

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



“Diseño de una aplicación para el análisis y simulación de la distorsión armónica en redes de baja tensión”

PRESENTADO POR:

ZULEYMA INES ACEVEDO MERINO

ROMEO ALEXANDER CHAVEZ NOLASCO

LARISA YASMIN TEREZON SEGURA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2007.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

DRA. MARIA ISABEL RODRIGUEZ

SECRETARIA GENERAL :

LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUIN HERNANDEZ

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR :

ING. LUIS ROBERTO CHEVEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

**“Diseño de una aplicación para el análisis y simulación
de la distorsión armónica en redes de baja tensión”**

Presentado por :

ZULEYMA INES ACEVEDO MERINO

ROMEO ALEXANDER CHAVEZ NOLASCO

LARISA YASMIN TEREZON SEGURA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. LUIS ROBERTO CHEVEZ PAZ
ING. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS**

San Salvador, Febrero de 2007.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. LUIS ROBERTO CHEVEZ PAZ

ING. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente, a nuestros padres, a nuestros amigos, a los catedráticos y a todas las personas que de alguna o de otra manera nos dieron apoyo y fueron de mucha ayuda para poder alcanzar este grandioso éxito.

PREFACIO.

Actualmente existe una gran proliferación de equipos electrónicos que se utilizan en el hogar, industria, comercio, los cuales mejoran y aceleran los procesos productivos.

Pero estos equipos generan un problema de calidad del servicio eléctrico al introducir armónicas en la red, esta situación no afecta únicamente a la empresa distribuidora, sino también al usuario final. Es por ello que La Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) ha emitido un acuerdo que tiene por objeto “regular los índices e indicadores de referencia, para calificar la calidad con que las empresas distribuidoras suministran los servicios de energía eléctrica a los usuarios de la red, tolerancia permisible, métodos de control y compensaciones” [1].

Como se ha mencionado este problema no afecta únicamente a la empresa distribuidora, sino también al usuario mismo, el cual debe velar por detectar problemas que se encuentren en sus instalaciones.

Con el objetivo de ayudar a realizar este tipo de análisis de carga se realiza el presente trabajo de graduación en el cual se desarrolla una herramienta de simulación con la cual se espera predecir el comportamiento armónico de una red en baja tensión partiendo del diagrama unifilar, y de la carga no lineal a instalar.

Esto puede ser utilizado para mejorar los criterios de diseño de las instalaciones eléctricas en especial dimensionamiento a devanado de transformadores, alimentadores y protecciones afectados por cargas no lineales.

RESUMEN

En la presente investigación se ha realizado una campaña de medición cuyos resultados han sido utilizados como base para la elaboración del software de simulación, esto se desarrolla con el lenguaje de programación de Matlab.

El modelado de cargas se ha tomado en una primera parte de las mediciones hechas en el proyecto de investigación, CIC UES 03-16 “Estudio de los índices de distorsión armónica generadas por cargas no lineales”; en el cual este grupo de tesis también participó; mientras que una segunda parte se han obtenido modelos de convertidores de AC/DC a partir de las ecuaciones que representan a los circuitos equivalentes. En el capítulo II se presenta un análisis de cómo se obtuvieron los modelos de las cargas utilizadas en el programa.

Las mediciones se han realizado con los siguientes equipos: Dranetz PowerGuide 4400 y Fluke 434. La calidad de las mediciones es determinada de acuerdo a ciertos índices estadísticos. Los resultados se comparan con normas de calidad como el acuerdo N° 192-E-2004 de la SIGET y la norma IEEE 519 el cual es un estándar internacional en cuanto a calidad de energía.

Es por ello que el documento comienza con un breve estudio de ambas normas, seguido del análisis de datos recolectados con ambos equipos.

TABLA DE CONTENIDOS.

| Capítulo. | Página |
|---|---------------|
| LISTA DE TABLAS | ix |
| LISTA DE FIGURAS | xiv |
| I. DEFINICIONES GENERALES. | 1 |
| INTRODUCCION. | 1 |
| 1.1 DEFINICIONES. | 1 |
| 1.2 TEORIA DE ARMONICOS. | 4 |
| 1.3 LÍMITES ESTABLECIDOS PARA LA DEFORMACION DE ONDAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE EN EL SALVADOR ESTABLECIDOS POR LA SUPERINTENDENCIA GENERAL DE ELECTRICIDAD Y TELECOMUNICACIONES (SIGET). | 5 |
| 1.4 CARGAS GENERADORAS DE ARMONICOS | 7 |
| 1.5 EL FACTOR k EN LOS TRANSFORMADORES PARA LAS CARGAS CON ARMONICAS | 12 |
| CONCLUSIONES DEL CAPITULO I | 14 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS. | 15 |
| II. MODELOS DE CARGAS NO LINEALES. | 16 |
| INTRODUCCION. | 16 |
| 2.1 MODELOS DE CARGAS OBTENIDOS CON ANALISIS ESTADISTICO. | 16 |
| 2.1.1 MARCO TEORICO. | 16 |
| 2.1.1.1 METODO CIENTIFICO EXPERIMENTAL. | 16 |
| 2.1.1.2 REGRESION LINEAL. | 19 |
| 2.1.1.3 CORRELACION. | 20 |
| 2.1.1.4 DISTRIBUCIONES MUESTRALES DE MEDIAS. | 22 |
| 2.1.1.5 ESTIMACION DE LA DIFERENCIA ENTRE DOS MEDIAS. | 23 |

