Modelos estáticos para la luminaria tipo CFL 54

3.5.2.2 Modelos estáticos para el televisor LCD 60

3.5.2.3 Modelos estáticos para la lámpara LED 68

3.5.2.4 Validación del modelo con mejor ajuste..... 74

3.6 Cuantificación de la potencia adicional consumida..... 80

3.6.1 Análisis para señales de tensión de alimentación típicas en un sistema de distribución de baja tensión y señales medidas en Bucaramanga..... 80

3.6.2 Análisis para señales con mayor variación en consumo de potencia activa y no activa. 92

4. Conclusiones..... 97

5. Recomendaciones 100

Referencias Bibliográficas 101

Apéndices..... 104

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Características de las formas de onda de tensión,.....	25
Tabla 2. Consolidado Estándar IEEE 1459-2000	29
Tabla 3. Error relativo porcentual de los parámetros del modelo ZIP mostrados para la luminaria CFL.....	57
Tabla 4. Error relativo porcentual de los parámetros del modelo Exponencial mostrados para la luminaria CFL.....	60
Tabla 5. Error relativo porcentual de los parámetros del modelo ZIP mostrados para el televisor LCD.....	64
Tabla 6. Error relativo porcentual de los parámetros del modelo Exponencial mostrados para el televisor LCD.....	68
Tabla 7. Error relativo porcentual de los parámetros del modelo ZIP mostrados para la luminaria LED.....	71
Tabla 8. Error relativo porcentual de los parámetros del modelo Exponencial mostrados para la luminaria LED.	74
Tabla 9. Consumo adicional de potencias para el caso donde las señales de alimentación son las medidas en la Casa 1 y 2.....	82
Tabla 10. Consumo adicional de potencias para el caso donde la señal de tensión tiene formas características	83

Tabla 11. Consumo adicional de potencias para el caso donde las señales de alimentación son las medidas en la Casa 1 y 2 86

Tabla 12. Consumo adicional de potencias para el caso donde la señal de tensión tiene formas características 86

Tabla 13. Necesidades básicas de utilización según PIEC (UPME, 2016). 89

Tabla 14. Estimación de costos adicionales por usuario luminaria tipo LED. 90

Tabla 15. Estimación de costos adicionales por requerimientos de potencia no activa por usuario para la luminaria tipo CFL 91

Tabla 16. Delta de potencia activa y no activa para la luminaria tipo LED 95

Tabla 17. Delta de potencia activa y no activa para la luminaria tipo CFL..... 96

Tabla 18. Delta de potencia activa y no activa para el televisor LCD..... 97

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Formas típicas de onda para un sistema a 60 Hz y 120V.....	26
Figura 2. Escenario límite de estudio para la CFL.....	32
Figura 3. Escenario límite de estudio para el televisor LCD	33
Figura 4. Escenario límite de estudio para la luminaria tipo LED.....	34
Figura 5. Gráfica de impedancia en el escenario límite de estudio para la CFL.	35
Figura 6. Impedancia del televisor LCD para la señal de tensión en el caso límite de estudio.	36

Figura 7. Impedancia característica para una luminaria tipo LED bajo el caso límite de estudio (THDV del 12%) para la LED.	36
Figura 8. Diagrama de los escenarios de prueba.....	37
Figura 9. Señales medidas en dos residencias estrato 3 de la ciudad de Bucaramanga.....	38
Figura 10. Etapas del proceso.	41
Figura 11. Ejemplo de mediciones realizadas.....	41
Figura 12. Organigrama de datos.....	43
Figura 13. Equivalencia del organigrama de la información.....	43
Figura 14. Diagrama general para el análisis de datos.....	45
Figura 15. Medidas algoritmo Budeanu y Fryze para la CFL *Qb según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.....	47
Figura 16. Medidas algoritmo Budeanu y Fryze para el televisor LCD. *Qb según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.	48
Figura 17. Medidas algoritmo Budeanu y Fryze para la luminaria tipo LED. *Qb según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.....	49
Figura 18. Caso aleatorio para la luminaria CFL: R5%_A3_THDV4%_0 *Q1 según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.	50
Figura 19. Caso aleatorio para el televisor LCD: R1%_A3_THDV8%_0 *Q1 según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.	51
Figura 20. Caso de estudio luminaria LED con tensión de alimentación R1%_A3_THDV12%_0. *Q1 según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.....	52
Figura 21. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia activa de algunos casos de estudio para la luminaria CFL.	55

Figura 22. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia no activa de algunos casos de estudio para la luminaria CFL. 56

Figura 23. Comportamiento de los parámetros del modelo exponencial en potencia activa de algunos casos de estudio para la luminaria CFL..... 58

Figura 24. Comportamiento de los parámetros del modelo exponencial en potencia no activa de algunos casos de estudio para la luminaria CFL..... 59

Figura 25. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia activa de algunos casos de estudio para el televisor LCD. 61

Figura 26. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia no activa de algunos casos de estudio para el televisor LCD. 63

Figura 27. Comportamiento de los parámetros del modelo Exponencial en potencia activa de algunos casos de estudio para el televisor LCD..... 66

Figura 28. Comportamiento de los parámetros del modelo Exponencial en potencia no activa de algunos casos de estudio para el televisor LCD..... 67

Figura 29. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia activa de algunos casos de estudio para la luminaria LED..... 69

Figura 30. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia no activa de algunos casos de estudio para la luminaria LED..... 70

Figura 31. Comportamiento de los parámetros del modelo Exponencial en potencia activa de algunos casos de estudio para la luminaria LED. 72

Figura 32. Comportamiento de los parámetros del modelo Exponencial en potencia no activa de algunos casos de estudio para la luminaria LED. 73

Figura 33. Modelos ZIP y Exponencial vs Mediciones Reales para la luminaria tipo CFL..... 78

Figura 34. Modelos ZIP y Exponencial vs Mediciones Reales para el televisor LCD..... 78

Figura 35. Modelos ZIP y Exponencial vs Mediciones Reales para la luminaria tipo LED 79

Figura 36. Consumo de potencia activa para la luminaria tipo LED..... 81

Figura 37. Consumo de potencia no activa para la luminaria tipo LED..... 81

Figura 38. Consumo de potencia activa para la luminaria tipo CFL. 84

Figura 39. Consumo de potencia no activa para la luminaria tipo CFL. 85

Figura 40. Consumo de potencia activa para el televisor LCD. 88

Figura 41. Consumo de potencia no activa para el televisor LCD. 88

Figura 42. Potencia total que debería considerarse para facturar la energía requerida por una luminaria CFL..... 93

Figura 43. Potencia total que debería considerarse para facturar la energía requerida por una luminaria LED. 94

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Muestras de la señal de tensión de alimentación tipo casa 1 y 2.....	104
Apéndice B. Procedimiento para la toma de datos.	106
Apéndice C. Casos de estudio de mayor diferencia entre las potencias S_n y Q_f	128
Apéndice D. Potencia para los demás tipos de señales de alimentación típicos en ambientes residenciales.....	134

Apéndice E. Complemento del análisis de los modelos ZIP y Exponencial para las cargas seleccionadas.....	138
Apéndice F. Consumos adicionales de potencia.....	156
Apéndice G. Cálculo de la incertidumbre combinada	159

Resumen

Título: 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 *

Autores: Juan Pablo Barbosa Meneses
Jesús Alberto García Aparicio
Fainner Leonardo Monsalve Hernández **

Descripción

Este trabajo de grado analiza el comportamiento en el consumo de potencia de una luminaria tipo CFL, una tipo LED y un televisor LCD, para las tres cargas el principio de funcionamiento está basado en fuentes conmutadas, dicha fuente es un circuito integrado con un convertidor AC/DC que reduce el nivel de tensión mediante el proceso de conmutación. Para analizar el comportamiento en el consumo de potencia, se compara el comportamiento de la carga cuando es alimentada con una señal de tensión de alimentación tipo sinusoidal y considerando variaciones de amplitud, ángulo de fase y distorsión de la señal de la tensión. Así mismo, se compara la desviación de los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial. Por otra parte, se cuantifica el consumo de potencia cuando las cargas están alimentadas por la señal tipo sinusoidal y cuando se alimentan con tensiones distorsionadas, esto permite medir el impacto económico originado por los problemas de distorsión.

Para ello inicialmente, se definen unos escenarios de prueba en el laboratorio, posteriormente se establece un procedimiento para la realización de las mismas. Finalmente, se analizan los datos adquiridos durante la monitorización de los escenarios de prueba con el fin de estudiar los efectos de las variaciones en la señal de tensión de alimentación sobre el comportamiento en el consumo de la potencia en las cargas. monitorización de los escenarios de prueba con el fin de estudiar los efectos de las variaciones en la señal de tensión de alimentación sobre el comportamiento de la potencia en las cargas.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Director: Gabriel Ordóñez Plata Codirector: Gabriel Alexis Malagón Carvajal

Abstract

Título: 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 *

Autores: Juan Pablo Barbosa Meneses
Jesús Alberto García Aparicio
Fainner Leonardo Monsalve Hernández**

Descripción

This degree work analyzes the behavior in the power consumption of a luminaire type CFL, a type LED and an LCD television, for the three loads the principle of operation is based on switched sources, said source is an integrated circuit with an converter AC / DC which reduces the voltage level through the switching process. To analyze the behavior in the power consumption, the load behavior is compared when it is fed with a sine wave type voltage signal and considering variations of amplitude, phase angle and voltage signal distortion. Likewise, the deviation of the parameters of the ZIP and Exponential models is compared. On the other hand, the power consumption is quantified when the loads are fed by the sinusoidal type signal and when fed with distorted voltages, this allows measuring the economic impact caused by the distortion problems.

Initially, some test scenarios are defined in the laboratory. Later, a procedure is established for its realization of the same. Finally, the data acquired during the monitoring of the test scenarios are analyzed in order to study the effects of the variations in the signal of supply voltage on the behavior in the consumption of the power in the loads.

* Project of grade

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering
Director: Gabriel Ordóñez Plata Codirector: Gabriel Alexis Malagón Carvajal

Introducción

El aumento masivo de cargas no lineales en el sector residencial, especialmente de cargas con fuente de alimentación conmutadas, ocasiona distorsiones en la onda de tensión de alimentación en las redes de distribución. Para algunas de estas perturbaciones se han propuesto límites en estándares como *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems* (IEEE, 2014) a fin de mantener la calidad en el suministro de energía eléctrica.

No obstante, los límites propuestos no garantizan un consumo eficiente y adecuado de la energía, ni contemplan los costos adicionales que deben asumir los usuarios debido a estas condiciones de alimentación. Lo anterior motivo la realización de este trabajo de grado a investigar el comportamiento del consumo de potencia por dichas cargas cuando son alimentadas por señales de tensión distorsionadas.

En este sentido, algunas técnicas para la disminución del consumo de energía han sido propuestas como es el caso de la técnica CVR (*Conservation Voltage Regulation*) en la que se utiliza una reducción del valor eficaz de tensión. Esta técnica es aplicada para analizar la agregación de carga sin considerar las características de no linealidad, empleando modelos como el Exponencial y el ZIP para representar matemáticamente el consumo de potencia activa y no activa. Para aplicar la técnica CVR se considera la carga lineal y se realiza el análisis del sistema solo a frecuencia fundamental (Caetano & Romeiro, 2016; M.A., 2010; Ornelas & Marchena,

2007). Esto motiva a estimar la variación de los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial considerando distorsión en la señal de tensión de alimentación.

Por otra parte, los tópicos relacionados con el uso racional de la energía, investigan cómo aumentar la eficiencia y el control de los recursos naturales. Actualmente, se integran a estos tópicos tecnologías de menor consumo de energía; sin embargo, al estar basados en electrónica de potencia, su interacción puede generar problemas en la calidad de la potencia, entre ellos la distorsión de la señal de tensión y corriente en redes de baja tensión.

Estos problemas en la calidad de potencia en el sistema de distribución residencial se ven reflejados en distorsiones de tensión características como lo son las de tipo *Flat-Top* y *Pointed-Top*, las cuales son producidas por cargas no lineales presentes en el sistema o rectificadores de seis pulsos en la industria, respectivamente.

Este trabajo de grado cuantifica el consumo adicional de energía cuando se alimentan cargas de tipo iluminación (LED y CFL), así como televisores LCD con tensiones distorsionadas típicas en sistemas de baja tensión respecto a la tensión de alimentación sinusoidal. Para ello se estiman las potencias mediante los algoritmos de medida propuestos por Budeanu, Fryze e IEEE 1459. Además, se calculan los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial en condiciones sinusoidales y se comparan los resultados frente a las variaciones de distorsión, regulación y ángulo de fase de la señal de tensión de alimentación.

1. Objetivos

Esta sección contiene los objetivos propuestos para el desarrollo del trabajo de grado.

1.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento de la potencia y los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial para cargas residenciales basadas en fuentes conmutadas al someterlas a variaciones de amplitud y distorsión de la señal de tensión.

1.2 Objetivos Específicos

Para el logro del objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Seleccionar las cargas residenciales basadas en fuentes conmutadas para la formulación de los modelos ZIP y Exponencial con una tensión de alimentación de tipo sinusoidal.
2. Definir los escenarios de prueba para el análisis del comportamiento de la potencia y los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial durante la variación de amplitud y distorsión de la señal de tensión de alimentación.
3. Establecer un procedimiento para la realización de pruebas en el laboratorio teniendo en cuenta las características de la fuente de tensión programable, el manejo de los equipos de medición y la conexión de los mismos, basado en lecciones aprendidas de trabajos de grado afines.

4. Proponer una metodología para realizar el análisis de las medidas obtenidas en el laboratorio en los distintos escenarios de operación a las que serán sometidas las cargas durante la experimentación.

5. Realizar un análisis de los resultados obtenidos en los diferentes escenarios con tensión de alimentación sinusoidal pura y los cambios propuestos en amplitud y distorsión de la señal de tensión.

6. Cuantificar la potencia adicional consumida por las cargas debido a los fenómenos que puedan afectar la onda de tensión de alimentación como cambios en la amplitud y distorsión de la señal.

2. Marco de Referencia

Este capítulo contiene una breve reseña de las investigaciones afines a este trabajo de grado realizados a nivel internacional y en la Universidad Industrial de Santander. Además, incluye conceptos necesarios para el desarrollo de los objetivos propuestos.

2.1 Antecedentes

El tema sobre el impacto de la distorsión armónica generada por cargas residenciales ha sido ampliamente estudiado en trabajos recientes: En Argentina, (Suárez, Mauro, & Agüero, 2005)

analizaron los niveles de distorsión armónica en cargas no lineales residenciales para ponderar los efectos en la predicción de la distorsión en tensión en un sistema de distribución.

En Australia, (Elphick & Ciufu, 2010), examinaron las corrientes de entrada de una serie de electrodomésticos modernos a partir de ciertos experimentos: dos de ellos, variando el valor eficaz de la tensión de mínimo (207 V) a máximo (253 V) y los otros dos con tensión de alimentación distorsionada. Para el mismo año, en la Ciudad de México, Mora & Bañuelos (M.A., 2010) estudiaron cargas residenciales no lineales con mediciones en el laboratorio usando un analizador de calidad de la energía de Fluke 41. La medición de interés fue un conjunto de un televisor a color de 20 pulgadas, una PC, tres luminarias tipo CFL y un minicomponente. Los resultados obtenidos para el THDV y THDI fueron de 1,74% y 55,54% respectivamente, además, concluyeron que las cargas no lineales por su naturaleza demandan más potencia no activa.

En la ciudad de Veracruz, México (Hernández, 2012) realizó una investigación sobre la distorsión armónica generada por luminarias tipo CFL debido a su creciente aumento en redes de baja tensión. Este trabajo se llevó a cabo por medio de simulaciones y modelado del espectro obtenido de las mediciones. Evidenciaron un aumento en el valor eficaz de la corriente debido a la distorsión generada por este tipo de cargas.

El estudio desarrollado por (Farooq, Zhou, & Farrag, 2013) en Reino Unido, evalúa la distorsión armónica en sistemas de distribución causada por cargas residenciales no lineales. Para ello modelaron 100 casas conectadas a un sistema de distribución en baja tensión con un transformador de distribución de 500 kVA. Este estudio concluye que al aumentar la cargabilidad en el transformador de distribución aumenta el THDV sin una variación notable de la distorsión armónica total en corriente.

En Belo Horizonte Brasil (Comerciais, Caetano, & Jota, 2013) trabajaron con los modelos de carga que representan el consumo de potencia a través de los parámetros que componen los modelos ZIP y Exponencial. Como resultado de este trabajo se encuentra similitud entre los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial excepto para el monitor LCD, estas cargas fueron mejor modeladas mediante el modelo ZIP.

En la Universidad Tecnológica de Pereira en Colombia, Rodríguez García, Pérez Londoño y Mora Flórez (Rodríguez, Pérez, & Mora, 2013) estudiaron los modelos ZIP y Exponencial para un sistema de potencia con el fin de obtener un perfil del comportamiento de la carga y una estimación de la misma a lo largo del tiempo. En trabajo obtiene los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial de las cargas empleando perturbaciones controladas en la onda de tensión de alimentación.

Finalmente, en la Universidad Industrial de Santander (UIS) (Jimenez, Cortes, Duarte, Petit, Carrillo, 2016) proponen una forma óptima de estimar los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial en potencia activa bajo variaciones de tensión. Este documento concluye que los modelos propuestos resultan más precisos que otros modelos propuestos en la literatura científica.

2.2 Marco Teórico

El estándar IEEE-519 define una componente armónica como una parte sinusoidal de una onda o cantidad periódica que tiene una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental (IEEE, 2014).

La distorsión de estas componentes armónicas de las señales de corriente y tensión son ocasionadas por la operación de cargas no lineales o cargas basadas en electrónica de potencia

tales como: convertidores, hornos de arco, impedancia de magnetización en transformadores, iluminación tipo CFL, entre otras. En este sentido, algunas señales de tensión típicas en sistemas de distribución de baja tensión corresponden a las señales *Flat-top* y *Pointed-top* citadas a continuación.

2.2.1 Señales distorsionadas típicas: tipo *flat-top* y *pointed-top*. Las ondas planas o tipo *Flat-Top* y las ondas puntiagudas o tipo *Pointed-Top* son comunes en sistemas de baja tensión residencial e industrial, respectivamente. Por su parte, las redes residenciales muestran un "voltaje plano" distintivo que es causado por el uso masivo de rectificadores monofásicos, mientras que las redes industriales suelen tener un "voltaje puntiagudo" debido al uso de rectificadores de seis pulsos. Estas formas de onda se utilizan en los experimentos y medidas a lo largo de este trabajo. La Tabla 1 muestra las principales características respecto al contenido de las primeras componentes armónicas impares y la distorsión armónica total de las formas de onda de tensión (THD_u) para una frecuencia de 60 Hz, las cuales fueron tomadas y adaptadas de (Blanco Ana, Stiegler Robert, 2012) propuesta para una tensión de 230V 50 Hz.

Tabla 1.

Características de las formas de onda de tensión,

Armónico	Sinusoidal	Flat-Top	Pointed-Top	
Magnitud [V]	1	120	116,61	120
	3	-	2,77	3,65
	5	-	1,93	3,65
	7	-	1,04	0,06
Fase[°]	1	0	0	0
	3	-	0	180

Armónico	Sinusoidal	Flat-Top	Pointed-Top
5	-	180	0
7	-	0	0
THD[%]	≈0	3,1	4,3

Fuente: (Blanco Ana, Stiegler Robert,2012).

La Figura 1 muestra el comportamiento de la onda de corriente para una CFL de 15W cuando se alimenta con una señal Tipo Flat-Top a 120 V (azul). También, muestra el comportamiento de la misma carga cuando se alimenta con una señal Tipo Pointed-Top a 120 V (roja).

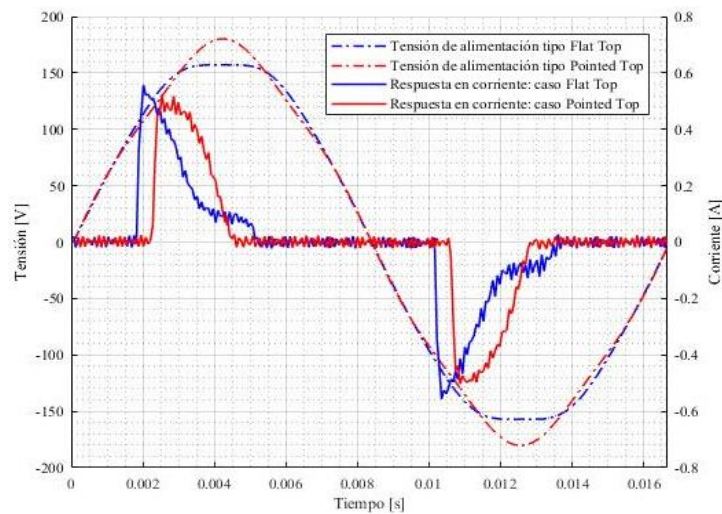


Figura 1. Formas típicas de onda para un sistema a 60 Hz y 120V.

2.2.2 Modelo CVR El modelo de carga para el análisis CVR o *Conservation Voltage Regulation* es una representación matemática de la relación entre la potencia activa y no activa consumida, y la tensión de alimentación de la carga. Este describe el comportamiento de la carga cuando es alimentada con una fuente sinusoidal, en la cual se considera la variación de la magnitud de la tensión (Caetano & Romeiro, 2016; M.A., 2010; Ornelas & Marchena, 2007). El modelo

Exponencial y ZIP son dos formas usadas en el modelo CVR para representar matemáticamente el consumo de potencia activa y no activa.

2.2.2.1 Modelo exponencial. El modelo Exponencial caracteriza la potencia activa y reactiva consumida por la carga de la siguiente manera:

$$P_i = P_0 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^\alpha \quad \text{Ecuación 1}$$

$$Q_i = Q_0 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^\beta \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde V_i y V_0 corresponden a la tensión de operación y tensión nominal, respectivamente. Asimismo, P_0 y Q_0 son los valores nominales de potencia de la carga. Los parámetros α y β describen el comportamiento de la carga. Cuando ambos coeficientes son iguales a cero, significa que la carga se comporta con potencia activa constante. Para el caso que β y α son iguales a uno, la carga se comporta con corriente constante; y finalmente si ambos coeficientes son iguales a dos, la carga se comporta como impedancia constante (Caetano & Romeiro, 2016; M.A., 2010; Ornelas & Marchena, 2007).

2.2.2.2 Modelo ZIP. Este modelo muestra la relación, entre potencia y tensión, correspondiente a una combinación lineal de modelos de carga con impedancia (Z), corriente (I) y potencia activa (P) constante (Caetano & Romeiro, 2016; Ornelas & Marchena, 2007). La representación matemática del modelo se describe a continuación.

$$P = P_0 \left[Z_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + P_p \right] \quad \text{Ecuación 3}$$

$$Q = Q_0 \left[Z_q \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_q \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + P_q \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$$Z_p + I_p + P_p = 1 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Z_q + I_q + P_q = 1 \quad \text{Ecuación 6}$$

Siendo V_i la tensión de operación, V_0 la tensión nominal, P_0 y Q_0 los valores nominales de potencia de la carga. Los coeficientes Z, I y P corresponden a la característica de impedancia, corriente y potencia constante, respectivamente.

Cuando la carga es representada como impedancia constante, significa que la potencia activa varía directamente con el cuadrado de la tensión; en el caso de la corriente constante, la potencia activa varía directamente con la tensión; y, finalmente, si la carga es modelada como potencia activa constante, esta potencia no varía cuando la tensión cambia (Caetano & Romeiro, 2016).

2.2.3 Parámetros de potencia eléctrica Para la obtención de los parámetros de potencia y en concordancia con el tipo de cargas no lineales seleccionadas en este trabajo, se realiza el análisis de potencia considerando el modelo propuesto por el estándar IEEE 1459 (IEEE, 2010), el cual es descrito en las ecuaciones 7 y 8.

$$V^2 = v_1^2 + v_H^2 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$I^2 = i_1^2 + i_H^2 \quad \text{Ecuación 8}$$

Para sistemas distorsionados, los valores eficaces de la tensión y la corriente se dividen en dos componentes, una asociada a las características de la frecuencia fundamental (v_1, i_1) y otra asociada con la distorsión propia de la onda (v_H, i_H). A partir de esta consideración se obtienen Las expresiones de potencia de este modelo se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2.

Consolidado Estándar IEEE 1459-2000

Indicador de calidad	Combinada	Potencias componente fundamental	Potencias no fundamentales
Potencia aparente [VA]	S	S_1	S_N, S_H
Potencia activa [W]	P	P_1	P_H
Potencia no activa [VAr]	N	Q_1	D_I, D_V, D_H
Factor de potencia	$FP=P/S$	$FP_1=P_1/S_1$	-
Contaminación armónica	-	-	S_N/S_1

Fuente: (IEEE, 2010).

Otros modelos de potencia que se analizan en este trabajo son los de Budeanu y Fryze. Con relación al modelo de Budeanu y considerando el modelo matemático de las señales periódicas de tensión y corriente según la representación en Series de Fourier, se obtienen las expresiones de las potencias activa (ecuación 9) y reactiva (ecuación 10) (Jeltsema, 2015):

$$P = \sum_k V_k I_k \cos(\theta_{V_k} - \theta_{I_k}) \quad \text{Ecuación 9}$$

$$Q_B = \sum_k V_k I_k \sin(\theta_{V_k} - \theta_{I_k}) \quad \text{Ecuación 10}$$

Tras observar que la raíz cuadrada de la suma cuadrática de la potencia activa y reactiva no era igual a la potencia de dimensionamiento, Budeanu propuso una nueva componente de potencia (ortogonal a las potencia activa y reactiva), llamada Potencia de distorsión (ecuación 11), la cual no permite identificar el origen real de la distorsión armónica (corriente o tensión) pero cuantifica la misma (Jeltsema, 2015).

$$D_B = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_B^2} \tag{Ecuación 11}$$

Una forma de cuantificar la ineficiencia total del sistema es mediante la siguiente ecuación.

$$INEF = Q_B + D_B \tag{Ecuación 12}$$

Finalmente, el modelo propuesto por Fryze, es considerado en este trabajo. Este modelo es basado en la descomposición de la corriente en dos componentes ortogonales, siendo i_a la componente del mínimo valor necesario para transmitir la potencia activa (Emanuel, Vi, & V, 2012; Morantes, 2007), i_b es la componente de corriente restante. Los valores de las componentes de corriente propuestas en este modelo son:

$$i_a(t) = \frac{P}{V^2} v(t) \tag{Ecuación 13}$$

$$i_b(t) = i(t) - i_a(t) \tag{Ecuación 14}$$

$$i^2 = i_a^2 + i_b^2 \tag{Ecuación 15}$$

Lo cual permite inferir la definición de los parámetros de potencia del modelo de Fryze:

$$S^2 = P^2 + Q_F^2 \tag{Ecuación 16}$$

$$Q_F = |v(t)| * |i_b| \tag{Ecuación 17}$$

Este modelo tiene como desventaja que el valor de potencia no activa Q_F no proporciona ninguna información sobre la potencia de distorsión ni la fuente de la misma, el valor calculado brinda información sobre la ineficiencia del sistema (Emanuel et al., 2012) (Morantes, 2007).

3. Evidencias

Este capítulo describe las acciones realizadas para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el este trabajo de grado.

3.1 Selección de cargas

Estableciendo como referencia un usuario residencial de estrato tres, para la selección de cargas se tienen en cuenta tres aspectos:

1. Existencia de equipos en la residencia, como: televisores, computadoras personales, equipos de audio, hornos microondas, lámparas fluorescentes compactas, etc. De esta lista se escogen las cargas basadas en fuentes conmutadas.
2. La disponibilidad y facilidad de desplazamiento de estos hacia el Parque Tecnológico Guatiguara, sitio donde se realizó la experimentación.
3. Se tienen en cuenta aspectos citados en el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica (PIEC) (UPME, 2016) como frecuencia de uso diario y cantidad promedio de equipos en una vivienda.

De acuerdo a los anteriores criterios, se seleccionan las cargas de estudio: *luminaria ahorradora compacta en espiral CFL 120V/15 W 60Hz*, *Televisor LCD 120V/115W 60Hz 29''* y *luminaria tipo LED 120V/15W 60Hz*.

Las **lámparas fluorescentes compactas (CFLs)** tienen menor consumo de energía respecto a las lámparas incandescentes; sin embargo, generan una respuesta de corriente distorsionada que en conjunto con otras cargas pueden ocasionar una significativa distorsión de corriente en redes de baja tensión. La Figura 2 corresponde a la señal de corriente de una CFL alimentada por una tensión para dos escenarios posibles: una onda de tensión sinusoidal (azul) y una onda de tensión distorsionada definida en este documento¹ (rojo) a partir de ahora como: señal para el caso límite de estudio (señal de tensión con regulación +5%, un THDV del 12%, conformada por componente fundamental y onceavo armónico desfasado 300°). El THDI para este caso es de 199,53%.

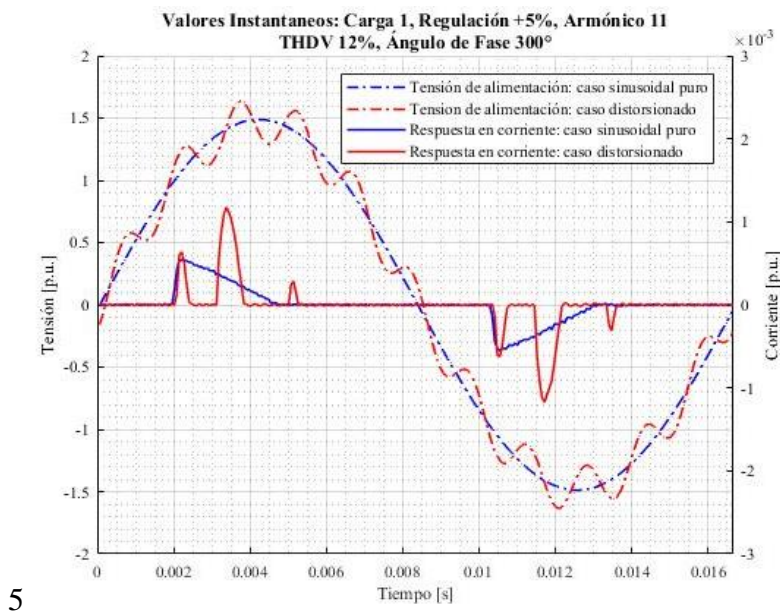


Figura 2. Escenario límite de estudio para la CFL.

¹ Sinusoidal pura: Cabe resaltar que la fuente controlada no logra una señal sinusoidal pura debido a su tecnología, además al alimentar la carga se genera una corriente distorsionada que ocasiona una caída en la impedancia equivalente de la fuente y en la impedancia del circuito ramal, lo que finalmente causa que la tensión con la que se alimenta la carga no sea sinusoidal pura, sino aproximadamente sinusoidal.

Al realizar los experimentos con el televisor LCD en el caso límite de estudio y la sinusoidal pura¹ (Ver Figura 3), existe una compensación en el comportamiento de la corriente, es decir la distorsión de la corriente (ondas azul y roja continuas respectivamente) es menor respecto a las luminarias. Lo cual demuestra que la topología del circuito que compone esta carga, mitiga la emisión de corrientes armónicas hacia la red. El THDI para este caso es de 38,27%.

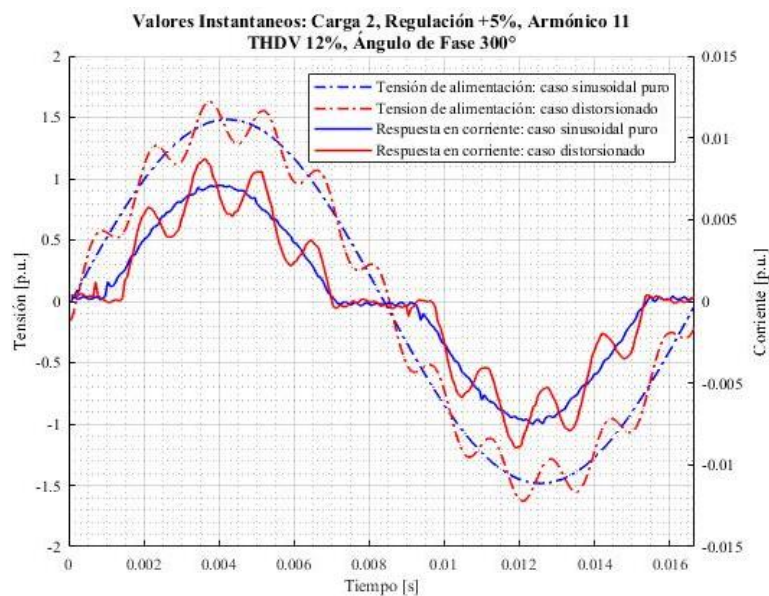


Figura 3. Escenario límite de estudio para el televisor LCD

La luminaria tipo LED tiene mayor intensidad luminosa y mayor vida útil de acuerdo a sus propiedades constructivas frente a las lámparas tipo CFL. La Figura 4 muestra el comportamiento de la señal de corriente de esta carga al ser alimentada con la como señal para el caso límite de estudio. En este caso particular, el valor pico de corriente aumenta respecto al caso sinusoidal puro. El THDI para este caso es de 272,66%, siendo el más alto entre las tres cargas analizadas.

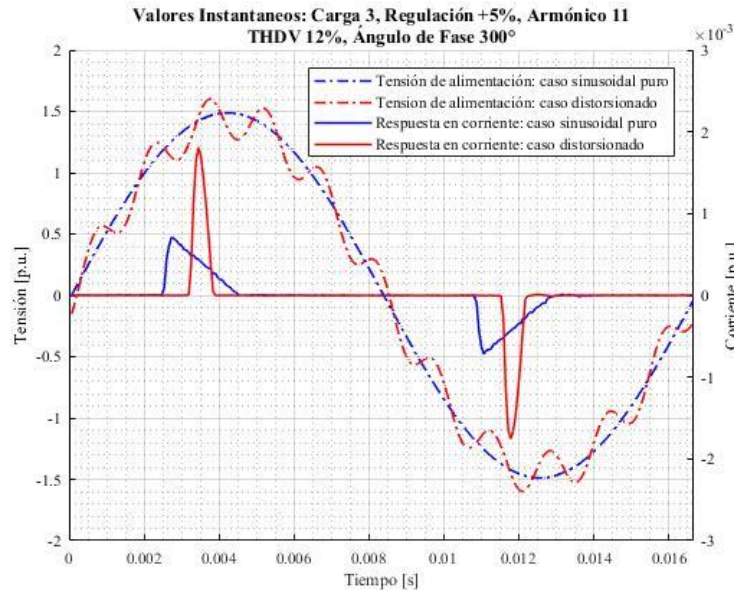


Figura 4. Escenario límite de estudio para la luminaria tipo LED

La Figura 5 presenta la relación entre la tensión vs la corriente en todo instante. Al comportamiento que describen estas dos variables se le conoce como impedancia característica de cada carga. Por ejemplo, para el caso de una carga lineal se presenta una curva en forma de línea recta si su característica es resistiva pura, una forma elíptica si la carga tiene un comportamiento diferente al resistivo y finalmente puede llevar a formas circulares si la carga tiende a ser predominantemente inductiva o capacitiva. Para el caso de la luminaria tipo CFL, se evidencia su no linealidad. Para esta impedancia característica, cuando la tensión de alimentación está constituida de una componente fundamental más noveno armónico (línea roja) y fundamental más onceavo armónico (línea negra) se generan picos de corriente más altos en comparación al caso sinusoidal puro, lo cual se traduce en un consumo de potencia adicional.

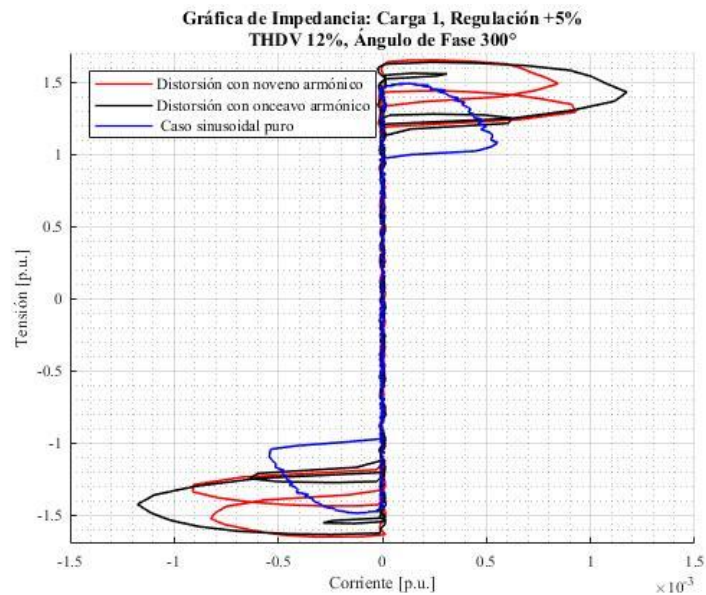


Figura 5. Gráfica de impedancia en el escenario límite de estudio para la CFL.

La Figura 6 corresponde al televisor LCD, en ella se presentan bucles para el caso distorsionado (distorsión con componente fundamental más noveno armónico y fundamental más onceavo armónico) producto de la sensibilidad a la perturbación en la onda de tensión de alimentación. Además, persiste un crecimiento de la impedancia característica puesto que al aumentar la corriente y la tensión de alimentación también aumenta la impedancia.

La Figura 7 corresponde a la gráfica de V vs I en el caso límite de estudio para la luminaria tipo LED. La magnitud de la corriente aumenta en comparación al caso sinusoidal puro comportándose de forma similar que la luminaria CFL; no obstante, los picos de corriente son mayores en este caso.

De manera general para las figuras 5, 6 y 7, la zona donde la corriente es aproximadamente cero, corresponde a los valores de tensión en donde no existe conducción en el circuito propio de la fuente conmutada.

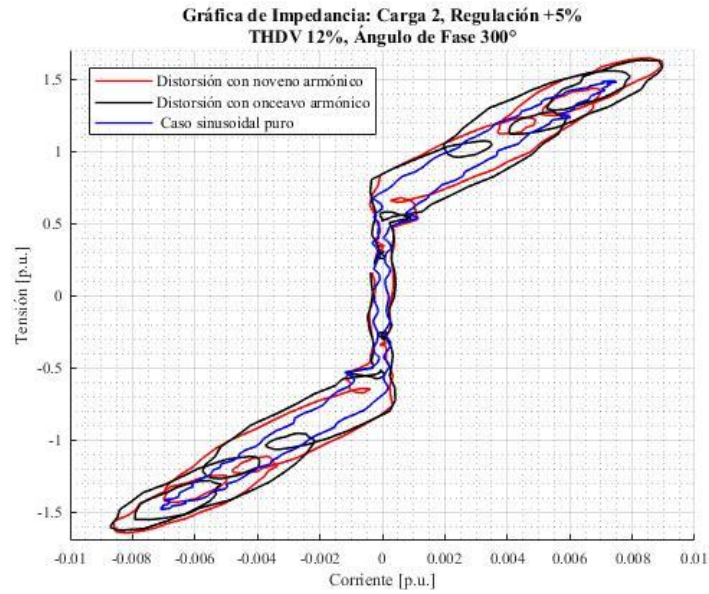


Figura 6. Impedancia del televisor LCD para la señal de tensión en el caso límite de estudio.

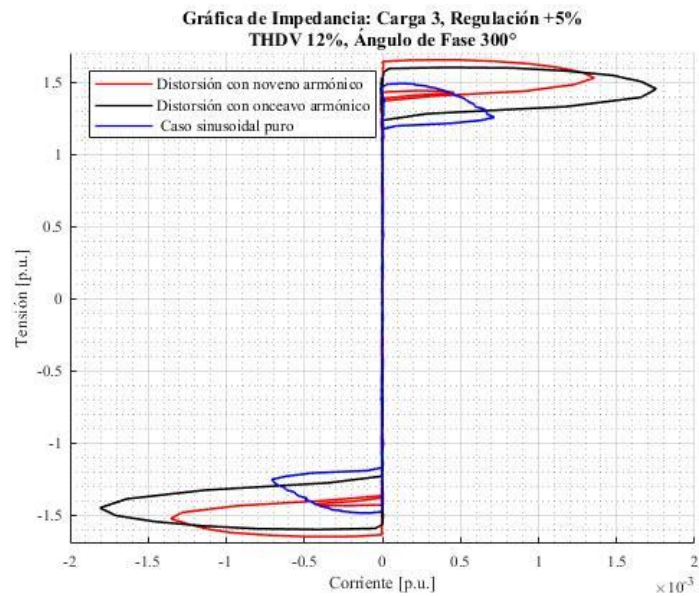


Figura 7. Impedancia característica para una luminaria tipo LED bajo el caso límite de estudio (THDV del 12%) para la LED.

3.2 Definición de escenarios de prueba

A continuación, la Figura 8 muestra los escenarios de prueba a los que fueron sometidas las cargas, en donde se describen las diferentes formas de onda de la señal de tensión de alimentación que se implementaron en este trabajo de grado.

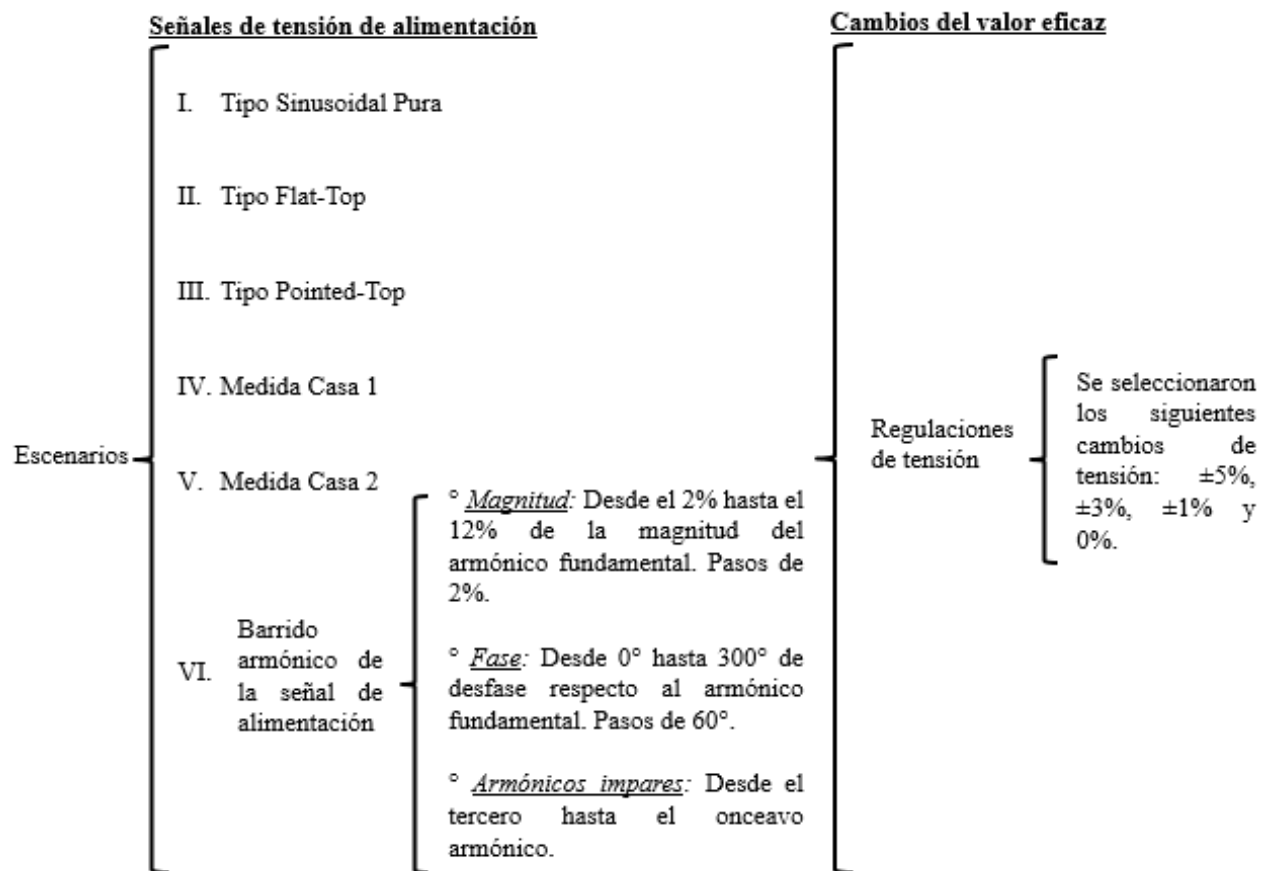


Figura 8. Diagrama de los escenarios de prueba.

Para este trabajo en particular la señal *sinusoidal pura* es utilizada para obtener un punto de referencia durante la comparación del consumo de potencia de la carga con otras señales en sistemas de distribución de baja tensión.

Para esta comparación se utilizan las señales tipo Flat-Top y Pointed-Top que son típicas en el sistema europeo (Blanco Ana, Stiegler Robert, 2012). Por esto son adaptadas según las características del sistema de distribución colombiano (120 V-60 Hz).

Asimismo, las señales tipo Flat-Top (medida casa 1 y medida casa 2) son obtenidas a partir de mediciones tomadas en la ciudad de Bucaramanga en residencias estrato 3 de dos integrantes del grupo, estas consideran los hábitos de consumo en la región. El THDV es de 3,56% y 3,66% respectivamente. El Anexo A contiene las muestras de un ciclo de la señal continua y explica la metodología utilizada para su caracterización. La Figura 9 muestra un ciclo de las señales de tensión medidas en las dos residencias

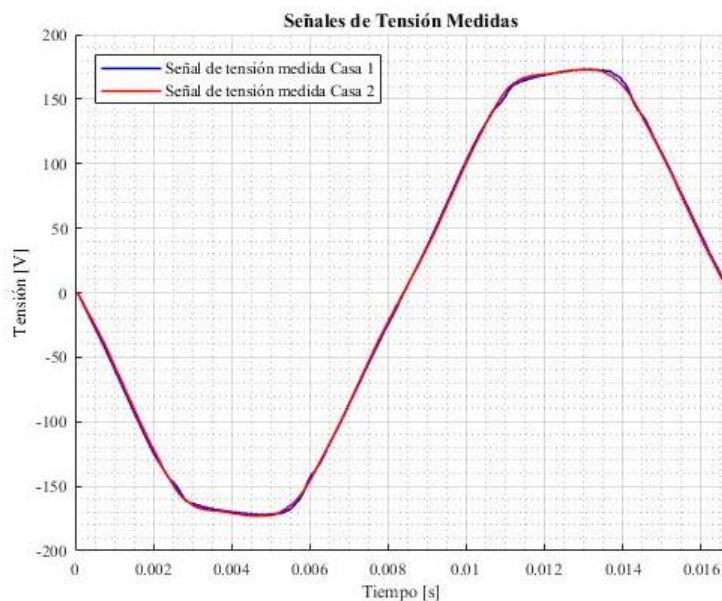


Figura 9. Señales medidas en dos residencias estrato 3 de la ciudad de Bucaramanga.

De igual forma es considerado el barrido armónico de la señal de tensión de alimentación, tipo de señal permite analizar el comportamiento de la carga ante una señal de tensión de alimentación, donde en cada una de las señales está presente la fundamental y un armónico impar específico, por

ejemplo: componente fundamental más tercer armónico, fundamental más quinto armónico y así sucesivamente hasta llegar al onceavo armónico. Asimismo, se realizan variaciones de magnitud y fase del orden armónico en estudio, proporcionando información del impacto provocado en el consumo de potencias ante dichas distorsiones. El límite de distorsión se selecciona basado en la norma IEEE 519 (IEEE, 2014) que exige un límite máximo de distorsión armónica total de tensión del +8%.

De igual forma, los *cambios en el valor eficaz* a los cuales pueden ser sometidas las cargas se seleccionan con base en la NTC 1340 (NTC, 2013), la cual para baja tensión exige una variación máxima de +5% de la tensión nominal y un mínimo de -8% para usuarios urbanos; sin embargo, para este trabajo de grado oscilan como se especifica en la Figura 8.

3.3 Procedimiento para la adquisición de las muestras

Antes de iniciar el procedimiento para la adquisición de las muestras, se debe conocer y manejar de forma adecuada el equipo utilizado durante las pruebas, los cuales para este caso corresponde al analizador de calidad DRANETZ HDPQ VISA y la fuente controlada CHROMA PROGRAMABLE AC 61511 12 kVA; así como los elementos de conexión para la interacción de estos equipos con la carga a ser analizada. Por esto, se lleva a cabo una capacitación de cada uno de los integrantes del proyecto con el codirector. Finalizada esta etapa, se elabora un procedimiento para realizar los experimentos, el cual está diseñado de forma secuencial de la siguiente manera:

1. Cierre el break del circuito que alimenta la fuente Chroma en el cuarto técnico.
2. Cierre el break del circuito que alimenta la fuente Chroma en el laboratorio.

3. Cierre el circuito ramal desde la fuente Chroma hasta el punto de conexión de la carga por medio del break de protección.
4. Cierre el break del circuito que alimenta el tablero de tomacorrientes.
5. Conecte la carga en el tablero de tomacorrientes de la fuente
6. Instale el equipo de medición
7. Encienda la fuente Chroma
8. Encienda el equipo de medida
9. Configure la fuente Chroma de acuerdo a la prueba a realizar.
10. Configure el equipo de medida.
11. Energice el tablero de tomacorrientes desde la fuente.
12. Realice la toma de la medida.
13. Repita desde el paso 7 para tomar una nueva medida.
14. Una vez tome las muestras, proceda a almacenarlas en un archivo .xlsx

Este procedimiento sirve como apoyo para futuros trabajos de grado y se describe detalladamente en el Anexo B.

3.4 Metodología para realizar el análisis de las medidas

La metodología desarrollada para la ejecución del trabajo de grado se fundamenta en cinco etapas que van desde el acondicionamiento de la señal hasta el análisis de resultados como se muestra en la Figura 10.

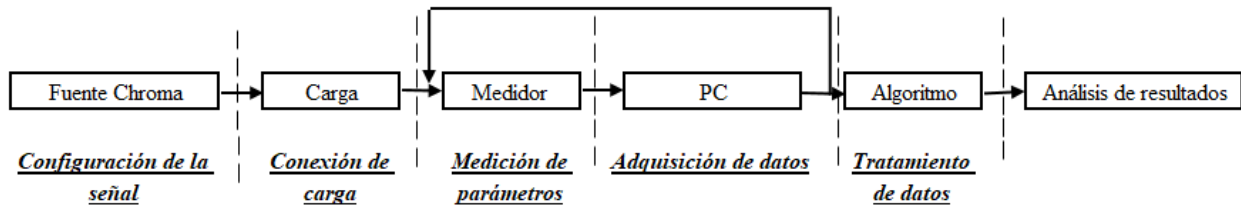


Figura 10. Etapas del proceso.

La etapa configuración de la señal consiste en la programación en la fuente Chroma de la señal de tensión de alimentación a la cual se va someter la carga. La conexión de carga consiste en instalar cada carga en el tablero de toma corrientes de la fuente controlada para someterla al proceso de medición.

La etapa medición de parámetros hace referencia al proceso en el que se obtienen y se almacenan los datos en la memoria portátil del analizador de calidad Dranetz HDPQ VISA. A continuación, la Figura 11 describe un ejemplo para un proceso de medición particular, con el fin explicar la metodología implementada.

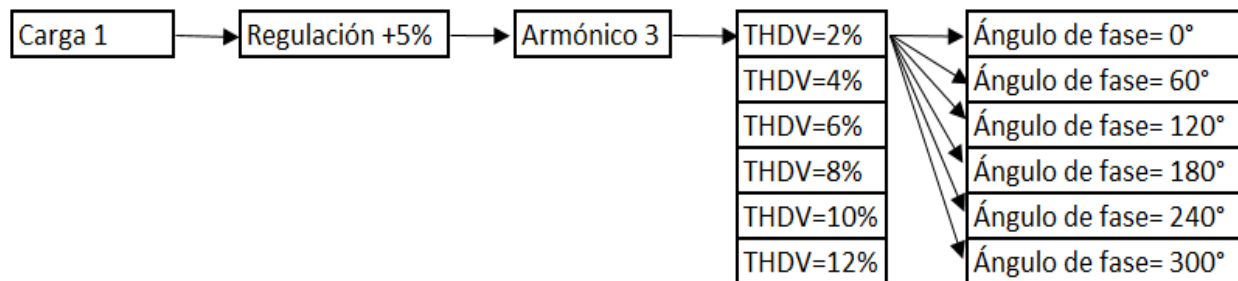


Figura 11. Ejemplo de mediciones realizadas

Para este ejemplo se seleccionó como caso de estudio la luminaria tipo CFL con una regulación de tensión de alimentación de +5% como punto de partida. Se elige la señal compuesta por la fundamental y el armónico 3, con un THDV del 2% y ángulo de fase de 0° para simular la señal

tensión de alimentación. De esta manera, la forma de tensión instantánea que alimenta la carga es la siguiente:

$$V(t)_{c1+5\%} = 125,98\sqrt{2} \cos(\omega_0 t) + 2,52\sqrt{2} \cos(3\omega_0 t + 0^\circ) [V] \quad \text{Ecuación 18}$$

$$V_{rmsc1+5\%} \approx 126 [V]$$

Donde la magnitud de las componentes armónicas se calcula de la siguiente manera:

$$120(1 + 5\%) = \sqrt{(120 * x)^2 + (120 * x * 2\%)^2}, \text{ por tanto } x = 1,0497$$

$$V_{fundamental_rms} = 120 * x = 120(1.0497) = 125,964 [V]$$

$$V_{armónico\ 3_rms} = 2\% * x * V_{fundamental_rms} = 2,52 [V]$$

Este procedimiento se realiza con el fin de garantizar la regulación de tensión de aproximadamente +5% y teniendo en cuenta que las magnitudes de las componentes armónicas dependen de la componente fundamental para la fuente controlada.

Ahora bien, existen 36 señales diferentes para estudiar el impacto de la señal de tensión de alimentación con componente fundamental más tercer armónico a una regulación de tensión de +5% del valor nominal, las cuales corresponden a 6 variaciones en el ángulo de fase de dicho armónico por los 6 cambios de distorsión de cada armónico (Ver Figura 11).

Para la etapa de adquisición de datos se establece una forma de almacenar la información de los archivos **tipo .xlsx** (salida de la etapa anterior) para facilitar el tratamiento de las medidas.

La Figura 12 ilustra la desagregación de carpetas y nombres utilizados. Los espacios resaltados corresponden a los *archivos .xlsx*. Para el caso *barrido armónico* los archivos se guardaron con los nombre 0, 60, 120, 180, 240, 300; haciendo referencia al ángulo de desfase del armónico en estudio; para las demás formas de onda de las señales de alimentación, estos archivos se guardaron con los nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; que corresponden a los cambios de regulación de tensión.

La Figura 13 permite identificar el significado de cada uno de los nombres asignados.

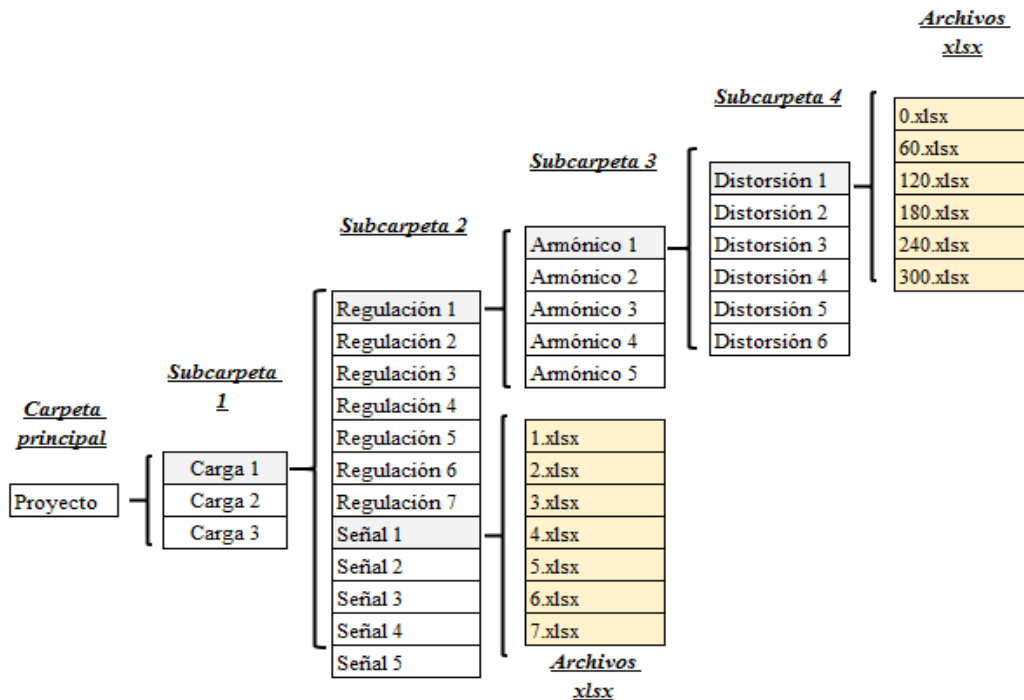


Figura 12. Organigrama de datos.

<u>Nombre asignado</u>	<u>Equivalencia</u>
Carga 1	Luminaria CFL
Carga 2	TV LCD
Carga 3	Luminaria LED

<u>Nombre</u>	<u>Equivalencia</u>
Regulación 1	Regulación +5%
Regulación 2	Regulación +3%
Regulación 3	Regulación +1%
Regulación 4	Regulación 0%
Regulación 5	Regulación -1%
Regulación 6	Regulación -3%
Regulación 7	Regulación -5%
Señal 1	Tipo Sinusoidal
Señal 2	Tipo Flat Top
Señal 3	Tipo Pointed Top
Señal 4	Medida casa 1
Señal 5	Medida casa 2

<u>Nombre asignado</u>	<u>Equivalencia</u>
Armónico 1	Componente fundamental más tercer armónico
Armónico 2	Componente fundamental más quinto armónico
Armónico 3	Componente fundamental más séptimo armónico
Armónico 4	Componente fundamental más noveno armónico
Armónico 5	Componente fundamental más onceavo armónico

<u>Nombre asignado</u>	<u>Equivalencia</u>
Distorsión 1	THDV 2%
Distorsión 2	THDV 4%
Distorsión 3	THDV 6%
Distorsión 4	THDV 8%
Distorsión 5	THDV 10%
Distorsión 6	THDV 12%

Figura 13. Equivalencia del organigrama de la información.

En la etapa tratamiento de datos se procesan un total de **3885 documentos *xlsx*** que contienen las señales de tensión y corriente para cada caso. Para ello, se utiliza el Software Matlab versión R2017a licenciado por la Universidad Industrial de Santander, esta etapa se consolida en los siguientes ítems.

1. Se desarrolla un algoritmo para importar las muestras de tensión y corriente del formato *.xlsx* a archivos *.mat*, esto permite almacenar y agilizar el procesamiento de la información.
2. Se diseña un algoritmo para calcular y guardar todas las variables necesarias para el análisis; por ejemplo, la descomposición de potencias propuesta en la IEEE 1459 y demás potencias, distorsión armónica total en corriente, entre otras.
3. Se elabora un algoritmo que facilita la identificación de variables para el análisis de los datos. La Figura 14 muestra un diagrama general en el que se fundamentan los algoritmos desarrollados.

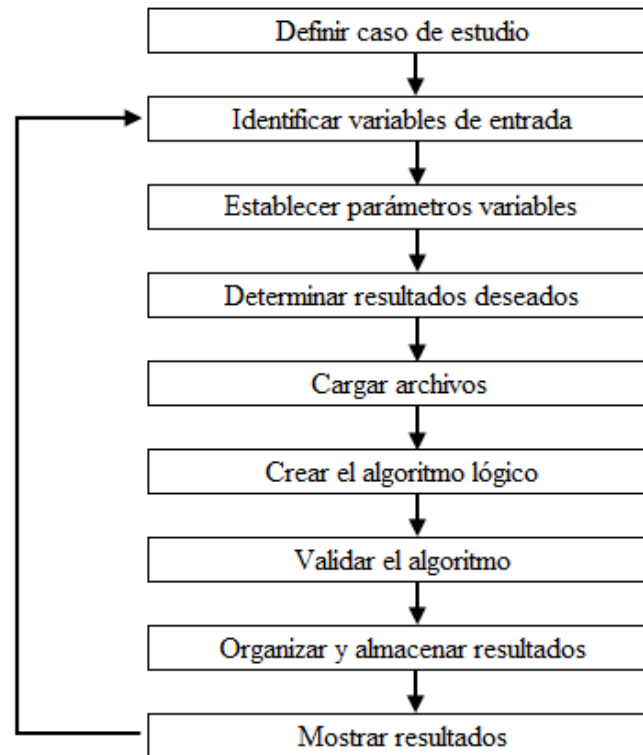


Figura 14. Diagrama general para el análisis de datos

Para el caso de la señal de tensión de alimentación denominada *barrido armónico* se clasifican parámetros variables y constantes como: carga, regulación de tensión, armónico en estudio, porcentaje de distorsión armónica total y fase. En las *demás señales*, la única variable es la regulación de tensión.

Identificadas las variables de entrada (constantes), los parámetros variables y los resultados deseados, se procede a cargar los **archivos .mat** requeridos para el caso de estudio, la creación del algoritmo lógico consiste en la implementación de funciones para identificar y operar variables, la validación del algoritmo consiste en verificar aleatoriamente algunos resultados, la organización y almacenamiento de la información es necesaria para evitar el cruce de información; por último, se debe seleccionar una manera de presentar la información (gráficas, tablas, entre otras) con el fin de facilitar el análisis de los resultados.

3.5 Análisis de resultados

En concordancia con el tipo de cargas no lineales seleccionadas, se realiza un análisis de la estimación de potencias desde dos puntos de vista: la **medida** y la **eficiencia energética**. Para el primer caso, se relacionan las variables propuestas por Budeanu y Fryze. Para el segundo caso, se implementa la metodología propuesta por el estándar IEEE 1459. Asimismo, en este capítulo se introduce el concepto de incertidumbre combinada asociado a una medición indirecta, el cual se detalla en el Anexo G.

3.5.1 Efecto de la distorsión de tensión de alimentación sobre la potencia en los modelos propuestos por Budeanu, Fryze e IEEE 1459. En la actualidad, algunas empresas implementan equipos de medición que usan algoritmos para calcular la energía consumida por los usuarios como el propuesto por Fryze y Budeanu. Estudios realizados por la Universidad de Twente (Amsterdam), en colaboración con la Universidad de Ciencias aplicadas (AUAS) y la Universidad de Tecnología de Hamburgo (Alemania) demuestran que existen contadores digitales que pueden proporcionar lecturas falsas de hasta 582% del consumo real de energía, atribuyéndole el error en la medida al diseño del medidor y a la utilización de dispositivos modernos basados en fuentes conmutadas (Leferink, Keyey, Malentjev, 2017, QAE).

En este sentido, surge la necesidad para este trabajo de grado de comparar los resultados obtenidos de la estimación de los parámetros de potencia con los algoritmos de Budeanu y Fryze, utilizando múltiples señales de tensión denominadas *barrido armónico* (Ver Figura 8). Las Figuras 15 a 17 muestran una comparación entre las potencias reactivas calculadas a partir de los modelos matemáticos Budeanu y Fryze para la luminaria tipo CFL, el televisor LCD y la luminaria tipo

LED, respectivamente. En estas figuras se presentan las diez configuraciones de la señal de tensión de alimentación para las cuales se tienen mayor diferencia entre la potencia no fundamental según el estándar IEEE 1459 (S_n) y la potencia no activa (Q_f) según Fryze. El Anexo C presenta más casos de estudio donde el criterio de selección es la mayor diferencia entre S_n y Q_f .

Cuando la configuración de la fuente de alimentación para la luminaria tipo CFL (Ver Figura 15) es R5%_A3_THDV4%_0 la cual corresponde a la regulación de tensión de +5%, señal de tensión con componente fundamental más tercer armónico, un THDV del 4% y ángulo de fase de 0°- Q_f registra un valor de $19,07 \pm 0,05$ [VAr] inductivo mientras que la potencia reactiva de Budeanu (Q_b) un valor de $9,78 \pm 0,04$ [VAr] capacitivo, aproximadamente un 50% de diferencia. Esta discrepancia radica en que la Q_f cuantifica la necesidad de potencia no activa y Q_b trata de cuantificar la potencia referente a efectos reactivos de la carga.

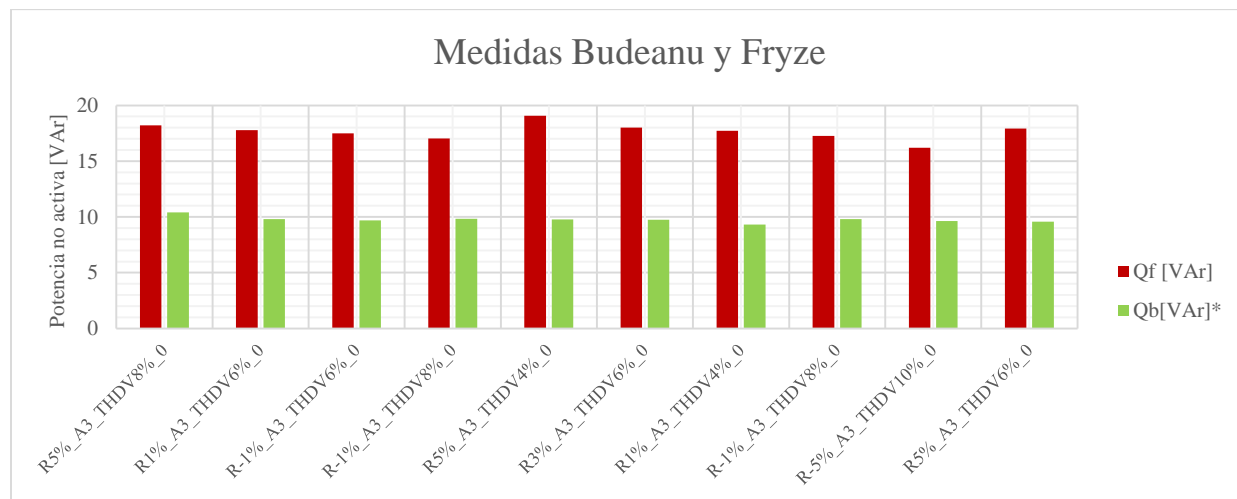


Figura 15. Medidas algoritmo Budeanu y Fryze para la CFL * Q_b según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.

Para el televisor LCD (Ver Figura 16), el registro de potencia reactiva en por unidad disminuye comparado con las dos luminarias, lo cual puede explicarse con el compensador de factor de

potencia activo propio de esta carga en su circuito. Para este caso particular la diferencia promedio es de aproximadamente 11 [VAr].

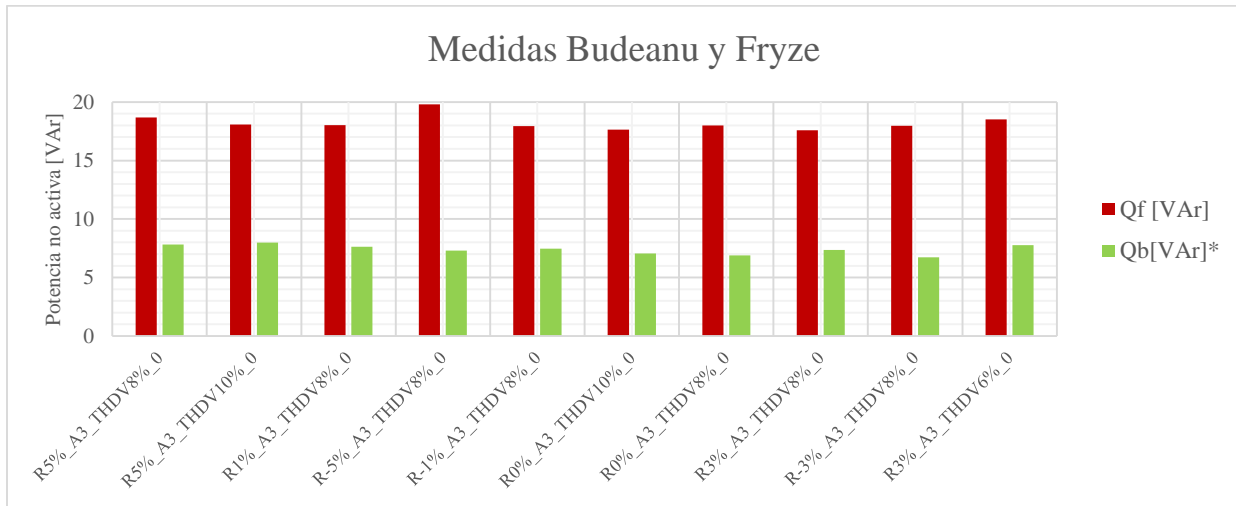


Figura 16. Medidas algoritmo Budeanu y Fryze para el televisor LCD. *Qb según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.

En el caso de la luminaria tipo LED (Ver Figura 17) Qf y Qb presentan diferencias alrededor del 50%. Al igual que en las dos cargas anteriores se mantiene la presencia de la señal de tensión de alimentación con componente fundamental y tercer armónico en fase.

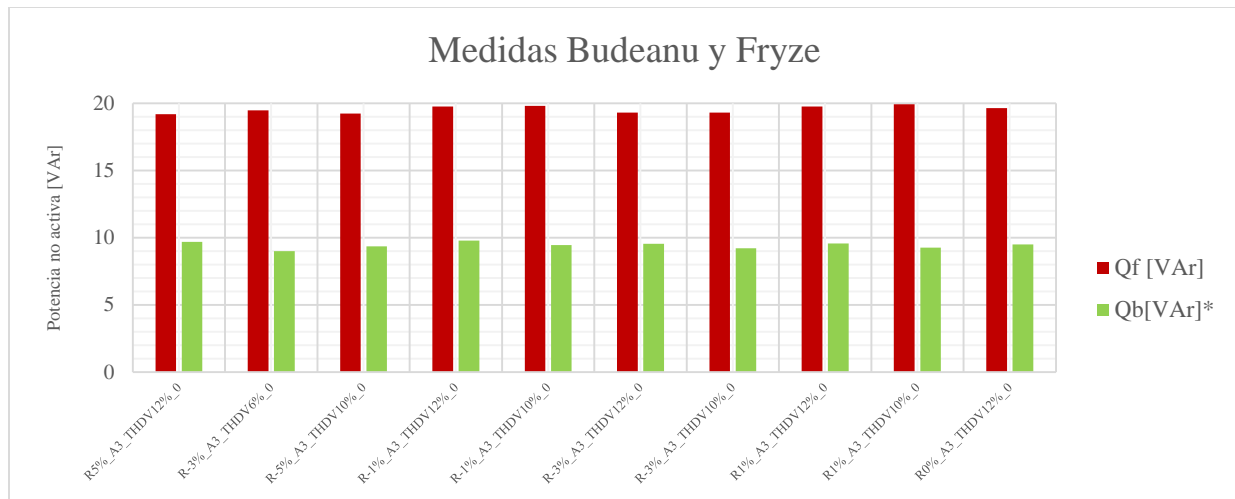


Figura 17. Medidas algoritmo Budeanu y Fryze para la luminaria tipo LED. *Qb según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.

Para las tres cargas de análisis la variación entre los dos algoritmos supera el 50%, por lo que se concluye que el algoritmo utilizado para la medición influye notoriamente en los resultados. Además, para las tres cargas, las medidas de Sn y Qf presentan una mayor discrepancia entre sí, para el caso donde las cargas son alimentadas con una tensión distorsionada que se modela como la suma de la componente fundamental y de la componente del tercer armónico.

Por otra parte, el estándar IEEE 1459 propone un modelo para calcular las potencias cuando las señales de tensión y corriente están distorsionadas. A continuación, se cuantifican los parámetros propuestos por este estándar para cada carga y un caso aleatorio de tensión de alimentación dentro de los 10 casos mostrados en las Figuras 15, 16 y 17. Los valores porcentuales son calculados teniendo en cuenta la relación cuadrática existente entre las potencias de este estándar.

La Figura 18 presenta la relación entre los valores estimados de las tres potencias características del modelo propuesto por el estándar IEEE 1459 para la luminaria tipo CFL y el caso de estudio R5%_A3_THDV4%_0, correspondiente a una señal de tensión de alimentación con una

regulación de tensión de +5%, con componente fundamental y un tercer armónico con un THDV del 4% y ángulo de fase de 0°.

Para este caso, la necesidad de potencia no fundamental (S_n) es del 47% respecto a la potencia de dimensionamiento (S). De este 47%, el 99,63% es requerido para suplir la potencia adicional debida a la distorsión en corriente, lo que demuestra el comportamiento no lineal de la carga y la ineficiencia de la misma. El factor de potencia de esta luminaria para este caso es de 0,5938.

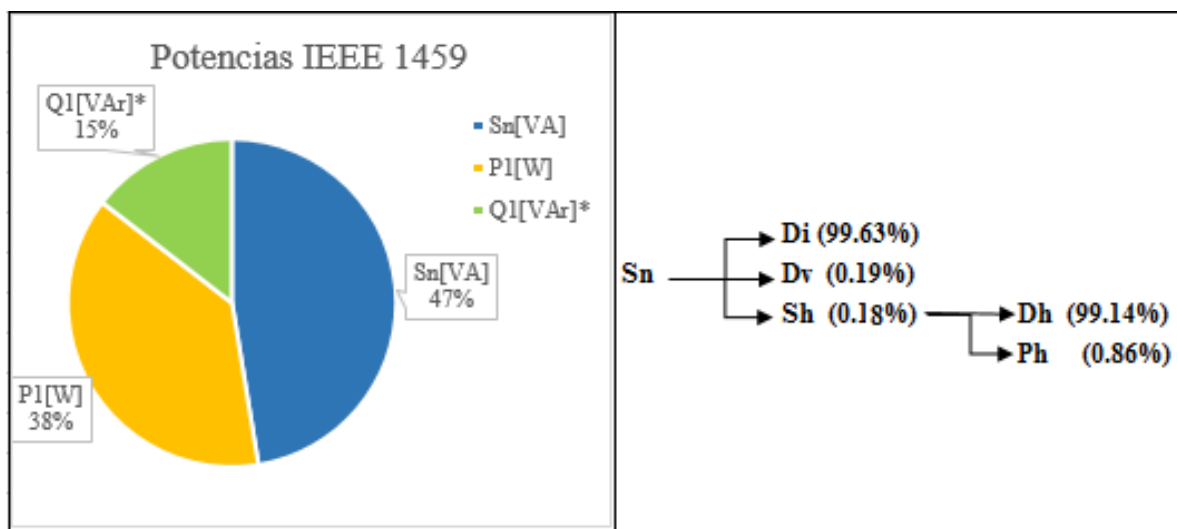


Figura 18. Caso aleatorio para la luminaria CFL: R5%_A3_THDV4%_0 *Q1 según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.

Para el televisor LCD el caso seleccionado es R1%_A3_THDV8%_0. El requerimiento de potencia no fundamental (S_n) disminuye en comparación con las luminarias debido al compensador del factor de potencia que se integra en su topología. En la Figura 19 se observa como S_n representa un 5% de la potencia de dimensionamiento (S) mientras que la potencia activa fundamental (P) constituye el 94% de la misma, lo que indica que su eficiencia aumenta con respecto a las otras cargas. Para el caso de la potencia no útil se aprecia que la potencia debida a

la distorsión en corriente aporta un 91,3%. En este caso el factor de potencia es: 0,9487 muy superior al del caso de la luminaria CFL.

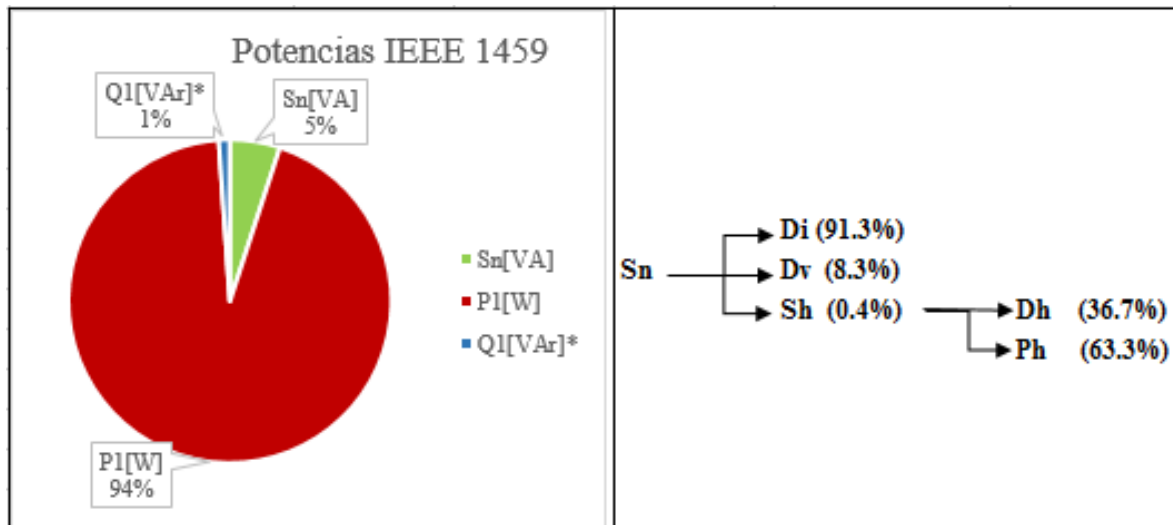


Figura 19. Caso aleatorio para el televisor LCD: R1%_A3_THDV8%_0 *Q1 según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.

Para el caso de estudio seleccionado para la luminaria LED es R1%_A3_THDV12%_0 (Ver Figura 20). La forma de onda de la corriente en la luminaria tipo LED es similar a la luminaria tipo CFL. La potencia no fundamental representa el 55% de la potencia de dimensionamiento en esta carga, de este porcentaje, el 98,2% es debida a la distorsión en la señal de corriente. El porcentaje de influencia de la distorsión en corriente es similar para las dos luminarias analizadas, a pesar de que la distorsión armónica de tensión es 8% mayor que para el caso de la luminaria LED.

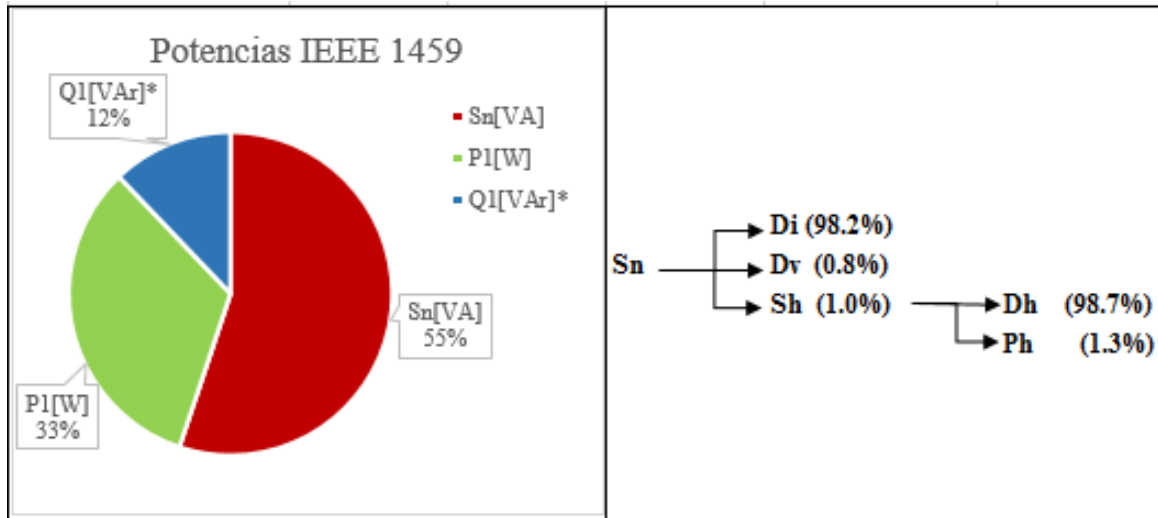


Figura 20. Caso de estudio luminaria LED con tensión de alimentación R1%_A3_THDV12%_0.

*Q1 según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.

Asimismo, en el Anexo C se presentan los resultados de las potencias no activas requeridas por las cargas al ser alimentadas con otras señales de tensión de alimentación descritas en la Figura 8 según IEEE 1459, en donde se evidencia un comportamiento similar a los descritos anteriormente en las Figuras 18 a 20.

Por otra parte, para las señales medidas en las residencias estrato 3 de la ciudad de Bucaramanga se calculan las potencias con algoritmos Budeanu, Fryze e IEEE 1459 para el caso cuyos resultados arrojaron mayor diferencia entre Sn y Qf, buscando analizar el comportamiento de las cargas en un escenario típico en donde la distorsión de la señales de tensión de alimentación son ocasionadas entre otras razones por los hábitos de los usuarios de la región en el uso de cargas como las analizadas en este trabajo. Los resultados consolidados se presentan en el Anexo D.

Cabe resaltar que en todos los escenarios de análisis la potencia calculada mediante el algoritmo de Budeanu (Qb) e IEEE (Q1) reflejan un consumo de potencia reactiva de carácter capacitivo con valores muy cercanos entre ellos, por otra parte, el algoritmo de Fryze cuantifica esta potencia

considerando solo la magnitud sin poder establecer si es de carácter inductivo o capacitivo. En todos los casos, la potencia debida a la distorsión de corriente predomina sobre la potencia debida a la distorsión de tensión durante el cálculo de potencias de acuerdo al método propuesto por IEEE, es decir, se concluye que la distorsión armónica en la onda de corriente (D_i) tiene mayor impacto en el consumo de potencias no fundamentales que la distorsión en la onda de tensión de alimentación (D_v). Este es debido a que en las figuras de estas dos señales se evidencia que la onda de corriente en estas cargas se distorsiona mucho más que la onda de tensión tal como se refleja en las diferencias entre las distorsiones armónicas totales de tensión y corriente.

3.5.2 Comportamiento de los parámetros de los modelos ZIP y exponencial frente a variaciones de amplitud, ángulo de fase, regulación y distorsión de la señal de tensión de alimentación La necesidad de definir un modelo que adopte las características a frecuencia fundamental de las cargas seleccionadas para este trabajo de grado ha originado la inclusión de los modelos de carga estáticos ZIP y Exponencial. En este sentido, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se ven afectados los parámetros que componen los Modelos ZIP y Exponencial cuando se presentan variaciones de la tensión de alimentación, partiendo de la premisa de que estos a menudo son formulados bajo condiciones sinusoidales. Para dar respuesta a esta pregunta se realizan una serie de experimentos similares a los del cálculo de potencia en los cuales se analiza el comportamiento de los parámetros ante la variación de la amplitud y la distorsión de la señal de tensión.

A continuación, se muestran algunos casos de estudio en dónde utilizando desde la *ecuaciones 1 a la 4* se realizan los cálculos de potencia activa y no activa, a partir de las cuales se implementa un ajuste cuadrático de los modelos con las medidas realizadas asumiendo que la carga tiene un

comportamiento constante de manera que de esta forma se garantiza la independencia lineal de las medidas. De igual manera se realiza un ajuste exponencial de las medidas para el segundo modelo. A partir de estos ajustes se calculan los diferentes parámetros que conforman los modelos y para los cuales se analiza su comportamiento al ser formulados bajo diferentes condiciones de distorsión de la señal de tensión. En todos los casos, la señal de tensión de alimentación es fijada en la fuente controlada a partir de las diferentes configuraciones citadas en la Figura 8 para las cuales se fija la componente fundamental y se añade un orden armónico diferente en cada nueva configuración, de forma que para cada señal solo existe la componente fundamental y una componente armónica.

Los valores de tensión de las figuras presentadas en este capítulo (eje de abscisas) corresponden al valor eficaz en por unidad tomando como base 120 V y su variación se hace proporcionalmente en las dos componentes armónicas que la conforman, tal y como se describe en el ejemplo de la etapa *medición de parámetros* en la sección 5.4. Así mismo, para el cálculo de potencia en por unidad (eje de ordenadas) se toma como base la potencia activa nominal de la carga.

3.5.2.1 Modelos estáticos para la luminaria tipo CFL La Figura 21 permite comparar la variación de los parámetros del modelo ZIP en potencia activa tras alimentar la carga con 4 señales diferentes de tensión distorsionada. Al someter la carga a distorsiones bajas, los modelos pueden ser comparados con el caso sinusoidal puro. Sin embargo, como se aprecia en la Figura 21, los resultados no son satisfactorios y por tanto los modelos formulados en condiciones sinusoidales no representan el comportamiento real de la potencia activa en condiciones de tensión distorsionada para la luminaria tipo CFL.

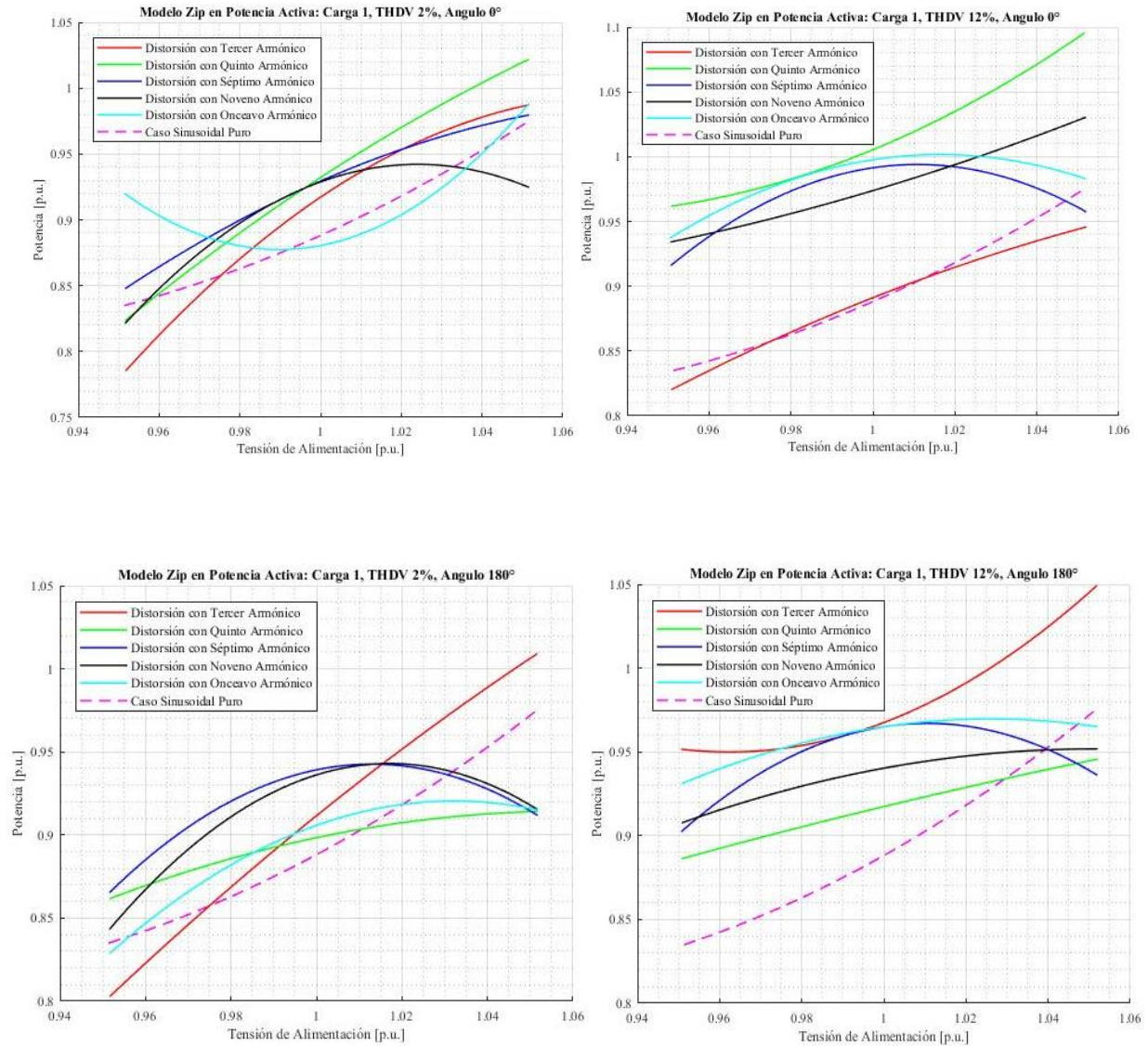


Figura 21. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia activa de algunos casos de estudio para la luminaria CFL.

Para el caso de la potencia no activa, la Figura 22 expone los resultados del modelo para las cargas en estudio. En esta figura se puede observar que, al incrementar la distorsión de la señal de tensión de alimentación, el consumo de potencia no activa también aumenta. Así mismo, al aumentar la distorsión, el modelo formulado en condiciones sinusoidales no describe

adecuadamente el comportamiento de la potencia no activa en condiciones distorsionadas de la tensión de alimentación.

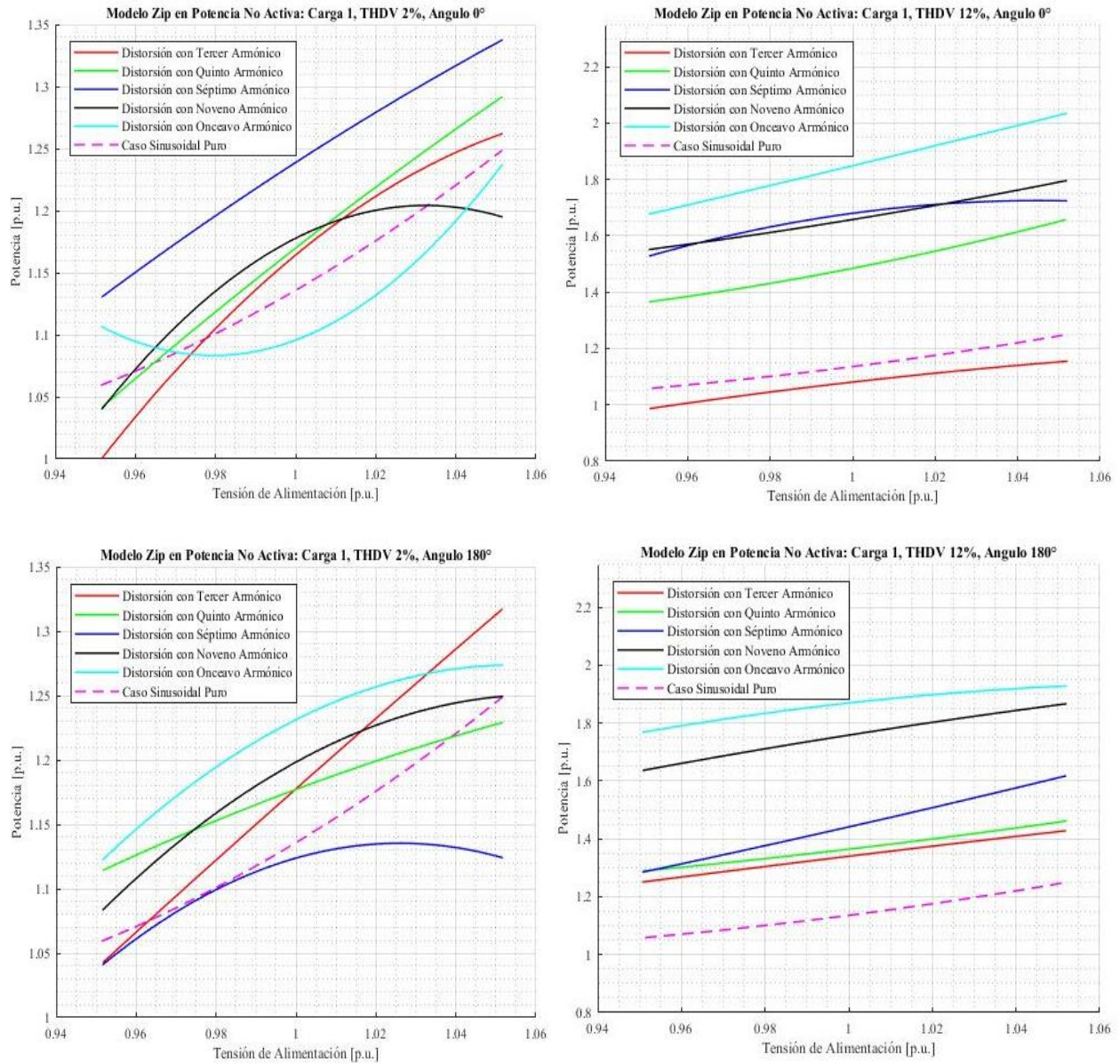


Figura 22. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia no activa de algunos casos de estudio para la luminaria CFL.

La Tabla 3 contiene los errores relativos porcentuales encontrados en los parámetros del modelo ZIP de los casos mostrados respecto al caso sinusoidal. Dicha diferencia oscila entre 13% y 1000%, donde los parámetros que más varían para esta carga en cuanto al comportamiento de potencia activa es Pp y en potencia reactiva Zq alcanzando una variación promedio en todas las medidas de 698% y 96,4% respectivamente. El Anexo E complementa dicha información, además contiene la metodología implementada para la estimación de dicho error.

Tabla 3.