| | |
|---|----|
| 2.1.1.6 PRUEBAS SOBRE DOS MEDIAS. | 24 |
| 2.1.2 PROCESO DE OBTENCION DE MODELOS ARMONICOS DE CARGAS NO LINEALES. | 26 |
| 2.1.2.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL. | 26 |
| 2.1.2.2 LUMINARIAS DE 2X40 WATTS. | 27 |
| 2.1.2.2.1 DEFINICION DEL PROBLEMA. | 27 |
| 2.1.2.2.2 ELABORACION DE LA HIPOTESIS. | 28 |
| 2.1.2.2.3 RESULTADOS OBTENIDOS. | 28 |
| 2.1.2.2.4 MEDICIONES OBTENIDAS PARA LAS LUMINARIAS DE 2x40 W CON BALASTO DE MARCA ADVANCE. | 32 |
| 2.1.2.2.5 MEDICIONES OBTENIDAS PARA LAS LUMINARIAS DE 2x40 W CON BALASTO DE MARCA UNIVERSAL Y DE MARCA MAGNETEK. | 36 |
| 2.1.2.2.6 MEDICIONES OBTENIDAS PARA LAS LUMINARIAS DE 2x40 W COMBINANDO LOS BALASTOS DE MARCA UNIVERSAL Y DE MARCA MAGNETEK JUNTO CON LOS BALASTOS DE MARCA ADVANCE. | 40 |
| 2.1.2.2.7 PRUEBA DE DOS MEDIAS PARA LUMINARIAS DE 2x40 W. | 43 |
| 2.1.2.2.7.1 PRUEBA DE DIFERENCIA DE MEDIAS PARA AMPLITUDES DE ARMONICAS DE CORRIENTE. | 44 |
| 2.1.2.2.7.2 PRUEBA DE DIFERENCIA DE MEDIAS PARA THD INDIVIDUAL EN LAS ARMONICAS DE CORRIENTE. | 45 |
| 2.1.2.2.8 PRUEBA DE EQUIVALENCIA DE MEDIAS PARA LUMINARIAS DE 2x40 W. | 46 |
| 2.1.2.2.8.1 PRUEBA DE EQUIVALENCIA DE MEDIAS PARA AMPLITUDES DE ARMONICAS DE CORRIENTE. | 46 |
| 2.1.2.2.8.2 PRUEBA DE EQUIVALENCIA DE MEDIAS PARA THD INDIVIDUAL EN LAS ARMONICAS DE CORRIENTE. | 46 |
| 2.1.2.2.9 CONCLUSIONES DE HIPOTESIS DE LUMINARIA DE 2x40 W. | 47 |

| | |
|---|----|
| 2.1.2.2.9.1 LUMINARIA DE 2x40 W CON BALASTO MARCA ADVANCE. | 47 |
| 2.1.2.2.9.2 LUMINARIA DE 2x40 W CON BALASTO MARCA UNIVERSAL Y MAGNETEK. | 48 |
| 2.1.2.2.9.3 LUMINARIA DE 2x40 W COMBINANDO BALASTOS MARCA UNIVERSAL Y MAGNETEK CON BALASTOS DE MARCA ADVANCE. | 49 |
| 2.1.2.3 LUMINARIAS DE 3X32 WATTS. | 50 |
| 2.1.2.3.1 DEFINICION DEL PROBLEMA. | 50 |
| 2.1.2.3.2 ELABORACION DE LA HIPOTESIS. | 51 |
| 2.1.2.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS. | 52 |
| 2.1.2.3.4 CONCLUSIONES DE HIPOTESIS DE LUMINARIAS 3x32 W. | 55 |
| 2.1.2.3.4.1 LUMINARIA DE 3x32 W CON BALASTO ELECTRONICO. | 55 |
| 2.1.2.4 COMPUTADORAS PERSONALES. | 57 |
| 2.1.2.4.1 DEFINICION DEL PROBLEMA. | 57 |
| 2.1.2.4.2 ELABORACION DE LA HIPOTESIS. | 57 |
| 2.1.2.4.3 RESULTADOS OBTENIDOS. | 58 |
| 2.1.2.4.4 CONCLUSIONES DE HIPOTESIS DE COMPUTADORAS PERSONALES. | 63 |
| 2.1.2.4.4.1 COMPUTADORAS PERSONALES. | 63 |
| 2.1.3 OBTENCION DE LOS ANGULOS DE LAS COMPONENTES ARMONICAS. | 64 |
| 2.1.3.1 LUMINARIAS DE 2X40 WATTS. | 64 |
| 2.1.3.1.1 RECUPERACION DE LAS SEÑALES. | 67 |
| 2.1.3.2 LUMINARIAS DE 3X32 WATTS. | 69 |
| 2.1.3.2.1 RECUPERACION DE LA SEÑAL. | 69 |
| 2.1.3.3 COMPUTADORAS PERSONALES. | 71 |
| 2.1.3.3.1 RECUPERACION DE LA SEÑAL. | 75 |
| 2.2 MODELOS DE CARGAS NO LINEALES OBTENIDAS TEORICAMENTE. | 77 |

| | |
|--|------------|
| 2.2.1 MARCO TEORICO. | 77 |
| 2.2.1.1 SISTEMAS DE POTENCIA. | 79 |
| 2.2.1.2 CAMPOS DE APLICACION. | 81 |
| 2.2.1.3 RECTIFICACION NO CONTROLADA. | 82 |
| 2.2.1.3.1 TIPOS DE RECTIFICADORES. | 83 |
| 2.2.1.3.2 RECTIFICADORES MONOFASICO NO CONTROLADO TIPO P.D. O RECTIFICADORES DE ONDA COMPLETA CON LA FUENTE EN ESTRELLA. | 85 |
| 2.2.1.3.3 RECTIFICADOR TRIFASICO NO CONTROLADO PD3. | 86 |
| 2.2.1.4 RECTIFICADORES CONTROLADOS. | 90 |
| 2.2.1.4.1 RECTIFICADOR MONOFASICO CONTROLADO COMPLETO. | 91 |
| 2.2.1.4.2 RECTIFICADOR TRIFASICO CONTROLADO COMPLETO. | 93 |
| 2.2.1.5 SEMICONVERTIDORES MONOFASICOS. | 96 |
| 2.2.2 SIMULACION DE LOS MODELOS DE LOS RECTIFICADORES. | 98 |
| 2.2.2.1 RECTIFICADORES NO CONTROLADOS. | 99 |
| 2.2.2.1.1 RECTIFICADOR MONOFASICO COMPLETO NO CONTROLADO. | 99 |
| 2.2.2.1.2 RECTIFICADOR TRIFASICO COMPLETO NO CONTROLADO. | 102 |
| 2.2.2.2 RECTIFICADORES CONTROLADOS | 105 |
| 2.2.2.2.1 RECTIFICADOR MONOFASICO COMPLETO CONTROLADO. | 105 |
| 2.2.2.2.2 RECTIFICADOR TRIFASICO COMPLETO CONTROLADO. | 108 |
| 2.2.2.3 SEMICONVERTIDOR MONOFASICO. | 111 |
| 2.2.2.4 CONTROLADOR DE CORRIENTE ALTERNA MONOFASICO. | 114 |
| CONCLUSIONES DEL CAPITULO II. | 116 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 118 |
| | |
| III DISEÑO DE UN PROGRAMA PARA LA SIMULACION DE ARMONICOS EN BAJA TENSION. | 120 |
| INTRODUCCION. | 120 |
| 3.1 GENERALIDADES DE LA SERIE DE FOURIER | 120 |

| | |
|---|------------|
| 3.2 EL TEOREMA DE MUESTREO | 123 |
| 3.3 FUNDAMENTOS DE Y_{BARRA} | 126 |
| 3.4 RUTINA DE CALCULO PARA Y_{BARRA} | 127 |
| 3.5 DESCRIPCION DEL PROGRAMA Y LOS CODIGOS QUE UTILIZA. | 128 |
| CONCLUSIONES DEL CAPITULO III | 134 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS. | 135 |
| | |
| IV. TENDENCIAS DE ARMONICOS POR SECTOR | 136 |
| INTRODUCCION. | 136 |
| 4.1 ANTECEDENTES | 136 |
| 4.2 TABLAS | 137 |
| 4.2.1 SECTOR GOBIERNO | 137 |
| 4.2.2 SECTOR HOSPITALES | 145 |
| 4.2.3 SECTOR INDUSTRIA | 151 |
| 4.3 RESUMEN DE SECTORES | 158 |
| CONCLUSIONES DEL CAPITULO IV | 159 |
| CONCLUSIONES GENERALES | 160 |

LISTA DE TABLAS

| Tabla | Página |
|---|---------------|
| 1.1 Límites de distorsión armónica en Media y Baja Tensión. | 6 |
| 1.2. Límites de distorsión armónica de la corriente de carga en Media y Baja Tensión. | 6 |
| 2.1 Datos generales de potencia para la medición de una luminaria de 2x40 W. | 29 |
| 2.2 Amplitudes de cada uno de los armónicos para una luminaria de 2x40 W. | 30 |
| 2.3 THD en %FND de cada uno de los armónicos para una luminaria de 2x40 W. | 31 |
| 2.4 Datos generales de potencia para varias luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE. | 32 |
| 2.5 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE. | 33 |
| 2.6 Amplitudes de los porcentajes de ERROR al aplicar los coeficientes de regresión lineal para varias luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE. | 33 |
| 2.7 THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE. | 35 |
| 2.8 Datos generales de potencia para varias luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK. | 36 |
| 2.9 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK. | 37 |
| 2.10 Amplitudes de los porcentajes de ERROR al aplicar los coeficientes de regresión lineal para varias luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK. | 37 |
| 2.11 THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK. | 38 |