Error relativo porcentual de los parámetros del modelo ZIP mostrados para la luminaria CFL.

Descripción		Error Porcentual Carga 1 [%]					
		P			Q		
		Zp	Ip	Pp	Zq	Iq	Pq
THDV2% 180°	Armónico 1	63,49	12,11	13,30	585,08	128,26	118,14
	Armónico 2	30,19	8,49	29,59	106,40	46,18	82,73
	Armónico 3	71,28	74,97	73,15	64,22	70,47	68,09
	Armónico 4	74,59	77,94	76,57	56,02	64,91	62,68
	Armónico 5	58,28	64,31	61,78	57,22	65,65	63,22
THDV12% 180°	Armónico 1	52,39	56,32	56,49	479,69	167,90	266,06
	Armónico 2	587,66	351,93	920,99	81,12	104,97	76,77
	Armónico 3	67,29	71,42	69,02	169,21	723,37	1153,29
	Armónico 4	35,11	13,47	39,55	56,44	2,48	21,23
	Armónico 5	13,73	25,76	13,19	33,35	48,11	39,65

Por otra parte, para el modelo Exponencial (Ver Figura 23), el consumo de potencia activa aumenta con el incremento del valor eficaz de la tensión. Además, al someter la carga a distorsiones bajas los parámetros mantienen la característica propia del caso sinusoidal, es decir, el comportamiento en el consumo de potencia es similar. Sin embargo, para un THDV alto y con

una tensión eficaz menor a 1 en p.u. el modelo se desvía del caso sinusoidal, lo que finalmente permite concluir que este modelo no satisface la formulación en condiciones sinusoidales cuando la carga se alimenta con señales de tensión distorsionadas.

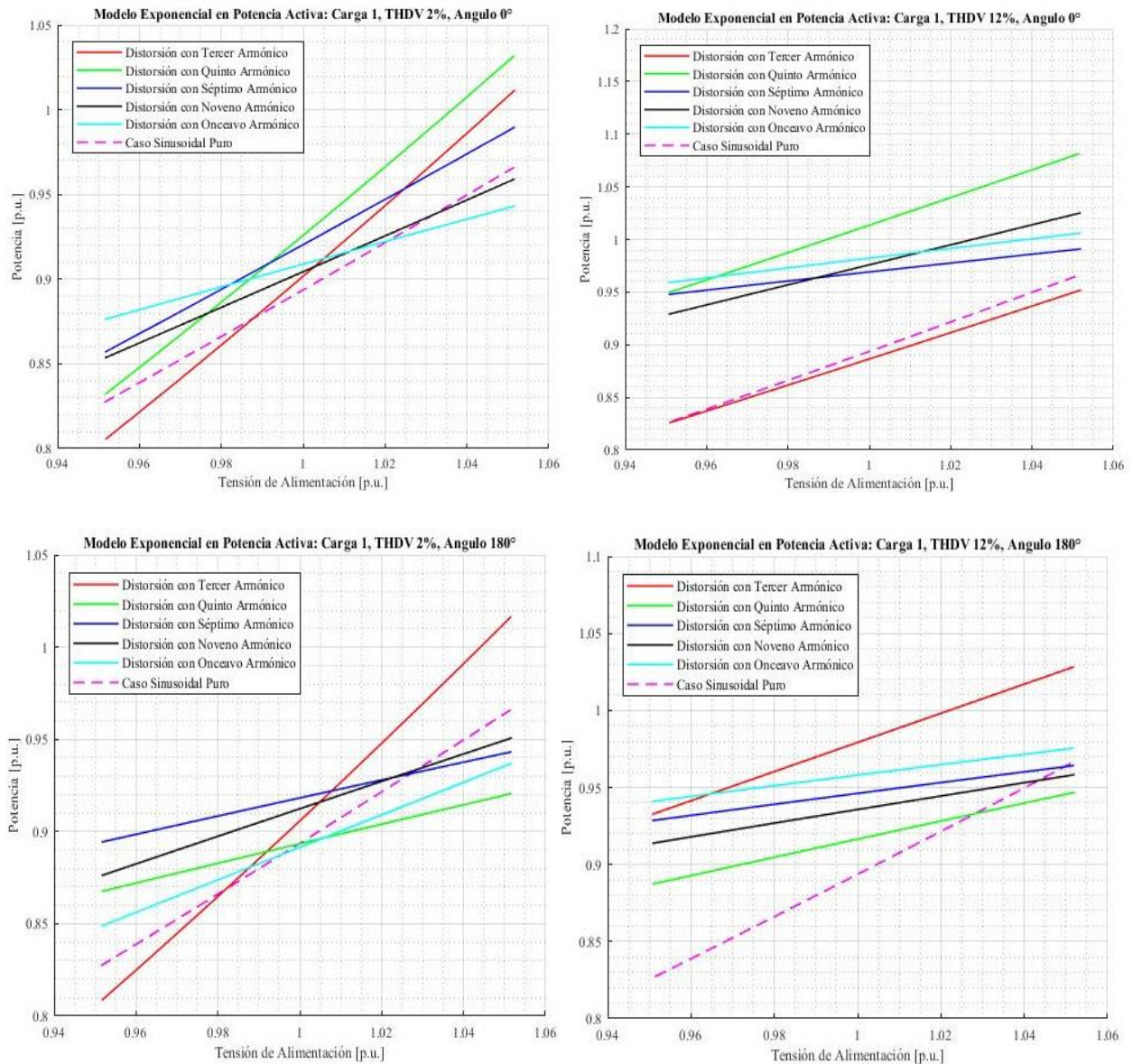


Figura 23. Comportamiento de los parámetros del modelo exponencial en potencia activa de algunos casos de estudio para la luminaria CFL.

Para el modelo Exponencial en el caso de la potencia no activa (Ver Figura 24), el consumo crece con el incremento del valor eficaz de la tensión. Al aumentar la distorsión armónica, los parámetros difieren del caso sinusoidal a excepción de la señal de tensión de alimentación compuesta por componentes fundamental y del tercer armónico con ángulo de fase de 0° y un THDV del 12%. Sin embargo, se identifica que los modelos obtenidos para las señales de tensión de alimentación distorsionadas se alejan de los obtenidos con el caso sinusoidal.

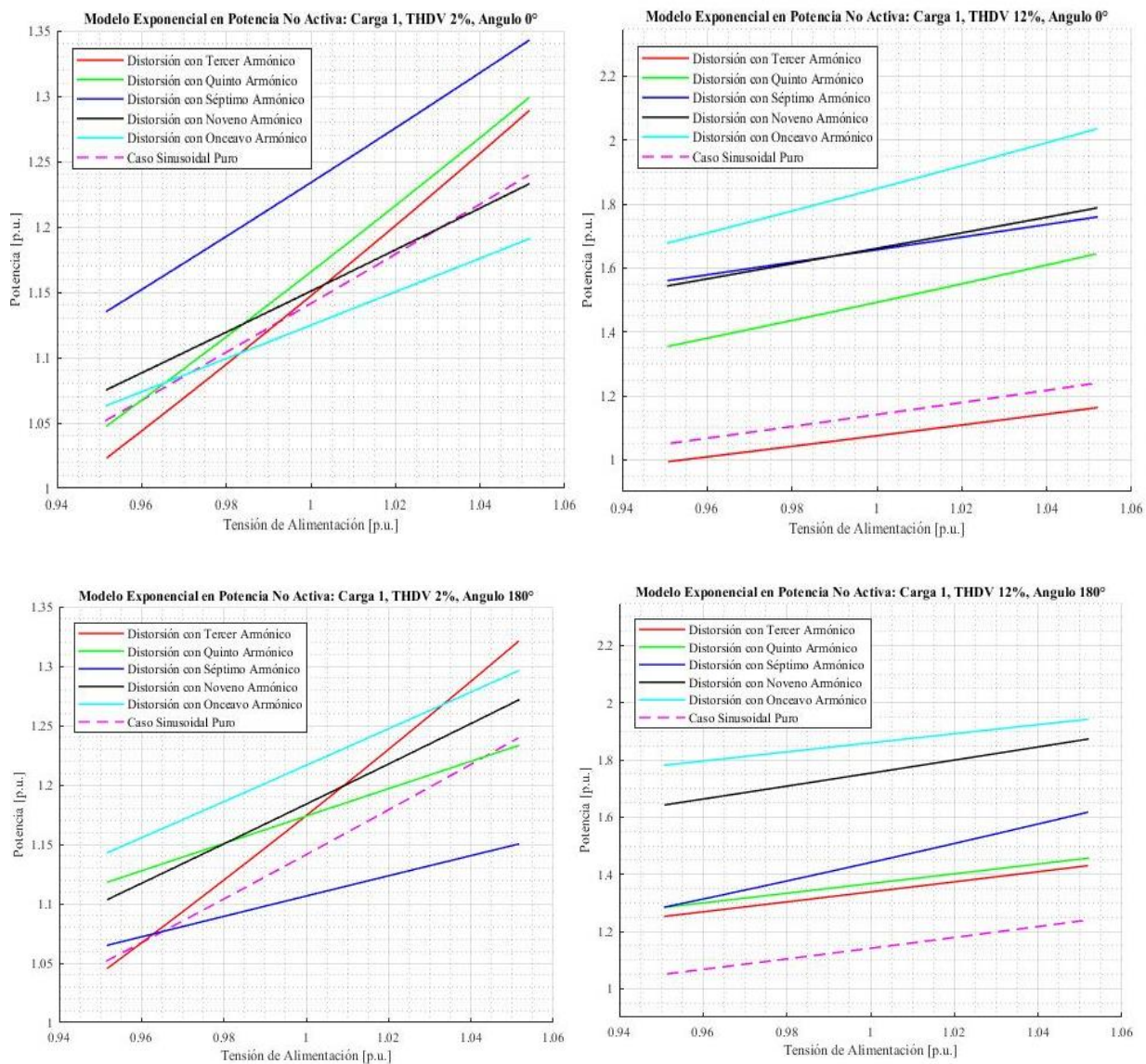


Figura 24. Comportamiento de los parámetros del modelo exponencial en potencia no activa de algunos casos de estudio para la luminaria CFL.

La Tabla 4 muestra los errores relativos porcentuales de los casos de estudio mostrados. La variación de los parámetros oscila entre 0,1% y 300% respecto al caso sinusoidal, donde Alfa alcanza una variación promedio en todas las medidas del 128,59% y Beta del 46%. El Anexo E complementa dicha información, además contiene la metodología implementada para la estimación de estos errores.

Tabla 4.

Error relativo porcentual de los parámetros del modelo Exponencial mostrados para la luminaria CFL.

		Error Porcentual Carga 1 [%]			
Descripción		P		Q	
		Po	Alfa	Qo	Beta
THDV2% 180°	Armónico 1	1,35	32,38	2,79	29,83
	Armónico 2	0,01	161,17	2,76	67,43
	Armónico 3	2,68	191,10	3,15	113,04
	Armónico 4	2,06	89,81	3,59	15,78
	Armónico 5	0,25	56,77	6,17	30,46
THDV12% 180°	Armónico 1	8,74	60,50	14,73	25,52
	Armónico 2	2,50	141,67	16,55	32,20
	Armónico 3	5,55	315,83	20,81	27,79
	Armónico 4	4,50	230,03	34,93	26,53
	Armónico 5	6,72	6,72	38,64	92,12

3.5.2.2 Modelos estáticos para el televisor LCD En la Figura 25, para un THDV del 2% el modelo ZIP del televisor analizado, en potencia activa presenta una desviación respecto al caso sinusoidal. Para el caso de un THDV del 2% y ángulo de fase de 180°, la señal de tensión de alimentación compuesta por componente fundamental y quinto armónico describe el consumo de

potencia activa análogo al caso sinusoidal. Sin embargo, al aumentar el THDV se concluye que los modelos distorsionados no describen el consumo de potencia del caso sinusoidal con la particularidad de que se agrupan el quinto y séptimo armónico así como el tercero y noveno armónico.

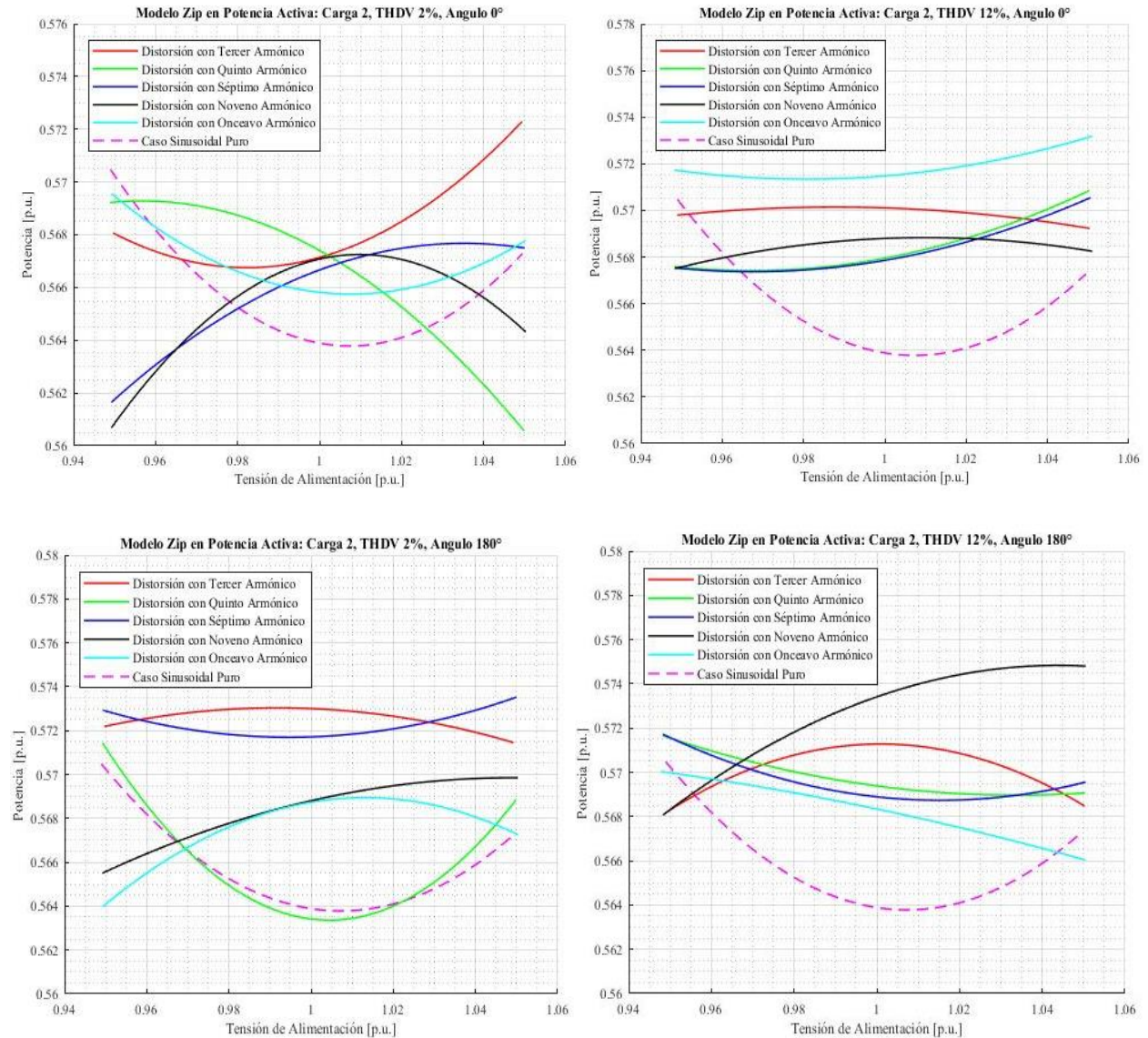


Figura 25. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia activa de algunos casos de estudio para el televisor LCD.

El perfil de consumo de potencia no activa de algunos casos en estudios se presenta en la Figura 26. Para el caso con una señal de tensión de alimentación compuesta por componente fundamental más tercer armónico con 0° de fase y un THDV del 2% se presenta un menor consumo de potencia no activa respecto al caso sinusoidal. Para el caso de una señal de tensión con un THDV 12% y mismo ángulo de fase, la señal distorsionada con tercer armónico presenta un menor consumo de potencia no activa respecto a los demás casos. Sin embargo, cuando se tiene la misma señal con la componente armónica en contrafase, presenta el mayor consumo de potencia cuando la tensión eficaz es menor a 1 en p.u.

De forma general, cuando la señal de tensión de alimentación está compuesta por armónico fundamental y séptimo armónico, el comportamiento en el consumo de potencia no activa crece con la tensión. Adicionalmente, en todos los escenarios con señal de tensión de alimentación distorsionada los parámetros de los modelos ZIP difieren a los obtenidos con el caso referencia.

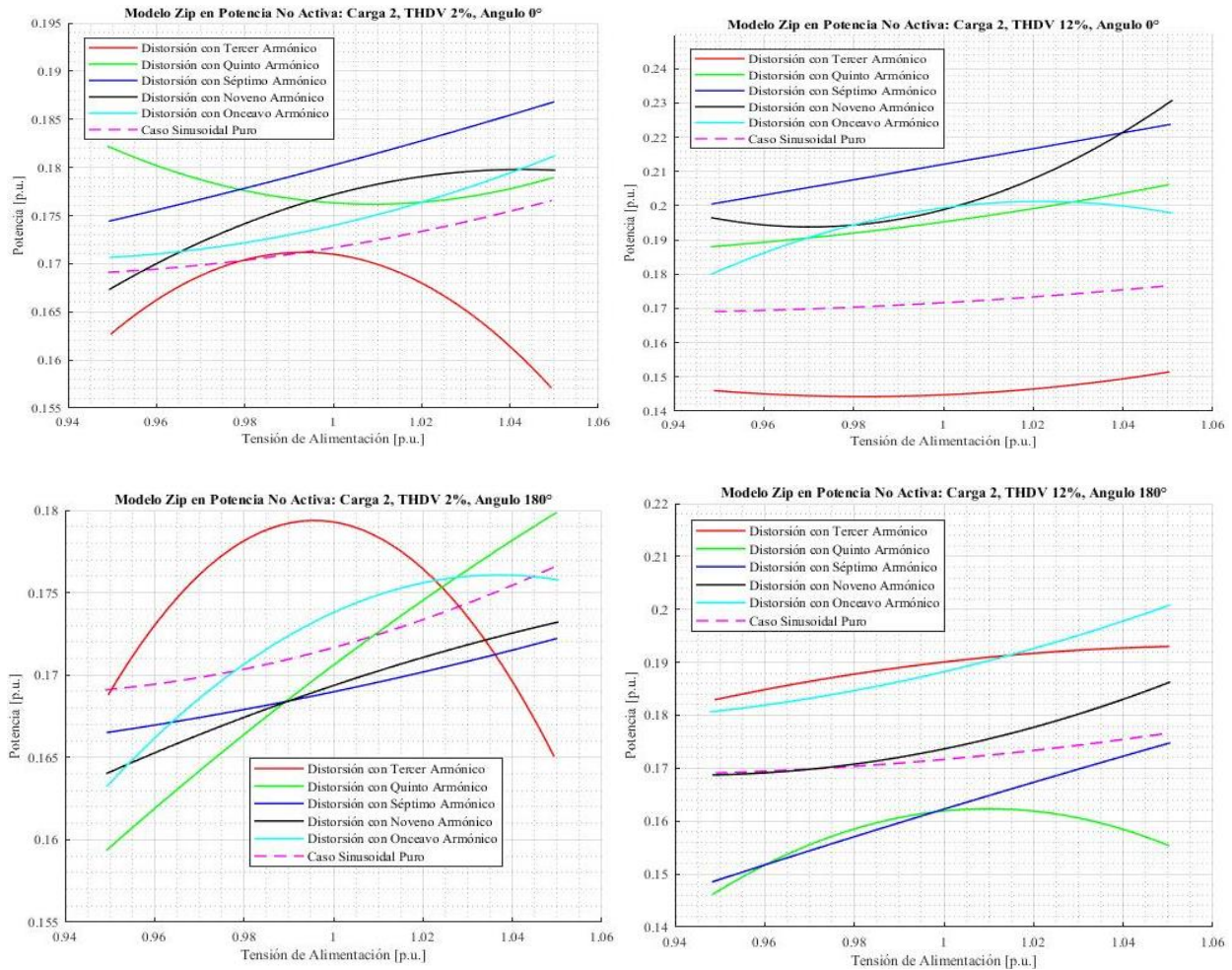


Figura 26. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia no activa de algunos casos de estudio para el televisor LCD.

En la Tabla 5 se tiene la estimación del error porcentual en el cálculo de los parámetros ZIP para los diferentes escenarios de operación que se presentaron, estas diferencias oscilan desde el 1% hasta 435%, donde los parámetros que más varían para esta carga en cuanto al comportamiento de potencia activa es I_p y en potencia reactiva Z_q alcanzando una variación promedio en todas las medidas de 775% y 181% respectivamente. El Anexo E complementa dicha información, además contiene la metodología implementada para el cálculo del parámetro correspondiente.

Tabla 5.

Error relativo porcentual de los parámetros del modelo ZIP mostrados para el televisor LCD.

Descripción		Error Porcentual Carga 2 [%]					
		P			Q		
		Zp	Ip	Pp	Zq	Iq	Pq
THDV2% 180°	Armónico 1	310,56	316,95	2420,18	90,21	90,92	87,73
	Armónico 2	25,82	25,61	20,96	37,29	1,46	50,49
	Armónico 3	229,06	233,25	120,11	205,32	243,00	115,08
	Armónico 4	349,99	332,09	2786,70	72,94	37,51	186,95
	Armónico 5	61,43	60,51	275,33	70,84	74,04	63,99
THDV12% 180°	Armónico 1	70,92	72,02	339,95	38,94	46,90	17,39
	Armónico 2	435,16	421,43	166,19	88,61	89,59	86,10
	Armónico 3	196,44	194,12	104,35	185,33	50,46	120,02
	Armónico 4	165,56	156,26	1000,82	67,86	68,53	61,50
	Armónico 5	1413,69	1694,66	436,23	52,02	50,92	41,94

El modelo Exponencial que describe el comportamiento de la potencia activa para algunos casos de estudio en el televisor LCD se presenta en la Figura 27. La estimación de la potencia activa y no activa con el modelo Exponencial bajo condiciones de distorsión de la señal de tensión en cualquier distorsión y ángulo de fase difiere al obtenido con condiciones de tensión sinusoidal. Existen algunas excepciones como, por ejemplo, el comportamiento de la señal de tensión compuesta por componente fundamental más onceavo armónico con un THDV del 2% y ángulo 0°; en el cual, comportamiento de la Figura 27 es similar al caso de referencia, es decir para el caso de bajas distorsiones. Sin embargo, para un THDV del 12% y ángulo de 0° en la señal de tensión compuesta por componente fundamental y quinto armónico se asemeja al caso sinusoidal.

Por otro lado, para la señal de tensión compuesta por componente fundamental y noveno armónico, se observa una característica creciente en la curva de potencia activa al aumentar el

valor eficaz de la señal de tensión de alimentación para todos los casos de operación analizados. Asimismo, para el caso de la señal de tensión de alimentación compuesta por componente fundamental y séptimo armónico presenta variaciones con respecto al caso de referencia en cada situación de operación analizada.

En el caso de una tensión de alimentación con un THDV del 12% y ángulo de fase de 180° , el consumo de potencia activa de esta carga decrece con el aumento de la tensión eficaz cuando la señal de tensión de alimentación está compuesta por componente fundamental más componente armónica quinta, séptima u onceava.

El perfil de consumo de potencia no activa para el televisor LCD en el modelo Exponencial se ilustra en las Figura 28. Para un THDV del 2%, 0° y señal de tensión de alimentación distorsionada con componentes armónicas 7, 9 o 11, se presenta un comportamiento creciente en el consumo de potencia no activa, mientras que, con las señales de tensión distorsionada con tercer o quinto armónico, se tiene un comportamiento decreciente en el consumo para el mismo escenario. No obstante, al aumentar la distorsión, el comportamiento es creciente en todos los casos y alejados del caso sinusoidal.

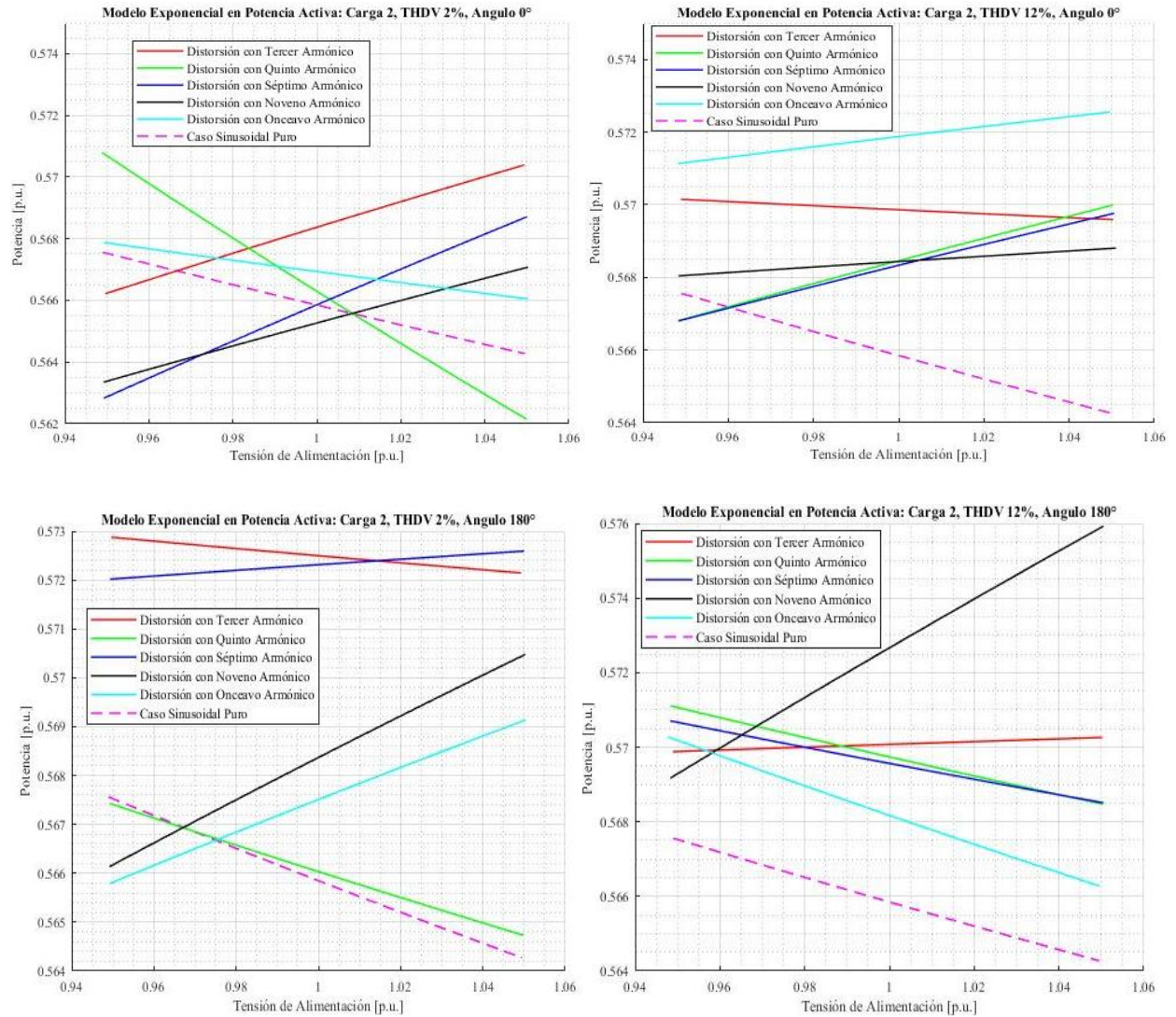


Figura 27. Comportamiento de los parámetros del modelo Exponencial en potencia activa de algunos casos de estudio para el televisor LCD.

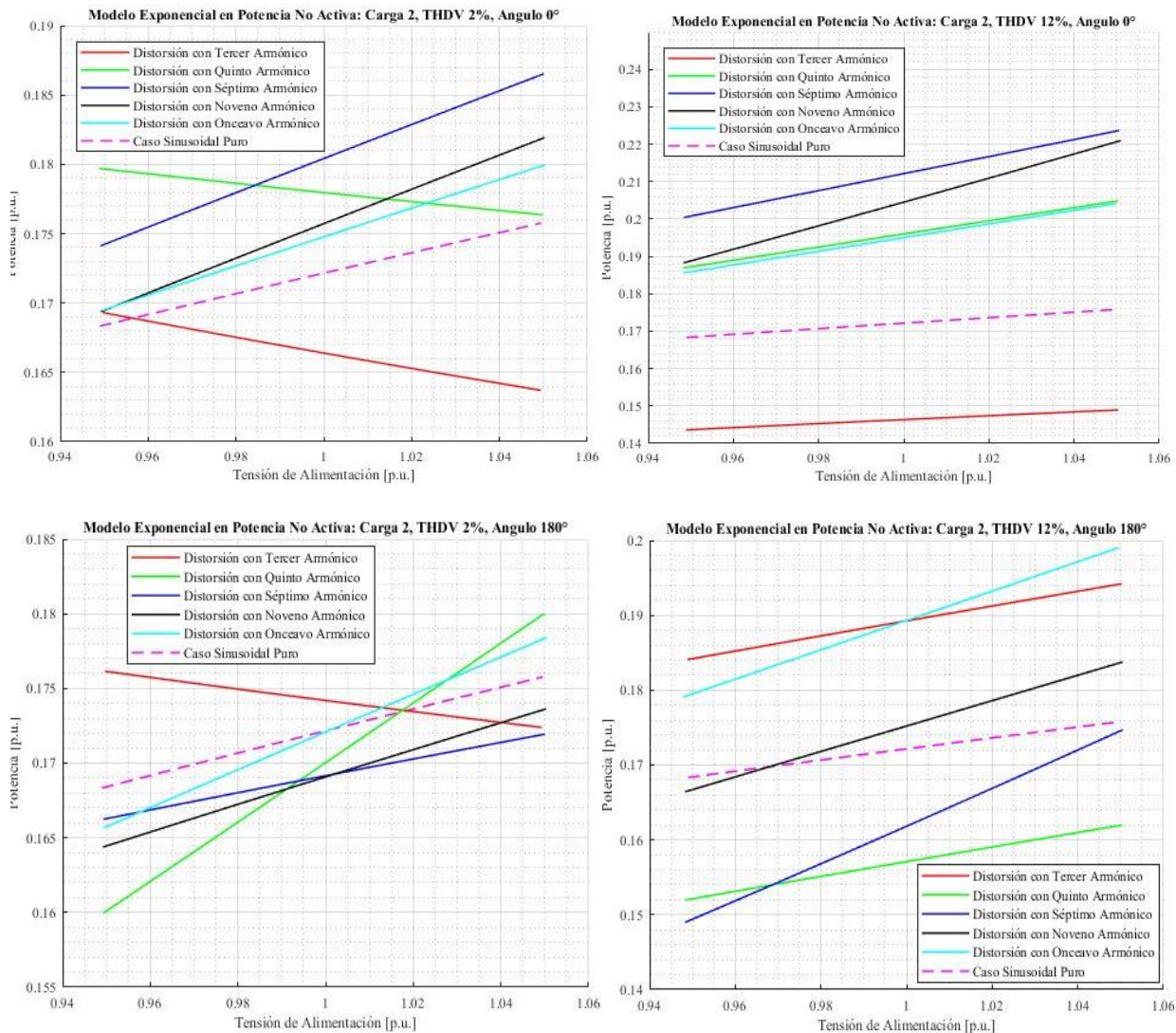


Figura 28. Comportamiento de los parámetros del modelo Exponencial en potencia no activa de algunos casos de estudio para el televisor LCD.

En la Tabla 6 se cuantifican los errores porcentuales de cada uno de los parámetros correspondientes al modelo Exponencial para los casos en estudio. Es destacable el amplio error calculado en la potencia activa para el parámetro Alfa y en la potencia reactiva para el parámetro Beta, en ciertos escenarios puede sobrepasar al 90%, donde Alfa alcanza una variación promedio en todas las medidas del 180% y Beta del 48%. El Anexo E complementa dicha información.

Tabla 6.

Error relativo porcentual de los parámetros del modelo Exponencial mostrados para el televisor LCD.

		Error Porcentual Carga 2 [%]			
Descripción		P		Q	
		Po	Alfa	Qo	Beta
THDV2% 180°	Armónico 1	1,17	350,78	1,15	98,38
	Armónico 2	0,04	21,99	1,29	63,42
	Armónico 3	1,14	482,83	1,77	28,40
	Armónico 4	0,46	23,58	1,83	20,68
	Armónico 5	0,30	0,86	0,06	41,44
THDV12% 180°	Armónico 1	0,75	774,24	9,03	18,62
	Armónico 2	0,68	27,37	9,61	31,29
	Armónico 3	0,67	53,05	6,43	72,42
	Armónico 4	1,20	49,96	1,71	55,69
	Armónico 5	0,42	16,26	9,03	58,56

3.5.2.3 Modelos estáticos para la lámpara LED La Figura 29 muestra algunos casos de estudio del modelo ZIP en potencia activa para la luminaria tipo LED. Cuando se alimenta la carga con ondas distorsionadas con componentes del tercero y quinto armónico se alcanza el máximo consumo de potencia activa cerca a la tensión de 1 p.u., caso contrario de las demás perturbaciones donde la mayor potencia es alcanzada cuando la tensión eficaz es mayor al valor nominal (caso de un THDV del 2% y ángulo de 0°). Para todos los casos, los parámetros del modelo ZIP cambian respecto al caso sinusoidal.

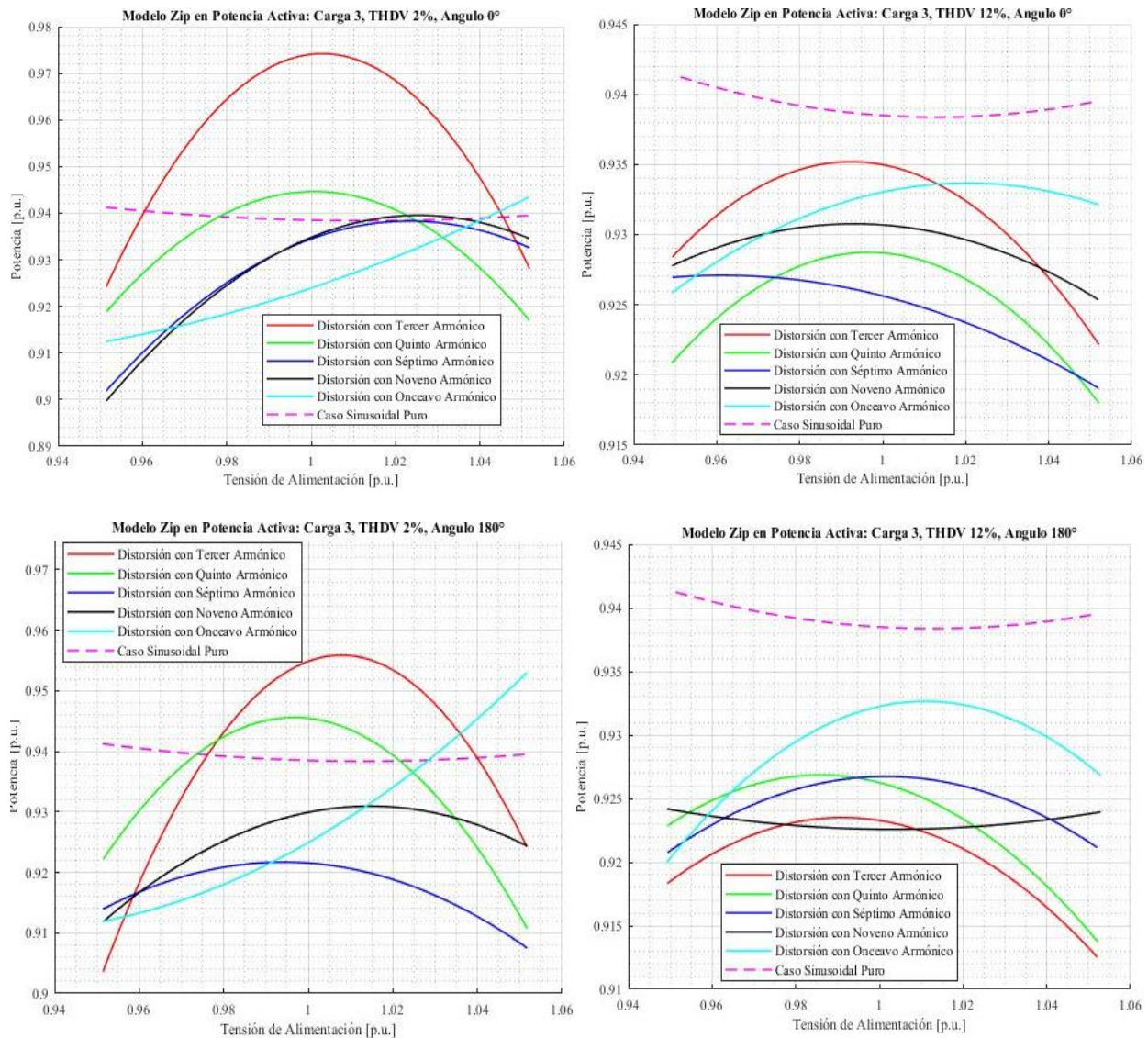


Figura 29. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia activa de algunos casos de estudio para la luminaria LED.

El modelo ZIP en potencia no activa para algunos casos se ilustra en la Figura 30. Se presenta un comportamiento creciente con el aumento del valor eficaz de tensión. Para algunos casos de señales de tensión de alimentación distorsionadas, el aumento del THDV produce un incremento del consumo de potencia, como, por ejemplo, en la señal de tensión de alimentación compuesta por componentes fundamental y del noveno armónico con ángulo de fase de 0°. Para el caso un

THDV del 12% y señal de tensión de alimentación con componente fundamental más tercer armónico en fase, el comportamiento del consumo de potencia no activa se aproxima al caso sinusoidal. En general, el comportamiento del consumo de potencia no activa es disperso entre los casos de señales de tensión de alimentación distorsionados.

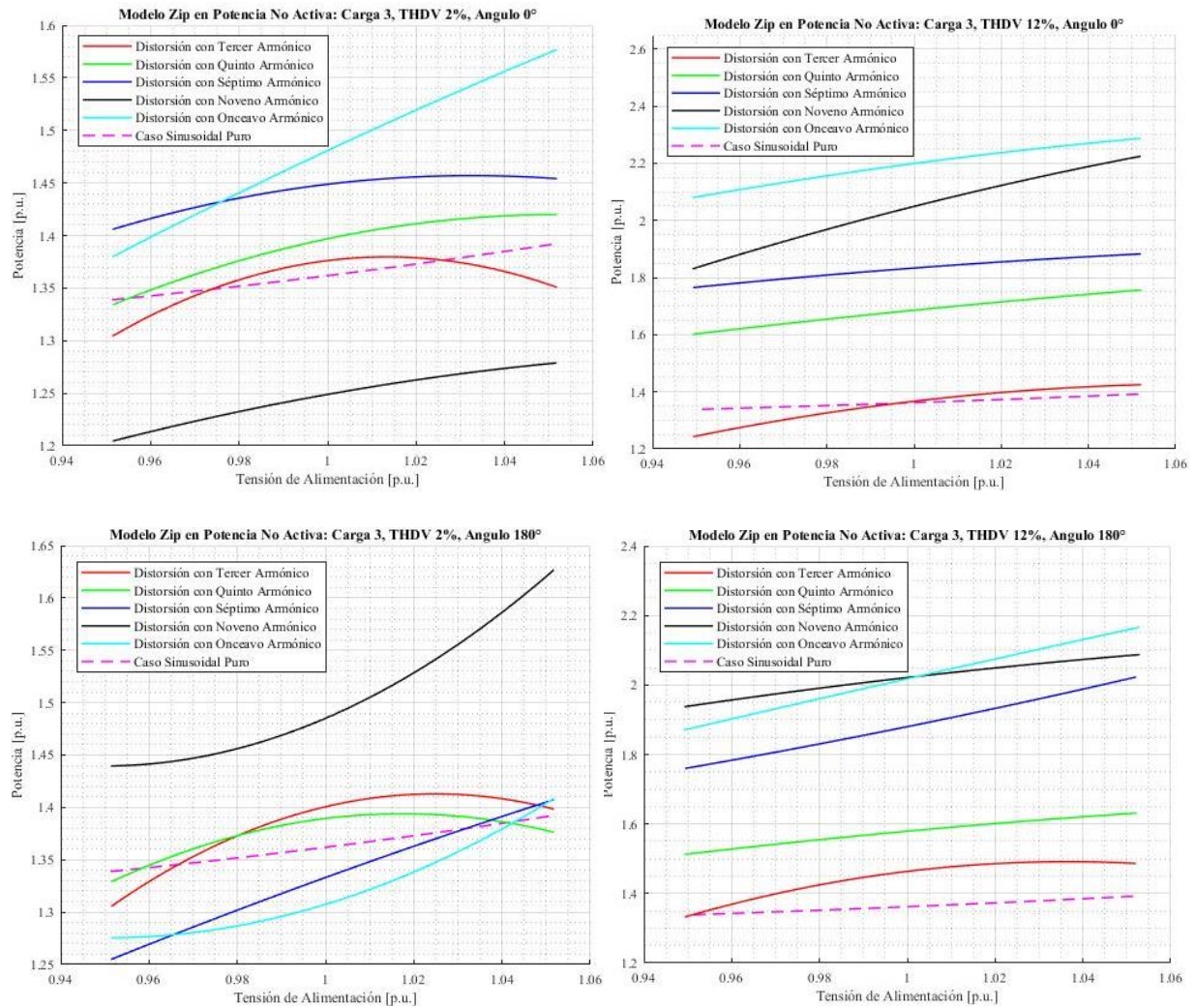


Figura 30. Comportamiento de los parámetros del modelo ZIP en potencia no activa de algunos casos de estudio para la luminaria LED.

Los valores de error presentados en la Tabla 7 en su mayoría son superiores al 50% para todos los parámetros, donde los que más varían para esta carga en cuanto al comportamiento de potencia activa es Pp y en potencia reactiva Zq alcanzando una variación promedio en todas las medidas de 272% y 76% respectivamente. Debido a esto, no se permite establecer un perfil similar al caso sinusoidal. El Anexo E complementa dicha información.

Tabla 7.

Error relativo porcentual de los parámetros del modelo ZIP mostrados para la luminaria LED.

Descripción		Error Porcentual Carga 3 [%]					
		P			Q		
		Zp	Ip	Pp	Zq	Iq	Pq
THDV2% 180°	Armónico 1	95,40	95,38	89,12	94,35	95,78	89,97
	Armónico 2	93,42	93,31	83,62	92,47	94,33	86,10
	Armónico 3	82,29	81,95	48,00	34,95	65,40	1,77
	Armónico 4	84,20	84,23	57,10	93,72	94,93	88,87
	Armónico 5	72,44	69,88	47,53	91,27	92,96	84,85
THDV12% 180°	Armónico 1	74,46	73,90	13,61	94,61	96,02	90,66
	Armónico 2	74,68	73,98	13,21	63,52	76,47	26,59
	Armónico 3	65,55	65,16	34,52	67,92	61,41	30,94
	Armónico 4	37,24	38,57	16,05	71,30	81,45	41,72
	Armónico 5	77,22	77,18	30,32	26,09	62,78	13,29

Los modelos Exponenciales en potencia activa de algunos casos de estudio para la luminaria tipo LED se presentan en la Figura 31. Para un THDV del 2% con ángulo de 0°, las señales de tensión de alimentación distorsionadas con componentes armónicas de orden mayor (5, 7 y 11) tienen curvas de consumo semejantes, caso contrario a las distorsiones con componentes fundamental más tercer o quinto armónico, en donde el consumo de potencia tiende a ser constante.

Con un THDV del 12% las ondas distorsionadas se alejan del comportamiento de la onda sinusoidal.

Para el caso de un THDV del 12% y ángulo 180° se destacan las señales de tensión de alimentación distorsionadas con séptimo y noveno armónico, ya que presentan un perfil de consumo constante ante las variaciones de tensión que pueda experimentar la carga.

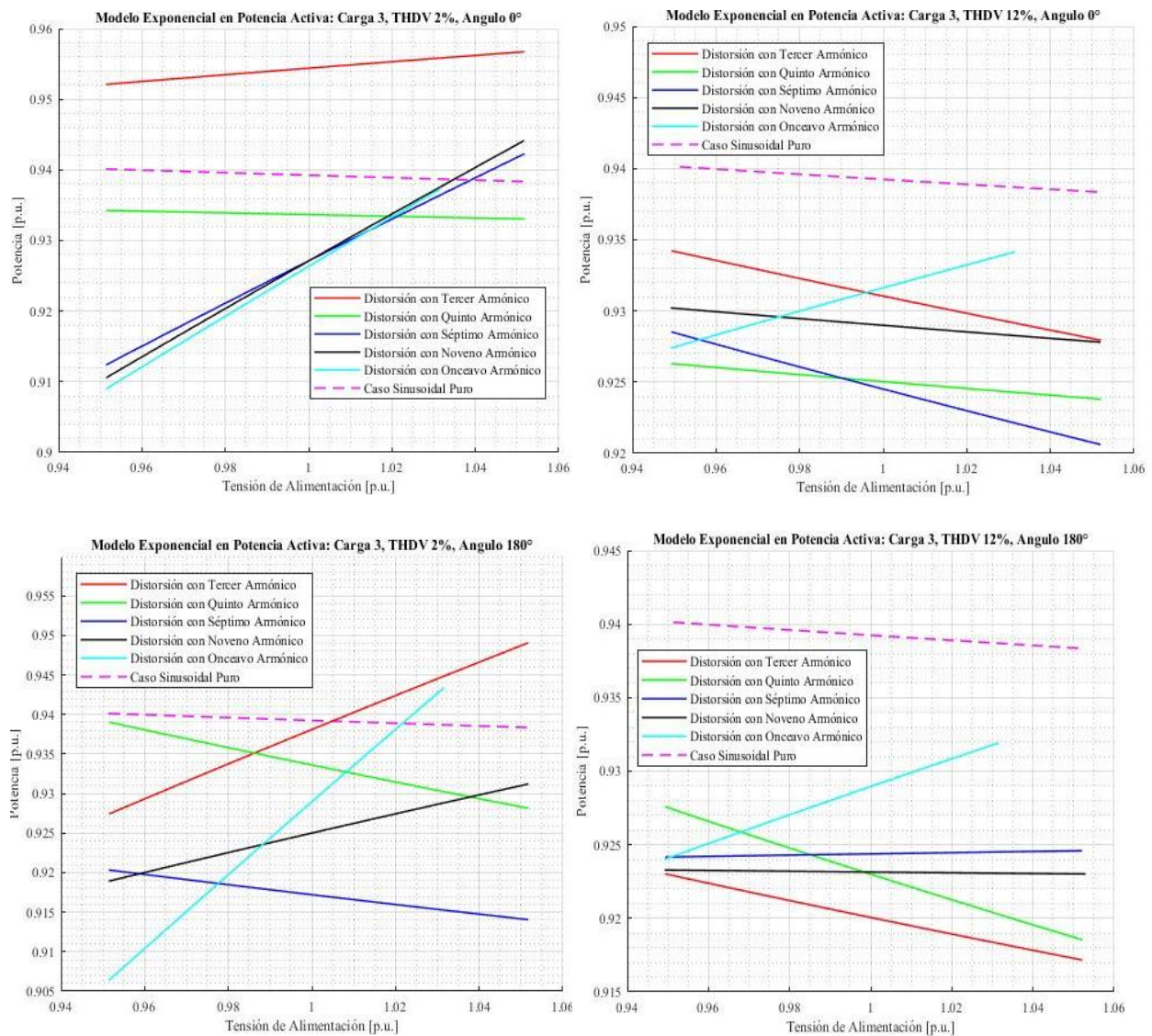


Figura 31. Comportamiento de los parámetros del modelo Exponencial en potencia activa de algunos casos de estudio para la luminaria LED.

El consumo de potencia no activa modelado exponencialmente se presenta en la Figura 32, donde el perfil de consumo de potencia no activa crece, para los casos de ondas distorsionadas y el caso sinusoidal puro, con el aumento del valor eficaz de la tensión.

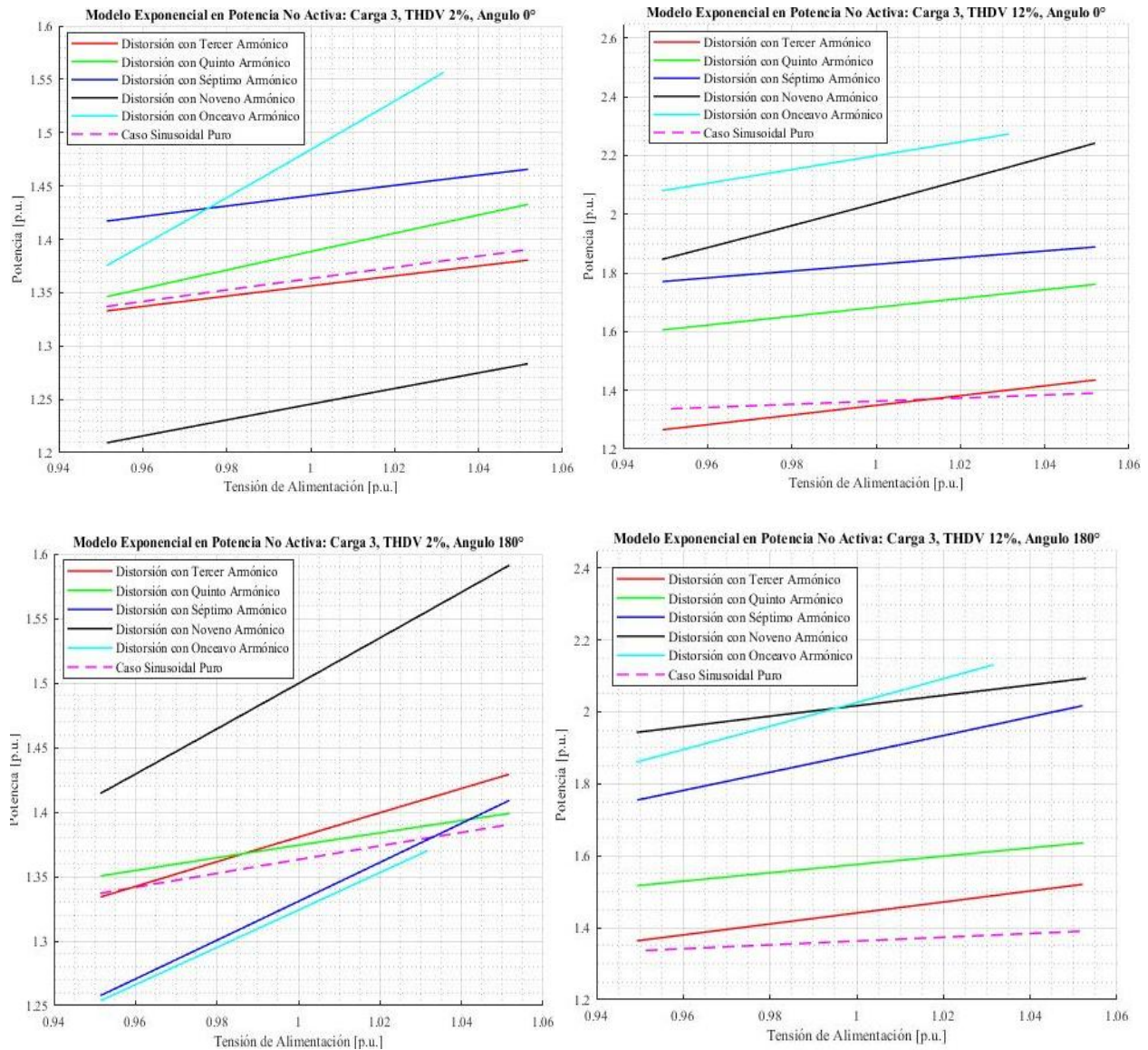


Figura 32. Comportamiento de los parámetros del modelo Exponencial en potencia no activa de algunos casos de estudio para la luminaria LED.

La Tabla 8 presenta los errores correspondientes a cada uno de los parámetros que componen el modelo Exponencial de los casos mostrados, donde es posible evidenciar como aumenta el error tras el aumento del THDV en la señal de tensión de alimentación, para un THDV del 2% el error máximo es del 95,72% y con un THDV del 12% se pueden presentar errores de hasta el 572%. Además, Alfa alcanza una variación promedio en todas las medidas del 154.28% y Beta del 54.27%. El Anexo E complementa dicha información, además contiene la metodología implementada para el cálculo de dicho error.

Tabla 8.

Error relativo porcentual de los parámetros del modelo Exponencial mostrados para la luminaria LED.

Error Porcentual Carga 3 [%]					
Descripción		P		Q	
		Po	Alfa	Qo	Beta
THDV2% 180°	Armónico 1	0,12	91,84	1,25	43,31
	Armónico 2	0,60	83,86	0,81	10,74
	Armónico 3	2,40	72,47	2,43	65,60
	Armónico 4	1,54	85,81	9,10	66,84
	Armónico 5	1,23	95,72	3,26	60,64
THDV12% 180°	Armónico 1	2,08	69,63	5,41	63,20
	Armónico 2	1,76	80,27	13,50	46,90
	Armónico 3	1,60	317,78	27,61	71,27
	Armónico 4	1,74	571,43	32,42	45,78
	Armónico 5	1,13	73,96	32,38	72,44

3.5.2.4 Validación del modelo con mejor ajuste La finalidad de esta sección es validar un modelo ZIP y Exponencial por carga de los **1260** encontrados en el desarrollo de este trabajo de

grado. La selección del modelo es con base en las ecuaciones 5 y 6, las cuales condicionan que la adición de los coeficientes Zp , Ip y Pp debe ser igual a la unidad.

Para cada carga, se selecciona el modelo que mejor se ajuste a esta condición, estos se presentan a continuación:

1. Modelo seleccionado para la luminaria CFL: Señal de tensión de alimentación con un THDV del 12%, compuesta por componente fundamental y onceavo armónico en fase.

✓ Modelo ZIP

$$P = \left[42.6255 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 - 71.0955 \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + 43.077 \right] [W] \quad \text{Ecuación 19}$$

$$Q = \left[76.1805 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 - 116.2935 \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + 64.9815 \right] [VAr] \quad \text{Ecuación 20}$$

✓ Modelo Exponencial

$$P_i = 7.0815 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^{0.9822} [W] \quad \text{Ecuación 21}$$

$$Q_i = 28.6515 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^{1.8483} [VAr] \quad \text{Ecuación 22}$$

2. Modelo seleccionado para el televisor LCD: Señal de tensión de alimentación con un THDV del 8%, compuesta por componente fundamental y noveno armónico desfasado 240° ($\frac{4\pi}{3}$ rad).

✓ Modelo ZIP

$$P = \left[0.437 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + 16.8935 \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + 49.1625 \right] [W] \quad \text{Ecuación 23}$$

$$Q = \left[-456.566 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + 954.684 \left(\frac{V_i}{V_0} \right) - 467.82 \right] [VAr] \quad \text{Ecuación 24}$$

✓ Modelo Exponencial

$$P_i = 30.521 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^{0.5782} [W] \quad \text{Ecuación 25}$$

$$Q_i = 132.9055 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^{0.1803} [VAr] \quad \text{Ecuación 26}$$

3. Modelo seleccionado para la luminaria LED: Señal de tensión de alimentación con un THDV del 2%, compuesta por componente fundamental y tercer armónico en fase.

✓ Modelo ZIP

$$P = \left[-286.0755 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + 573.645 \left(\frac{V_i}{V_0} \right) - 272.964 \right] [W] \quad \text{Ecuación 27}$$

$$Q = \left[-294.1606 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + 596.1945 \left(\frac{V_i}{V_0} \right) - 281.3895 \right] [VAr] \quad \text{Ecuación 28}$$

✓ Modelo Exponencial

$$P_i = 0.7245 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^{0.9544} [W] \quad \text{Ecuación 29}$$

$$Q_i = 5.2485 \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^{1.3563} [VAr] \quad \text{Ecuación 30}$$

Con el objetivo de validar los modelos ZIP y Exponencial con mejor ajuste, se realiza una comparación utilizando la diferencia relativa porcentual entre los valores medidos y los obtenidos mediante los modelos calculados. Otro parámetro utilizado para validar el modelo es el *porcentaje de error medio absoluto (MAPE)*, el cual permite obtener la desviación en términos porcentuales; este parámetro estadístico se calcula de la siguiente manera:

$$MAPE = \frac{\sum \frac{\|Vr - Vm\|}{Vr}}{n} * 100 \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde Vr y Vm corresponden a los valores medidos y evaluados en el modelo, respectivamente y n corresponde a los pasos de tensión en los cuales se va validar el modelo (13 cambios de tensión eficaz).

La Figura 33 presenta los errores relativos porcentuales en potencia activa y no activa para la luminaria CFL. Para el caso de la potencia activa, el modelo ZIP presenta diferencias por debajo del 10% mientras que el modelo Exponencial tiene discrepancias por arriba del 50%. El caso de potencia no activa, el modelo ZIP presenta errores porcentuales por debajo del 15% mientras que el modelo Exponencial llega a diferencias superiores al 25%. El MAPE en potencia activa y no activa para el modelo ZIP es de 2,35% y 5,44% respectivamente. Para el caso del modelo Exponencial, en potencia activa el MAPE es de 51,67% y en no activa de 9,94%.

La Figura 34 contiene el análisis de la validación del modelo para el televisor LCD. El modelo ZIP presenta diferencias en potencia activa y no activa por debajo de 6% y 10% respectivamente, el MAPE para potencia activa es de 1,93% y en potencia no útil 5,44%. En el caso del modelo Exponencial, en potencia activa y reactiva el MAPE es de 54,08% y 571,79%, lo cual refleja que este modelo encontrado no refleja el comportamiento del consumo de potencia.

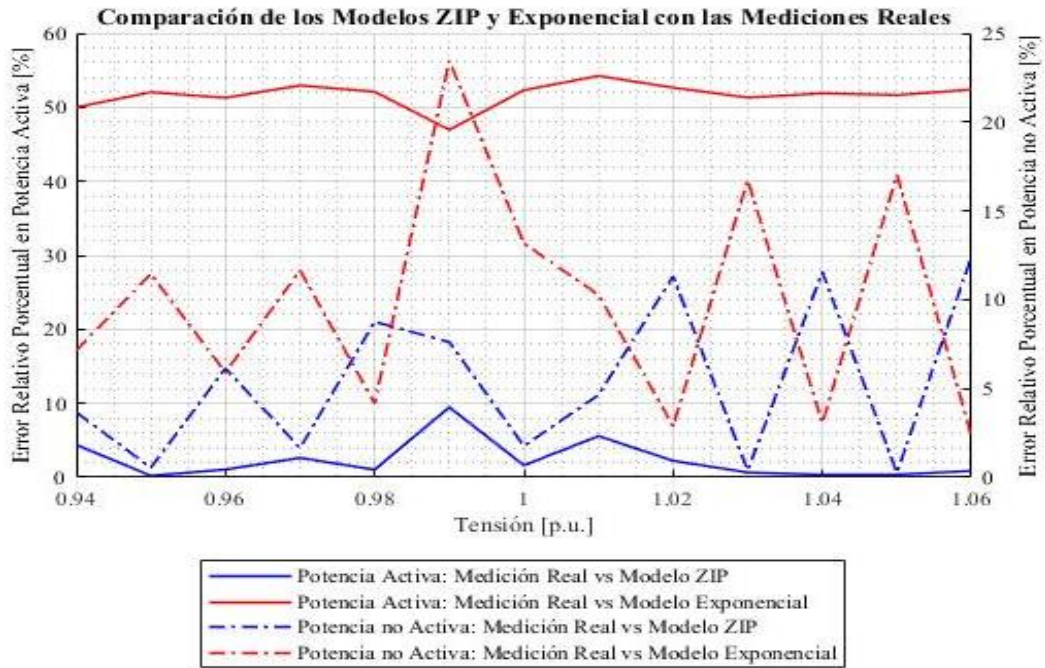


Figura 33. Modelos ZIP y Exponencial vs Mediciones Reales para la luminaria tipo CFL.

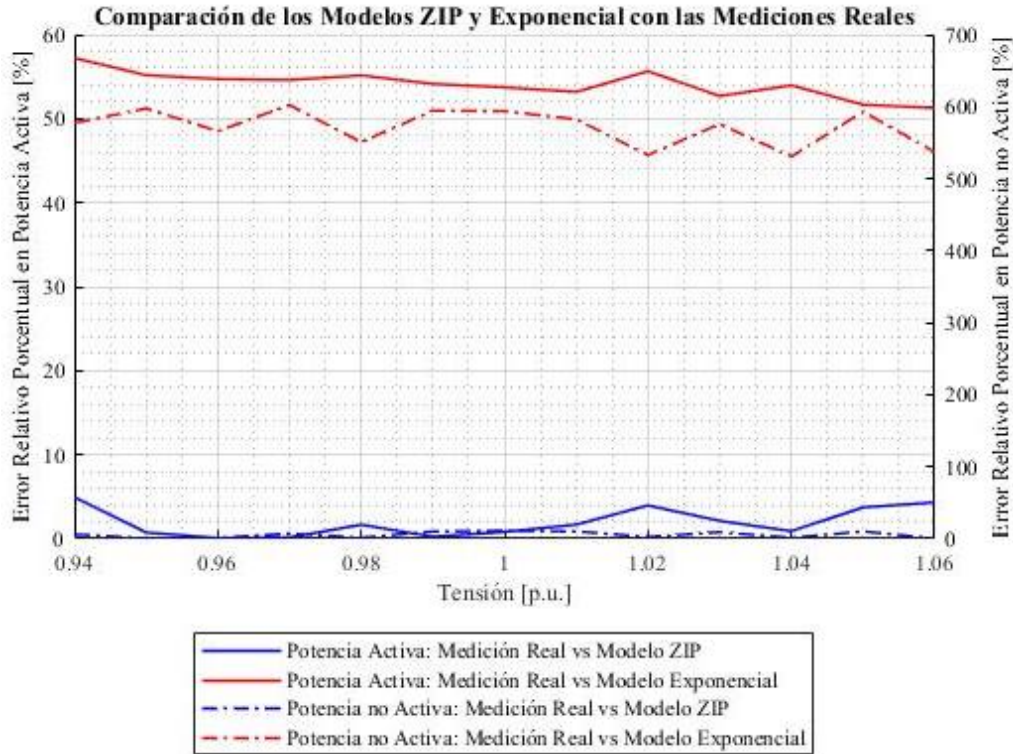


Figura 34. Modelos ZIP y Exponencial vs Mediciones Reales para el televisor LCD.

La Figura 35 permite analizar la validez de los modelos encontrados para la luminaria tipo LED. Al igual que en el televisor LCD, el modelo Exponencial no corresponde al consumo real de potencia activa y no activa de la carga mientras que el modelo ZIP se asemeja a dichos consumos. Para el modelo ZIP el MAPE en potencia activa y no activa es de 3,89% y 2,75% respectivamente. En el modelo Exponencial el MAPE en potencia activa y no activa corresponden a 95,02% y 74,58% respectivamente.

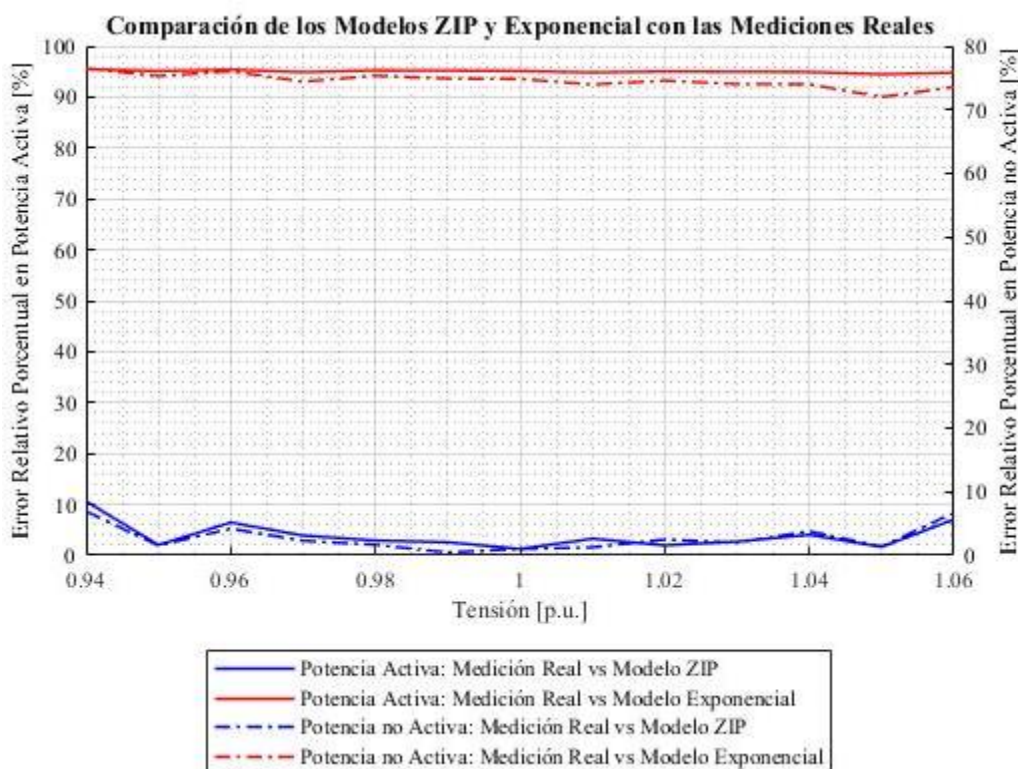


Figura 35. Modelos ZIP y Exponencial vs Mediciones Reales para la luminaria tipo LED

Los casos analizados permiten concluir que un buen ajuste en el modelo ZIP no causa un buen ajuste en el modelo Exponencial acorde al comportamiento de la carga. Puesto que, en potencia activa, la diferencia entre un modelo y otro sobrepasa el 50%, mientras que en potencia no activa oscila entre el 4% y el 566%.

3.6 Cuantificación de la potencia adicional consumida

A continuación, se presenta cuantitativamente el consumo de potencia y los requerimientos de potencia no activa de las cargas analizadas, debido a las perturbaciones en la señal de tensión de alimentación, considerando las señales de tensión características en los sistemas de distribución de baja tensión como: Flat-Top, Pointed-Top, la señal tomada en la casa 1 y casa 2 respecto a la onda sinusoidal. Este análisis tiene como objeto identificar el impacto económico que pueden tener los usuarios cuando se presentan este tipo de ondas en el sistema con respecto al caso sinusoidal.

3.6.1 Análisis para señales de tensión de alimentación típicas en un sistema de distribución de baja tensión y señales medidas en Bucaramanga. Para el caso de la luminaria tipo LED, el consumo de potencia activa y los requerimientos de potencia no activa se muestran en las figuras 36 y 37 respectivamente. El consumo de potencia y los requerimientos de potencia no activa aumentan al alimentar la carga con ondas de tensión distorsionadas en comparación con el caso sinusoidal. En la potencia activa, el mayor consumo se presenta con la señal de tensión de alimentación tipo Pointed-Top y los requerimientos de potencia no activa, se presentan con la señal de tensión medida en la casa 2.

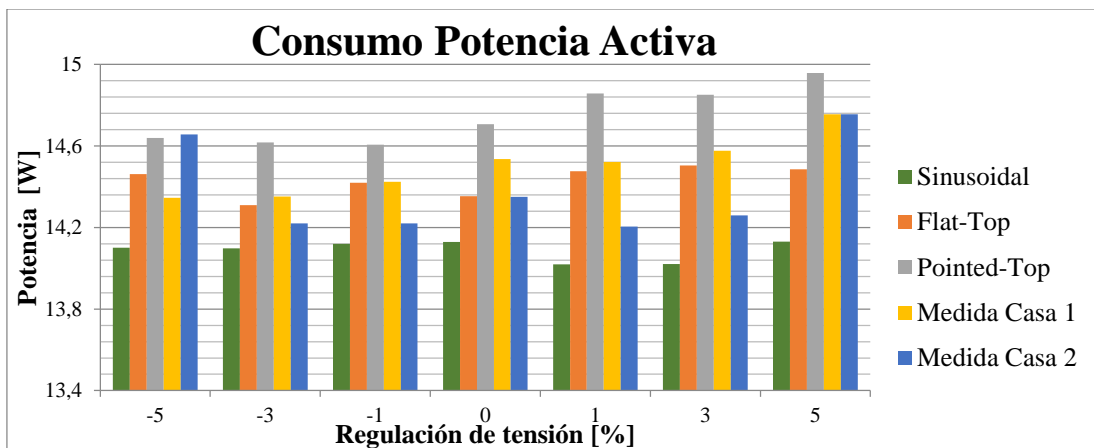


Figura 36. Consumo de potencia activa para la luminaria tipo LED.

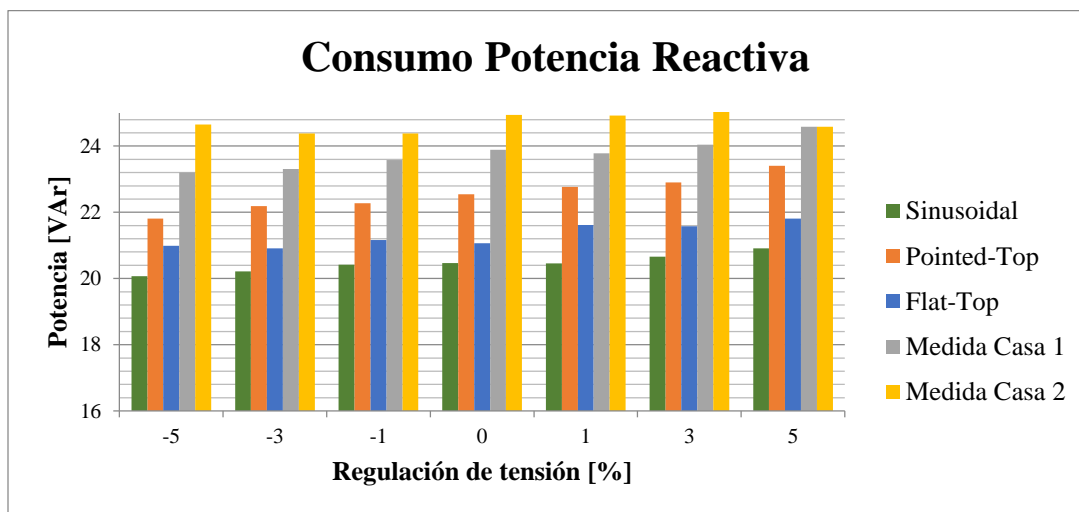


Figura 37. Consumo de potencia no activa para la luminaria tipo LED.

El Anexo F contiene los consumos adicionales de potencia activa y los requerimientos de potencia no activa, en los que se destacan los mayores consumos para cada caso. La variación en el consumo de potencia **activa** es leve (menor a 1 W) mientras que los requerimientos de potencia **no activa** es mayor (entre 1 y 5 VAR) lo que demuestra que la distorsión impacta principalmente en el incremento del requerimiento de potencia no reactiva.

La normatividad colombiana factura el exceso de requerimientos de potencia reactiva (potencia no activa), facturando como potencia activa la potencia reactiva que exceda el 50% de la potencia activa consumida para usuarios de nivel de Tensión 1 (menor a 1 kV) , fronteras comerciales y usuarios no residenciales que sean catalogados como no regulados (CREG, 2002). Con base en esto y suponiendo que aplica el cobro definido en la norma en cargas residenciales, las tablas 11 y 12 cuantifican el consumo total de potencia activa y los requerimientos de potencia no activa para diferentes casos de la tensión de alimentación.

En la Figura 36 la potencia activa consumida es de 14,5 [W] aproximadamente en el caso de la señal de tensión de alimentación tipo Flat-Top y regulación del 5%. Haciendo un análisis por carga y bajo las condiciones citadas en la normatividad CREG 082 del 2002 la potencia total consumida será de 29,053 [W] debido al incremento de la potencia no activa. Por lo tanto, es importante continuar con los estudios que establezcan el impacto de las cargas residenciales en el incremento de la potencia no activa en cargas residenciales.

Tabla 9.

Consumo adicional de potencias para el caso donde las señales de alimentación son las medidas en la Casa 1 y 2.

Cuantificación del requerimiento adicional de potencia no activa*						
Regulación	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo
[%]	adicional	Total	adicional	Total	adicional	Total
	Sinusoidal	Sinusoidal	Casa 1	Casa 1	Casa 2	Casa 2
	[W]	[W]	[VAr]	[W]	[VAr]	[W]
5	13,846	27,977	17,210	31,965	17,210	31,965
3	13,654	27,675	16,758	31,335	17,942	32,201
1	13,450	27,469	16,525	31,047	17,817	32,022
0	13,405	27,534	16,620	31,156	17,762	32,112

Cuantificación del requerimiento adicional de potencia no activa*

Regulación [%]	Consumo adicional Sinusoidal [W]	Consumo Total Sinusoidal [W]	Consumo adicional Casa 1 [VAr]	Consumo Total Casa 1 [W]	Consumo adicional Casa 2 [VAr]	Consumo Total Casa 2 [W]
-1	13,355	27,474	16,363	30,788	17,271	31,492
-3	13,171	27,268	16,135	30,487	17,271	31,492
-5	13,015	27,116	16,028	30,374	17,323	31,980

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa y no activa es de 0,27% y 0,25% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

Tabla 10.

Consumo adicional de potencias para el caso donde la señal de tensión tiene formas características

Cuantificación del requerimiento adicional de potencia no activa *

Regulación [%]	Consumo adicional Sinusoidal [VAr]	Consumo Total Sinusoidal [W]	Consumo adicional Flat-top [VAr]	Consumo Total Flat- Top [W]	Consumo adicional Pointed- Top [VAr]	Consumo Total Pointed- Top [W]
5	13,846	27,977	14,568	29,053	15,922	30,88
3	13,654	27,675	14,327	28,832	15,477	30,328
1	13,450	27,469	14,378	28,854	15,343	30,2
0	13,405	27,534	13,888	28,241	15,191	29,897
-1	13,355	27,474	13,954	28,373	14,968	29,575
-3	13,171	27,268	13,751	28,061	14,876	29,493
-5	13,015	27,116	13,755	28,216	14,491	29,13

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa y no activa es de 0,27% y 0,25% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

Para la luminaria CFL, la Figura 38 ilustra la potencia activa consumida en cada caso de operación. El caso donde la señal de tensión de alimentación es tipo Flat-Top tiene igual o menor consumo que la sinusoidal. Para la regulación de tensión del 5%, el caso donde la señal de tensión de alimentación es tipo Pointed-Top tiene un consumo de activa que excede el valor nominal de 15W. Por otra parte, para las dos señales de tensión caracterizadas para dos residencias, el consumo de potencia activa es mayor al valor nominal de 15 W para todos los casos.

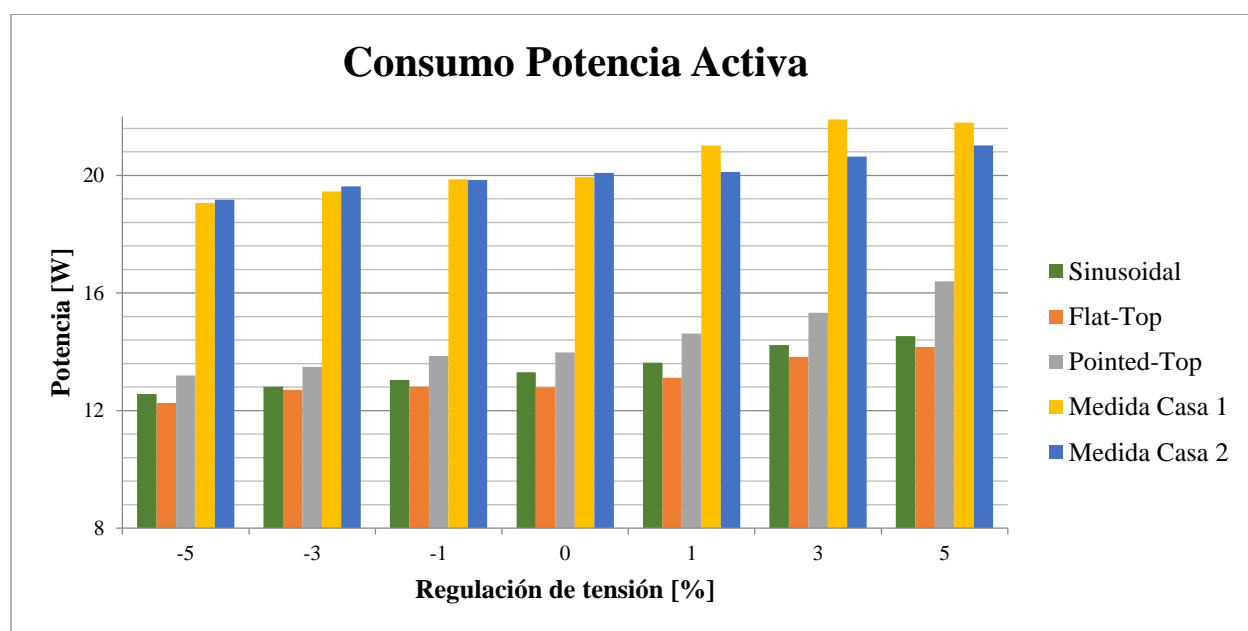


Figura 38. Consumo de potencia activa para la luminaria tipo CFL.

La Figura 39 muestra el requerimiento de potencia no activa para esta carga, con tensión de alimentación correspondiente a las medidas realizadas en las residencias estrato 3. Para estas tensiones de alimentación se presenta un requerimiento de potencia no activa respecto a los demás casos (señales tipo Flat-Top y Pointed-Top). Asimismo, esta carga presenta el menor requerimiento de potencia no activa cuando la señal de tensión de alimentación es tipo Flat-Top y Pointed-Top.

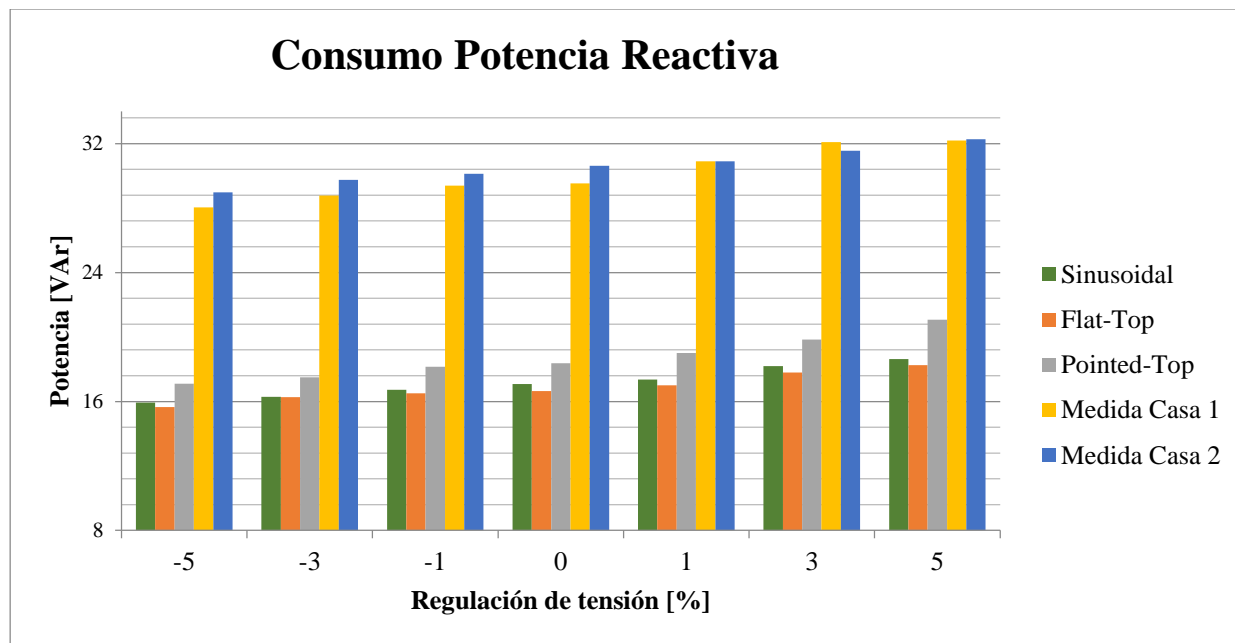


Figura 39. Consumo de potencia no activa para la luminaria tipo CFL.

El Anexo F registra las diferencias de consumo de cada una de las ondas distorsionadas con respecto al caso de referencia con la señal sinusoidal pura. La señal de tensión de alimentación tipo Flat-Top presenta menor consumo de potencia activa y no activa frente al caso de referencia. Los casos donde las ondas de tensión de alimentación corresponden a las señales medidas en la casa 1 y 2 se tienen mayores consumos de potencia activa y no activa, encontrando diferencias de hasta $8,72 \pm 0,03$ [VAr] de consumo adicional. Las tablas 13 y 14 muestran la cuantificación del consumo total de potencia debido al requerimiento de potencia no activa adicional al 50% de potencia activa.

Tabla 11.

Consumo adicional de potencias para el caso donde las señales de alimentación son las medidas en la Casa 1 y 2

Cuantificación del requerimiento adicional de potencia no activa*						
Regulación	Consumo adicional Sinusoidal	Consumo Total Sinusoidal	Consumo adicional Casa 1	Consumo Total Casa 1	Consumo adicional Casa 2	Consumo Total Casa 2
[%]	[VAr]	[W]	[VAr]	[W]	[VAr]	[W]
5	11,372	25,904	21,301	43,096	21,755	42,773
3	11,074	25,299	21,154	43,051	21,233	41,866
1	10,541	24,164	20,402	41,414	20,841	40,957
0	10,428	23,728	19,551	39,496	20,592	40,672
-1	10,200	23,238	19,472	39,333	20,209	40,051
-3	9,886	22,697	19,052	38,500	19,932	39,557
-5	9,649	22,207	18,512	37,574	19,381	38,554

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa y no activa es de 0,28% y 0,24% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

Tabla 12.

Consumo adicional de potencias para el caso donde la señal de tensión tiene formas características

Cuantificación del requerimiento adicional de potencia no activa*						
Regulación	Consumo adicional Sinusoidal	Consumo Total Sinusoidal	Consumo adicional Casa 1	Consumo Total Casa 1	Consumo adicional Casa 2	Consumo Total Casa 2
[%]	[VAr]	[W]	[VAr]	[W]	[VAr]	[W]
5	11,372	25,904	11,173	25,336	12,881	29,275
3	11,074	25,299	10,887	24,716	12,184	27,515
1	10,541	24,164	10,443	23,563	11,705	26,325
0	10,428	23,728	10,256	23,045	11,381	25,354

Cuantificación del requerimiento adicional de potencia no activa*						
Regulación	Consumo adicional Sinusoidal	Consumo Total Sinusoidal	Consumo adicional Casa 1	Consumo Total Casa 1	Consumo adicional Casa 2	Consumo Total Casa 2
[%]	[VAr]	[W]	[VAr]	[W]	[VAr]	[W]
-1	10,200	23,238	10,112	22,919	11,220	25,072
- 3	9,886	22,697	9,917	22,616	10,767	24,252
- 5	9,649	22,207	9,528	21,783	10,516	23,709

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa y no activa es de 0,27% y 0,25% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

El televisor LCD tiene un comportamiento dinámico en el consumo de potencia activa como se muestra en la Figura 40. Comparando las diferentes señales de prueba en los escenarios con regulación de tensión entre el -5% y el 5%, se obtiene el mayor consumo cuando la señal es de tipo sinusoidal. Para los demás escenarios de regulación de tensión, el mayor consumo se presenta cuando la señal de tensión de alimentación es de tipo Pointed-Top y Flat-Top. Cuando la regulación de tensión es del -3%, para el televisor LCD se presenta el mayor consumo de potencia activa.

Los requerimientos de potencia no activa se ilustran en la Figura 41, en esta figura se aprecia un consumo de esta potencia constante ante los cambios de regulación que se presentan. Por lo tanto, un grupo de cargas como esta, no requeriría potencia no activa adicional a la permitida actualmente en la regulación colombiana en usuarios no regulados, en comparación a los comportamientos encontrados con las dos luminarias estudiadas. Este comportamiento puede explicarse con el compensador de factor de potencia activo propio del TV LCD en su circuito.

La diferencia de consumo que tiene el televisor LCD alimentado con ondas de tensión distorsionadas, respecto a la alimentación con tensión sinusoidal se presenta en el Anexo G, en donde se destacan situaciones donde el consumo de potencia para el caso de tensión de alimentación sinusoidal es mayor que en los casos de señales de tensión distorsionadas.

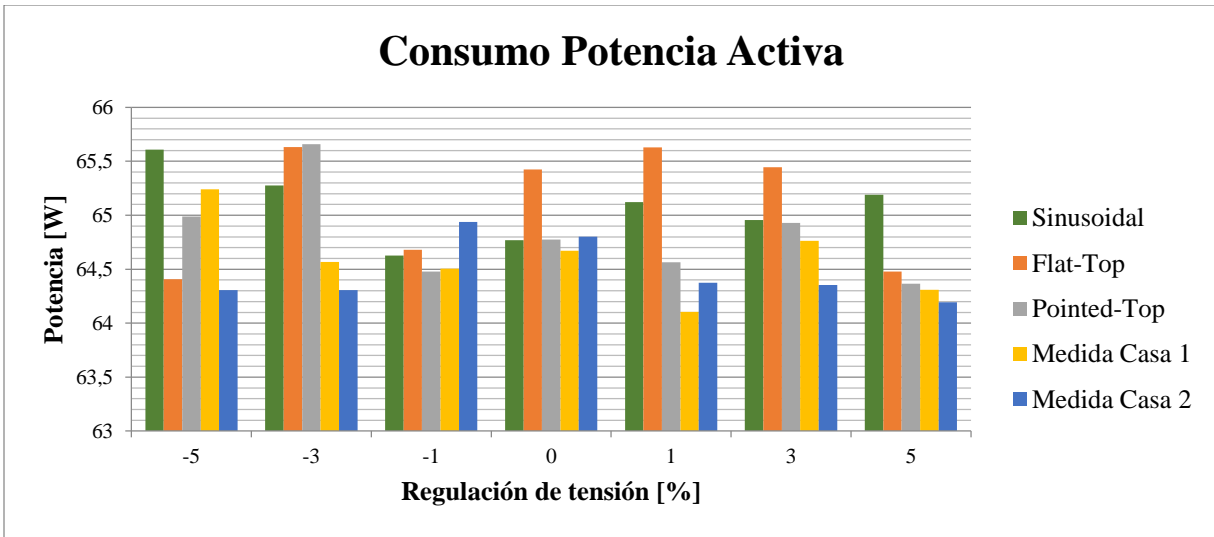


Figura 40. Consumo de potencia activa para el televisor LCD.

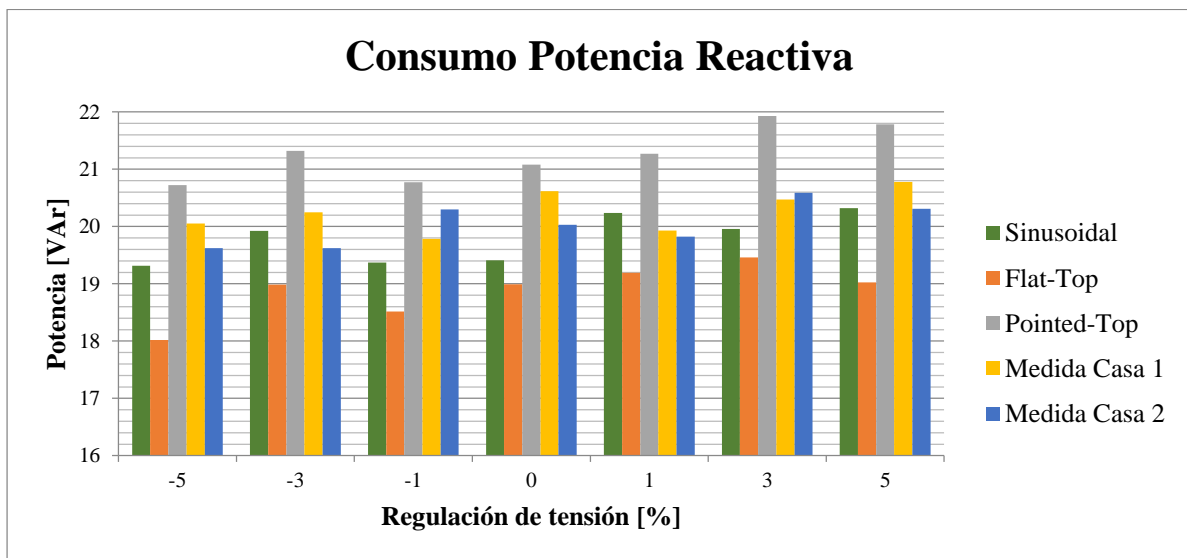


Figura 41. Consumo de potencia no activa para el televisor LCD.

Una vez realizado el análisis del comportamiento de las potencias activa y no activa de las tres cargas residenciales se establecerá un posible escenario de utilización de estas cargas en usuarios residenciales para lo cual se revisó la información suministrada por el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica (PIEC) sobre las necesidades básicas en cuanto a utilización de electrodomésticos de un hogar, los cuales se ajustan a los valores de la Tabla 15 (UPME, 2016).

Tabla 13.

Necesidades básicas de utilización según PIEC (UPME, 2016).

Uso	Equipo	Cantidad	Horas al día
Iluminación	Bombillos	5	6
Fuerza motriz	Licuadaora	1	0,17
Equipos electrónicos	TV	1	6
	Celular	1	5
Refrigeración	Nevera	1	9
Otro	Toma	1	5

Con base a esta información (considerando 5 bombillos encendidos durante 6 horas al día) se estiman los costos por usuario en el caso de mayor consumo adicional, es decir cuando la señal de tensión de alimentación tiene las características de las ondas tomadas en las residencias estrato tres de la ciudad de Bucaramanga, así como para el caso sinusoidal puro.

Para este análisis, el valor del kWh se fija en \$398,41, costo establecido por el OR ESSA S.A para estrato 3 en el mes mayo del 2017 (ESSA, 2016).

Para el caso de la luminaria tipo LED (Tabla 16), cuando la señal de tensión de alimentación tiene la forma de las señales medidas en la casa 1 y 2 se presentaría un costo mensual por consumo

adicional de potencia activa de \$1429 y \$1685, respectivamente, tomando como referencia el caso sinusoidal.

Tabla 14.

Estimación de costos adicionales por usuario luminaria tipo LED.

	P caso	Consumo			Energía	Precio	Energía	Precio
Alimentación	base	total	Cant.	Horas	caso base	caso base	total	total
	[W]	[W]		de uso	[kWh/mes]	[\$]	[kWh/mes]	[\$]
Casa 1	14,756	31,965	5	6	13,280	5290,916	28,769	11461
Sinusoidal	14,131	27,977	5	6	12,718	5066,94	25,180	10032
Casa 2	14,756	32,678	5	6	13,280	5290,901	29,410	11717

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa es de 0,28% del valor medido respectivamente. El Anexo G complementa esta información.

Cuando la señal de tensión de alimentación tiene las características de la señal medida en la casa 1, el Operador de Red (OR) recibe adicionalmente alrededor de 392 millones de pesos mensuales respecto al caso donde se alimenta con una señal sinusoidal, esto tomando como referencia los 274 565 usuarios estrato 3 del operador (ESSA, 2016). Si la señal de tensión de alimentación tiene las características de la onda tomada en la casa 2, en comparación con el caso con una señal sinusoidal, los ingresos adicionales para el OR son de alrededor de 463 millones de pesos mensuales.

La Tabla 17 muestra la estimación de los costos para la luminaria CFL, con el fin de estimar el sobrecosto debidos al consumo adicional de potencia no activa

Tabla 15.

Estimación de costos adicionales por requerimientos de potencia no activa por usuario para la luminaria tipo CFL

Alimentación	P caso base [W]	Consumo Total [W]	Energía caso base [kWh/mes]	Precio caso base [\$]	Energía total [kWh/mes]	Precio total [\$]
Casa 1	21,795	43,096	19,616	7815,155	38,787	15452,96
Sinusoidal	14,531	25,90	13,077	5210,34	23,313	9288,297
Casa 2	21,017	42,77	18,916	7536,152	38,495	15336,96

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa y no activa es de 0,27% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

En los casos donde la señal de tensión de alimentación tiene las características del espectro de las ondas medidas en las casas 1 y 2 se tienen costos adicionales de \$6,165 y \$6,048 respectivamente, tomando como referencia el costo estimado para la onda de tensión de alimentación sinusoidal.

Asimismo, el estimado para 274 565 usuarios residenciales estrato 3 del OR ESSA S.A. según el Informe de Sostenibilidad ESSA- Informe de Gestión para el 2016 le podría significar a la empresa unos ingresos adicionales de \$1 693 millones de pesos adicionales mensuales si la señal de tensión de alimentación tuviera las características de la señal medida en la casa 1 y de \$1 661 millones de pesos adicionales mensuales en el caso donde la onda de tensión de alimentación fuese la señal medida en la casa 2, para ambos casos tomando como referencia el consumo cuando al señal de tensión de alimentación corresponde al caso sinusoidal y que se incluyera en el pago de la energía de los usuarios regulados el costo adicional debido a los requerimientos de potencia no activa de las cargas residenciales.