| | | |
|------|--|----|
| 2.12 | Datos generales de potencia para varias luminarias de 2x40 W. | 40 |
| 2.13 | Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W. | 41 |
| 2.14 | Amplitudes de los porcentajes de ERROR al aplicar los coeficientes de regresión lineal para varias luminarias de 2x40 W. | 41 |
| 2.15 | THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W. | 42 |
| 2.16 | Límites de la diferencia de medias para amplitudes de armónicas en luminarias de 2x40 W. | 44 |
| 2.17 | Comparación de la diferencia de medias para amplitudes de armónicas en luminarias de 2x40 W. | 44 |
| 2.18 | Límites de la diferencia de medias para THD individual de armónicas en luminarias de 2x40 W. | 45 |
| 2.19 | Comparación de la diferencia de medias para THD individual de armónicas en luminarias de 2x40 W. | 45 |
| 2.20 | Límites de la equivalencia de medias para amplitudes de armónicas en luminarias de 2x40 W. | 46 |
| 2.21 | Límites de la equivalencia de medias para THD individual de armónicas en luminarias de 2x40 W. | 46 |
| 2.22 | Datos generales de potencia para varias luminarias de 3x32 W. | 52 |
| 2.23 | Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 3x32 W. | 53 |
| 2.24 | Amplitudes de los porcentajes de ERROR al aplicar los coeficientes de regresión lineal para varias luminarias de 3x32 W. | 53 |
| 2.25 | THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 3x32 W. | 54 |
| 2.26 | Datos generales de potencia para varias computadoras personales. | 58 |
| 2.27 | Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias computadoras personales. | 59 |
| 2.28 | Datos del análisis estadístico en las amplitudes de las armónicas para varias computadoras personales. | 59 |