Este posible escenario se presentaría si cada usuario residencial puede ser considerado como no regulado, lo cual es factible con los desarrollos actuales de los sistemas de medición avanzada (AMI y Smart Metering).

De esta manera se concluye que el requerimiento de potencia no activa para las luminarias analizadas podría producir un impacto económico superior al 40% en los usuarios residenciales para los escenarios estudiados, dependiendo de la calidad de la energía eléctrica suministrada en las redes de distribución residencial.

En la actualidad en Colombia, los OR no miden los requerimientos de potencia no activa de los usuarios residenciales regulados por no estar reglamentado en el sector eléctrico colombiano el pago de esta necesidad energética, con lo cual están asumiendo los sobrecostos de pérdidas en las redes de distribución por incremento del valor eficaz de la corriente y la necesidad, en algunos casos de sobredimensionar las redes de distribución para poder suplir las necesidades de potencia no activa de los usuarios residenciales que ha venido creciendo con el incremento de la instalación de cargas no lineales.

3.6.2 Análisis para señales con mayor variación en consumo de potencia activa y no activa.

En esta sección se tomaron como casos de análisis, los diez escenarios en donde se obtuvo una mayor variación de potencia activa y no activa.

Para el caso de la luminaria CFL, la Figura 42 describe la potencia activa consumida por la carga sumada con el costo que habría que asumirse por el requerimiento de potencia no activa (Barra gris). El caso más crítico corresponde al R5%_A7_THDV6%_A300° (*regulación de tensión de 5%, señal de tensión de alimentación con componente fundamental y séptimo armónico desfasados 300° y THDV del 6%*) con $17,3 \pm 0,04$ [VAr] de potencia no activa que debería

facturarse, los cuales son sumados a la potencia activa para formar el **Consumo Total**. Para todos los casos seleccionados para este análisis (mayor variación), se presenta un THDV del 6%, de igual forma, las señales de tensión de alimentación distorsionadas con armónicos 5, 7 y 11 son los que presentan un mayor consumo.

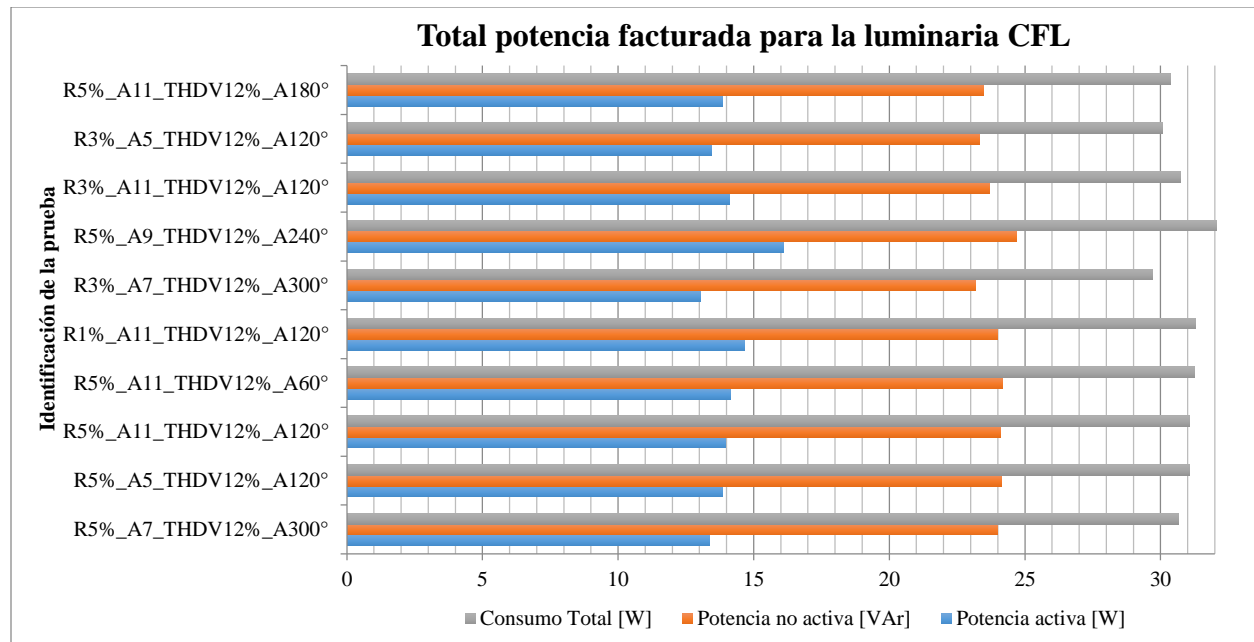


Figura 42. Potencia total que debería considerarse para facturar la energía requerida por una luminaria CFL.

La Figura 43 permite identificar que la luminaria LED tiene un comportamiento similar a la CFL, para este caso, las señales de tensión de alimentación distorsionadas con un THDV del 6% sobre los armónicos 7, 9 y 11 tienen mayor consumo de reactivos. El caso más crítico corresponde a la señal R3%_A9_THDV6°_A120° (regulación de tensión de 3%, señal de tensión de alimentación con componente fundamental y noveno armónico desfasados 120° y THDV del 6%) con una potencia no activa que debería facturarse de $23,12 \pm 0,06$ [VAr], provocando que la

cantidad de potencia que debería facturarse sea mayor al doble de la potencia activa que se consume.

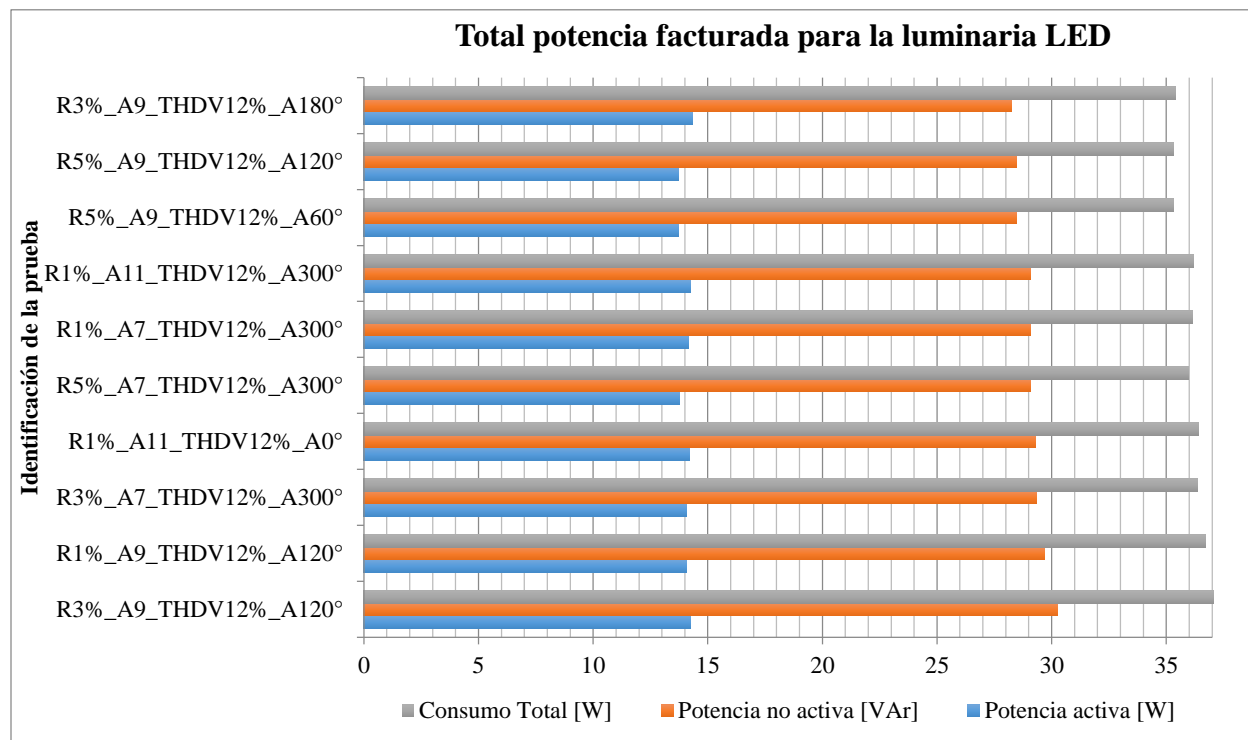


Figura 43. Potencia total que debería considerarse para facturar la energía requerida por una luminaria LED.

Finalmente, se desea analizar los casos que presentan mayor “Delta de potencia activa” es decir una mayor diferencia entre el consumo de potencia del caso distorsionado y el caso sinusoidal para las diferentes cargas.

La Tabla 18 presenta los 10 casos donde se presenta el mayor delta en potencia activa y no activa para la luminaria tipo LED, el caso de mayor incidencia se presenta cuando la regulación de tensión de la señal de alimentación está por debajo del valor nominal (R-1%) para el caso de

potencia activa, en potencia no activa ocurre lo contrario, en donde la regulación de tensión de 1% presenta el mayor consumo.

Tabla 16.

Delta de potencia activa y no activa para la luminaria tipo LED

Identificación Prueba	Delta potencia activa [W]	Identificación Prueba	Delta potencia no activa [VAr]
R-1%_A7_THDV6%_A0°	2,062	R-1%_A5_THDV6%_A120°	6,977
R-1%_A3_THDV4%_A180°	2,047	R1%_A11_THDV6%_A120°	6,629
R-1%_A3_THDV4%_A120°	2,035	R1%_A11_THDV6%_A180°	6,202
R-1%_A7_THDV6%_A60°	2,018	R0%_A11_THDV6%_A120°	6,135
R-1%_A5_THDV4%_A60°	1,971	R5%_A9_THDV6%_A240°	6,060
R-5%_A5_THDV6%_A240°	1,937	R0%_A11_THDV6%_A180°	5,894
R-1%_A3_THDV6%_A180°	1,917	R-3%_A11_THDV6%_A120°	5,755
R-3%_A7_THDV6%_A120°	1,863	R1%_A11_THDV6%_A60°	5,731
R-1%_A7_THDV4%_A0°	1,855	R1%_A11_THDV6%_A240°	5,660
R-1%_A9_THDV4%_A240°	1,817	R-1%_A11_THDV6%_A120°	5,629

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa y no activa es de 0,28%

del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

Para la carga CFL (Tabla 19), las variaciones de potencia activa no son significativas, mientras que en la potencia no activa las características son: regulaciones mayores a la nominal, señales distorsionadas con 7, 9 y 11 armónico y un THDV del 6%.

Tabla 17.

Delta de potencia activa y no activa para la luminaria tipo CFL

Identificación Prueba	Delta potencia activa *[W]	Identificación Prueba	Delta potencia no activa* [VAr]
R3%_A7_THDV4%_A0°	1,304	R3%_A9_THDV6%_A120°	9,587
R5%_A3_THDV4%_A0°	0,679	R1%_A9_THDV6%_A120°	9,216
R3%_A9_THDV4%_A0°	0,579	R1%_A11_THDV6%_A0°	8,852
R3%_A9_THDV4%_A120°	0,567	R3%_A7_THDV6%_A300°	8,673
R3%_A3_THDV4%_A0°	0,508	R1%_A11_THDV6%_A300°	8,612
R1%_A5_THDV4%_A0°	0,498	R1%_A7_THDV6%_A300°	8,604
R-1%_A3_THDV4%_A120°	0,492	R5%_A7_THDV6%_A300°	8,169
R3%_A9_THDV4%_A180°	0,486	R3%_A9_THDV6%_A180°	7,587
R-1%_A3_THDV4%_A60°	0,484	R5%_A9_THDV6%_A60°	7,556
R-1%_A3_THDV4%_A300°	0,448	R5%_A9_THDV6%_A120°	7,556

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa y no activa es de 0,27% y 0,25% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

Finalmente, en la Tabla 20 se presenta las variaciones de potencia para el televisor LCD, esta carga presenta mayor consumo de potencia activa adicional en comparación con la luminaria CFL. Por otra parte, en el caso de potencia no activa, se tiene un valor de $5,29 \pm 0,01$ [VAr] para el caso máximo, sin embargo, este es menor a los casos estudiados en las tablas 17 y 18. En conclusión, el televisor LCD presenta un menor consumo adicional de potencia no activa con relación a las luminarias estudiadas.

Tabla 18.

Delta de potencia activa y no activa para el televisor LCD.

Identificación Prueba	Delta potencia activa* [W]	Identificación Prueba	Delta potencia no activa* [VAr]
R1%_A5_THDV4%_A240°	3,161	R3%_A11_THDV6%_A180°	5,294
R1%_A7_THDV6%_A120°	2,621	R-3%_A7_THDV4%_A0°	5,009
R5%_A5_THDV4%_A180°	2,441	R0%_A11_THDV6%_A60°	4,012
R1%_A3_THDV4%_A240°	2,408	R0%_A11_THDV4%_A180°	4,003
R0%_A5_THDV4%_A180°	2,168	R0%_A3_THDV4%_A240°	3,914
R-1%_A9_THDV6%_A0°	1,903	R-1%_A11_THDV6%_A180°	3,660
R3%_A3_THDV6%_A180°	1,854	R-3%_A9_THDV6%_A0°	3,477
R0%_A3_THDV4%_A60°	1,854	R-3%_A9_THDV6%_A60°	3,477
R3%_A7_THDV6%_A180°	1,787	R-1%_A9_THDV4%_A120°	3,410
R0%_A5_THDV4%_A300°	1,724	R-1%_A9_THDV6%_A180°	3,393

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa y no activa es de 0,23% y 0,24% del valor medido respectivamente. El Anexo G complementa esta información.

4. Conclusiones

A continuación, se presentan algunas conclusiones, consideraciones y recomendaciones sobre el estudio realizado sobre el impacto que tienen las características de la señal de tensión en el comportamiento de tres cargas residenciales como son las luminarias CFL y LED y los LCD, de gran uso en Colombia.

1. En este trabajo de grado se formula un procedimiento para realizar un análisis del comportamiento de los parámetros de la potencia de estas tres cargas residenciales en condiciones de tensión de alimentación distorsionada en un ambiente controlado, el cual puede ser útil para futuros trabajos de grado afines.

2. El proceso de estimación de la potencia no activa o reactiva se afecta notablemente por el algoritmo seleccionado, de acuerdo a los análisis realizados se encuentran diferencias de alrededor del 50% entre la metodología propuesta por el modelo de Fryze (estima la potencia no activa) y el modelo de Budeanu (estima la potencia reactiva).

3. En el análisis propuesto por el estándar IEEE 1459 se identifica que en estas tres cargas residenciales, especialmente las de iluminación, la distorsión de corriente tiene la mayor incidencia en el incremento de la potencia no activa debida a la distorsión de las señales ya que presenta valores superiores al 90% del consumo de potencia no fundamental.

4. El consumo de potencia reactiva fundamental y de potencia no fundamental es de alrededor un 50% de la potencia de dimensionamiento para el caso de las luminarias estudiadas, mientras que para el televisor LCD el consumo de estas potencias es menor al 10% de la potencia de dimensionamiento, esto debido al compensador de factor de potencia activo propio de esta carga en su circuito. Con base en esto, en Colombia, es necesario integrar cargas de características similares al televisor LCD para mantener la estructura de medir únicamente potencia activa en usuarios regulados como lo exige la normatividad vigente.

5. Los parámetros de los modelos ZIP y Exponencial propuestos varían cuando se alimenta la carga con señales de tensión distorsionadas, estas variaciones pueden superar el 100% en comparación con el caso cuando los parámetros son calculados en condiciones sinusoidales. Por lo tanto, un factor clave es la distorsión de la señal de tensión en el punto donde se conecta la carga

para la selección adecuada de un modelo ZIP en estudios de planeación de la demanda. Los resultados muestran que a bajas distorsiones (THDV menor al 2%) el comportamiento de los modelos puede ser utilizado para obtener resultados aproximados. Sin embargo, una mayor precisión en los resultados para la estimación de demanda implica un mejor conocimiento de la distorsión de tensión.

6. No se encuentra alguna relación o tendencia entre la distorsión de la señal de tensión de alimentación y el comportamiento de la potencia activa y no activa de acuerdo a los modelos ZIP y Exponencial. Dichos modelos, son sensibles a los cambios de magnitud, fase y distorsión de dicha señal.

7. Con base en las mediciones realizadas se encontró que los modelos ZIP y Exponencial de las cargas seleccionadas no presentan un comportamiento único como impedancia, corriente o potencia activa constante, por ello fue necesario analizar dicho comportamiento como la combinación de estas características.

8. La luminaria tipo LED a pesar de tener una mayor intensidad luminosa respecto a la luminaria tipo CFL presenta un consumo menor de potencia activa de hasta 8%, sin embargo, genera un mayor consumo de potencia no activa de alrededor de un 25% de su valor nominal.

9. Para las cargas tipo iluminación, la posible facturación por requerimiento de potencia no activa puede generar valor adicional de alrededor del 40% con respecto a la potencia no activa requerida por la carga en condición de tensión de alimentación sinusoidal.

5. Recomendaciones

- Se recomienda continuar con este tipo de estudios considerando la conexión de varias cargas residenciales juntas para establecer el impacto que está generado en los sistemas de distribución de energía eléctrica el incremento de utilización de cargas con características no lineales que en la mayoría de los casos no incorporan ningún tipo de compensación para reducir su impacto en el funcionamiento del sistema eléctrico.
- El estudio de los modelos ZIP y Exponencial para señales de alimentación distorsionadas es un campo que requiere investigación, por ello se recomienda aplicar minería de datos o una persona con alta experticia en el tema para analizar los resultados obtenidos en este trabajo de grado.
- Es necesario analizar otros modelos de carga a parte del modelo ZIP y Exponencial para analizar el impacto de la distorsión en la señal de tensión de alimentación, esto permitirá evaluar la real aplicabilidad de estos modelos; además, se explorarán otras opciones que quizás se adapten mejor a los cambios propios de las cargas no lineales.
- Las cargas no lineales con compensación activa del factor de potencia son una necesidad inminente para mantener el mercado actual en Colombia, por ello, continuar con los estudios de cargas con dicha características es de interés para el grupo de investigación Gisel y la Universidad Industrial de Santander.

Referencias Bibliográficas

- Blanco A., Stiegler R., M. J. (2012). Power Quality Disturbances caused by Modern Lighting Equipment (CFL and LED). IEEE.
- Caetano, W. D., & Romeiro, P. (2016). Load Static Models for Conservation Voltage Reduction in the Presence of Harmonics. Scientific Research Publishing, (February).
- Comerciais, R., Caetano, W. D., & Jota, P. R. S. (2013). Modelagem de carga Estática: Confrontação entre modelos matemáticos de cargas Residenciais / Comerciais. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.
- Elphick, S., & Ciufu, P. (2010). Laboratory Investigation of the Input Current Characteristics of Modern Domestic Appliances for Varying Supply Voltage Condition. Faculty of Engineering.
- Emanuel, A. E., Victor, S., & V, G. (2012). Fryze Power Definition : Some Limitations. IEEE.
- Farooq, H., Zhou, C., & Farrag, M. (2013). Analyzing the Harmonic Distortion in a Distribution System Caused by the Non-Linear Residential Loads. International Journal of Smart Grid and Clean Energy, 2(January 2013). <http://doi.org/10.12720/sgce>.
- CREG, C. de R. de E. y. (2002). Principios generales y metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local.
- Hernández, M. G. D. (2012). Análisis del efecto de las Armónicas en Lámparas Flourecentes Compactas en la Calidad de la Energía Eléctrica en Sistemas Residenciales Utilizando el Software Labview.
- IEEE. (2014). Standard IEEE 519 -Recommended Practices and Requirements for Harmonic

- Control in Electrical Power Systems. IEEE Std 519-1992.
<http://doi.org/10.1109/IEEESTD.2014.6826459>
- IEEE. (2010). Standard IEEE 1459-Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions.
- ESSA (2016). Informe de Sostenibilidad.
- Jeltsema, D. (2015). Budeanu's Concept of Reactive and Distortion. IEEE.
- Jimenez, Y., Cortes, J. D., Duarte, C. A., Petit, Carrillo (2016). Nonintrusive Power Estimation of Residential Appliances under Voltage Variation. IEEE.
- M.A., M.-B. (2010). Contaminación armónica producida por cargas no lineales de baja potencia : modelo matemático y casos prácticos Harmonic Pollution Produced by Low Power Nonlinear Loads : Mathematical Model and Practical Cases. Revista SciELO Analytics.
- Malagon-carvajal, G., Member, S., & Bello-pena, J. (2013). A Comparison between Circuit-Based and Harmonic-Current-Source Models for Compact Fluorescent Lamps. IEEE.
- Morantes, A. de J. B. (2007). Impacto de los Sistemas de Medición de Energía Eléctrica en la Valoración de la Potencia Activa y su Efecto sobre la Facturación. IEEE
- NTC. (2013). NTC 1340.
http://ezproxy.uis.edu.co:2120/icontec_enormas_mobile/visor/HTML5.asp.
- Ornelas, R. C., & Marchena, W.
- QAE. Leferink, Keyey, Malentjev, (2017).
http://plataforma.quieroauditoriaenergetica.org/blog/14-categoria_blog_1/246-desmontan-fraude-contador.
- Rodríguez, L. F., Pérez, S. M., & Mora, J. J. (2013). Estimación de Parámetros de un Modelo de Carga de Recuperación Exponencial Empleando Técnicas Metaheurísticas. Scientia et Technica Año XVIII. Retrieved from

<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/8379>

Suárez, J. A., Mauro, G. F. Di, & Agüero, D. A. C. (2005). Análisis de la Distorsión Armónica y los Efectos de Atenuación y Diversidad en Áreas Residenciales. IEEE.

UPME. (2016). Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica PIEC 2016-2020, 0–48. Retrieved from http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/PIEC_2016-2020_PublicarDic202016.pdf

Uribe Collante, R. D. I. de S., & Medina Pérea (2016), T. E. Universidad I. de S. Estudio de casos de la sensibilidad del espectro armónico de cargas de iluminación ante variaciones en la amplitud y distorsión de la tensión de alimentación. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Apéndices

Apéndice A. Muestras de la señal de tensión de alimentación tipo casa 1 y 2.

Tabla 1. Características armónicas de las señales medidas.

ARMÓNICO	Medida casa 1		Medida casa 2	
	Valor eficaz [V]	Fase [°]	Valor eficaz [V]	Fase [°]
Nivel de continua	0,0129	180	0,0043	180
1	126,421	89,96	126,2185	90,03
2	0,405	120,24	0,0266	45,90
3	1,0956	132,13	0,2606	-156,21
4	0,0369	-15,20	0,0089	-84,78
5	4,1936	-72,34	4,5097	-81,15
6	0,062	159,77	0,0195	-31,70
7	0,9156	103,53	0,8534	125,26
8	0,0613	121,50	0,0108	-135,57
9	0,4013	-139,47	0,2212	-68,33
10	0,0093	-142,89	0,011	-59,11
11	0,2864	-57,42	0,3756	-93,70
12	0,02	-57,39	0,0169	3,84
13	0,4445	83,15	0,1872	93,38
14	0,0065	64,01	0,0102	150,69
15	0,1877	-122,26	0,0949	89,54
V _{RMS}	126,5012	-	126,3032	-

*El porcentaje de incertidumbre asociada a las medidas de tensión es de 0.2% de acuerdo al datasheet.

La medición se realizó con el analizador de calidad Dranetz HDPQ VISA (Ver anexo B). Se utilizó el algoritmo de la DFT para la reconstrucción de la señal (AshorkAmbardar, n.d.; Nheim, Willskv, & Mawab, n.d.).

Apéndice B. Procedimiento para la toma de datos.

1. Cierre el break del circuito que alimenta la fuente Chroma en el cuarto técnico.



Figura 1. Break del circuito de alimentación de la fuente Chroma en el cuarto técnico.

2. Cierre el break del circuito que alimenta la fuente Chroma en el laboratorio.



Figura 2. Break del circuito que alimenta la fuente Chroma en el laboratorio.

3. Cierre el circuito ramal desde la fuente Chroma hasta el punto de conexión de la carga por medio del break de protección.



Figura 3. Breaker de protección del circuito ramal desde la fuente Chroma hasta el punto de conexión de la carga.

4. Cierre el break del circuito que alimenta el tablero de tomacorrientes.

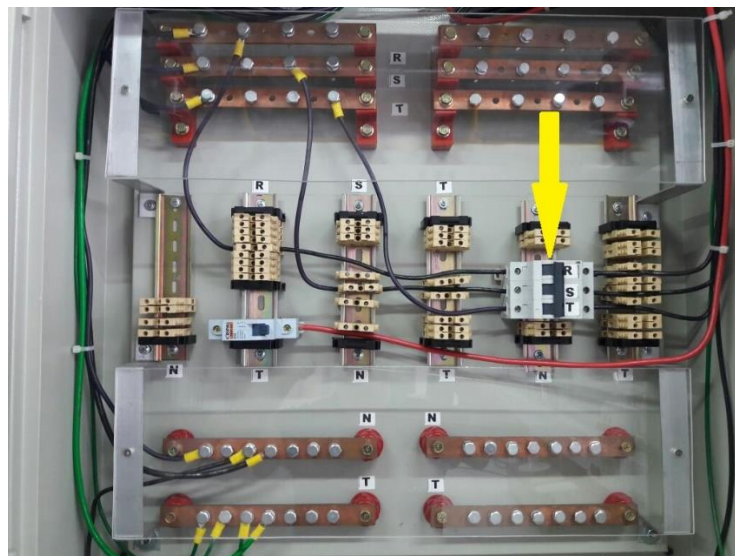


Figura 4. Breaker del circuito que alimenta el tablero de tomacorrientes.

5. Conecte la carga en el tablero de tomacorrientes de la fuente.

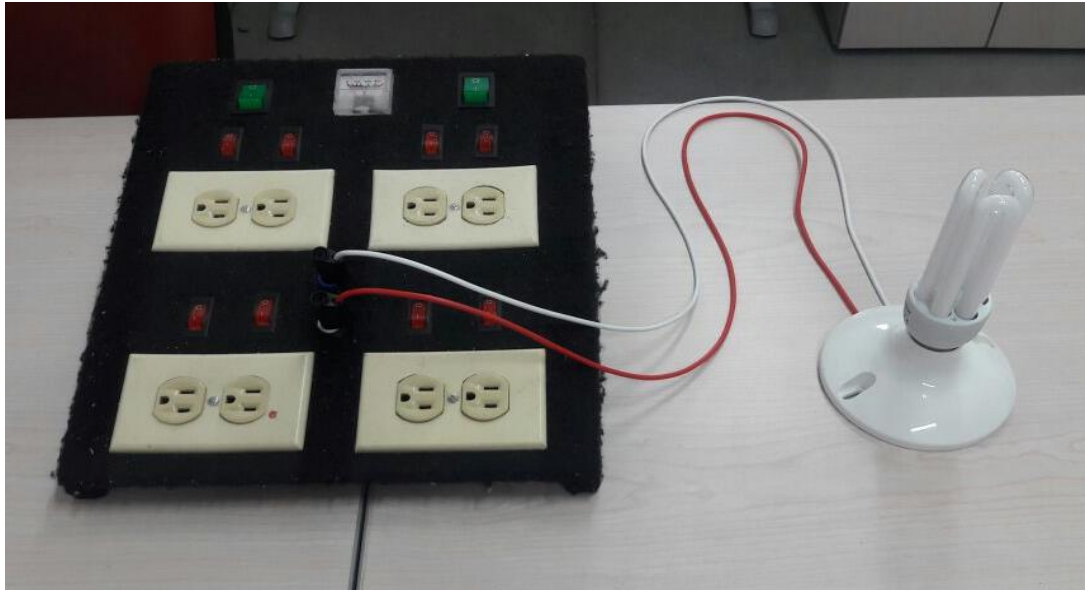


Figura 5. Carga y tablero de tomacorrientes de la fuente.

6. Instale el equipo de medición.

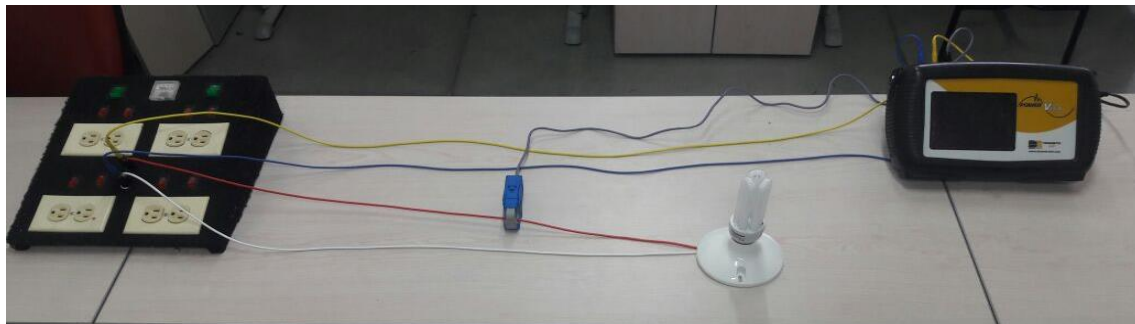


Figura 7. Instalación equipo de medida.

7. Encienda la fuente Chroma.



Figura 8. Encendido de la Fuente Chroma.

8. Encienda el equipo de medida.

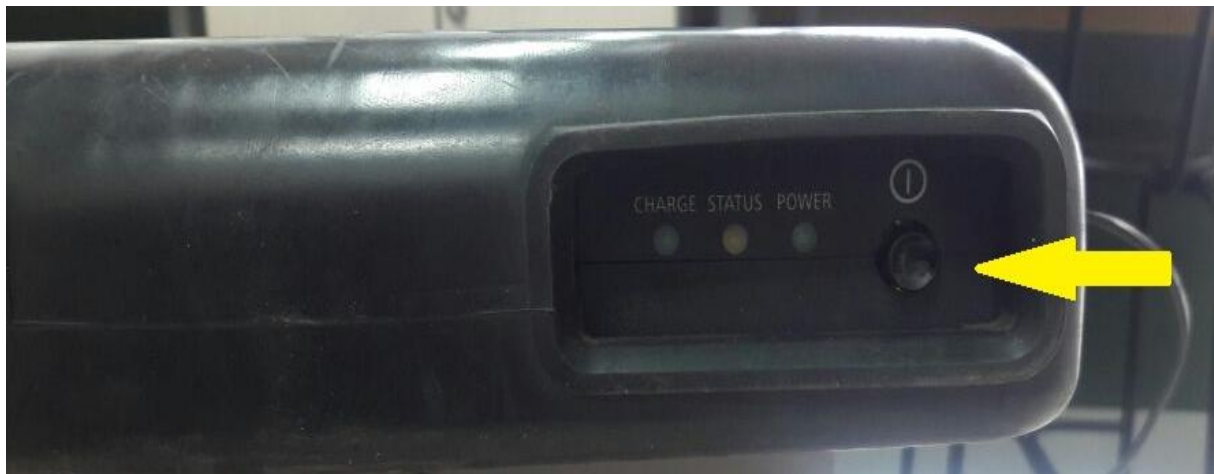


Figura 9. Encendido del equipo de medida.

9. Configure la fuente Chroma de acuerdo a la prueba a realizar.

Ejemplo: $v(t) = 125.98\sqrt{2} \cos(\omega_0 t) + 2.65\sqrt{2} \cos(3\omega_0 t + 180)$ tensión de alimentación.

Datos a ingresar en la fuente:

$$V_{ac \text{ fundamental}} = 125.98 \text{ [V]}$$

$$V_3 = 2.1035\% \text{ del fundamental } \theta = 180^\circ.$$

9.1 Oprima la tecla output mode.

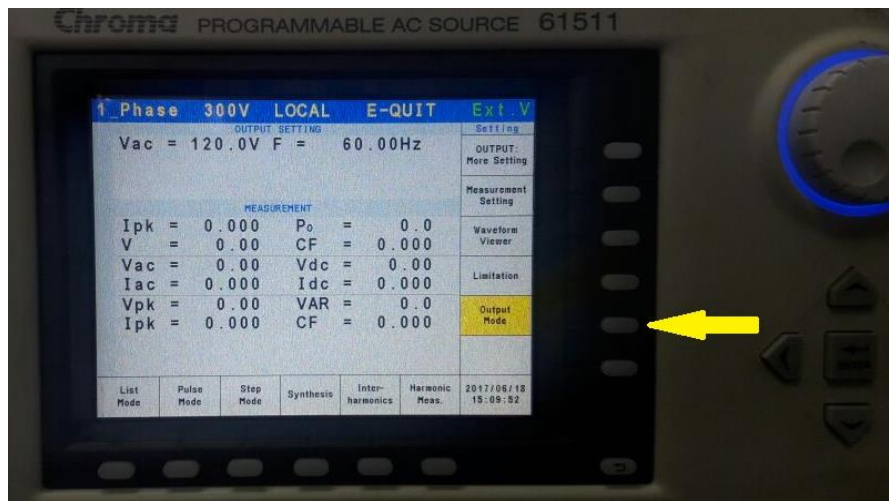


Figura 10. Output Mode.

9.2 Oprima la tecla Synthesis.

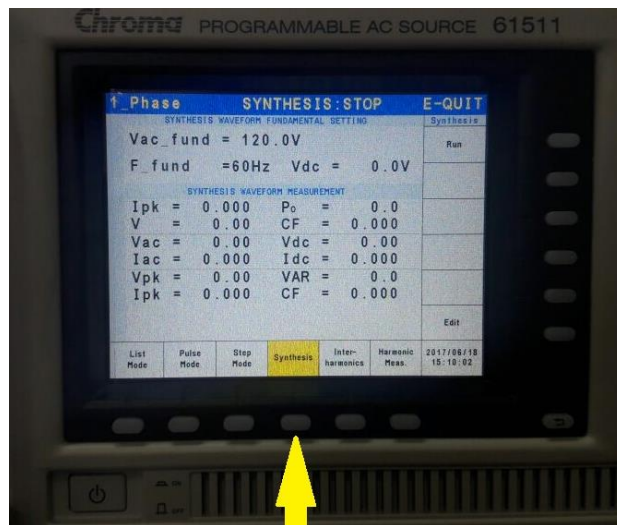


Figura 11. Synthesis.

9.3 Oprima la tecla Edit.

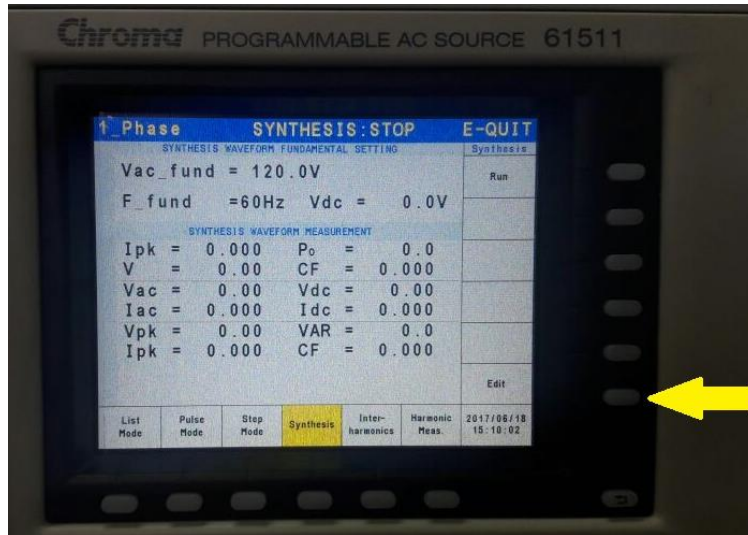


Figura 12. Edit.

9.4 Por medio de los cursores de movimiento y del teclado de mando ingrese el valor de la tensión fundamental.

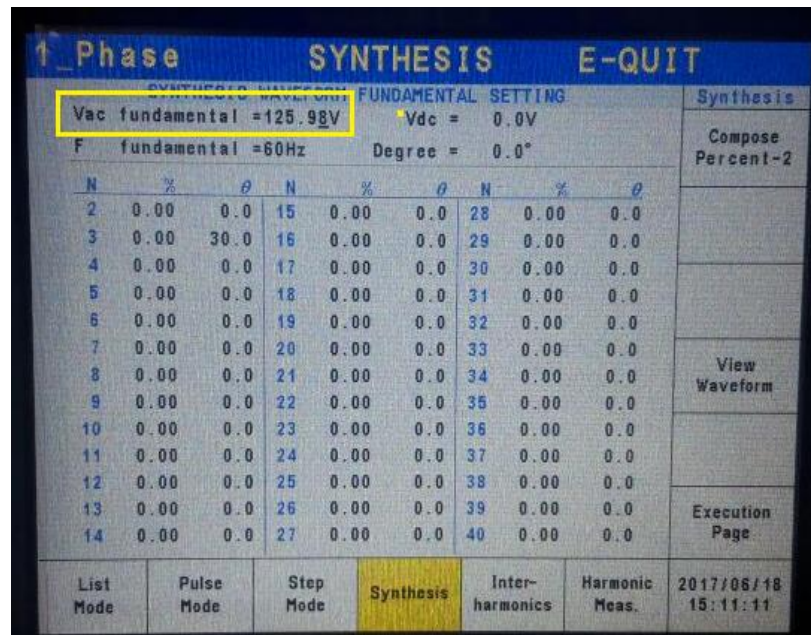


Figura 13. Ajuste de la señal de tensión de alimentación.

9.5 Ingrese la magnitud en porcentaje con respecto al fundamental del armónico deseado y su respectivo ángulo de fase en grados. Asegúrese de que la opción “compose” se encuentre en “percent” de lo contrario con la ayuda del RPG Rotatory, los cursores de movimiento y el teclado de mando ajústelo.

SYNTHESIS WAVEFORM FUNDAMENTAL SETTING									
Vac fundamental = 126.0V					Vdc = 0.0V				
F fundamental = 60Hz					Degree = 0.0°				
N	%	φ	N	%	φ	N	%	φ	
2	0.00	0.0	15	0.00	0.0	28	0.00	0.0	
3	2.1035	180.0	6	0.00	0.0	29	0.00	0.0	
4	0.00	0.0	17	0.00	0.0	30	0.00	0.0	
5	0.00	0.0	18	0.00	0.0	31	0.00	0.0	
6	0.00	0.0	19	0.00	0.0	32	0.00	0.0	
7	0.00	0.0	20	0.00	0.0	33	0.00	0.0	
8	0.00	0.0	21	0.00	0.0	34	0.00	0.0	
9	0.00	0.0	22	0.00	0.0	35	0.00	0.0	
10	0.00	0.0	23	0.00	0.0	36	0.00	0.0	
11	0.00	0.0	24	0.00	0.0	37	0.00	0.0	
12	0.00	0.0	25	0.00	0.0	38	0.00	0.0	
13	0.00	0.0	26	0.00	0.0	39	0.00	0.0	
14	0.00	0.0	27	0.00	0.0	40	0.00	0.0	

Figura 14. Ajuste de componentes armónicas.

9.6 Oprima la tecla Execution page.

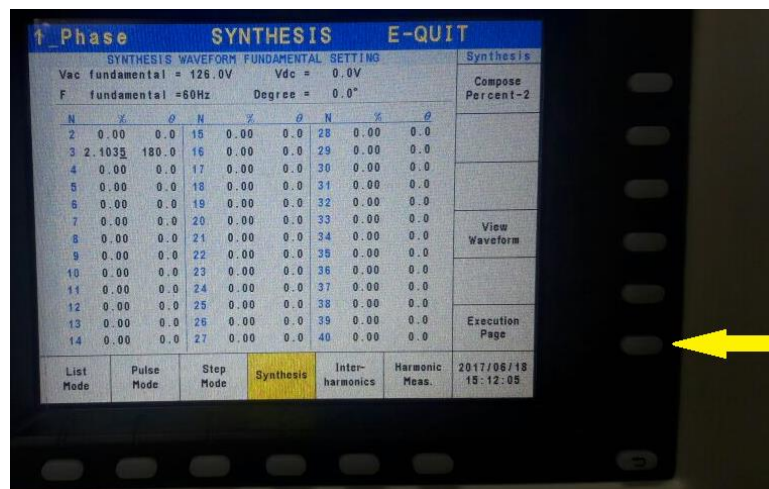


Figura 15. Execution page.

10. Configure el equipo de medida.

10.1 Inserte la tarjeta de memoria en el SLOT 2



Figura 16. Ranura SLOT 2.

10.2 Ingrese al menú de Configuración.

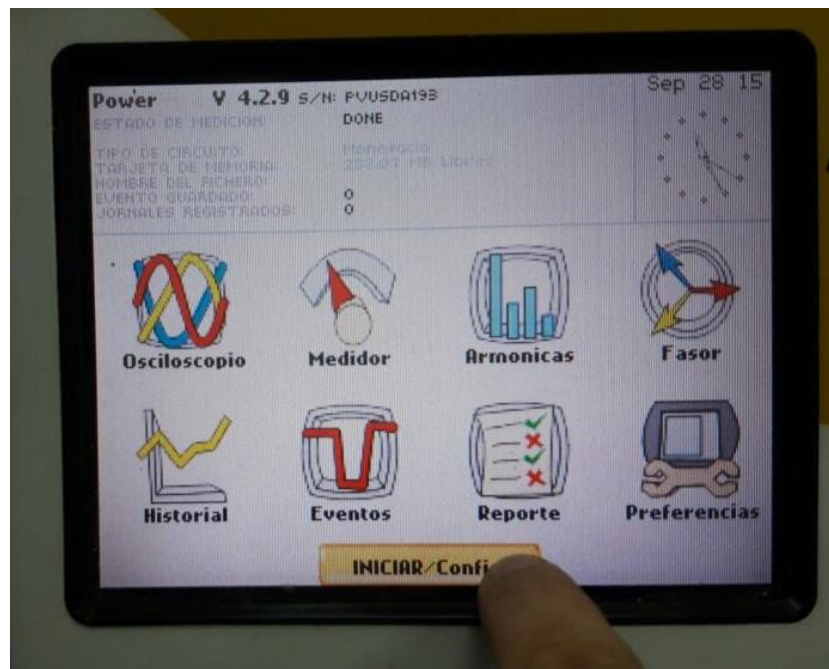


Figura 17. Menú de Configuración.

10.3 Seleccione Configuración Mago.

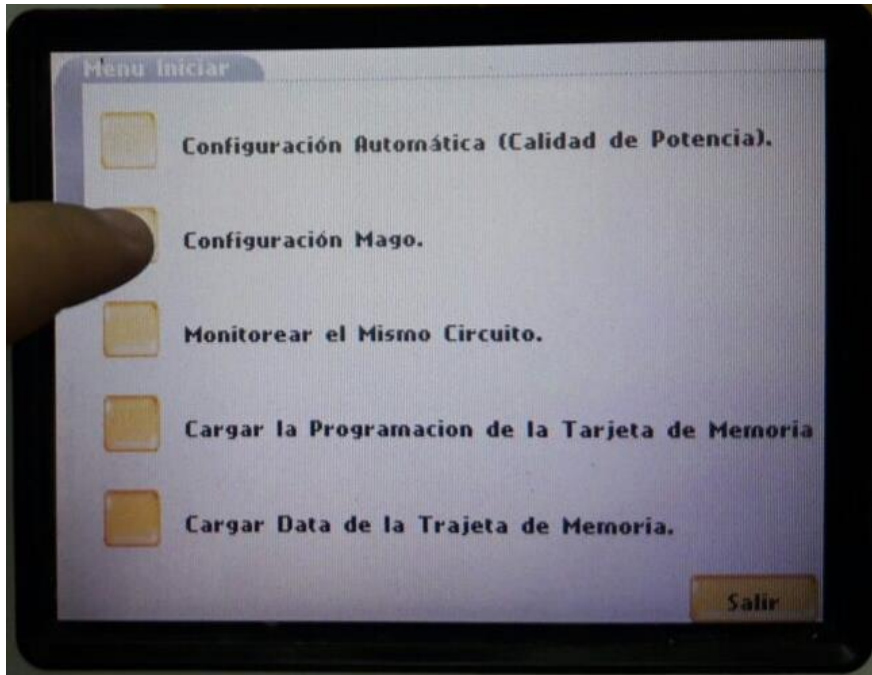


Figura 18. Configuración Mago.

10.4 Seleccione siguiente.

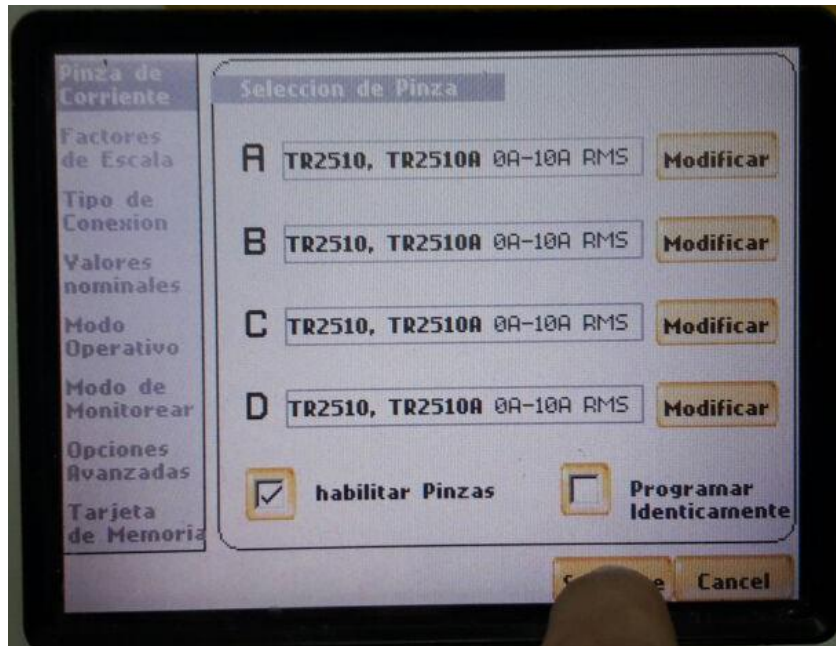


Figura 19. Configuración Mago 2.