| | | |
|------|---|-----|
| 2.29 | Amplitudes de los porcentajes de ERROR al aplicar los coeficientes de regresión lineal para varias computadoras personales. | 60 |
| 2.30 | THD en %FND de cada uno de los armónicos para computadoras personales. | 61 |
| 2.31 | Datos del análisis estadístico en los valores de THD en %FND de las armónicas para varias computadoras personales. | 61 |
| 2.32 | Ángulos de las amplitudes de las armónicas de corriente de las luminarias de 2x40 W obtenidos de la medición original. | 64 |
| 2.33 | Ángulos de las amplitudes de voltaje de las luminarias de 2x40 W obtenidos con la señal de voltaje referenciada al origen. | 65 |
| 2.34 | Ángulos de las amplitudes de corriente de las luminarias de 2x40 W obtenidos con la señal de voltaje referenciada al origen. | 66 |
| 2.35 | Ángulos de las amplitudes de corriente de una luminaria de 3x32 W obtenidos con la señal de voltaje referenciada al origen. | 69 |
| 2.36 | Ángulos de las amplitudes de las armónicas de corriente de las computadoras personales obtenidos de la medición original. | 71 |
| 2.37 | Datos del análisis estadístico aplicado a los ángulos de las amplitudes de las armónicas de corriente de las computadoras personales. | 71 |
| 2.38 | Ángulos de las amplitudes de las armónicas de corriente de las computadoras personales obtenidos a partir de la señal original. | 72 |
| 2.38 | Datos del análisis estadístico aplicado a los ángulos de las amplitudes de las armónicas de corriente de las computadoras personales. | 73 |
| 2.40 | Ángulos de las amplitudes de corriente de las computadoras personales obtenidos con la señal de voltaje referenciada al origen. | 74 |
| 2.41 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 99 |
| 2.42 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 100 |
| 2.43 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 101 |
| 2.44 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 102 |
| 2.45 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 103 |
| 2.46 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 104 |
| 2.47 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 105 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 2.48 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 106 |
| 2.49 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 107 |
| 2.50 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 108 |
| 2.51 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 109 |
| 2.52 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 110 |
| 2.53 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 111 |
| 2.54 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 112 |
| 2.55 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 113 |
| 2.56 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 114 |
| 2.57 | Amplitudes y Fases de armónicas. | 115 |
| 4.1. | Armónicas de los tableros generales del sector gobierno. | 138 |
| 4.2. | Armónicas impares y pares fase A, Sector Gobierno. | 141 |
| 4.3. | Armónicas impares y pares fase B, Sector Gobierno. | 141 |
| 4.4. | Armónicas impares y pares fase C, Sector Gobierno. | 142 |
| 4.5. | Orden de armónicas predominantes impares por lugar fase A. | 144 |
| 4.6. | Orden de armónicas predominantes impares por lugar fase B. | 144 |
| 4.7. | Orden de armónicas predominantes impares por lugar fase C. | 144 |
| 4.8. | Orden de armónicas que predominan por fase y por lugar, sector gobierno. | 145 |
| 4.9. | Tabla de armónicas sector hospitales. | 146 |
| 4.10. | Armónicas pares e impares fase A, sector hospitales. | 148 |
| 4.11. | Armónicas pares e impares fase B, sector hospitales. | 148 |
| 4.12. | Cuadro de armónicas predominantes fase A. | 150 |
| 4.13. | Cuadro de armónicas predominantes fase B. | 150 |
| 4.14. | Cuadro de armónicas predominantes fase C. | 151 |
| 4.15. | Armónicas de mayor magnitud impares de sector hospitales. | 151 |
| 4.16. | Armónicas de los tableros generales sector Industria. | 152 |
| 4.17. | Armónicas pares e impares fase A, sector industria. | 154 |
| 4.18. | Armónicas pares e impares fase B, sector industria. | 154 |
| 4.19. | Armónicas pares e impares fase B, sector industria. | 155 |
| 4.20. | Armónicas predominantes fase A. | 157 |
| 4.21. | Armónicas predominantes fase B. | 157 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.22. | Armónicas predominantes fase C. | 157 |
| 4.23. | Armónicas predominantes de cada fase sector industria. | 157 |
| 4.24. | Resumen de armónicas por sector. | 158 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | | Página |
|---------------|---|---------------|
| 1.1 | Definición de Sags. | 3 |
| 1.2 | Definición de interrupción corta. | 4 |
| 1.3 | Definición de Swells. | 4 |
| 2.1 | Camino desde la observación a la hipótesis. | 17 |
| 2.2 | Datos técnicos de Balastos y lámparas de luminarias de 2x40 W. | 27 |
| 2.3 | Datos generales de potencia para la medición de una luminaria de 2x40 W. | 29 |
| 2.4 | Amplitudes de cada uno de los armónicos para una luminaria de 2x40 W. | 30 |
| 2.5 | THD en %FND de cada uno de los armónicos para una luminaria de 2x40 W. | 31 |
| 2.6 | Datos generales de la corriente rms para varias luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE. | 32 |
| 2.7 | Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE. | 34 |
| 2.8 | THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE. | 35 |
| 2.9 | Datos generales de potencia para varias luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK. | 36 |
| 2.10 | Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK. | 38 |
| 2.11 | THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK. | 39 |
| 2.12 | Datos generales de potencia para varias luminarias de 2x40 W. | 40 |
| 2.13 | Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W. | 42 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.14 | THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W. | 43 |
| 2.15 | Datos técnicos del Balasto de la luminaria de 2X32W. | 51 |
| 2.16 | Datos generales de potencia para varias luminarias de 3x32 W. | 52 |
| 2.17 | Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 3x32 W. | 54 |
| 2.18 | THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 3x32 W. | 55 |
| 2.19 | Datos técnicos de las computadoras personales. | 57 |
| 2.20 | Datos generales de potencia para varias computadoras personales. | 58 |
| 2.21 | Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias computadoras personales. | 60 |
| 2.22 | THD en %FND de cada uno de los armónicos para computadoras personales. | 62 |
| 2.23 | Gráfico de las tendencias de los ángulos de cada uno de los armónicos de voltaje para diferente número de luminarias de 2x40 W. | 64 |
| 2.24 | Gráfico de las tendencias de los ángulos de cada uno de los armónicos de voltaje para diferente número de luminarias de 2x40 W obtenidos con la señal de voltaje referenciada a cero. | 65 |
| 2.25. | Gráfico de las tendencias de los ángulos de cada uno de los armónicos para diferente número de luminarias de 2x40 W obtenidos con la señal de voltaje a cero. | 66 |
| 2.26. | Gráfico de las formas de onda recuperadas con los ángulos promedios de la tabla 2.33. | 67 |
| 2.27. | Gráfico de las formas de onda recuperadas con los ángulos de la tabla 2.34 para una luminaria de 2x40 W. | 67 |
| 2.28. | Gráfico de las formas de onda recuperadas con los ángulos de la tabla 2.34 para una luminaria de 2x40 W con las amplitudes de dos luminarias de 2x40 W. | 68 |
| 2.29. | Gráfico de las formas de onda recuperadas con los ángulos de la tabla 2.35 para una luminaria de 3x32 W. | 69 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.30. | Gráfico de las formas de onda recuperadas con los ángulos de la tabla 2.35 para una luminaria de 3x32 W en las amplitudes de dos luminarias de 3x32 W. | 70 |
| 2.31. | Gráfico de las tendencias de los ángulos de cada uno de los armónicos de corriente para diferentes números de computadoras personales. | 72 |
| 2.32. | Gráfico de las tendencias de los ángulos de cada uno de los armónicos de corriente obtenidos a partir de la señal original. | 73 |
| 2.33. | Gráfico de las tendencias de los ángulos de las amplitudes de corriente de las computadoras personales obtenidos con la señal de voltaje referenciada al origen. | 74 |
| 2.34. | Gráfico de las formas de onda recuperadas para una computadora personal. | 75 |
| 2.35. | Gráfico de las formas de onda recuperadas para dos computadoras personales. | 75 |
| 2.36. | Gráfico de las formas de onda recuperadas para trece computadoras personales. | 76 |
| 2.37 | Diagrama de bloques de un Sistema de Potencia. | 78 |
| 2.38 | Bloques temáticos que comprende la Electrónica de Potencia | 79 |
| 2.39 | Clasificación y ejemplo de los convertidores estáticos de energía eléctrica. | 80 |
| 2.40 | Aplicaciones de los dispositivos de potencia. | 82 |
| 2.41 | Circuitos rectificadores según el conmutador utilizado. | 83 |
| 2.42 | Diagramas y características de los diversos montajes de rectificadores. | 84 |
| 2.43 | Rectificador de onda completa en puente. | 85 |
| 2.44 | Forma de onda del rectificador monofásico con carga altamente inductiva. | 85 |
| 2.45 | Rectificador trifásico completo en estrella. | 87 |
| 2.46 | Intervalos de conducción para el voltaje en la carga. | 87 |
| 2.47 | Forma de onda de la corriente en una fase para carga puramente resistiva. | 87 |

| | | |
|------|---|-----|
| 2.48 | Formas de onda para el rectificador trifásico completo con carga inductiva. | 88 |
| 2.49 | Rectificador monofásico controlado completo. | 91 |
| 2.50 | Forma de onda del rectificador monofásico controlado con carga altamente inductiva. | 92 |
| 2.51 | Rectificador trifásico controlado. | 93 |
| 2.52 | Semiconvertidor monofásico. | 96 |
| 2.53 | Forma de onda del semiconvertidor altamente inductivo. | 97 |
| 2.54 | Formas de onda de un rectificador monofásico no controlado con carga RL. | 99 |
| 2.55 | Gráfico de armónicas. | 99 |
| 2.56 | Formas de onda discontinua de un rectificador monofásico no controlado. | 100 |
| 2.57 | Gráfico de armónicas. | 100 |
| 2.58 | Formas de onda de un rectificador monofásico con carga inductiva. | 101 |
| 2.59 | Formas de onda de un rectificador trifásico no controlado con carga RL. | 102 |
| 2.60 | Gráfico de armónicas | 102 |
| 2.61 | Formas de onda discontinua de un rectificador trifásico no controlado. | 103 |
| 2.62 | Gráfico de armónicas | 103 |
| 2.63 | Formas de onda de un rectificador trifásico con carga inductiva. | 104 |
| 2.64 | Formas de onda de un rectificador monofásico controlado con carga RL. | 105 |
| 2.65 | Gráfico de armónicas | 105 |
| 2.66 | Formas de onda discontinua de un rectificador monofásico controlado. | 106 |
| 2.67 | Gráfico de armónicas | 106 |
| 2.68 | Formas de onda de un rectificador monofásico controlado con carga inductiva. | 107 |

| | | |
|------|--|-----|
| 2.69 | Formas de onda de un rectificador trifásico controlado con carga RL. | 108 |
| 2.70 | Gráfico de armónicas | 108 |
| 2.71 | Formas de onda discontinua de un rectificador trifásico controlado. | 109 |
| 2.72 | Gráfico de armónicas | 109 |
| 2.73 | Formas de onda de un rectificador trifásico controlado con carga inductiva. | 110 |
| 2.74 | Formas de onda de un semiconvertidor monofásico con carga RL. | 111 |
| 2.75 | Gráfico de armónicas | 111 |
| 2.76 | Formas de onda discontinua de un semiconvertidor monofásico. | 112 |
| 2.77 | Gráfico de armónicas | 112 |
| 2.78 | Formas de onda de un semiconvertidor monofásico con carga altamente inductiva. | 113 |
| 2.79 | Formas de onda de un controlador monofásico de AC con carga RL. | 114 |
| 2.80 | Gráfico de armónicas | 114 |
| 2.81 | Formas de onda de un controlador monofásico de AC con carga resistiva RL. | 115 |
| 2.82 | Gráfico de armónicas | 115 |
| 3.1 | Relación entre los lados del triángulo | 121 |
| 3.2 | Función impar | 122 |
| 3.3 | Función impar | 122 |
| 3.4 | Simetría de semionda | 123 |
| 3.5 | Espectro de señal muestreada con $\omega_s > 2\omega_M$ | 124 |
| 3.6 | Señal muestreada con equipo Dranetz (derecha), señal graficada con el programa (izquierda) | 125 |
| 3.7 | Pantalla de selección | 127 |
| 3.8 | Pantalla monofásica | 127 |
| 3.9 | Circuito ejemplo | 130 |
| 3.10 | Caso 2 | 130 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.11 | Caso 3 | 131 |
| 3.12 | Caso 4 | 132 |
| 3.13 | Caso 5 | 132 |
| 3.14 | Pantalla trifásica | 133 |
| 4.1. | Gráfica de barras hasta el armónico 20, del BCR. | 139 |
| 4.2. | Gráfico de barras hasta armónica 20 del Ministerio de Economía. | 139 |
| 4.3. | Gráfico de barras hasta armónica 20 de Ministerio de Hacienda “3 Torres”. | 140 |
| 4.4. | Gráfico de barras hasta armónica 20 de Ministerio de Hacienda “Gdes. Contribuyentes”. | 140 |
| 4.5. | Armónicas impares de la fase A, correspondiente al sector gobierno. | 142 |
| 4.6. | Armónicas impares de la fase B, correspondiente al sector gobierno. | 143 |
| 4.7. | Armónicas impares de la fase C, correspondiente al sector gobierno. | 143 |
| 4.8. | Armónicas Hospital Bloom. | 147 |
| 4.9. | Armónicas Hospital de Diagnóstico. | 147 |
| 4.10. | Armónicas impares fase A, sector hospitales. | 149 |
| 4.11. | Armónicas impares fase B, sector hospitales. | 149 |
| 4.12. | Armónicas impares fase C, sector hospitales. | 150 |
| 4.13. | Gráfica de barras de INVERCALMA. | 153 |
| 4.14. | Gráfica de barras de Sacos Sintéticos de Centro América. | 153 |
| 4.15. | Armónicas impares fase A, sector industria. | 155 |
| 4.16. | Armónicas impares fase B, sector industria. | 156 |
| 4.17. | Armónicas impares fase C, sector industria. | 156 |