10.5 Seleccione siguiente.

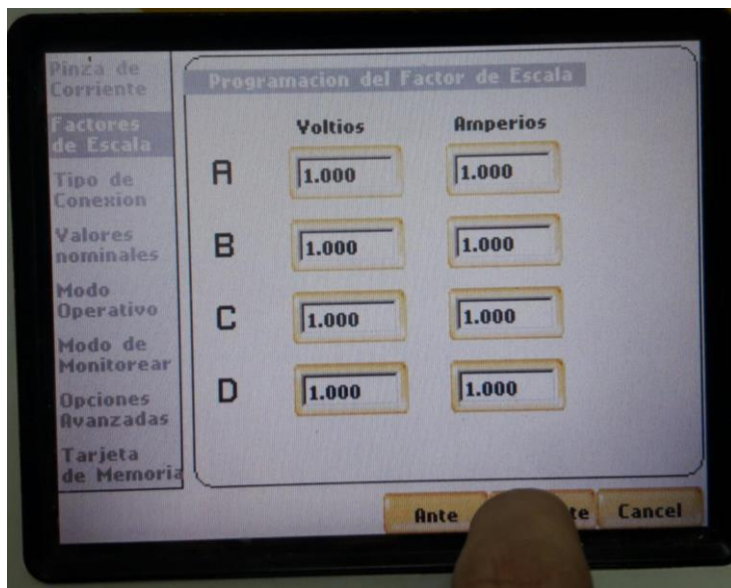


Figura 20. Configuración Mago 3.

10.6 Seleccione aceptar

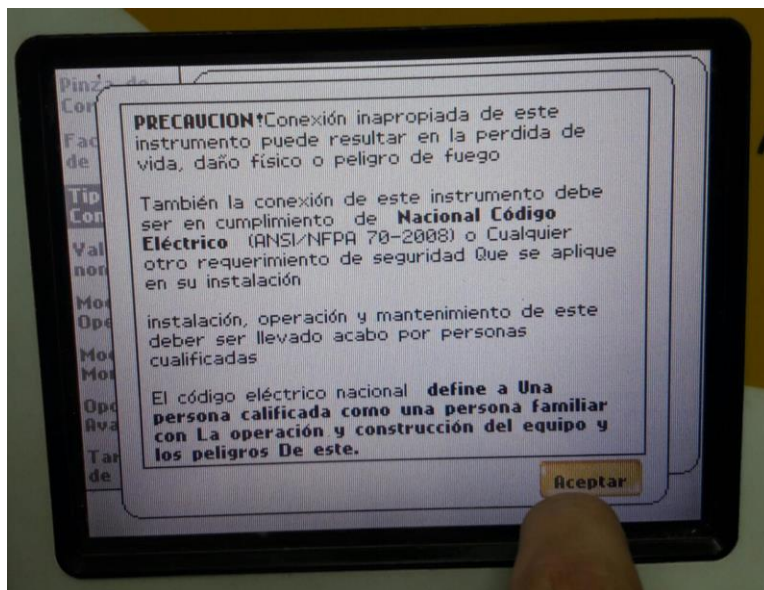


Figura 21. Configuración Mago 4.

10.7 Seleccione siguiente, asegúrese que el tipo de conexión en el medidor corresponde al realizado así como las señales de “Voltaje” y “Corriente” tengan de designación “Bien”.

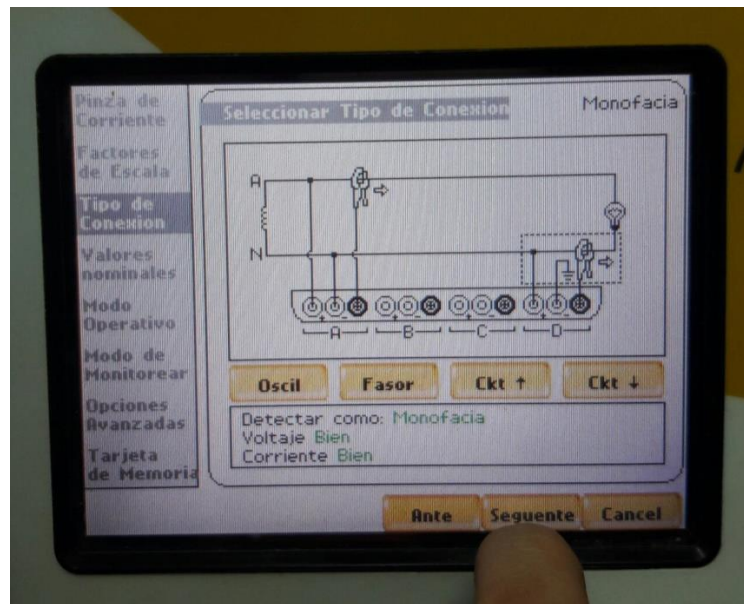


Figura 22. Configuración Mago 5.

10.8 Verifique que la frecuencia corresponde a 60 Hz, los valores de voltaje y corriente se configuran automáticamente. Una vez verifique oprima siguiente.

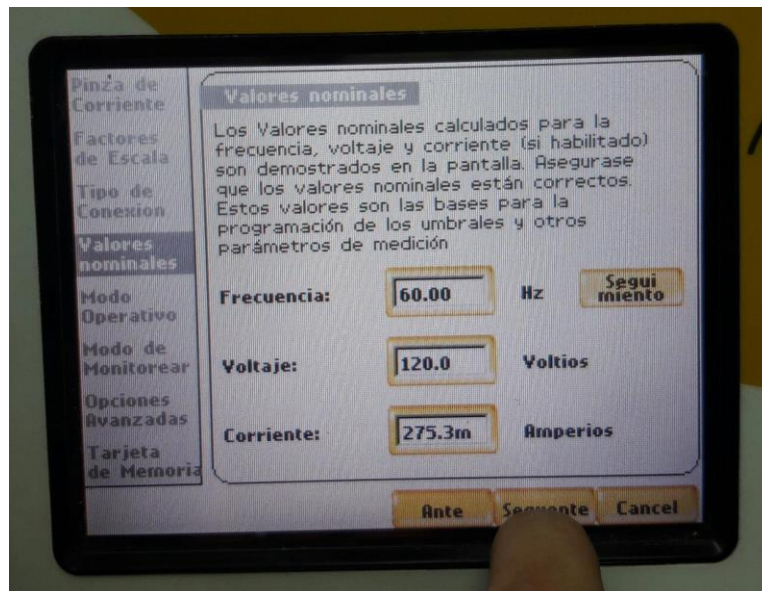


Figura 23. Configuración Mago 6.

10.9 Seleccione siguiente.

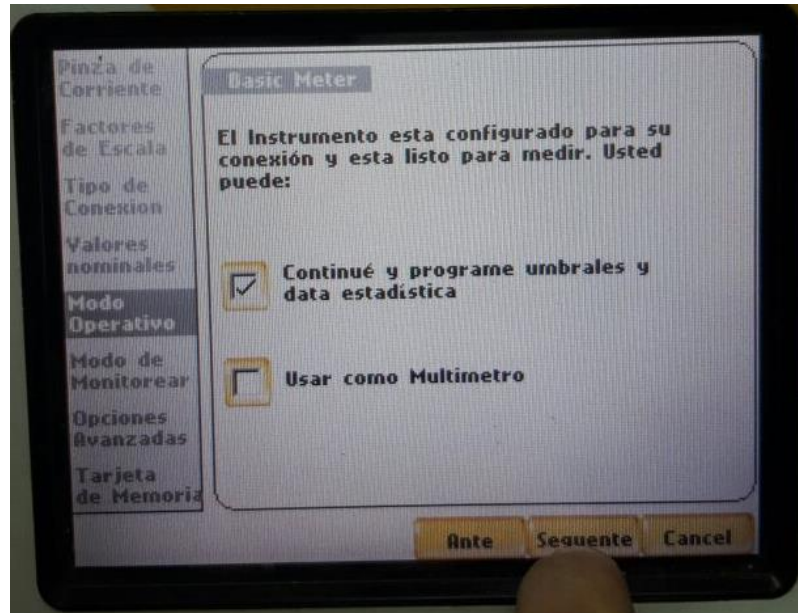


Figura 24. Configuración Mago 7.

10.10 Seleccione siguiente.

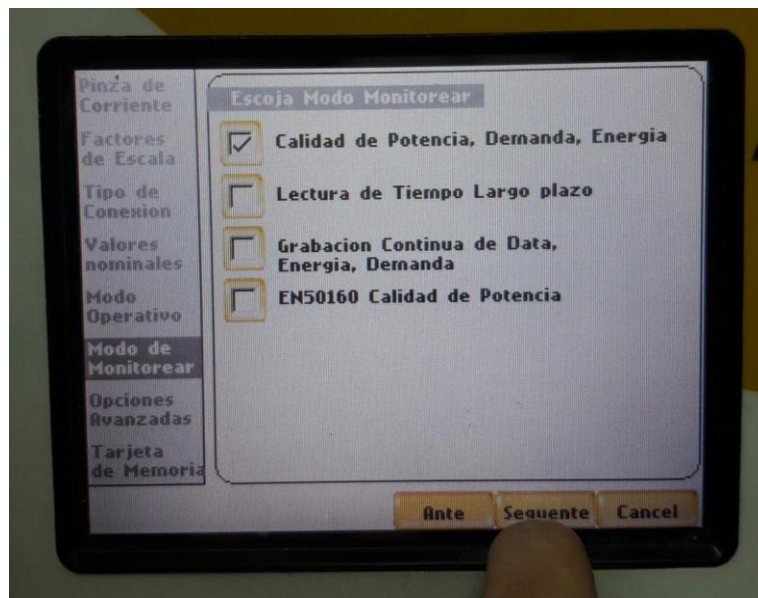


Figura 25. Configuración Mago 8.

10.11 Seleccione siguiente.

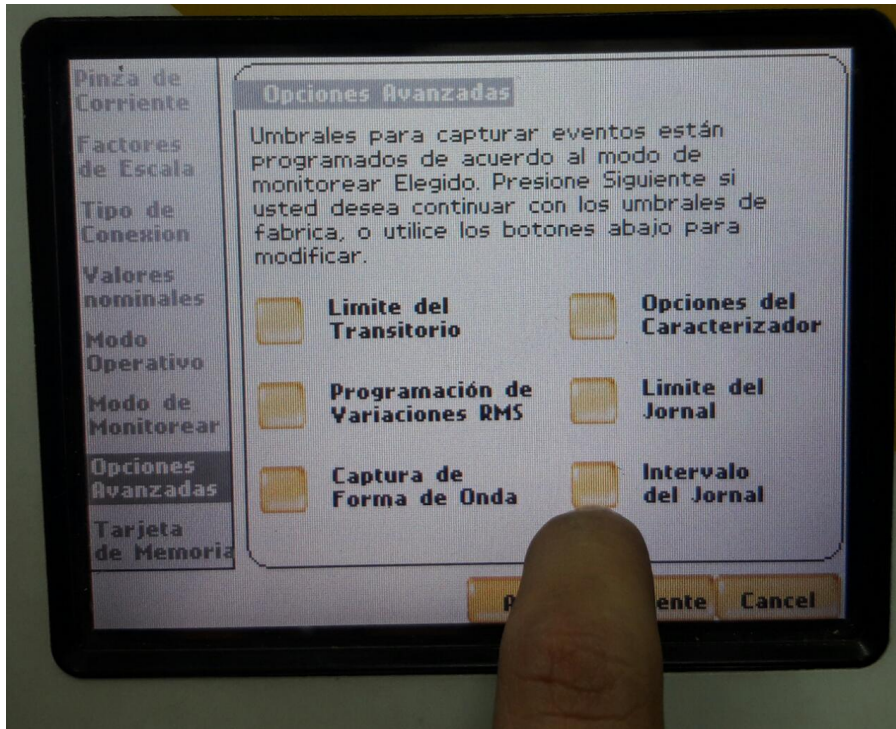


Figura 26. Configuración Mago 9.

10.12 Ingrese a la opción “Valores de Potencia”.

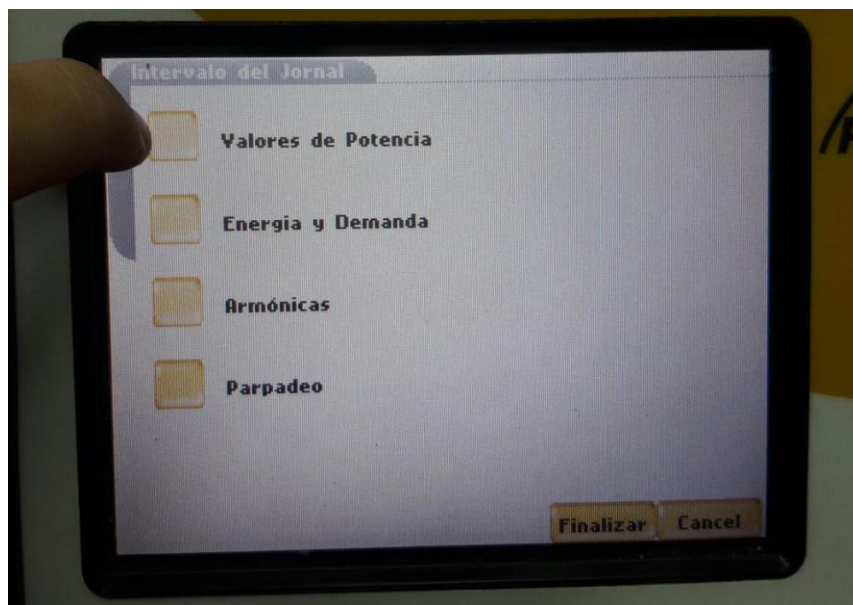


Figura 27. Valores de potencia.

10.13 En la opción “Intervalos de Valores de Potencia” llévela a 1SEG y asegúrese que “Forma de Onda instantanea” se encuentre en SI. Posteriormente de configurarlas oprima en “Bien” para terminar esta sección.

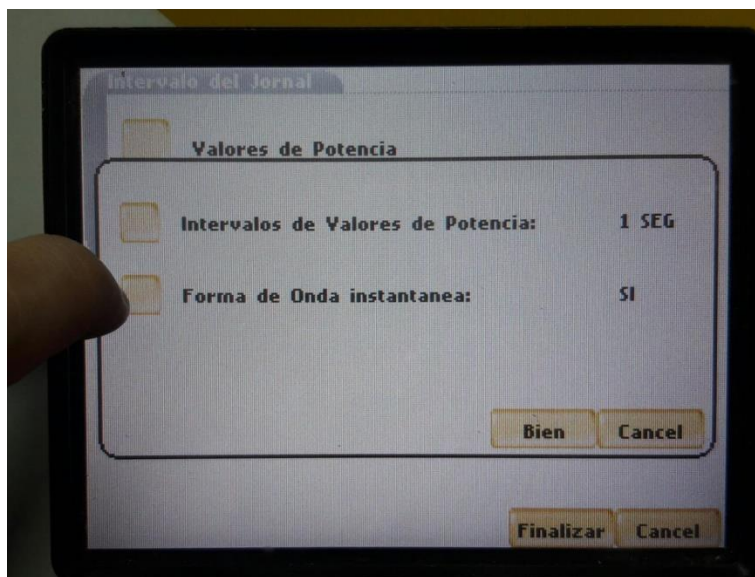


Figura 28. Intervalos de Valores de Potencia.

10.14 Oprima Siguiente

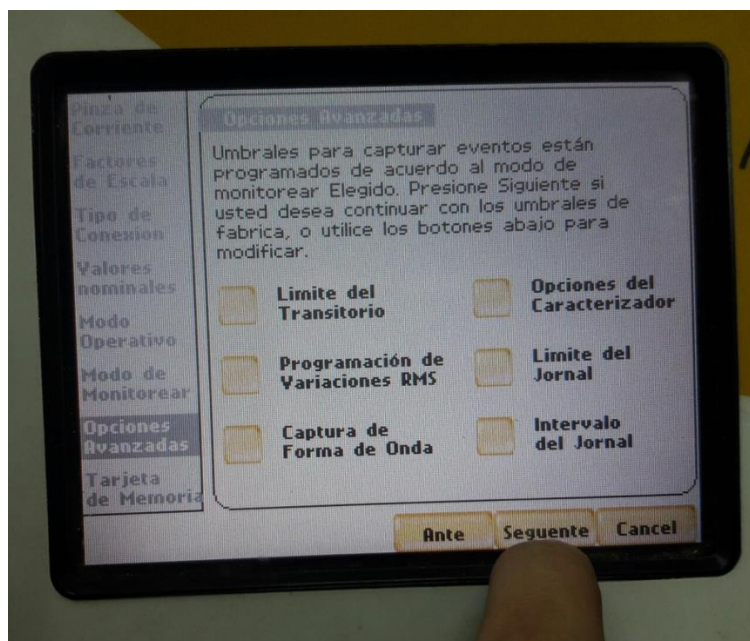


Figura 29. Configuración.

10.15 Seleccione Modificar.

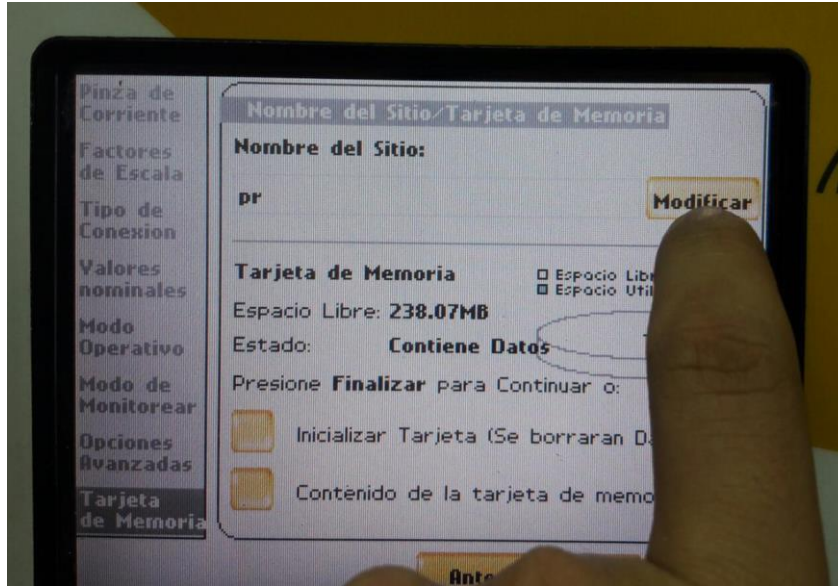


Figura 30. Configuración.

10.16 Désígnele un nombre a la programación realizada en los pasos anteriores.

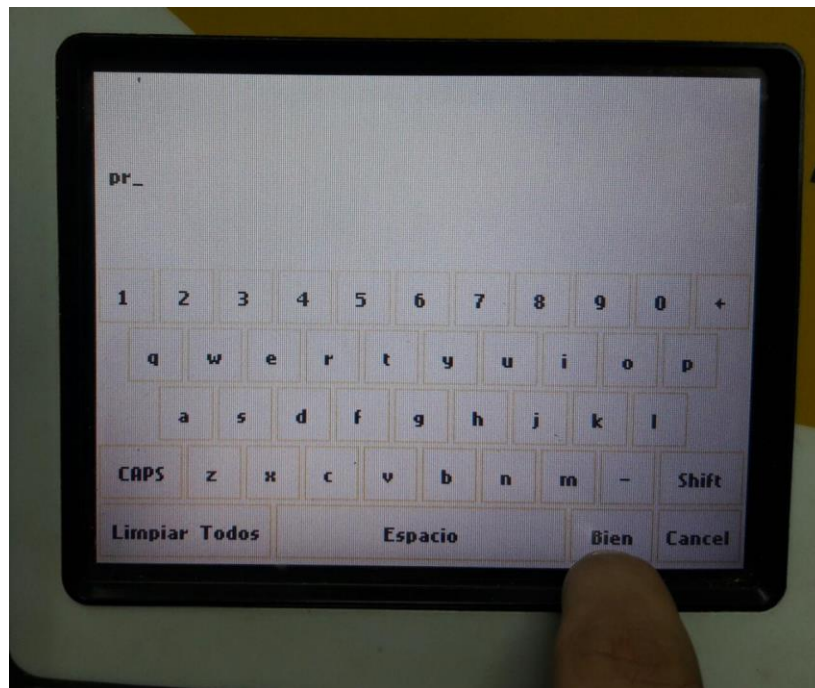


Figura 31. Teclado digital medidor.

11. Energice al tablero de tomacorrientes desde la fuente.

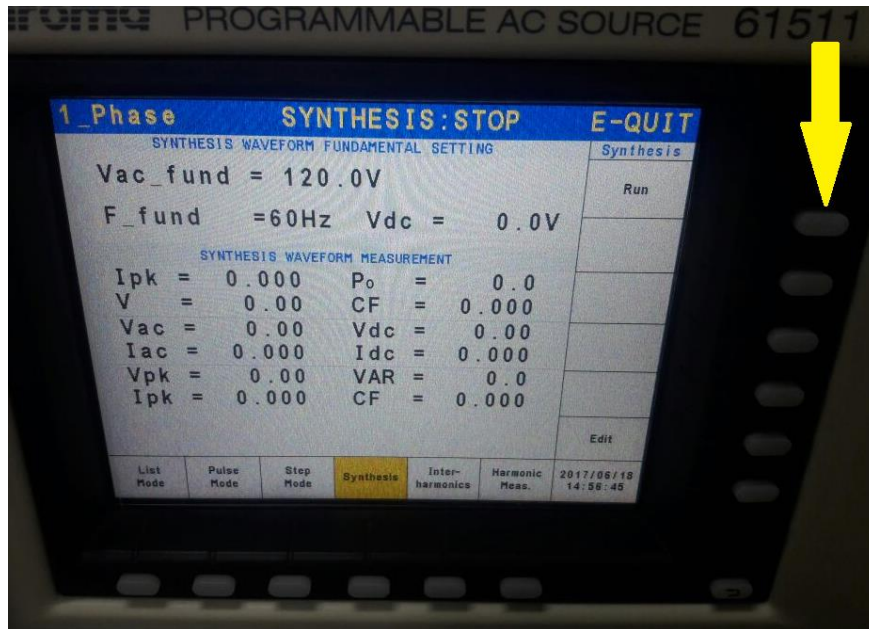


Figura 32. Tecla Run.

12. Realice la toma de la medida.

12.1 Con la configuración realizada en el paso 10 oprima “Iniciar Ahora” para empezar la medición.

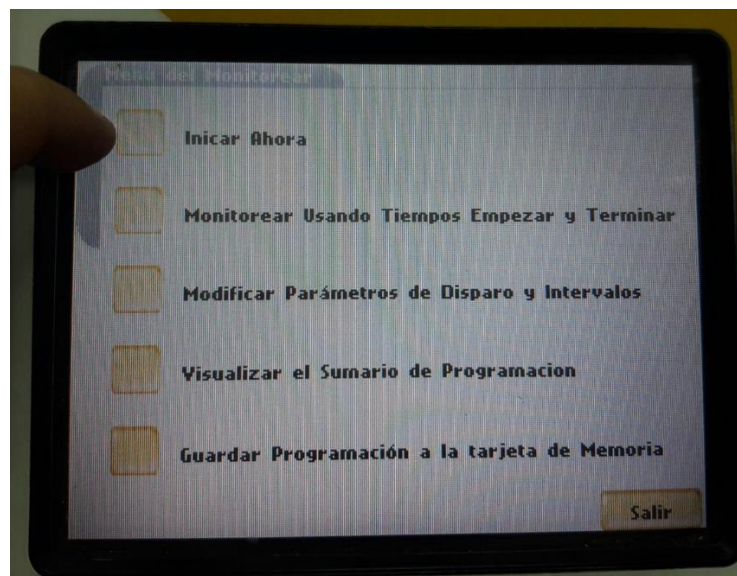


Figura 33. Opción iniciar ahora.

12.2 Seleccione “Parar” luego de que los “JORNALES REGISTRADOS” supere 32.

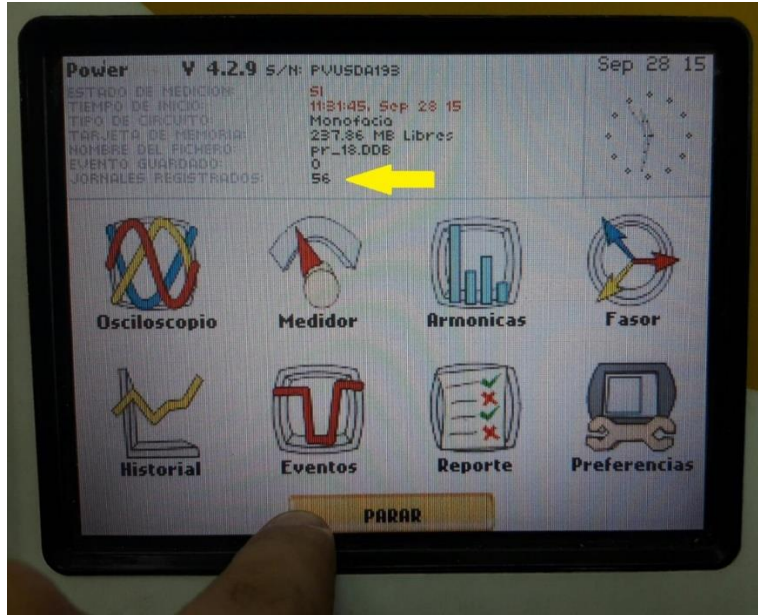


Figura 34. Jornales registrados.

12.3 Seleccione “Parar ahora!” para detener la medición y el medidor guarde los datos censados.

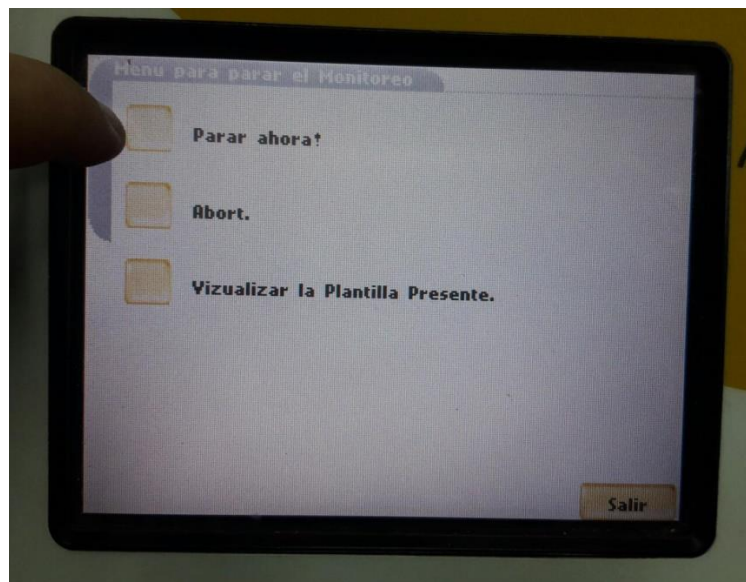


Figura 35. Detener la medida.

13. Repita desde el paso 7 para tomar una nueva medida.

13.1 Selecciona de nuevo “INICIAR/Config” para realizar una nueva medida.

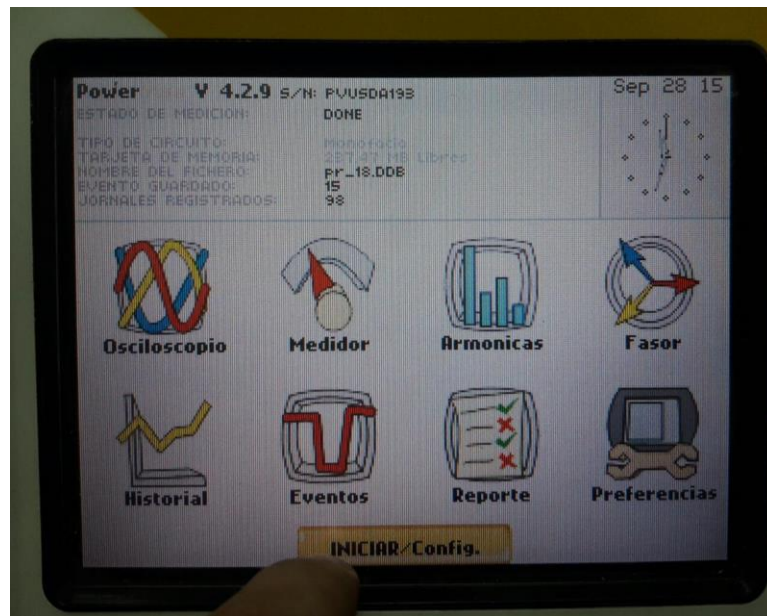


Figura 36. Iniciar/Config.

13.2 Seleccione “Monitorear el Mismo Circuito” para empezar una nueva medida con la configuración ya realizada en el paso 10.

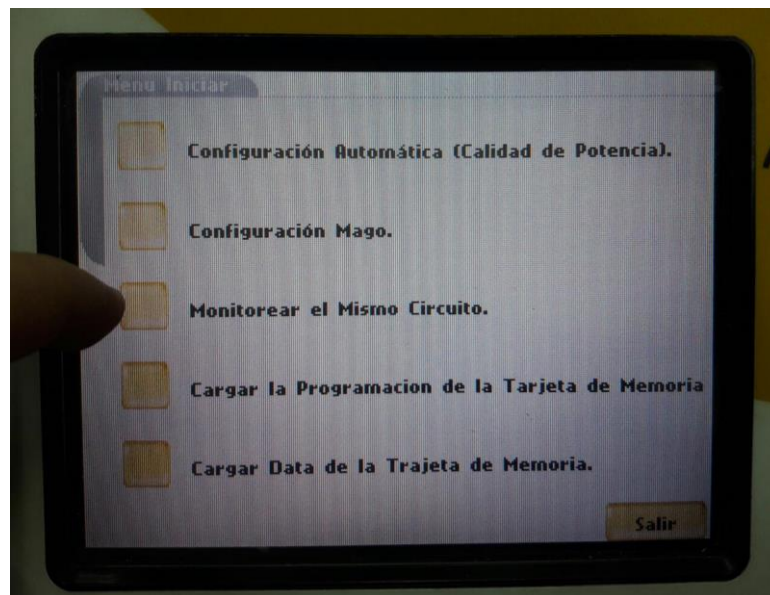


Figura 37. Monitorear el Mismo Circuito.

13.3 Seleccione “Iniciar Ahora” para comenzar la nueva medida.

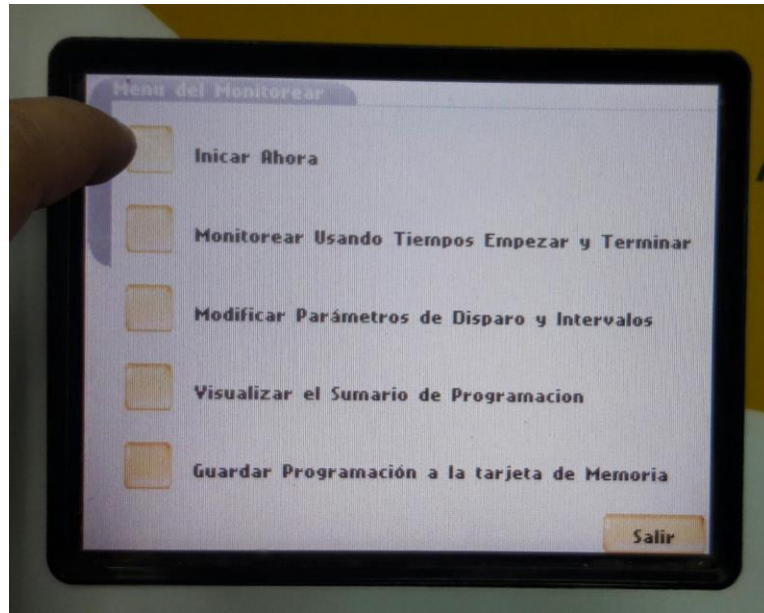


Figura 38. Iniciar ahora.

14. Una vez tome las medidas proceda a almacenarlas en un archivo .xlsx

14.1 Por medio del adaptador USB conecte al PC.

14.2 Conecte la llave de acceso DVP-PX que permite abrir el programa Dran View.

14.3 Abra la medida que desea analizar u observar.

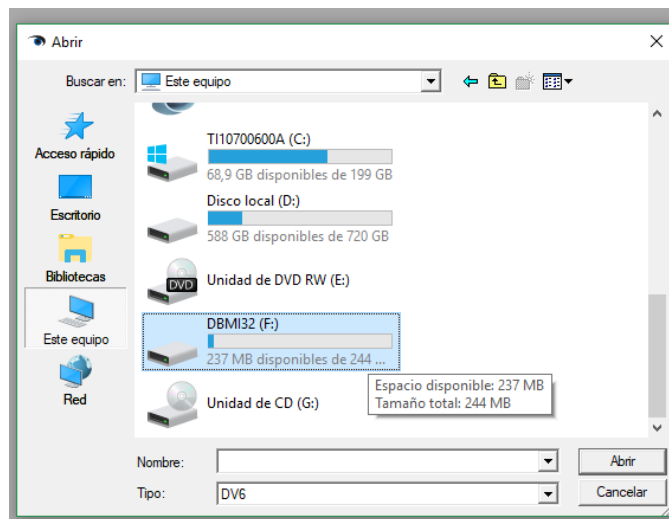


Figura 39. Apertura de medida.

14.4 Seleccione el archivo a analizar

14.5 Haga doble click en la figura de tensión para desplegar las propiedades del diagrama.

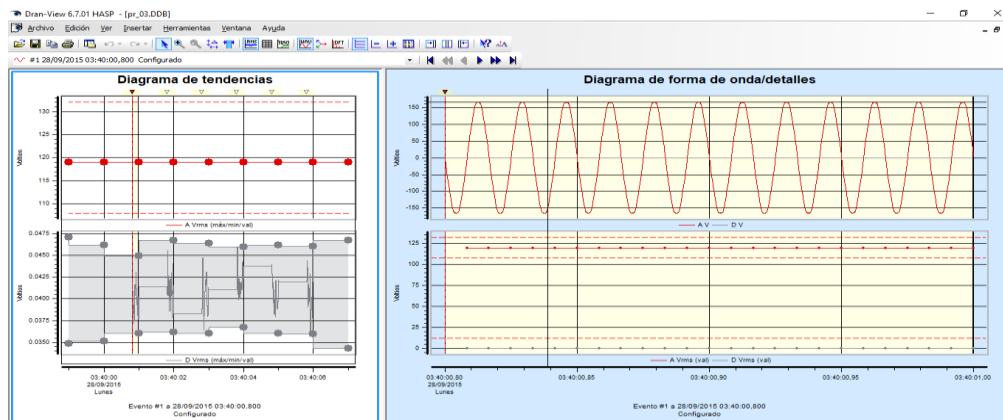


Figura 40. Propiedades del diagrama.

14.6 Seleccione en las opciones de *Forma de Onda* visualizar el canal A, ya que previamente en el medidor se realizó la medida por dicho canal.

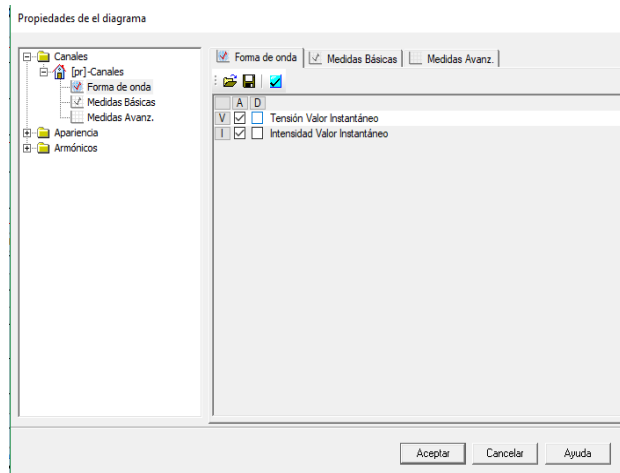


Figura 41. Formato de onda.

14.7 En *Medidas Básicas* del menú anterior asegúrese que no estará seleccionada ninguna opción para tener listados de manera consecutiva los valores de las muestras que se obtuvieron en la medida.

14.8 Seleccione “Lista de Datos” para hacer emerger una ventana con los datos medidos.

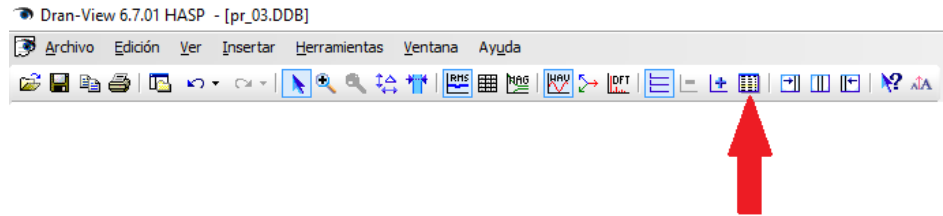


Figura 42. Lista de datos.

14.9 Seleccione todas las muestras de un ciclo de la señal continua para copiarlas al archivo Excel (.xlsx)

Datos X	AVValor[Volti...	AIValor[Amperi...
1	28/09/2015 03:40:00,800086975	0
2	28/09/2015 03:40:00,800152063	-4.6799
3	28/09/2015 03:40:00,800217151	-9.3597
4	28/09/2015 03:40:00,800282239	-13.8316
5	28/09/2015 03:40:00,800347328	-18.5114
6	28/09/2015 03:40:00,800412416	-23.0873
7	28/09/2015 03:40:00,800477743	-27.4552
8	28/09/2015 03:40:00,800542831	-31.0271

Figura 43. Muestras.

14.10 Configurar las opciones de copiado y OK.

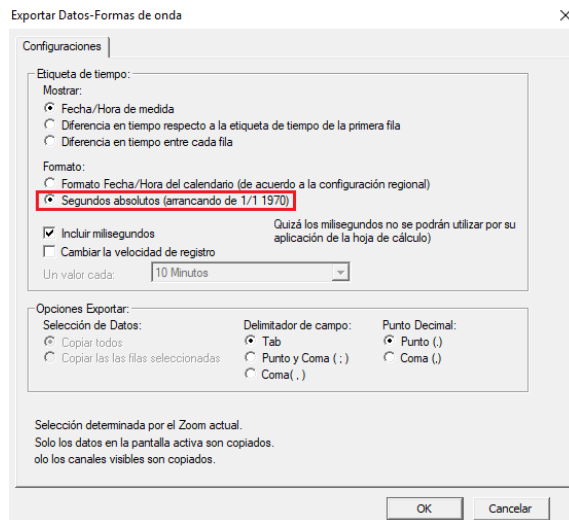


Figura 44. Configurar las opciones de copiado.

Apéndice C. Casos de estudio de mayor diferencia entre las potencias Sn y Qf.

Tabla 1. Casos de estudio para la luminaria tipo CFL de mayor diferencia entre Sn y Qf

No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R5%_A3_THDV8%_0	18,2	-10,4	23,4	15,8	17,3	14,4	-9,6	15,7	1,4	1,3	0,3	1,3
2	R1%_A3_THDV6%_0	17,8	-9,8	22,9	15,4	16,9	14,3	-9,1	15,3	1,0	0,9	0,2	0,9
3	R-1%_A3_THDV6%_0	17,5	-9,7	22,5	15,1	16,7	14,0	-9,1	15,0	1,0	0,9	0,2	0,9
4	R-1%_A3_THDV8%_0	17,0	-9,8	22,0	14,7	16,4	13,6	-9,1	14,6	1,3	1,1	0,3	1,1
5	R5%_A3_THDV4%_0	19,1	-9,8	24,3	16,7	17,6	15,0	-9,3	16,7	0,7	0,7	0,1	0,7
6	R3%_A3_THDV6%_0	18,0	-9,8	23,0	15,7	16,8	14,2	-9,1	15,6	1,0	1,0	0,1	0,9
7	R1%_A3_THDV4%_0	17,7	-9,3	22,8	15,4	16,8	14,3	-8,9	15,4	0,7	0,6	0,1	0,6
8	R-1%_A3_THDV8%_0	17,3	-9,8	22,2	15,0	16,4	13,7	-9,0	14,9	1,3	1,2	0,3	1,2
9	R-5%_A3_THDV10%_0	16,2	-9,6	21,1	13,9	15,8	13,1	-8,9	13,8	1,5	1,3	0,4	1,2
10	R5%_A3_THDV6%_0	17,9	-9,6	22,8	15,7	16,5	13,9	-8,9	15,6	1,0	1,0	0,1	1,0
11	R-1%_A3_THDV10%_0	16,8	-9,8	21,8	14,6	16,2	13,5	-9,0	14,4	1,6	1,4	0,4	1,4
12	R5%_A3_THDV6%_60	16,4	-6,8	22,5	14,2	17,4	16,1	-6,7	14,1	1,1	0,9	-0,7	0,5
13	R-1%_A3_THDV4%_60	16,6	-7,6	22,2	14,4	16,9	15,2	-7,4	14,4	0,7	0,6	-0,4	0,4
14	R3%_A3_THDV10%_60	14,9	-4,8	21,3	12,7	17,2	16,4	-5,0	12,5	1,8	1,3	-1,1	0,7
15	R5%_A3_THDV4%_60	17,5	-7,6	23,3	15,3	17,5	15,9	-7,4	15,3	0,7	0,6	-0,5	0,4
16	R3%_A3_THDV8%_0	17,1	-9,5	21,9	14,9	16,0	13,4	-8,7	14,8	1,3	1,2	0,2	1,2
17	R-1%_A3_THDV8%_60	14,5	-5,8	20,5	12,4	16,3	15,2	-5,7	12,3	1,3	1,0	-0,8	0,5
18	R1%_A3_THDV10%_0	16,7	-9,6	21,6	14,5	15,9	13,3	-8,7	14,4	1,6	1,4	0,4	1,4

*El porcentaje de incertidumbre asociada a las medidas de potencia mostradas en la tabla se especifica en el anexo G.

Tabla 2. Casos de estudio para el televisor LCD de mayor diferencia entre Sn y Qf.

No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R5%_A3_THDV8%_0	18,7	-7,8	68,5	13,8	67,1	66,7	-7,6	12,5	5,6	1,1	-0,8	0,7
2	R5%_A3_THDV10%_0	18,1	-8,0	68,1	13,3	66,7	66,3	-7,7	11,2	7,0	1,2	-0,7	1,0
3	R1%_A3_THDV8%_0	18,0	-7,6	67,8	13,3	66,5	66,1	-7,4	12,2	5,4	1,0	-0,7	0,7
4	R-5%_A3_THDV8%_0	19,8	-7,3	67,4	15,1	65,7	65,3	-7,1	14,2	5,0	1,1	-0,9	0,6
5	R-1%_A3_THDV8%_0	17,9	-7,5	67,7	13,3	66,3	66,0	-7,2	12,2	5,3	1,0	-0,7	0,7
6	R0%_A3_THDV10%_0	17,7	-7,1	67,9	13,1	66,6	66,3	-6,9	11,2	6,6	1,1	-0,7	0,9
7	R0%_A3_THDV8%_0	18,0	-6,9	69,0	13,5	67,6	67,3	-6,7	12,3	5,4	1,0	-0,7	0,7
8	R3%_A3_THDV8%_0	17,6	-7,4	67,4	13,1	66,1	65,7	-7,2	11,8	5,4	1,0	-0,7	0,7
9	R-3%_A3_THDV8%_0	18,0	-6,7	68,6	13,5	67,3	67,0	-6,5	12,4	5,2	1,0	-0,7	0,6
10	R3%_A3_THDV6%_0	18,5	-7,8	67,4	14,1	65,9	65,5	-7,5	13,5	4,1	0,8	-0,7	0,5
11	R5%_A3_THDV6%_0	18,7	-7,4	68,2	14,3	66,7	66,3	-7,2	13,6	4,2	0,9	-0,7	0,5
12	R0%_A3_THDV6%_0	18,7	-7,5	68,5	14,4	67,0	66,6	-7,3	13,8	4,0	0,8	-0,7	0,5
13	R3%_A3_THDV10%_0	17,1	-6,9	67,6	12,9	66,4	66,0	-6,8	10,8	6,8	1,1	-0,6	0,9
14	R1%_A3_THDV10%_0	16,9	-7,0	67,1	12,6	65,9	65,5	-6,8	10,7	6,6	1,1	-0,6	0,9
15	R-5%_A3_THDV10%_0	16,6	-6,8	67,2	12,4	66,1	65,7	-6,6	10,7	6,3	1,0	-0,6	0,8
16	R1%_A3_THDV6%_0	18,5	-7,0	68,1	14,3	66,6	66,2	-6,8	13,7	4,1	0,8	-0,7	0,5
17	R-3%_A3_THDV10%_0	16,7	-6,6	67,5	12,5	66,3	66,0	-6,4	10,7	6,4	1,0	-0,6	0,8
18	R5%_A3_THDV12%_0	17,6	-7,7	67,9	13,5	66,6	66,1	-7,5	10,5	8,3	1,3	-0,5	1,2

*El porcentaje de incertidumbre asociada a las medidas de potencia mostradas en la tabla se especifica en el anexo G.

Tabla 3. Casos de estudio para la luminaria tipo LED de mayor diferencia entre Sn y Qf.

No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R5%_A3_THDV12%_0	19,2	-9,7	23,7	17,4	16,2	13,7	-8,6	17,2	1,6	1,7	0,3	1,7
2	R-3%_A3_THDV6%_0	19,5	-9,0	24,3	17,6	16,7	14,5	-8,3	17,6	1,0	1,0	0,0	1,0
3	R-5%_A3_THDV10%_0	19,2	-9,3	23,7	17,4	16,1	13,8	-8,4	17,3	1,3	1,4	0,1	1,4
4	R-1%_A3_THDV12%_0	19,8	-9,8	24,3	17,9	16,4	13,9	-8,7	17,8	1,6	1,8	0,2	1,8
5	R-1%_A3_THDV10%_0	19,8	-9,5	24,4	18,0	16,5	14,2	-8,5	17,9	1,4	1,5	0,1	1,5
6	R-3%_A3_THDV12%_0	19,3	-9,5	23,8	17,5	16,1	13,7	-8,5	17,4	1,6	1,7	0,2	1,7
7	R-3%_A3_THDV10%_0	19,3	-9,2	23,8	17,5	16,1	13,8	-8,2	17,4	1,3	1,4	0,1	1,4
8	R1%_A3_THDV12%_0	19,8	-9,6	24,3	18,0	16,3	13,9	-8,5	17,9	1,6	1,8	0,2	1,8
9	R1%_A3_THDV10%_0	19,9	-9,3	24,4	18,2	16,3	14,1	-8,2	18,1	1,4	1,5	0,1	1,5
10	R0%_A3_THDV12%_0	19,6	-9,5	24,1	17,9	16,1	13,7	-8,4	17,7	1,6	1,8	0,2	1,8
11	R-5%_A3_THDV8%_0	19,2	-8,8	23,7	17,5	16,0	13,9	-8,0	17,4	1,1	1,2	0,0	1,2
12	R-5%_A3_THDV2%_60	17,7	-8,3	22,2	16,0	15,3	13,3	-7,6	16,0	0,9	0,9	0,0	0,9
13	R-1%_A3_THDV8%_0	20,2	-9,0	24,8	18,5	16,5	14,4	-8,1	18,4	1,1	1,2	0,0	1,2
14	R3%_A3_THDV10%_0	19,8	-9,5	24,2	18,1	16,0	13,7	-8,3	17,9	1,6	1,8	0,2	1,8
15	R0%_A3_THDV10%_0	19,7	-9,1	24,1	18,0	16,0	13,8	-8,1	17,9	1,3	1,5	0,1	1,5
16	R-3%_A3_THDV8%_0	19,3	-8,6	23,8	17,7	15,9	13,9	-7,8	17,6	1,1	1,2	0,0	1,2
17	R1%_A3_THDV8%_0	19,9	-8,6	24,5	18,3	16,2	14,2	-7,8	18,2	1,1	1,2	0,0	1,2
18	R-1%_A3_THDV6%_0	20,1	-8,4	24,8	18,6	16,4	14,5	-7,7	18,5	0,8	0,9	-0,1	0,9

*El porcentaje de incertidumbre asociada a las medidas de potencia mostradas en la tabla se especifica en el anexo G.