CAPITULO I

DEFINICIONES GENERALES.

Introducción.

A medida que avanza la electrónica se da una solución a muchos problemas, desafortunadamente estas soluciones acarrear otros problemas, los cuales se dan debido al incremento significativo de dispositivos no lineales dentro de la red que poseen la indeseable característica de crear deformación en las señales de corriente y consecuentemente en el voltaje.

En este capítulo se trata con especial cuidado las actividades que conciernen a los armónicos, se hace un breve estudio de la norma IEEE Std 519-1992 y del Acuerdo 20E 2005, emitido por la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET). Ya que con ellos se evaluarán los índices de distorsión encontrados en diferentes industrias y se podrá determinar si se encuentran dentro de los límites permisibles o no.

1.1 DEFINICIONES [1].

Conmutación: la transferencia unidireccional de corriente entre los elementos de un circuito que conducen en sucesión.

Convertidor: dispositivo que cambia energía eléctrica de una forma a otra. Un convertidor semiconductor es un convertidor que usa semiconductores como elementos activos en el proceso de conversión.

Desviación de una onda seno: un simple número que significa la distorsión de una onda sinusoidal debida a componentes armónicas. Esto es igual a la razón del valor absoluto de la máxima diferencia entre la onda distorsionada y el valor de cresta de la fundamental.

Desviación de una onda seno, máxima teórica: para una onda sinusoidal, la razón de la suma aritmética de las amplitudes (rms) de todos los armónicos en la onda a la amplitud (rms) de la fundamental.

Factor de distorsión (factor armónico). La razón de la raíz cuadrada media del contenido armónico a la raíz media cuadrada de la cantidad fundamental expresada como un porcentaje de la fundamental.

$$DF = \sqrt{\frac{\text{suma de los cuadrados de las amplitudes de todos los armónicos}}{\text{cuadrado de la amplitud fundamental}}} * 100\%$$

Filtro: término genérico usado para describir aquellos tipos de equipo cuyo propósito es reducir la cantidad de corriente o voltaje armónico en partes específicas o en el sistema eléctrico entero o ambos.

Armónico: una componente sinusoidal de una componente de onda periódica teniendo una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

Armónicos característicos: aquellos armónicos producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso normal de operación. Por ejemplo un convertidor de seis pulsos tiene los siguiente armónicos característicos (no triplens): 5^oh, 7^oh, 11^oh, 13^oh, etc.

Y tiene una fórmula para detectar sus armónicos característicos:

$$h = k q \pm 1$$

$$h = \text{cualquier entero}$$

$$q = \text{número de pulsos del convertidor}$$

Armónicos no característicos: armónicos que no son producidos por convertidores semiconductores en el curso normal de operación. Estos pueden ser el resultado de frecuencias pulsantes, un desbalance en la sistema de potencia AC, ángulos de retraso asimétricos etc.

Factor armónico: la razón de la suma de la raíz cuadrática media (rms) de todos los armónicos a la raíz cuadrática media (rms) de la fundamental.

$$\text{factor armónico de voltaje} = \frac{\sqrt{E_3^2 + E_5^2 + E_7^2 + \dots}}{E_1}$$

$$\text{factor armónico de corriente} = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots}}{I_1}$$

Voltaje notch: el dip en la fuente de voltaje debida al momentáneo corto circuito de las líneas AC durante el intervalo de conmutación.

Carga no lineal: una carga que dibuja una corriente no sinusoidal cuando es alimentada por una fuente de corriente sinusoidal.

Profundidad del notch: es la profundidad promedio del voltaje notch.