Tabla 4. Casos de estudio de mayor diferencia entre Sn y Qf para las 5 formas de señales de tensión de alimentación características en la luminaria tipo CFL.

Señal de tensión de alimentación tipo Sinusoidal Pura													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R3%	18,19	-7,51	23,09	16,56	16,09	14,23	-7,51	16,56	0,02	0,02	-0,01	0,02
2	R5%	18,64	-7,59	23,63	17,02	16,40	14,54	-7,59	17,02	0,02	0,02	-0,01	0,02
3	R1%	17,35	-7,13	22,06	15,81	15,38	13,63	-7,13	15,81	0,02	0,02	-0,01	0,01
Señal de tensión de alimentación tipo Flat Top													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R3%	17,80	-8,07	22,54	16,09	15,79	13,70	-7,86	16,07	0,47	0,48	0,13	0,46
2	R5%	18,25	-8,16	23,10	16,55	16,12	14,03	-7,95	16,53	0,48	0,50	0,13	0,48
3	R-3%	16,27	-7,50	20,64	14,64	14,54	12,58	-7,30	14,63	0,44	0,44	0,12	0,42
Señal de tensión de alimentación tipo Pointed Top													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R5%	21,08	-7,10	26,70	19,75	17,97	16,43	-7,27	19,72	0,78	0,85	-0,04	0,85
2	R3%	19,85	-6,55	25,08	18,67	16,75	15,35	-6,70	18,64	0,72	0,80	-0,02	0,80
3	R1%	19,02	-6,20	23,99	17,91	15,95	14,63	-6,34	17,88	0,69	0,77	-0,02	0,77
Señal de tensión de alimentación tipo Medida Casa 1													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R-5%	23,20	-6,77	27,28	22,37	15,61	14,10	-6,69	22,35	0,55	0,79	0,25	0,75
2	R-3%	23,31	-6,65	27,37	22,53	15,55	14,10	-6,57	22,51	0,55	0,79	0,25	0,75
3	R-1%	23,58	-6,53	27,64	22,83	15,57	14,16	-6,47	22,81	0,55	0,80	0,26	0,76
Señal de tensión de alimentación tipo Medida Casa 2													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R-5%	24,65	-7,51	28,68	23,76	16,07	14,37	-7,18	23,73	0,58	0,86	0,28	0,81
2	R-3%	24,38	-7,05	28,23	23,60	15,48	13,93	-6,75	23,58	0,56	0,86	0,29	0,80
3	R-1%	24,75	-6,97	28,59	24,02	15,51	14,00	-6,67	23,99	0,56	0,87	0,30	0,82

*El porcentaje de incertidumbre asociada a las medidas de potencia mostradas en la tabla se especifica en el anexo G.

Tabla 5. Casos de estudio de mayor diferencia entre Sn y Qf para las 5 formas de señales de tensión de alimentación características en el televisor LCD

Señal de tensión de alimentación tipo Sinusoidal Pura													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R3%	20,32	-7,25	68,28	18,93	65,61	65,20	-7,25	18,93	0,10	0,03	-0,01	0,02
2	R5%	20,24	-7,23	68,19	18,86	65,53	65,13	-7,23	18,86	0,11	0,03	-0,01	0,03
3	R1%	19,37	-6,97	67,47	18,03	65,01	64,64	-6,97	18,03	0,11	0,03	-0,01	0,03
Señal de tensión de alimentación tipo Flat Top													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R5%	19,02	-7,32	67,23	16,75	65,11	64,71	-7,18	16,62	1,99	0,51	-0,23	0,45
2	R3%	19,46	-7,01	68,28	17,26	66,06	65,70	-6,88	17,13	2,02	0,52	-0,25	0,46
3	R1%	19,19	-6,78	68,38	17,05	66,22	65,88	-6,66	16,93	2,03	0,52	-0,25	0,45
Señal de tensión de alimentación tipo Pointed Top													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R5%	21,7836	-7,4104	67,9515	22,2254	64,214	63,7641	-7,5883	22,0366	2,734	0,9382	0,60	0,72
2	R3%	21,9273	-7,354	68,5305	22,4159	64,7608	64,321	-7,5342	22,2259	2,7548	0,9454	0,61	0,73
3	R1%	21,2709	-7,0402	67,9787	21,8132	64,3839	63,9794	-7,2056	21,6212	2,7376	0,9193	0,59	0,71
Señal de tensión de alimentación tipo Medida Casa 1													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R5%	20,781	-6,8111	67,5839	20,1046	64,5243	64,1661	-6,7903	19,9621	2,283	0,7063	0,1437	0,6915
2	R0%	20,6139	-6,8105	67,8776	19,9391	64,883	64,5274	-6,7836	19,7944	2,293	0,6996	0,1443	0,6845
3	R3%	20,4701	-6,483	67,9202	19,8852	64,9441	64,6219	-6,4611	19,7397	2,2978	0,6984	0,1402	0,6842
Señal de tensión de alimentación tipo Medida Casa 2													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R-5%	20,5899	-7,3758	67,5668	19,4424	64,7091	64,3097	-7,178	19,2845	2,3694	0,7061	0,0434	0,7048
2	R-3%	20,3091	-6,938	67,3282	19,273	64,5108	64,1566	-6,7508	19,1155	2,3579	0,6987	0,0356	0,6978
3	R-1%	20,299	-6,9067	68,0354	19,2907	65,2433	64,897	-6,7124	19,13	2,3841	0,699	0,0396	0,6979

*El porcentaje de incertidumbre asociada a las medidas de potencia mostradas en la tabla se especifica en el anexo G.

Tabla 6. Casos de estudio de mayor diferencia entre Sn y Qf para las 5 formas de señales de tensión de alimentación características en la luminaria tipo LED

Señal de tensión de alimentación tipo Sinusoidal Pura													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R-5%	20,0657	-6,1567	24,5251	19,0889	15,3979	14,1124	-6,1591	19,0889	0,019	0,0236	-0,011	0,0208
2	R-3%	20,2193	-6,04	24,6486	19,2874	15,3475	14,1092	-6,0397	19,2874	0,0181	0,0227	-0,012	0,0193
3	R-1%	20,4146	-5,9153	24,8217	19,5296	15,3202	14,1309	-5,9183	19,5296	0,0184	0,0235	-0,0114	0,0205
Señal de tensión de alimentación tipo Flat Top													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R-5%	20,9856	-7,8302	25,4858	19,6546	16,2241	14,3158	-7,6342	19,6398	0,4854	0,5876	0,1456	0,5692
2	R-3%	20,9064	-7,6865	25,3347	19,6187	16,0298	14,1686	-7,4971	19,6041	0,4793	0,5862	0,1413	0,5689
3	R-1%	21,1636	-7,5724	25,6088	19,9327	16,0779	14,2804	-7,3871	19,918	0,4813	0,5963	0,1388	0,5799
Señal de tensión de alimentación tipo Pointed Top													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R-5%	21,8102	-4,8114	26,2676	21,4142	15,2125	14,4329	-4,8076	21,3845	0,6533	0,9184	0,2062	0,8949
2	R-3%	22,1844	-4,7038	26,5674	21,8335	15,1369	14,3918	-4,6905	21,8037	0,6503	0,9367	0,2259	0,909
3	R-1%	22,2712	-4,5663	26,634	21,9691	15,0574	14,3547	-4,5462	21,9394	0,647	0,9428	0,2522	0,9084
Señal de tensión de alimentación tipo Medida Casa 1													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R-5%	23,201	-6,772	27,278	22,3725	15,6065	14,1	-6,6897	22,3519	0,5488	0,786	0,2458	0,7466
2	R-3%	23,3111	-6,6491	27,3747	22,5264	15,5542	14,0973	-6,5727	22,5058	0,5483	0,7934	0,2543	0,7515
3	R-1%	23,5754	-6,5285	27,6384	22,8345	15,5714	14,1647	-6,4675	22,8138	0,5486	0,8037	0,2604	0,7604
Señal de tensión de alimentación tipo Medida Casa 2													
No	Correspondencia	Qf [VAr]	Qb[VAr]	S[VA]	Sn[VA]	S1[VA]	P1[W]	Q1[VAr]	Di[VA]	Dv[VA]	Sh[VA]	Ph[W]	Dh[VA]
1	R-5%	24,6512	-7,5087	28,6794	23,7567	16,0663	14,3735	-7,1785	23,734	0,5829	0,8611	0,2835	0,8131
2	R-3%	24,3813	-7,0518	28,2256	23,604	15,477	13,9276	-6,7499	23,5817	0,5621	0,8565	0,2934	0,8046
3	R-1%	24,3813	-7,0518	28,2256	23,604	15,477	13,9276	-6,7499	23,5817	0,5621	0,8565	0,2934	0,8046

*El porcentaje de incertidumbre asociada a las medidas de potencia mostradas en la tabla se especifica en el anexo G.

Apéndice D. Potencia para los demás tipos de señales de alimentación típicos en ambientes residenciales

A continuación se muestra la regulación que tiene mayor diferencia entre Q_f y S_n para cada señal en cada una de las cargas.

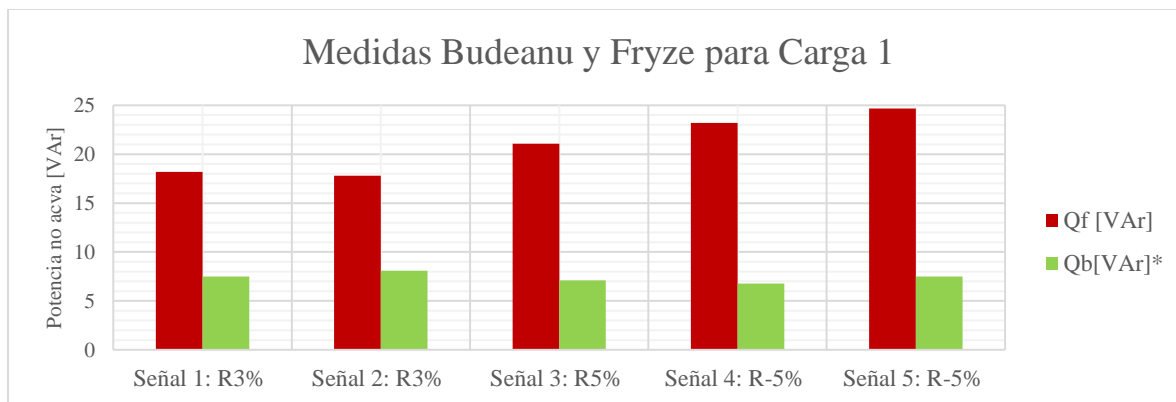


Figura 1. Casos de estudio de mayor diferencia entre S_n y Q_f para las 5 formas de señales de tensión de alimentación características en la luminaria CFL.

* Q_b según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.

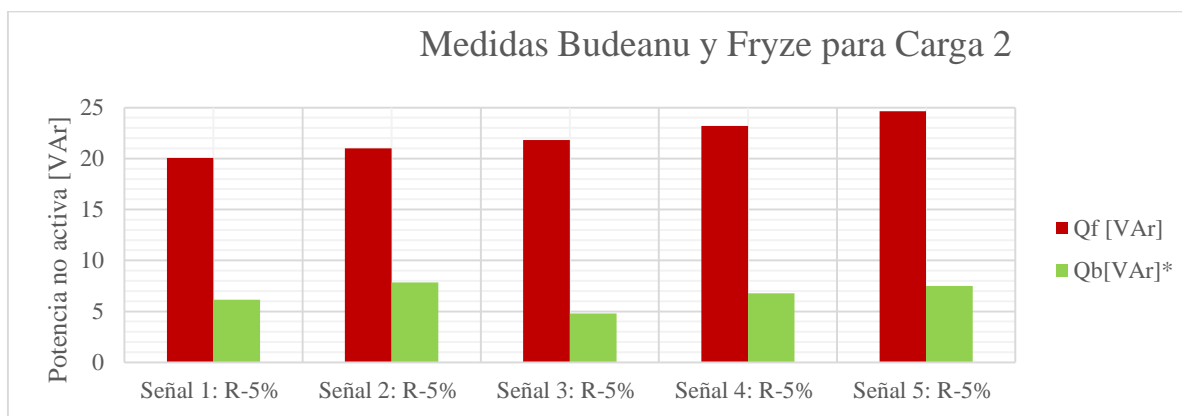


Figura 2. Casos de estudio de mayor diferencia entre S_n y Q_f para las 5 formas de señales de tensión de alimentación características en el televisor LCD.

* Q_b según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.

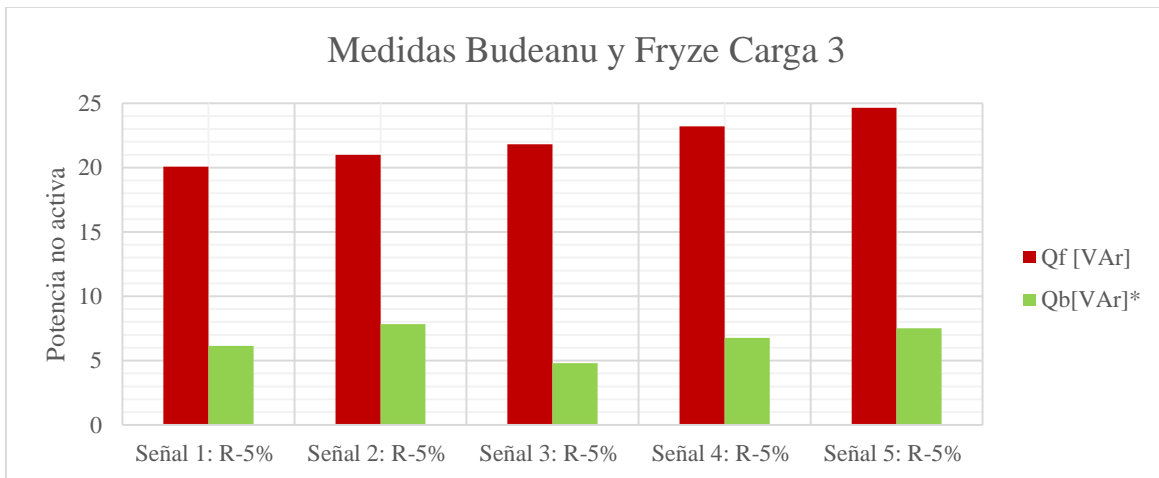


Figura 3. Casos de estudio de mayor diferencia entre S_n y Q_f para las 5 formas de señales de tensión de alimentación características en la luminaria LED.

* Q_b según el algoritmo la potencia consumida es capacitiva.

A continuación se realiza para cada carga una descomposición de potencia (IEEE 1459) para el caso de mayor diferencia entre S_n y Q_f , esto se realiza para las señales de tensión de alimentación medidas.

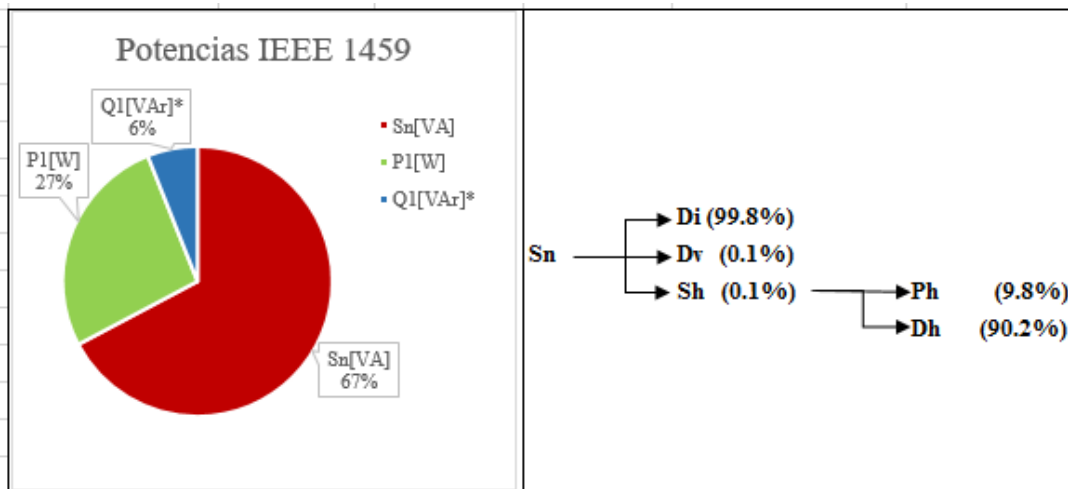


Figura 4. Descomposición IEEE 1459 para la señal de tensión de alimentación medida en la casa 1 y la luminaria CFL, caso de estudio: R-5%.

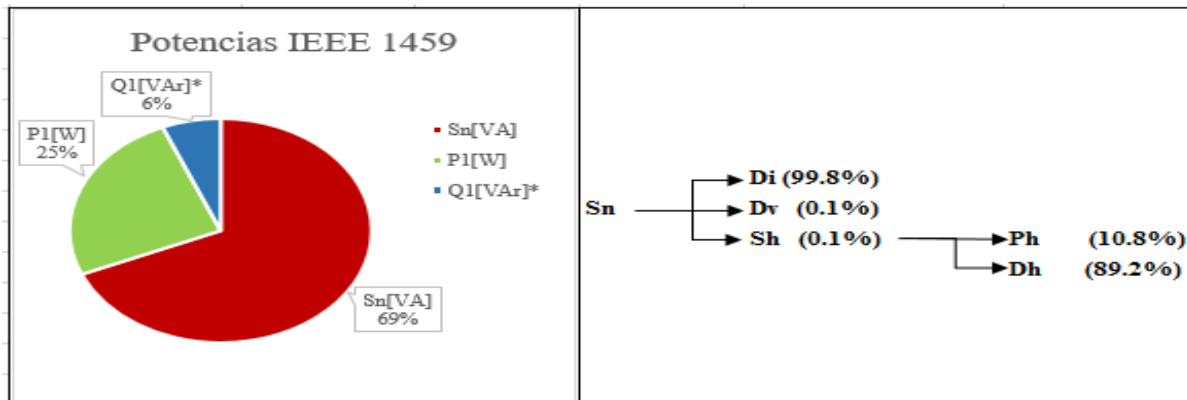


Figura 5. Descomposición IEEE 1459 para la señal de tensión de alimentación medida en la casa 2 y la luminaria CFL, caso de estudio: R-5%.

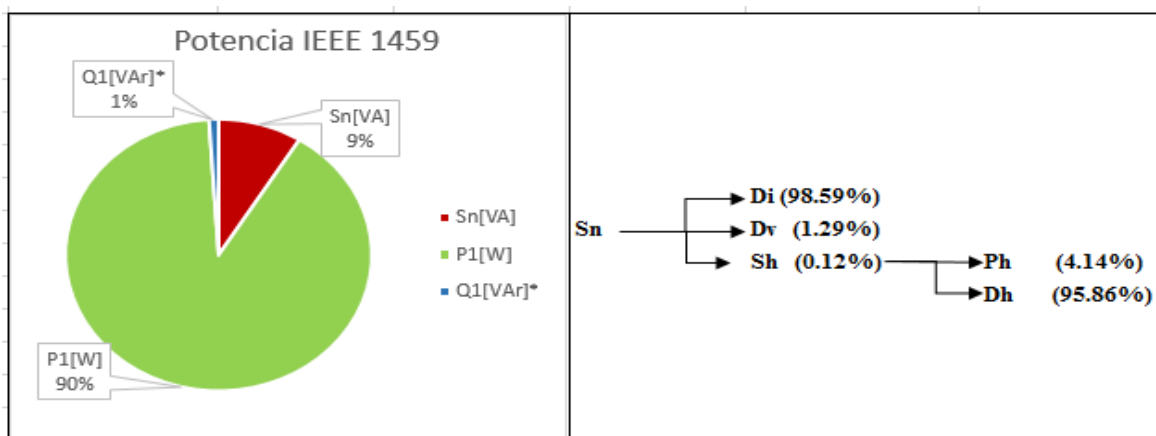


Figura 6. Descomposición IEEE 1459 para la señal de tensión de alimentación medida en la casa 1 y el televisor LCD, caso de estudio: R-5%.

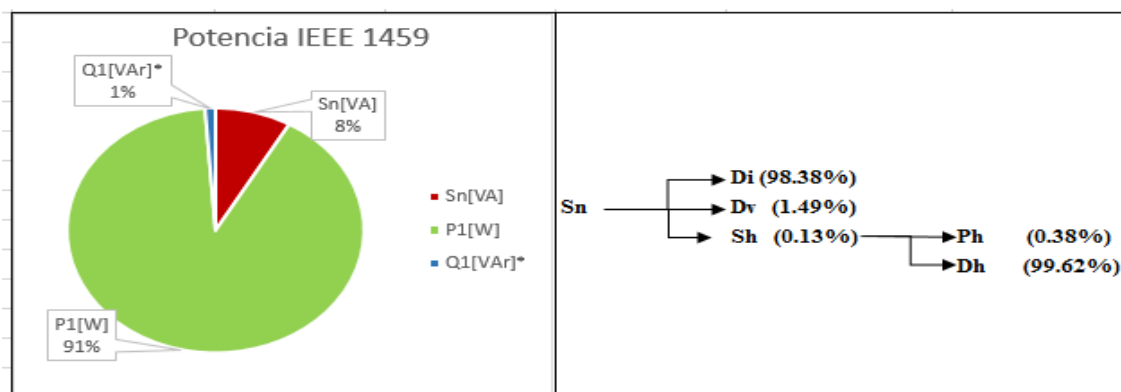


Figura 7. Descomposición IEEE 1459 para la señal de tensión de alimentación medida en la casa 2 y el televisor LCD, caso de estudio: R-5%.

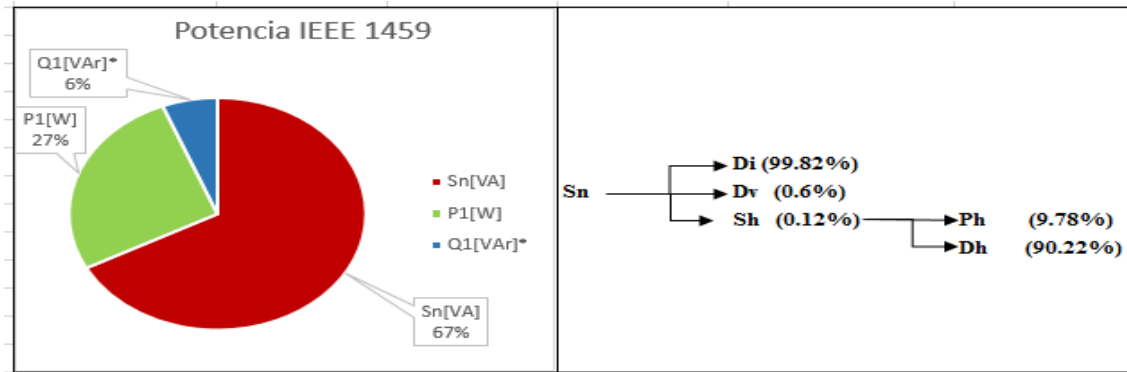


Figura 8. Descomposición IEEE 1459 para la señal de tensión de alimentación medida en la casa 1 y la luminaria LED, caso de estudio: R-5%.

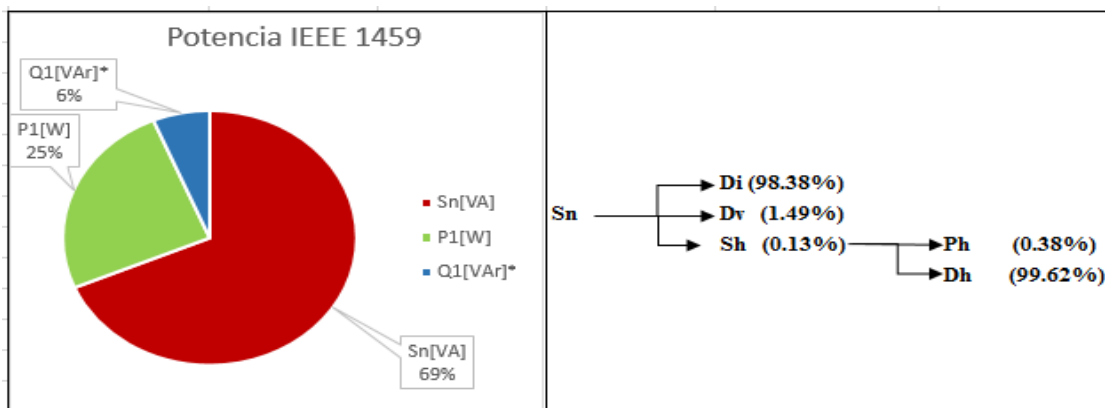


Figura 9. Descomposición IEEE 1459 para la señal de tensión de alimentación medida en la casa 2 y la luminaria LED, caso de estudio: R-5%.

Apéndice E. Complemento del análisis de los modelos ZIP y Exponencial para las cargas seleccionadas.

Ecuaciones implementadas:

$$Diferencia = \frac{\|Valor\ caso\ sinusoidal - Valor\ caso\ distorsionado\|}{Valor\ caso\ sinusoidal} * 100.$$

Utilizada para todos los casos de comparación.

casos de comparación.

$$Desv. Est = \sqrt{\frac{\sum(X_{polinomio} - X_{medida})^2}{n-1}}.$$

Hace referencia a la desviación estándar

R. Hace referencia a las ecuaciones 5 y 6 según el caso.

10. Parámetros de los modelos ZIP para más casos estudiados:

CARGA 1											
Descripción	P					Q					
	Zp	Ip	Pp	Desv, Est	R	Zq	Iq	Pq	Desv, Est	R	
THDV2% 60°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	-21,36	45,36	-23,05	0,03620	0,95	-18,41	39,90	-20,35	0,03500	1,14
	A2	-12,89	27,20	-13,38	0,04290	0,93	-10,61	23,50	-11,62	0,04000	1,27
	A3	-14,96	30,30	-14,39	0,05440	0,95	-13,94	28,66	-13,55	0,06020	1,17
	A4	-26,13	53,49	-26,42	0,02230	0,93	-28,51	58,75	-29,04	0,02030	1,21
	A5	-1,49	3,88	-1,49	0,03210	0,90	3,31	-4,96	2,78	0,01790	1,14
THDV12% 60°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	6,33	-11,63	6,23	0,02710	0,92	3,68	-6,00	3,22	0,01350	0,90
	A2	3,01	-4,77	2,73	0,02640	0,98	28,05	-53,64	27,17	0,05800	1,58
	A3	-18,43	37,19	-17,77	0,02660	0,98	-20,52	42,42	-20,40	0,02410	1,49
	A4	-1,07	2,71	-0,70	0,03820	0,94	-1,28	5,07	-2,12	0,04270	1,67
	A5	-6,17	12,53	-5,39	0,02060	0,98	-6,78	15,45	-6,77	0,03000	1,90
THDV4% 120°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	16,32	-31,47	16,06	0,05940	0,91	16,31	-30,88	15,68	0,05260	1,12
	A2	-9,24	19,00	-8,87	0,02860	0,89	-8,17	18,04	-8,46	0,03100	1,41
	A3	-9,91	20,61	-9,75	0,02550	0,95	-10,05	20,95	-9,82	0,02430	1,08
	A4	-16,93	34,05	-16,19	0,03200	0,93	-7,36	16,31	-7,71	0,01780	1,24
	A5	-6,97	14,65	-6,76	0,01860	0,92	-4,78	11,61	-5,48	0,01910	1,35

CARGA 1											
Descripción		P					Q				
		Zp	Ip	Pp	Desv, Est	R	Zq	Iq	Pq	Desv, Est	R
THDV2% 0°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	-13,75	29,57	-14,90	0,02810	0,92	-14,95	32,56	-16,45	0,02500	1,16
	A2	-5,05	12,10	-6,12	0,01320	0,93	-2,87	8,25	-4,21	0,00680	1,17
	A3	-7,16	15,65	-7,57	0,06390	0,93	-3,26	8,61	-4,11	0,05860	1,24
	A4	-23,00	47,11	-23,18	0,05190	0,93	-25,16	51,95	-25,61	0,06210	1,18
	A5	28,98	-57,36	29,27	0,02820	0,88	29,67	-58,12	29,55	0,02900	1,10
THDV4% 0°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	16,14	-31,26	16,00	0,04970	0,89	18,41	-35,19	17,89	0,04990	1,12
	A2	1,20	-1,09	0,86	0,02170	0,97	2,91	-3,77	2,08	0,01510	1,22
	A3	-17,11	34,64	-16,58	0,02510	0,95	-11,69	24,90	-11,88	0,01740	1,33
	A4	-17,36	35,13	-16,82	0,02270	0,95	-20,51	41,71	-19,97	0,02840	1,24
	A5	-9,93	21,38	-10,50	0,03840	0,95	-4,59	11,58	-5,76	0,02860	1,23
THDV6% 0°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	-11,59	24,67	-12,17	0,04820	0,90	-10,21	22,51	-11,17	0,04880	1,13
	A2	-5,17	11,71	-5,56	0,02770	0,98	-0,43	3,18	-1,48	0,01650	1,26
	A3	-11,63	24,02	-11,42	0,02580	0,97	-8,06	18,27	-8,77	0,01920	1,44
	A4	-11,62	23,72	-11,14	0,01410	0,96	-11,73	24,60	-11,54	0,02080	1,33
	A5	-13,37	27,43	-13,10	0,01030	0,97	-4,93	12,19	-5,89	0,01310	1,38
THDV8% 0°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	5,37	-9,34	4,86	0,04090	0,88	4,48	-7,10	3,72	0,03980	1,10
	A2	10,15	-19,09	9,91	0,03230	0,97	9,54	-16,65	8,44	0,02040	1,32
	A3	-19,31	39,34	-19,03	0,02620	1,00	-16,08	34,30	-16,67	0,02360	1,55
	A4	0,04	0,95	-0,02	0,02600	0,96	3,96	-5,62	3,09	0,03750	1,44
	A5	-4,65	9,88	-4,27	0,01300	0,96	4,19	-5,39	2,74	0,00980	1,54
THDV10% 0°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	-2,65	5,05	-1,52	0,04170	0,88	-2,17	4,59	-1,34	0,03990	1,08
	A2	13,33	-25,38	13,02	0,02410	0,97	13,15	-23,61	11,85	0,01830	1,38
	A3	-8,11	17,05	-7,97	0,02060	0,97	-6,83	16,00	-7,57	0,02100	1,60
	A4	12,49	-23,22	11,71	0,02340	0,98	19,08	-34,79	17,29	0,03700	1,58
	A5	-9,98	20,72	-9,75	0,01440	0,98	3,51	-3,53	1,73	0,01190	1,71
THDV12% 0°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	-3,90	9,06	-4,27	0,03490	0,89	-4,83	11,34	-5,42	0,03330	1,08
	A2	8,54	-15,77	8,24	0,03250	1,01	9,16	-15,44	7,77	0,02050	1,48
	A3	-21,56	43,58	-21,03	0,02160	0,99	-22,05	46,09	-22,36	0,02360	1,68
	A4	2,84	-4,74	2,87	0,04770	0,97	5,08	-7,75	4,33	0,06620	1,66
	A5	-14,85	30,18	-14,34	0,02450	1,00	1,03	1,46	-0,65	0,02240	1,85

Tabla 1. Parámetros modelos ZIP de algunos casos de estudio para la luminaria tipo CFL.

CARGA 1											
Descripción		P					Q				
		Zp	Ip	Pp	Desv, Est	R	Zq	Iq	Pq	Desv, Est	R
THDV2% 180°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	-3,61	9,29	-4,77	0,04590	0,91	-0,89	4,53	-2,46	0,04580	1,18
	A2	-4,53	9,60	-4,17	0,03420	0,90	-2,96	7,08	-2,94	0,03370	1,18
	A3	-20,54	41,60	-20,13	0,02370	0,94	-17,07	35,03	-16,84	0,01850	1,12
	A4	-23,20	47,21	-23,06	0,02360	0,94	-13,89	29,48	-14,39	0,01470	1,20
	A5	-14,14	29,18	-14,14	0,01200	0,91	-14,28	30,11	-14,60	0,01580	1,23
THDV4% 180°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	20,63	-40,04	20,33	0,05980	0,91	20,55	-39,13	19,77	0,05900	1,19
	A2	-8,38	17,41	-8,13	0,03170	0,90	-9,63	20,62	-9,79	0,02950	1,20
	A3	-11,82	23,82	-11,07	0,03450	0,93	-7,45	15,63	-7,09	0,02870	1,09
	A4	-15,65	31,48	-14,89	0,02990	0,94	-7,02	16,05	-7,73	0,01260	1,30
	A5	-3,54	7,54	-3,10	0,01750	0,91	-3,85	8,97	-3,78	0,02920	1,35
THDV6% 180°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	14,58	-27,20	13,56	0,04730	0,94	15,00	-27,34	13,59	0,04620	1,24
	A2	-8,67	17,73	-8,16	0,04390	0,91	-7,12	15,47	-7,13	0,03910	1,23
	A3	15,72	-30,31	15,52	0,04010	0,94	17,37	-33,00	16,74	0,03110	1,11
	A4	-5,76	11,76	-5,09	0,01470	0,91	-3,03	8,38	-3,91	0,01100	1,43
	A5	-8,20	16,86	-7,73	0,01470	0,93	-10,76	23,15	-10,87	0,02620	1,52
THDV8% 180°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	-17,03	34,86	-16,87	0,06090	0,97	-14,37	30,37	-14,72	0,06270	1,28
	A2	-0,86	2,02	-0,25	0,02990	0,91	2,36	-3,54	2,44	0,02720	1,26
	A3	-5,15	10,92	-4,83	0,03660	0,95	-0,29	2,56	-1,08	0,01880	1,19
	A4	-7,86	15,98	-7,19	0,02080	0,93	-6,65	15,50	-7,29	0,02250	1,57
	A5	-1,20	2,68	-0,55	0,01980	0,93	1,73	-2,01	1,92	0,03750	1,65
THDV10% 180°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	-5,22	10,48	-4,31	0,03230	0,95	-18,33	37,41	-17,77	0,06880	1,31
	A2	-12,18	24,85	-11,74	0,03500	0,93	-6,88	15,29	-7,08	0,03030	1,33
	A3	-8,92	18,20	-8,34	0,02180	0,94	2,61	-2,60	1,29	0,00630	1,30
	A4	-7,16	14,69	-6,60	0,02230	0,93	-10,25	22,80	-10,87	0,03010	1,68
	A5	-0,73	2,02	-0,35	0,02910	0,94	1,14	-0,24	0,86	0,04820	1,76
THDV12% 180°	Ref	5,90	-10,41	5,41	0,00700	0,89	6,11	-10,34	5,37	0,00650	1,14
	A1	12,39	-23,84	12,42	0,04920	0,97	-1,05	3,86	-1,47	0,02820	1,34
	A2	-0,86	2,30	-0,53	0,01570	0,92	3,37	-5,05	3,04	0,01680	1,36
	A3	-18,03	36,44	-17,45	0,03170	0,97	2,27	-1,26	0,43	0,01140	1,44
	A4	-4,36	9,18	-3,87	0,02460	0,94	-3,90	10,09	-4,43	0,03420	1,76
	A5	-6,84	14,03	-6,23	0,02380	0,97	-9,16	19,94	-8,90	0,04260	1,87

CARGA 2											
Descripción		P					Q				
		Zp	Ip	Pp	Desv, Est	R	Zq	Iq	Pq	Desv, Est	R
THDV2% 60°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	6,55	-13,01	7,02	0,00510	0,56	-6,71	13,38	-6,49	0,01070	0,18
	A2	0,30	-0,60	0,87	0,00340	0,57	2,53	-5,06	2,70	0,00430	0,17
	A3	0,47	-0,99	1,09	0,00430	0,57	-0,21	0,50	-0,12	0,00170	0,18
	A4	-0,77	1,67	-0,33	0,00360	0,57	0,80	-1,45	0,82	0,00180	0,17
	A5	-0,28	0,58	0,27	0,00240	0,57	-0,55	1,21	-0,48	0,00280	0,17
THDV12% 60°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	1,45	-2,91	2,03	0,00310	0,57	0,65	-1,21	0,72	0,00280	0,17
	A2	-0,45	0,95	0,07	0,00460	0,57	0,47	-0,78	0,51	0,00260	0,20
	A3	0,70	-1,36	1,23	0,00210	0,57	-0,71	1,57	-0,66	0,00190	0,20
	A4	-1,32	2,66	-0,77	0,00440	0,57	0,60	-1,01	0,61	0,00250	0,20
	A5	0,94	-1,91	1,54	0,00230	0,57	1,54	-2,92	1,57	0,00090	0,19
THDV4% 120°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	0,59	-1,22	1,20	0,00340	0,57	4,72	-9,52	4,97	0,00510	0,18
	A2	1,83	-3,62	2,35	0,00290	0,57	1,65	-3,20	1,72	0,00280	0,17
	A3	2,02	-4,02	2,57	0,00390	0,57	3,16	-6,24	3,25	0,00220	0,17
	A4	-0,54	1,10	0,02	0,00200	0,57	-0,85	1,75	-0,72	0,01070	0,18
	A5	-0,84	1,64	-0,22	0,00230	0,57	-0,31	0,71	-0,22	0,00220	0,18
THDV10% 120°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	2,80	-5,53	3,30	0,00220	0,57	-2,85	5,97	-2,93	0,00340	0,19
	A2	2,96	-5,86	3,47	0,00400	0,57	1,72	-3,32	1,77	0,00280	0,17
	A3	-0,67	1,36	-0,12	0,00510	0,57	0,75	-1,37	0,79	0,00180	0,17
	A4	1,85	-3,65	2,36	0,00470	0,57	0,80	-1,46	0,84	0,00280	0,18
	A5	1,59	-3,13	2,11	0,00620	0,57	0,68	-1,16	0,66	0,00330	0,19
THDV6% 300°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	0,47	-0,93	1,03	0,00300	0,57	0,26	-0,41	0,33	0,00630	0,17
	A2	1,16	-2,30	1,70	0,00300	0,57	2,18	-4,20	2,19	0,00720	0,18
	A3	0,66	-1,29	1,20	0,00330	0,57	0,10	-0,04	0,12	0,00230	0,18
	A4	0,35	-0,66	0,88	0,00300	0,57	0,81	-1,48	0,85	0,00280	0,18
	A5	0,58	-1,17	1,15	0,00340	0,57	-0,11	0,33	-0,04	0,00210	0,18
THDV8% 300°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	0,94	-1,85	1,48	0,00240	0,57	3,20	-6,49	3,46	0,00380	0,17
	A2	1,71	-3,52	2,39	0,00310	0,57	0,81	-1,53	0,91	0,00190	0,19
	A3	0,43	-0,77	0,90	0,00460	0,57	-3,37	6,96	-3,40	0,01040	0,19
	A4	-2,63	5,23	-2,03	0,00270	0,57	-1,50	3,11	-1,42	0,00110	0,18
	A5	0,89	-1,77	1,45	0,00260	0,57	0,94	-1,74	0,99	0,00160	0,18

CARGA 2											
Descripción		P					Q				
		Zp	Ip	Pp	Desv, Est	R	Zq	Iq	Pq	Desv, Est	R
THDV2% 0°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	1,23	-2,42	1,76	0,00430	0,57	-4,48	8,90	-4,25	0,00290	0,17
	A2	-1,01	1,93	-0,35	0,00750	0,57	1,67	-3,37	1,87	0,00350	0,18
	A3	-0,82	1,69	-0,31	0,00330	0,57	0,17	-0,22	0,23	0,00130	0,18
	A4	-1,79	3,62	-1,26	0,00250	0,57	-1,43	2,98	-1,37	0,00220	0,18
	A5	1,12	-2,25	1,70	0,00250	0,57	0,78	-1,46	0,85	0,00190	0,17
THDV4% 0°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	0,04	-0,17	0,70	0,00570	0,57	-1,81	3,71	-1,73	0,00290	0,17
	A2	0,17	-0,27	0,67	0,00750	0,57	0,28	-0,40	0,30	0,00320	0,18
	A3	-0,07	0,10	0,54	0,00270	0,57	0,95	-1,89	1,13	0,01380	0,19
	A4	-0,04	0,04	0,57	0,00300	0,57	0,42	-0,71	0,47	0,00230	0,18
	A5	-1,86	3,69	-1,27	0,00300	0,57	0,07	-0,03	0,14	0,00230	0,17
THDV6% 0°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	0,17	-0,37	0,77	0,00350	0,57	2,53	-5,08	2,71	0,00400	0,16
	A2	-0,99	1,96	-0,40	0,00380	0,57	-2,03	4,23	-2,01	0,00260	0,19
	A3	-0,66	1,30	-0,07	0,00430	0,57	0,66	-1,21	0,74	0,00150	0,19
	A4	-1,02	2,05	-0,46	0,00600	0,57	1,32	-2,63	1,50	0,00970	0,19
	A5	0,13	-0,25	0,69	0,00470	0,57	-0,47	1,05	-0,40	0,00210	0,18
THDV8% 0°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	-2,06	4,16	-1,53	0,00630	0,57	4,52	-9,13	4,76	0,00320	0,15
	A2	1,93	-3,88	2,51	0,00620	0,57	0,65	-0,96	0,51	0,01280	0,19
	A3	-0,14	0,25	0,46	0,00180	0,57	-0,19	0,54	-0,14	0,00260	0,20
	A4	-1,02	2,07	-0,48	0,00550	0,57	-0,39	0,91	-0,34	0,00190	0,19
	A5	-1,12	2,27	-0,58	0,00330	0,57	-1,62	3,28	-1,46	0,01050	0,19
THDV10% 0°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	0,24	-0,45	0,78	0,00210	0,57	-1,66	3,40	-1,58	0,00820	0,15
	A2	2,09	-4,21	2,69	0,00340	0,57	-0,02	0,12	0,10	0,00450	0,20
	A3	-0,08	0,14	0,50	0,00230	0,57	-0,13	0,48	-0,15	0,00090	0,21
	A4	-0,29	0,60	0,27	0,00340	0,57	-0,86	1,83	-0,78	0,00180	0,20
	A5	-0,79	1,55	-0,18	0,00570	0,57	0,20	-0,27	0,25	0,00300	0,19
THDV12% 0°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	-0,23	0,46	0,34	0,00190	0,57	1,56	-3,06	1,65	0,00260	0,14
	A2	0,50	-0,96	1,03	0,00280	0,57	0,76	-1,34	0,77	0,00210	0,20
	A3	0,46	-0,89	1,00	0,00450	0,57	0,06	0,11	0,04	0,00120	0,21
	A4	-0,35	0,71	0,21	0,00230	0,57	5,67	-11,01	5,53	0,00580	0,20
	A5	0,37	-0,73	0,93	0,00190	0,57	-3,95	8,08	-3,93	0,01140	0,20

Tabla 19. Parámetros modelos ZIP de algunos casos de estudio para el televisor LCD.

CARGA 2											
Descripción		P					Q				
		Zp	Ip	Pp	Desv, Est	R	Zq	Iq	Pq	Desv, Est	R
THDV2% 180°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	-0,48	0,95	0,10	0,00650	0,57	-4,99	9,93	-4,76	0,00370	0,18
	A2	2,65	-5,33	3,24	0,00910	0,56	-0,36	0,91	-0,39	0,00990	0,17
	A3	0,60	-1,19	1,16	0,00360	0,57	0,16	-0,26	0,27	0,00160	0,17
	A4	-0,44	0,92	0,09	0,00400	0,57	-0,28	0,66	-0,20	0,00260	0,17
	A5	-1,22	2,47	-0,68	0,00170	0,57	-1,67	3,47	-1,62	0,00220	0,17
THDV4% 180°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	1,05	-2,06	1,58	0,00450	0,57	0,47	-0,81	0,52	0,00290	0,18
	A2	1,99	-3,86	2,43	0,00790	0,57	-0,21	0,52	-0,14	0,00340	0,17
	A3	-0,38	0,78	0,17	0,00320	0,57	0,23	-0,36	0,30	0,00220	0,16
	A4	-1,89	3,82	-1,36	0,00460	0,57	-0,18	0,45	-0,09	0,00290	0,17
	A5	-1,09	2,14	-0,48	0,00430	0,57	-4,99	10,06	-4,89	0,01080	0,18
THDV6% 180°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	-0,49	1,10	-0,03	0,00630	0,57	0,47	-0,76	0,47	0,00200	0,18
	A2	-0,13	0,28	0,42	0,00220	0,57	-0,30	0,69	-0,23	0,00200	0,16
	A3	-0,23	0,46	0,34	0,00470	0,57	1,56	-3,04	1,63	0,00240	0,16
	A4	0,86	-1,67	1,37	0,00550	0,56	-2,23	4,55	-2,14	0,01290	0,17
	A5	1,75	-3,49	2,31	0,00650	0,57	-3,10	6,48	-3,19	0,01540	0,19
THDV8% 180°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	-0,11	0,34	0,33	0,00310	0,57	-0,49	1,17	-0,50	0,00260	0,19
	A2	1,44	-2,88	2,01	0,00410	0,57	0,48	-0,98	0,65	0,01060	0,16
	A3	-1,48	3,02	-0,97	0,00590	0,57	0,48	-0,86	0,53	0,00220	0,16
	A4	1,58	-3,17	2,15	0,00420	0,57	0,49	-0,85	0,53	0,00210	0,17
	A5	-0,78	1,62	-0,26	0,00440	0,57	-0,21	0,58	-0,19	0,00270	0,18
THDV10% 180°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	1,36	-2,75	1,96	0,00360	0,57	-0,38	0,86	-0,29	0,00240	0,19
	A2	1,80	-3,54	2,30	0,00220	0,56	0,63	-1,15	0,68	0,00110	0,15
	A3	1,12	-2,24	1,69	0,00230	0,57	1,39	-2,71	1,47	0,00140	0,16
	A4	-0,12	0,17	0,52	0,00260	0,57	-0,13	0,36	-0,06	0,00300	0,17
	A5	-1,93	3,82	-1,32	0,00220	0,57	-0,61	1,40	-0,61	0,00210	0,18
THDV12% 180°	Ref	1,97	-3,96	2,56	0,00170	0,56	0,49	-0,90	0,58	0,00280	0,17
	A1	-1,15	2,30	-0,58	0,00450	0,57	-0,80	1,70	-0,71	0,00100	0,19
	A2	0,37	-0,76	0,96	0,00090	0,57	-4,29	8,66	-4,21	0,01580	0,16
	A3	0,66	-1,35	1,25	0,00340	0,57	-0,17	0,60	-0,27	0,00990	0,16
	A4	-0,74	1,55	-0,23	0,00400	0,57	1,52	-2,86	1,52	0,00080	0,17
	A5	-0,13	0,22	0,48	0,00340	0,57	1,02	-1,84	1,01	0,00130	0,19

CARGA 3											
Descripción		P					Q				
		Zp	Ip	Pp	Desv, Est	R	Zq	Iq	Pq	Desv, Est	R
THDV2% 60°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-19,78	40,01	-19,27	0,02380	0,96	-33,09	67,46	-33,04	0,01560	1,33
	A2	-9,65	19,29	-8,70	0,02370	0,94	-8,94	18,78	-8,35	0,02610	1,49
	A3	-4,51	8,97	-3,55	0,00620	0,92	-13,76	28,44	-13,42	0,10850	1,26
	A4	-6,88	14,05	-6,23	0,03170	0,94	-0,09	1,74	-0,26	0,01400	1,39
	A5	-1,91	4,03	-1,19	0,01240	0,93	-3,55	8,32	-3,34	0,01990	1,44
THDV12% 60°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-2,20	4,42	-1,29	0,00840	0,93	20,49	-39,12	19,77	0,01230	1,14
	A2	-2,73	5,38	-1,73	0,00860	0,93	-3,80	8,87	-3,28	0,02240	1,80
	A3	-2,83	5,65	-1,90	0,00800	0,92	9,27	-16,18	8,43	0,03780	1,52
	A4	-2,69	5,36	-1,74	0,00630	0,93	-1,66	6,16	-2,35	0,04120	2,15
	A5	-1,57	3,22	-0,71	0,01130	0,93	-10,09	21,56	-9,45	0,02730	2,02
THDV4% 120°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-5,94	11,85	-4,97	0,01990	0,94	-5,96	12,51	-5,21	0,01660	1,34
	A2	-6,82	13,59	-5,83	0,01840	0,94	-11,25	23,75	-10,84	0,03470	1,65
	A3	-4,12	8,22	-3,18	0,00820	0,92	4,83	-8,75	5,02	0,00500	1,11
	A4	-6,14	12,50	-5,42	0,01980	0,94	-1,04	4,88	-2,10	0,02800	1,74
	A5	0,87	-1,56	1,61	0,00970	0,92	33,35	-63,70	31,84	0,04830	1,49
THDV10% 120°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-4,81	9,58	-3,84	0,00870	0,93	2,25	-3,53	2,64	0,00800	1,35
	A2	-3,94	7,78	-2,91	0,01130	0,93	-32,89	66,12	-31,33	0,04060	1,90
	A3	-2,30	4,65	-1,42	0,00780	0,93	1,94	0,91	-1,27	0,05700	1,58
	A4	-2,82	5,62	-1,87	0,00690	0,93	-2,14	6,84	-2,54	0,03820	2,16
	A5	-3,62	7,25	-2,70	0,01150	0,92	-4,12	9,71	-3,71	0,04310	1,88
THDV6% 300°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-6,12	12,23	-5,16	0,01150	0,94	1,07	-1,29	1,72	0,01450	1,50
	A2	-5,78	11,48	-4,78	0,01320	0,93	2,72	-3,57	2,15	0,01760	1,29
	A3	-3,46	6,95	-2,55	0,00970	0,93	-3,11	8,07	-3,09	0,03290	1,87
	A4	-2,14	4,38	-1,32	0,01400	0,92	17,63	-33,86	17,56	0,06990	1,32
	A5	-1,59	3,29	-0,77	0,00930	0,93	-56,63	114,43	-56,02	0,07930	1,78
THDV8% 300°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-4,93	9,82	-3,95	0,01100	0,94	3,27	-5,62	3,90	0,01560	1,55
	A2	-4,92	9,77	-3,92	0,01040	0,93	2,87	-3,45	1,95	0,02450	1,38
	A3	-4,80	9,56	-3,82	0,01050	0,93	-27,71	56,51	-26,82	0,04570	1,98
	A4	0,96	-1,93	1,89	0,00540	0,92	17,87	-33,08	16,74	0,04010	1,53
	A5	-0,77	1,67	0,04	0,01060	0,93	-9,80	24,25	-12,38	0,06230	2,07

CARGA 3											
Descripción		P					Q				
		Zp	Ip	Pp	Desv, Est	R	Zq	Iq	Pq	Desv, Est	R
THDV2% 0°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-19,07	38,24	-18,20	0,02950	0,97	-19,61	39,75	-18,76	0,02440	1,38
	A2	-10,63	21,27	-9,70	0,02380	0,94	-8,45	17,77	-7,93	0,02130	1,40
	A3	-7,06	14,44	-6,45	0,03080	0,93	-7,78	16,07	-6,84	0,02410	1,45
	A4	-7,26	14,89	-6,70	0,03770	0,93	-3,36	7,47	-2,86	0,02720	1,25
	A5	1,42	-2,53	2,04	0,01180	0,92	-2,24	6,45	-2,73	0,02210	1,48
THDV4% 0°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-9,00	18,03	-8,08	0,02680	0,95	-12,66	25,67	-11,66	0,02810	1,35
	A2	-8,80	17,64	-7,89	0,02290	0,94	-3,71	8,39	-3,24	0,03170	1,45
	A3	-6,96	14,35	-6,45	0,03910	0,94	-3,22	5,82	-1,11	0,15560	1,49
	A4	-8,36	16,94	-7,64	0,02230	0,94	12,87	-23,87	12,26	0,01330	1,26
	A5	0,46	-0,67	1,14	0,00990	0,93	-4,12	10,81	-5,01	0,03190	1,69
THDV6% 0°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-6,59	12,93	-5,39	0,01510	0,95	-10,64	21,56	-9,59	0,01360	1,33
	A2	-6,95	13,82	-5,94	0,01540	0,93	-119,87	237,58	-116,15	0,12090	1,56
	A3	-6,23	12,44	-5,28	0,00840	0,93	-5,92	13,20	-5,63	0,02440	1,65
	A4	-4,82	9,81	-4,06	0,01450	0,93	32,03	-60,12	29,51	0,03580	1,41
	A5	1,15	-2,10	1,88	0,00750	0,93	-38,06	76,72	-36,81	0,05140	1,86
THDV8% 0°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-5,14	10,28	-4,19	0,01400	0,94	-13,30	27,93	-13,28	0,08920	1,36
	A2	-3,53	6,91	-2,45	0,01260	0,93	-53,06	105,99	-51,33	0,06790	1,60
	A3	-3,25	6,52	-2,34	0,00850	0,93	-6,65	14,73	-6,35	0,03090	1,73
	A4	-1,92	4,01	-1,16	0,01290	0,93	16,41	-27,70	12,95	0,06530	1,66
	A5	-1,93	3,98	-1,11	0,00820	0,93	14,04	-25,18	13,14	0,03100	2,00
THDV10% 0°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-6,09	12,12	-5,09	0,00940	0,94	48,40	-94,52	47,42	0,05670	1,30
	A2	-3,59	7,16	-2,64	0,01110	0,93	-1,03	3,74	-1,06	0,02790	1,64
	A3	-5,17	10,31	-4,20	0,00910	0,93	-5,39	12,16	-4,97	0,02550	1,79
	A4	-0,64	1,36	0,21	0,00780	0,93	-1,40	7,52	-4,23	0,05530	1,89
	A5	-1,58	3,17	-0,66	0,01040	0,93	-9,77	21,43	-9,54	0,04470	2,11
THDV12% 0°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-3,66	7,26	-2,67	0,00720	0,94	-13,02	27,83	-13,44	0,13030	1,37
	A2	-3,50	6,98	-2,55	0,00930	0,93	-2,88	7,27	-2,70	0,02990	1,69
	A3	-0,98	1,88	0,02	0,00970	0,93	-3,90	8,95	-3,22	0,02540	1,83
	A4	-1,56	3,09	-0,60	0,00860	0,93	-9,03	21,90	-10,82	0,04730	2,05
	A5	-1,54	3,14	-0,67	0,00880	0,93	-6,46	14,94	-6,28	0,03370	2,20

Tabla 3. Parámetros modelos ZIP de algunos casos de estudio para la luminaria LED.

CARGA 3											
Descripción	P					Q					
	Zp	Ip	Pp	Desv, Est	R	Zq	Iq	Pq	Desv, Est	R	
THDV2% 180°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-16,45	33,15	-15,75	0,02350	0,95	-19,98	40,95	-19,57	0,01790	1,40
	A2	-11,48	22,89	-10,46	0,02350	0,95	-14,98	30,49	-14,12	0,02690	1,39
	A3	-4,27	8,49	-3,30	0,00550	0,92	-1,73	5,00	-1,93	0,04410	1,33
	A4	-4,78	9,71	-4,00	0,02040	0,93	17,96	-34,10	17,63	0,12090	1,49
	A5	2,74	-5,08	3,27	0,01030	0,92	12,93	-24,57	12,95	0,02120	1,31
THDV4% 180°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-6,12	12,21	-5,16	0,01900	0,94	-6,58	13,80	-5,81	0,01610	1,41
	A2	-7,91	15,74	-6,89	0,01900	0,94	-13,63	27,80	-12,75	0,02340	1,42
	A3	-2,21	4,37	-1,24	0,00720	0,92	6,81	-11,44	6,02	0,01710	1,39
	A4	-5,98	12,18	-5,26	0,01860	0,94	21,92	-41,10	20,84	0,01960	1,66
	A5	3,26	-6,17	3,83	0,00790	0,93	-5,51	11,66	-4,77	0,03410	1,38
THDV6% 180°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-4,58	9,10	-3,58	0,01280	0,93	-5,54	11,86	-4,90	0,01160	1,42
	A2	-4,70	9,28	-3,65	0,01450	0,93	61,85	-120,99	60,56	0,06260	1,42
	A3	-1,63	3,27	-0,72	0,00820	0,92	2,76	-1,85	0,65	0,07870	1,55
	A4	-1,99	4,14	-1,22	0,01420	0,93	-3,68	9,27	-3,79	0,03140	1,79
	A5	2,19	-4,04	2,77	0,00830	0,93	-49,08	97,21	-46,57	0,08220	1,56
THDV8% 180°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-5,07	10,07	-4,07	0,01220	0,93	-6,07	12,89	-5,38	0,01120	1,44
	A2	-5,05	9,96	-3,98	0,01320	0,93	-29,82	59,44	-28,13	0,03130	1,49
	A3	-3,59	7,19	-2,68	0,00800	0,93	2,50	-2,05	1,22	0,03580	1,67
	A4	-0,04	0,13	0,83	0,00910	0,93	42,61	-82,10	41,36	0,03360	1,87
	A5	-1,89	3,84	-1,02	0,01170	0,93	5,41	-8,29	4,65	0,04820	1,76
THDV10% 180°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-4,45	8,87	-3,49	0,00770	0,93	-1,83	4,12	-0,86	0,02670	1,43
	A2	-3,06	6,01	-2,03	0,01130	0,93	-3,41	7,98	-3,03	0,02630	1,54
	A3	-3,37	6,76	-2,46	0,00890	0,93	2,80	-3,32	2,30	0,04630	1,77
	A4	-3,56	7,12	-2,63	0,00530	0,93	-0,89	3,45	-0,60	0,02280	1,96
	A5	-2,78	5,57	-1,86	0,01100	0,93	1,88	-0,97	0,99	0,04940	1,90
THDV12% 180°	Ref	0,76	-1,53	1,71	0,00330	0,94	1,13	-1,73	1,96	0,00300	1,36
	A1	-2,96	5,87	-1,98	0,00860	0,92	-20,93	43,39	-21,00	0,01390	1,46
	A2	-2,99	5,89	-1,97	0,00770	0,93	-3,09	7,34	-2,67	0,01910	1,58
	A3	-2,19	4,39	-1,27	0,00750	0,93	3,52	-4,48	2,84	0,03420	1,88
	A4	0,55	-1,11	1,48	0,00900	0,92	-3,93	9,32	-3,37	0,03140	2,02
	A5	-3,32	6,71	-2,46	0,00840	0,93	-0,90	4,64	-1,73	0,03760	2,02

11. Parámetros del modelo Exponencial para algunos casos estudiados:

CARGA 1							
Descripción		P			Q		
		Po	Alfa	Desv, Est	Qo	Beta	Desv, Est
THDV2% 60°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,921	2,867	2,257	1,117	2,757	1,9929
	Armónico 2	0,914	1,521	0,673	1,258	1,802	0,76
	Armónico 3	0,932	0,397	0,673	1,155	0,671	0,5039
	Armónico 4	0,908	1,296	0,411	1,183	1,431	0,3811
	Armónico 5	0,901	0,995	0,066	1,139	1,466	0,4531
THDV12% 60°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,926	1,105	0,174	0,899	1,512	0,6704
	Armónico 2	0,979	1,282	0,348	1,606	1,542	0,1809
	Armónico 3	0,965	0,303	0,804	1,469	0,916	0,4585
	Armónico 4	0,937	0,596	0,439	1,668	1,509	0,0918
	Armónico 5	0,971	0,194	0,935	1,896	0,996	0,7392
THDV4% 120°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,929	1,282	0,383	1,130	1,555	0,5656
	Armónico 2	0,884	0,585	0,418	1,401	1,215	0,0607
	Armónico 3	0,944	0,818	0,181	1,066	0,771	0,3178
	Armónico 4	0,914	0,168	0,931	1,234	1,288	0,172
	Armónico 5	0,912	0,767	0,221	1,345	1,523	0,3624
THDV10% 120°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,940	0,006	1,139	1,150	0,842	0,2965
	Armónico 2	0,916	0,603	0,418	1,673	1,119	0,3982
	Armónico 3	0,953	0,690	0,337	1,254	1,385	0,2713
	Armónico 4	0,913	0,453	0,593	1,597	2,172	0,918
	Armónico 5	0,950	0,353	0,732	1,785	1,058	0,5661
THDV6% 300°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,885	1,809	1,030	1,301	1,999	0,9584
	Armónico 2	0,924	0,552	0,483	0,978	1,206	0,2588
	Armónico 3	0,894	0,146	0,944	1,453	1,519	0,2818
	Armónico 4	0,918	0,670	0,339	1,341	1,221	0,0562
	Armónico 5	0,910	0,529	0,500	1,386	1,107	0,17
THDV8% 300°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,887	-0,391	1,577	1,363	0,267	1,142
	Armónico 2	0,927	0,520	0,521	1,004	1,594	0,6993
	Armónico 3	0,894	0,603	0,404	1,584	1,739	0,4191
	Armónico 4	0,945	0,502	0,557	1,480	1,109	0,2523
	Armónico 5	0,916	0,374	0,687	1,524	1,337	0,0381

CARGA 1							
Descripción		P			Q		
		Po	Alfa	Desv, Est	Qo	Beta	Desv, Est
THDV2% 0°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,902	2,282	1,578	1,147	2,313	1,4476
	Armónico 2	0,926	2,157	1,416	1,166	2,154	1,2462
	Armónico 3	0,920	1,441	0,576	1,234	1,681	0,6372
	Armónico 4	0,904	1,167	0,264	1,151	1,369	0,3353
	Armónico 5	0,909	0,736	0,259	1,125	1,135	0,0853
THDV4% 0°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,901	1,171	0,270	1,133	1,460	0,4528
	Armónico 2	0,969	1,355	0,441	1,217	1,679	0,6463
	Armónico 3	0,937	0,425	0,640	1,320	1,142	0,0732
	Armónico 4	0,935	0,407	0,661	1,218	0,545	0,6965
	Armónico 5	0,939	1,597	0,746	1,224	1,956	0,9677
THDV6% 0°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,891	1,639	0,826	1,115	1,850	0,924
	Armónico 2	0,971	1,402	0,495	1,261	1,830	0,791
	Armónico 3	0,959	0,779	0,236	1,429	1,495	0,2615
	Armónico 4	0,952	0,478	0,587	1,319	0,848	0,4169
	Armónico 5	0,953	0,705	0,318	1,369	1,701	0,5528
THDV8% 0°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,662
	Armónico 1	0,889	1,577	0,754	1,101	1,694	0,751
	Armónico 2	0,983	1,230	0,284	1,331	1,819	0,723
	Armónico 3	0,975	0,717	0,321	1,533	1,392	0,065
	Armónico 4	0,958	1,058	0,100	1,443	1,599	0,374
	Armónico 5	0,958	0,595	0,452	1,543	1,938	0,688
THDV10% 0°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,877	-0,286	1,446	1,079	0,231	0,9658
	Armónico 2	0,978	1,310	0,381	1,396	1,920	0,7899
	Armónico 3	0,963	0,854	0,150	1,590	1,463	0,0949
	Armónico 4	0,992	1,776	0,922	1,599	2,103	0,8355
	Armónico 5	0,973	0,759	0,268	1,712	2,032	0,6537
THDV12% 0°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,886	1,406	0,553	1,075	1,555	0,6042
	Armónico 2	1,014	1,289	0,334	1,493	1,919	0,7083
	Armónico 3	0,969	0,440	0,643	1,657	1,188	0,3012
	Armónico 4	0,976	0,974	0,050	1,662	1,451	0,0764
	Armónico 5	0,982	0,472	0,614	1,848	1,910	0,3902

Tabla 4. Parámetros modelos Exponencial de algunos casos de estudio para la CFL.

CARGA 1							
Descripción		P			Q		
		Po	Alfa	Desv, Est	Qo	Beta	Desv, Est
THDV2% 180°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,906	2,292	1,588	1,174	2,343	1,4623
	Armónico 2	0,894	0,593	0,415	1,174	0,982	0,1495
	Armónico 3	0,918	0,532	0,502	1,107	0,772	0,3456
	Armónico 4	0,912	0,817	0,165	1,184	1,420	0,3657
	Armónico 5	0,891	0,989	0,060	1,217	1,260	0,1536
THDV4% 180°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,930	1,322	0,430	1,214	1,636	0,5994
	Armónico 2	0,890	0,710	0,275	1,190	1,135	0,0402
	Armónico 3	0,920	0,183	0,916	1,083	0,660	0,4605
	Armónico 4	0,919	0,160	0,942	1,290	1,546	0,4329
	Armónico 5	0,903	0,508	0,520	1,343	0,951	0,3147
THDV6% 180°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,953	2,069	1,295	1,253	2,125	1,1457
	Armónico 2	0,897	0,420	0,623	1,220	1,006	0,1573
	Armónico 3	0,954	1,211	0,282	1,126	1,552	0,5646
	Armónico 4	0,909	0,247	0,832	1,427	1,619	0,4085
	Armónico 5	0,918	0,479	0,564	1,505	1,063	0,3163
THDV8% 180°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,948	0,800	0,214	1,265	1,261	0,1323
	Armónico 2	0,907	0,337	0,726	1,262	0,944	0,259
	Armónico 3	0,942	0,661	0,365	1,189	1,667	0,6542
	Armónico 4	0,921	0,263	0,821	1,562	1,409	0,0602
	Armónico 5	0,932	0,302	0,782	1,651	0,884	0,6528
THDV10% 180°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,945	0,030	1,113	1,290	0,574	0,7215
	Armónico 2	0,916	0,507	0,531	1,325	1,154	0,0682
	Armónico 3	0,932	0,375	0,696	1,296	2,014	0,9806
	Armónico 4	0,926	0,380	0,686	1,668	1,371	0,1026
	Armónico 5	0,942	0,593	0,445	1,763	1,160	0,4279
THDV12% 180°	Ref	0,894	1,550	0,719	1,141	1,644	0,6616
	Armónico 1	0,979	0,966	0,059	1,339	1,310	0,1191
	Armónico 2	0,917	0,641	0,371	1,368	1,244	0,0279
	Armónico 3	0,946	0,373	0,709	1,441	2,277	1,1729
	Armónico 4	0,936	0,470	0,586	1,754	1,299	0,2563
	Armónico 5	0,958	0,357	0,734	1,860	0,856	0,8724

CARGA 2							
Descripción		P			Q		
		Po	Alfa	Desv, Est	Qo	Beta	Desv, Est
THDV2% 60°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,570	0,143	0,794	0,172	-0,212	1,3597
	Armónico 2	0,566	-0,002	0,965	0,176	-0,009	1,1126
	Armónico 3	0,569	-0,082	1,060	0,178	0,495	0,5123
	Armónico 4	0,570	0,232	0,689	0,176	0,884	0,0629
	Armónico 5	0,568	0,030	0,928	0,174	0,622	0,3699
THDV12% 60°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,571	-0,017	0,984	0,168	0,556	0,459
	Armónico 2	0,574	0,103	0,843	0,196	0,815	0,1077
	Armónico 3	0,570	0,074	0,876	0,195	0,763	0,1698
	Armónico 4	0,571	0,037	0,920	0,197	0,982	0,0976
	Armónico 5	0,569	-0,058	1,031	0,195	0,835	0,0871
THDV4% 120°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,572	-0,064	1,040	0,181	-0,439	1,6127
	Armónico 2	0,570	0,085	0,863	0,170	0,580	0,4257
	Armónico 3	0,573	0,020	0,940	0,172	0,370	0,6716
	Armónico 4	0,570	0,022	0,937	0,179	0,327	0,7098
	Armónico 5	0,571	-0,085	1,064	0,175	0,455	0,5636
THDV10% 120°	Ref	0,5658	-0,0577	1,0304	0,1722	0,4291	0,6005
	Armónico 1	0,571	0,1075	0,8364	0,1833	1,5075	0,6958
	Armónico 2	0,5702	0,0849	0,8629	0,1689	0,6335	0,365
	Armónico 3	0,5718	0,0417	0,9145	0,1699	0,7877	0,1819
	Armónico 4	0,5699	0,0892	0,8578	0,1779	0,7747	0,1831
	Armónico 5	0,5716	0,0814	0,8675	0,1901	1,0938	0,2182
THDV6% 300°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,570	0,012	0,949	0,173	0,632	0,359
	Armónico 2	0,569	0,040	0,915	0,179	0,893	0,048
	Armónico 3	0,572	0,056	0,897	0,183	0,904	0,0344
	Armónico 4	0,570	0,063	0,889	0,181	0,782	0,1697
	Armónico 5	0,569	0,004	0,958	0,178	0,635	0,348
THDV8% 300°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,570	0,037	0,920	0,175	-0,512	1,7085
	Armónico 2	0,570	-0,206	1,207	0,187	0,441	0,5622
	Armónico 3	0,569	0,165	0,769	0,188	1,220	0,3631
	Armónico 4	0,571	-0,044	1,016	0,183	0,618	0,3585
	Armónico 5	0,571	0,022	0,937	0,184	0,736	0,2191

CARGA 2							
Descripción		P			Q		
		Po	Alfa	Desv, Est	Qo	Beta	Desv, Est
THDV2% 0°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,568	0,074	0,876	0,166	-0,337	1,5173
	Armónico 2	0,566	-0,151	1,141	0,178	-0,186	1,3175
	Armónico 3	0,566	0,103	0,840	0,180	0,681	0,2883
	Armónico 4	0,565	0,065	0,885	0,176	0,707	0,2657
	Armónico 5	0,567	-0,032	1,000	0,175	0,596	0,3988
THDV4% 0°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,570	-0,149	1,139	0,165	0,513	0,5154
	Armónico 2	0,571	0,121	0,821	0,180	0,880	0,0599
	Armónico 3	0,573	-0,053	1,027	0,191	0,084	0,9773
	Armónico 4	0,571	-0,074	1,052	0,181	0,733	0,226
	Armónico 5	0,570	-0,030	0,998	0,175	0,569	0,4302
THDV6% 0°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,570	-0,060	1,035	0,161	-0,125	1,2763
	Armónico 2	0,572	-0,020	0,988	0,185	0,956	0,0539
	Armónico 3	0,570	-0,031	1,000	0,190	0,605	0,3629
	Armónico 4	0,569	0,027	0,932	0,188	0,029	1,0476
	Armónico 5	0,570	0,032	0,925	0,177	0,620	0,3664
THDV8% 0°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,601
	Armónico 1	0,570	0,083	0,865	0,159	-0,505	1,731
	Armónico 2	0,567	-0,047	1,018	0,191	1,695	0,929
	Armónico 3	0,567	-0,065	1,039	0,198	0,740	0,193
	Armónico 4	0,569	0,054	0,899	0,190	0,743	0,201
	Armónico 5	0,566	0,042	0,913	0,184	0,168	0,888
THDV10% 0°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,568	0,040	0,916	0,152	0,528	0,5241
	Armónico 2	0,572	-0,053	1,027	0,196	0,426	0,5662
	Armónico 3	0,571	-0,018	0,984	0,207	1,103	0,252
	Armónico 4	0,571	0,019	0,942	0,196	0,602	0,3573
	Armónico 5	0,573	-0,067	1,043	0,186	0,757	0,1912
THDV12% 0°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,570	-0,010	0,975	0,146	0,359	0,7361
	Armónico 2	0,569	0,055	0,898	0,196	0,897	0,0285
	Armónico 3	0,568	0,051	0,903	0,212	1,072	0,2227
	Armónico 4	0,568	0,013	0,947	0,205	1,558	0,7857
	Armónico 5	0,572	0,024	0,935	0,195	0,937	0,0486

Tabla 5 Parámetros modelos Exponencial de algunos casos de estudio para el televisor LCD.

CARGA 2							
Descripción		P			Q		
		Po	Alfa	Desv, Est	Qo	Beta	Desv, Est
THDV2% 180°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,601
	Armónico 1	0,573	-0,013	0,979	0,174	-0,216	1,3602
	Armónico 2	0,566	-0,047	1,018	0,170	1,173	0,2783
	Armónico 3	0,572	0,010	0,952	0,169	0,334	0,718
	Armónico 4	0,568	0,076	0,874	0,169	0,541	0,4737
	Armónico 5	0,568	0,058	0,894	0,172	0,733	0,2421
THDV4% 180°	Ref	0,566	-0,058	1,0304	0,1722	0,4291	0,6005
	Armónico 1	0,571	0,073	0,878	0,180	0,722	0,2404
	Armónico 2	0,574	0,223	0,700	0,166	0,608	0,4018
	Armónico 3	0,568	0,023	0,936	0,162	0,540	0,4884
	Armónico 4	0,570	0,071	0,880	0,169	0,474	0,5534
	Armónico 5	0,570	-0,055	1,028	0,178	0,511	0,4929
THDV6% 180°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,571	0,192	0,737	0,182	0,976	0,0705
	Armónico 2	0,570	0,048	0,907	0,160	0,600	0,4218
	Armónico 3	0,573	0,009	0,954	0,162	0,520	0,5129
	Armónico 4	0,565	0,087	0,859	0,172	0,497	0,5213
	Armónico 5	0,568	0,018	0,941	0,186	1,531	0,7286
THDV8% 180°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,570	0,223	0,700	0,185	1,047	0,1556
	Armónico 2	0,573	0,008	0,955	0,162	-0,020	1,1502
	Armónico 3	0,572	0,117	0,826	0,160	0,676	0,3319
	Armónico 4	0,571	-0,002	0,966	0,168	0,718	0,2668
	Armónico 5	0,573	0,099	0,847	0,179	0,930	0,0295
THDV10% 180°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,570	-0,068	1,044	0,187	0,548	0,4341
	Armónico 2	0,567	0,096	0,849	0,154	0,654	0,3711
	Armónico 3	0,571	-0,012	0,977	0,159	0,480	0,5658
	Armónico 4	0,569	-0,126	1,112	0,172	0,572	0,4317
	Armónico 5	0,569	-0,050	1,022	0,184	1,046	0,1533
THDV12% 180°	Ref	0,566	-0,058	1,030	0,172	0,429	0,6005
	Armónico 1	0,570	0,007	0,956	0,189	0,527	0,4559
	Armónico 2	0,570	-0,045	1,017	0,157	0,625	0,4001
	Armónico 3	0,570	-0,038	1,008	0,162	1,556	0,7148
	Armónico 4	0,573	0,115	0,828	0,175	0,969	0,0527
	Armónico 5	0,568	-0,069	1,044	0,189	1,036	0,1486

CARGA 3							
Descripción		P			Q		
		Po	Alfa	Desv, Est	Qo	Beta	Desv, Est
THDV2% 60°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,993
	Armónico 1	0,937	0,439	0,625	1,298	0,951	0,2803
	Armónico 2	0,934	-0,039	1,187	1,478	0,595	0,8446
	Armónico 3	0,913	-0,065	1,204	1,244	0,631	0,6273
	Armónico 4	0,930	0,278	0,810	1,393	1,123	0,1522
	Armónico 5	0,925	0,218	0,876	1,432	0,853	0,501
THDV12% 60°	Ref	0,939	-0,019	1,1658	1,3632	0,3896	0,9928
	Armónico 1	0,925	0,015	1,117	1,163	1,599	0,5928
	Armónico 2	0,925	-0,080	1,229	1,794	0,714	0,9788
	Armónico 3	0,919	-0,021	1,156	1,531	1,545	0,2394
	Armónico 4	0,929	-0,022	1,164	2,148	1,324	0,5877
	Armónico 5	0,927	0,071	1,053	2,013	0,689	1,2079
THDV4% 120°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,936	-0,036	1,184	1,332	0,431	0,9183
	Armónico 2	0,931	-0,077	1,230	1,641	0,744	0,8081
	Armónico 3	0,915	-0,038	1,174	1,113	0,837	0,2715
	Armónico 4	0,933	0,209	0,892	1,734	1,609	0,1418
	Armónico 5	0,925	0,201	0,897	1,519	1,981	0,7608
THDV10% 120°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,924	-0,062	1,207	1,355	0,711	0,6055
	Armónico 2	0,929	-0,104	1,260	1,862	0,166	1,6895
	Armónico 3	0,923	0,050	1,074	1,575	3,032	1,953
	Armónico 4	0,930	-0,025	1,168	2,160	1,186	0,7607
	Armónico 5	0,920	0,004	1,127	1,875	0,785	0,9678
THDV6% 300°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,931	-0,038	1,183	1,502	0,568	0,8968
	Armónico 2	0,923	-0,085	1,234	1,293	1,440	0,3055
	Armónico 3	0,929	0,013	1,122	1,869	0,987	0,7252
	Armónico 4	0,921	0,105	1,008	1,341	1,029	0,2328
	Armónico 5	0,928	0,117	0,998	1,725	0,616	1,0401
THDV8% 300°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,930	-0,058	1,206	1,557	0,600	0,9052
	Armónico 2	0,921	-0,092	1,241	1,382	1,660	0,4952
	Armónico 3	0,929	-0,056	1,204	1,951	0,536	1,3337
	Armónico 4	0,918	-0,005	1,136	1,544	1,718	0,4309
	Armónico 5	0,933	0,124	0,992	2,055	2,257	0,6126

CARGA 3							
Descripción		P			Q		
		Zp	Po	Alfa	Desv, Est	Qo	Beta
THDV2% 0°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,954	0,048	1,097	1,356	0,350	1,0351
	Armónico 2	0,934	-0,013	1,156	1,389	0,622	0,7397
	Armónico 3	0,927	0,321	0,757	1,441	0,336	1,1204
	Armónico 4	0,927	0,362	0,710	1,246	0,593	0,6601
	Armónico 5	0,925	0,333	0,741	1,478	1,330	0,0401
THDV4% 0°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,941	0,019	1,123	1,334	0,241	1,1455
	Armónico 2	0,934	0,014	1,125	1,442	0,671	0,7244
	Armónico 3	0,935	0,425	0,640	1,482	-0,549	2,214
	Armónico 4	0,928	0,213	0,885	1,276	1,467	0,3511
	Armónico 5	0,931	0,264	0,826	1,685	1,529	0,0958
THDV6% 0°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,942	-0,282	1,480	1,318	0,191	1,1916
	Armónico 2	0,927	-0,087	1,239	1,427	-2,054	3,9562
	Armónico 3	0,925	-0,036	1,178	1,647	0,821	0,7221
	Armónico 4	0,926	0,172	0,932	1,441	2,717	1,6924
	Armónico 5	0,932	0,217	0,882	1,817	0,288	1,5051
THDV8% 0°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,993
	Armónico 1	0,933	-0,023	1,167	1,340	0,940	0,338
	Armónico 2	0,926	-0,166	1,332	1,543	-0,194	1,837
	Armónico 3	0,926	0,022	1,109	1,725	0,821	0,790
	Armónico 4	0,927	0,173	0,932	1,675	3,037	1,871
	Armónico 5	0,931	0,120	0,996	2,006	1,160	0,648
THDV10% 0°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,931	-0,075	1,228	1,346	1,641	0,5059
	Armónico 2	0,926	-0,027	1,167	1,638	1,020	0,4794
	Armónico 3	0,926	-0,049	1,193	1,787	0,768	0,9078
	Armónico 4	0,928	0,085	1,036	1,885	2,504	1,0561
	Armónico 5	0,928	0,001	1,135	2,102	0,893	1,0517
THDV12% 0°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,993
	Armónico 1	0,931	-0,066	1,216	1,349	1,225	0,133
	Armónico 2	0,925	-0,026	1,166	1,683	0,898	0,6619
	Armónico 3	0,925	-0,083	1,233	1,829	0,627	1,1129
	Armónico 4	0,929	-0,025	1,167	2,037	1,890	0,2089
	Armónico 5	0,931	0,066	1,0606	2,1923	0,9229	1,1004

Tabla 6. Parámetros modelos Exponencial de algunos casos de estudio para la luminaria tipo LED.

Descripción		CARGA 3					
		P			Q		
		Po	Alfa	Desv, Est	Qo	Beta	Desv, Est
THDV2% 180°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,938	0,230	0,871	1,381	0,687	0,656
	Armónico 2	0,934	-0,117	1,279	1,374	0,352	1,0474
	Armónico 3	0,917	-0,068	1,211	1,331	1,133	0,1005
	Armónico 4	0,925	0,133	0,978	1,500	1,175	0,2207
	Armónico 5	0,928	0,439	0,617	1,320	0,990	0,2507
THDV4% 180°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,934	-0,037	1,184	1,401	0,447	0,9564
	Armónico 2	0,929	-0,113	1,272	1,409	0,364	1,0609
	Armónico 3	0,919	-0,059	1,200	1,393	1,570	0,3792
	Armónico 4	0,931	0,212	0,888	1,681	1,641	0,2236
	Armónico 5	0,929	0,387	0,679	1,376	0,453	0,9294
THDV6% 180°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,928	-0,081	1,233	1,417	0,540	0,8593
	Armónico 2	0,928	-0,138	1,300	1,484	1,806	0,5887
	Armónico 3	0,921	0,004	1,128	1,549	2,337	1,1548
	Armónico 4	0,928	0,161	0,945	1,788	1,059	0,567
	Armónico 5	0,930	0,381	0,687	1,504	-0,750	2,4634
THDV8% 180°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,925	-0,078	1,227	1,431	0,517	0,8973
	Armónico 2	0,926	-0,164	1,330	1,459	-0,174	1,7404
	Armónico 3	0,926	0,016	1,117	1,673	1,762	0,3711
	Armónico 4	0,925	0,058	1,066	1,914	1,621	0,0884
	Armónico 5	0,927	0,065	1,059	1,767	1,428	0,1285
THDV10% 180°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,923	-0,039	1,179	1,431	0,318	1,1332
	Armónico 2	0,925	-0,106	1,260	1,537	0,756	0,7038
	Armónico 3	0,923	0,019	1,111	1,774	1,275	0,3034
	Armónico 4	0,923	-0,001	1,135	1,958	0,853	0,9631
	Armónico 5	0,926	-0,002	1,137	1,902	1,468	0,1989
THDV12% 180°	Ref	0,939	-0,019	1,166	1,363	0,390	0,9928
	Armónico 1	0,920	-0,062	1,205	1,441	1,059	0,2674
	Armónico 2	0,923	-0,095	1,246	1,576	0,734	0,7634
	Armónico 3	0,924	0,005	1,129	1,883	1,356	0,3049
	Armónico 4	0,923	-0,003	1,137	2,017	0,719	1,177
	Armónico 5	0,929	0,072	1,052	2,016	1,414	0,3603

Apéndice F. Consumos adicionales de potencia.

Delta de P respecto a la Señal Sinusoidal [W]	FLAT-TOP	POINTED-TOP	CASA 1	CASA 2
-5%	-0,368	1,862	0,224	-0,190
-3%	-0,396	1,105	0,352	0,034
-1%	-0,503	0,996	0,898	0,581
0%	-0,511	0,6720	1,235	1,049
1%	-0,230	0,814	1,386	1,267
3%	-0,111	0,674	1,540	1,409
5%	-0,302	0,634	1,787	2,098

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa es de 0,27% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

Tabla 1. Consumo adicional potencia activa luminaria CFL.

Delta de Q respecto a la Señal Sinusoidal [VAr]	FLAT-TOP	POINTED-TOP	CASA 1	CASA 2
-5%	-0,383	1,862	5,949	6,869
-3%	-0,384	1,105	5,860	6,885
-1%	-0,349	0,996	6,434	7,567
0%	-0,428	0,672	6,809	7,858
1%	-0,203	0,814	6,856	8,035
3%	-0,024	0,674	7,019	8,090
	-0,272	0,634	7,273	8,723

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia no activa es de 0,27% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

Tabla 2. Consumo adicional potencia no activa luminaria CFL.

Delta de P respecto a la Senoidal [W]	FLAT-TOP	POINTED-TOP	CASA 1	CASA 2
-5%	0,353	0,826	0,624	0,624
-3%	0,483	0,829	0,555	0,238
-1%	0,456	0,837	0,502	0,185
0%	0,223	0,577	0,406	0,220
1%	0,299	0,487	0,305	0,101
3%	0,212	0,520	0,254	0,123
5%	0,359	0,537	0,244	0,555

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa es de 0,28% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

Tabla 3. Consumo adicional potencia activa Luminaria tipo LED.

Delta de Q respecto a la Senoidal [VAr]	FLAT-TOP	POINTED-TOP	CASA 1	CASA 2
-5%	0,898	2,488	3,675	3,675
-3%	0,915	2,238	3,382	4,407
-1%	1,156	2,312	3,326	4,459
0%	0,594	2,073	3,417	4,467
1%	0,749	1,856	3,160	3,966
3%	0,687	1,965	3,091	4,162
5%	0,919	1,744	3,135	4,585

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa es de 0,24% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

Tabla 4. Consumo adicional potencia no activa Luminaria tipo LED.

Delta de P respecto a la Senoidal [W]	FLAT-TOP	POINTED-TOP	CASA 1	CASA 2
-5%	-0,710	-0,823	-0,878	-0,996
-3%	0,491	-0,027	-0,193	-0,602
-1%	0,507	-0,555	-1,016	-0,744
0%	0,654	0,005	-0,098	0,032
1%	0,053	-0,149	-0,120	0,309
3%	0,355	0,382	-0,709	-0,969
5%	-1,203	-0,619	-0,368	-1,302

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa es de 0,23% del valor medido respectivamente. El anexo G complementa esta información.

Tabla 5. Consumo adicional potencia activa TV LCD.

Delta de Q respecto a la Senoidal [VAr]	FLAT-TOP	POINTED-TOP	CASA 1	CASA 2
-5%	-1,299	1,461	0,459	-0,013
-3%	-0,499	1,969	0,512	0,632
-1%	-1,046	1,032	-0,308	-0,412
0%	-0,422	1,665	1,201	0,616
1%	-0,855	1,403	0,415	0,928
3%	-0,938	1,399	0,328	-0,302
5%	-1,292	1,410	0,738	0,308

*El porcentaje de incertidumbre asociado a las medidas de potencia activa es de 0,24% del valor medido respectivamente, El anexo G complementa esta información,

Tabla 6. Consumo adicional potencia no activa TV LCD.

Apéndice G. Cálculo de la incertidumbre combinada

El analizador de calidad DRANETZ HDPQ VISA es un medidor clase A de acuerdo a IEC 61000-4-30. La incertidumbre proporcionada por la ficha técnica en las medidas de tensión, corriente, potencia activa, reactiva y aparente son:

$$\Delta V = 0,05\% \quad \Delta I = 0,1\% \quad \Delta P = 0,2 S \quad \Delta Q = 0,2 S \quad \Delta S = 0,2 S$$

El equipo de medida se implementó en el presente trabajo de grado para medir las variables de tensión y corriente; para cualquier otro parámetro se realizó una medición indirecta. Con base en esto, a continuación se lista el mensurando implementado para cada parámetro estimado indirectamente, con el fin de encontrar la incertidumbre combinada asociada.

$$\checkmark S = P = Q_F = Q_B = V_{rms} I_{rms}$$

$$\checkmark S_1 = P_1 = Q_1 = V_{1_{rms}} I_{1_{rms}}$$

$$\checkmark S_N = \sqrt{(V_{rms} I_{rms})^2 - (V_{1_{rms}} I_{1_{rms}})^2}$$

$$\checkmark D_V = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{1_{rms}}^2} I_{1_{rms}}$$

$$\checkmark D_I = \sqrt{I_{rms}^2 - I_{1_{rms}}^2} V_{1_{rms}}$$

$$\checkmark S_H = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{1_{rms}}^2} \sqrt{I_{rms}^2 - I_{1_{rms}}^2}$$

$$\checkmark P_H = V_{rms} I_{rms} - V_{1_{rms}} I_{1_{rms}}$$

$$\checkmark D_H = \sqrt{\left(\sqrt{V_{rms}^2 - V_{1_{rms}}^2} \sqrt{I_{rms}^2 - I_{1_{rms}}^2} \right)^2 - (V_{rms} I_{rms} - V_{1_{rms}} I_{1_{rms}})^2}$$

Donde V_{rms}, I_{rms} son los valores eficaces de tensión y corriente respectivamente. V_{1rms}, I_{1rms} hacen referencia al valor eficaz del armónico fundamental para las señales de tensión y corriente respectivamente. Las demás variables son los parámetros estimados de acuerdo a la metodología propuesta por Budeanu, Fryze e IEEE 1459.

Para el cálculo de la incertidumbre combinada se deben calcular las magnitudes no correlacionadas mediante las siguientes expresiones.

$$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2} \qquad u_i(y) = c_i \Delta u_i(x) \qquad c_i = \frac{\partial F}{\partial x_i}$$

Donde $u_c(y)$ es el coeficiente producto de magnitudes no correlacionadas; $\Delta u_i(y)$ es la contribución de incertidumbre y c_i es el coeficiente de sensibilidad, estas dos últimas variables, son propias de las variables planteadas en el mensurando.

Finalmente, la incertidumbre combinada asociada a la medición indirecta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta u_{c_i} = \sqrt{(u_c(y))^2 + (\Delta u_{datasheet})^2}$$

Donde Δu_{c_i} es la estimación de la incertidumbre combinada del parámetro en cuestión; u_c es el coeficiente producto de magnitudes no correlacionadas expresado porcentualmente; $\Delta u_{datasheet}$ es el grado incertidumbre al cual se diseñó el equipo de medida del parámetro en cuestión.

Debido a la falta de información proporcionada en la ficha técnica, para este trabajo de grado $\Delta u_{datasheet}$ para los parámetros $S_1, P_1, Q_1, S_N, D_V, D_I, S_H, P_H, D_H$ y Q_B se asume igual al valor $\Delta V, \Delta I, \Delta P, \Delta Q$ o ΔS según el caso. La incertidumbre combinada calculada para cada una de las cargas se consolida a continuación.

Parámetro	u_{carga_1} [%]	u_{carga_2} [%]	u_{carga_3} [%]	Δu_{carga_1} [%]	Δu_{carga_2} [%]	Δu_{carga_3} [%]
<i>S</i>	0,11	0,11	0,11	0,23	0,23	0,23
<i>P</i>	0,18	0,12	0,20	0,27	0,23	0,28
<i>Qf</i>	0,14	0,13	0,14	0,25	0,24	0,24
<i>Qb</i>	0,30	0,32	0,46	0,36	0,38	0,50
<i>SI</i>	0,11	0,11	0,11	0,23	0,23	0,23
<i>PI</i>	0,13	0,11	0,12	0,24	0,23	0,23
<i>QI</i>	0,22	0,31	0,29	0,30	0,37	0,36
<i>SN</i>	0,13	0,15	0,13	0,24	0,25	0,24
<i>DI</i>	0,22	0,25	0,22	0,30	0,32	0,30
<i>DV</i>	0,24	0,26	0,21	0,31	0,33	0,29
<i>SH</i>	0,17	0,21	0,15	0,26	0,29	0,25
<i>PH</i>	0,19	0,13	0,21	0,28	0,24	0,29
<i>DH</i>	0,15	0,18	0,17	0,25	0,27	0,26

Tabla 1. Consolidado de Incertidumbre

- Ejemplo:

Se desea estimar la incertidumbre combinada asociada a la medición indirecta de potencia activa para la luminaria tipo CFL. El caso de estudio es una señal de tensión de alimentación con regulación de +5%, la señal distorsionada está compuesta por armónico fundamental y tercer armónico en fase, el THDV es de 2%. Mediante la medición directa el analizador de calidad DRANETZ HDPQ VISA estima los valor de tensión y corriente eficaz: 126,20 [V] y 0,19 [A] respectivamente. Indirectamente se estima que la potencia activa consumida por la carga es 14.67 [W]. La ficha técnica proporciona la siguiente información: $\Delta V = 0,05\%$ $\Delta I = 0,1\%$ $\Delta P = 0,2\%$ S.

El mensurando planteado es $P = V_{rms}I_{rms}$. Los coeficientes de sensibilidad para este caso son:

$$c_{v_{rms}} = \frac{\partial P}{\partial v_{rms}} = I_{rms} \qquad c_{I_{rms}} = \frac{\partial P}{\partial I_{rms}} = V_{rms}$$

El coeficiente producto de magnitudes no correlacionadas se calcula de la siguiente manera:

$$u_c(y) = \sqrt{(c_{v_{rms}} * \Delta V)^2 + (c_{I_{rms}} * \Delta I)^2} = \sqrt{(I_{rms} * \Delta V)^2 + (V_{rms} * \Delta I)^2}$$

$$u_c(y) = \sqrt{\left(0,19 [A] * \frac{0,05}{100} * 126,20 [V]\right)^2 + \left(126,20 [V] * 0,19 [A] * \frac{0,1}{100}\right)^2} = 0,0268 [W]$$

$$u_c(y) = \frac{0,0268 [W]}{14,67 [W]} * 100 = 0,1826\%$$

Finalmente, la incertidumbre combinada asociada a la medición indirecta se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta u_{c_i} = \sqrt{(0,1826)^2 + (0,2)^2} = 0,24709[\%]$$

Por tanto, la potencia activa consumida por la carga es $14,67 \pm 0,04 [W]$,