Factor de potencia, desplazamiento: la componente de desplazamiento del factor de potencia, la razón de la potencia activa de la onda fundamental, en watts, a la potencia aparente de la onda fundamental en voltamperes.

Factor de potencia, total: la razón de la entrada de potencia en watts, a la entrada de voltamperes total al convertidor.

Factor de calidad: dos π veces la razón de la máxima energía almacenada a la energía disipada por ciclo a una frecuencia dada. Una definición equivalentemente aproximada es que Q es la razón de la frecuencia resonante al ancho de banda entre aquellas frecuencias en lados opuestos de la frecuencia resonante, donde la respuesta de la estructura resonante difiere por 3dB de la resonante. Si el circuito resonante comprende una inductancia L una capacitancia C en serie con una resistencia R el valor de Q es:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Distorsión de demanda total: la distorsión de corriente armónica total en porcentaje de la máxima demanda de corriente de carga (15 o 30 min de demanda).

Distorsión armónica total (THD, por sus siglas en inglés Total Harmonic Distortion): ver factor de distorsión.

Se manejan otros términos que es sano se mencionen pues son frecuentemente utilizados en el medio de calidad de energía.

Sags, dip, hueco: son disminuciones del valor eficaz, comprendidos entre el 90% y el 1% que pueden durar desde medio ciclo hasta un minuto (ejemplificado en la siguiente figura).

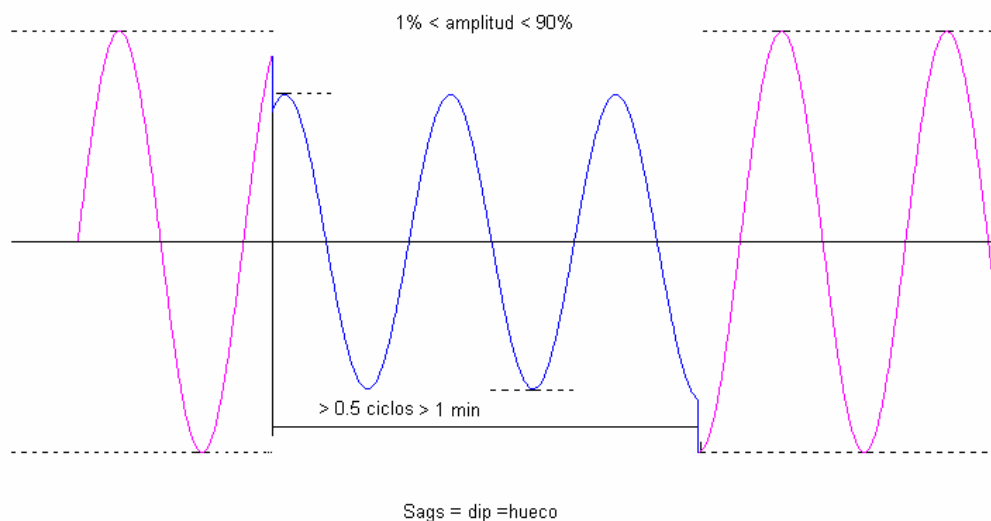


Figura 1.1 Definición de Sags.

Interrupción corta: son bajadas de tensión hasta un valor inferior al 1% de la tensión nominal y con duración entre medio ciclo y un minuto (ejemplificada en la siguiente figura).

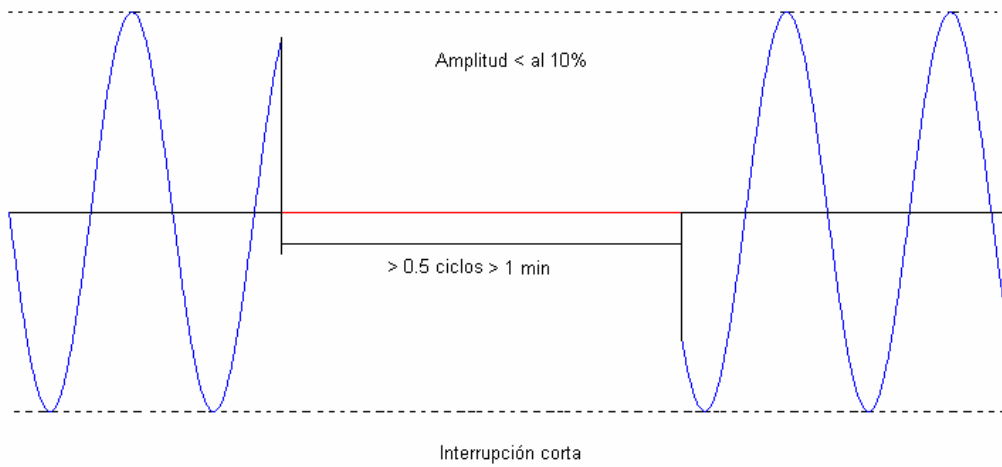


Figura 1.2 Definición de interrupción corta.

Swells, sobretensión: son aumentos del valor eficaz, comprendidos entre el 110% y el 180% que pueden durar desde medio ciclo hasta un minuto (ejemplificado en la siguiente figura). [5]

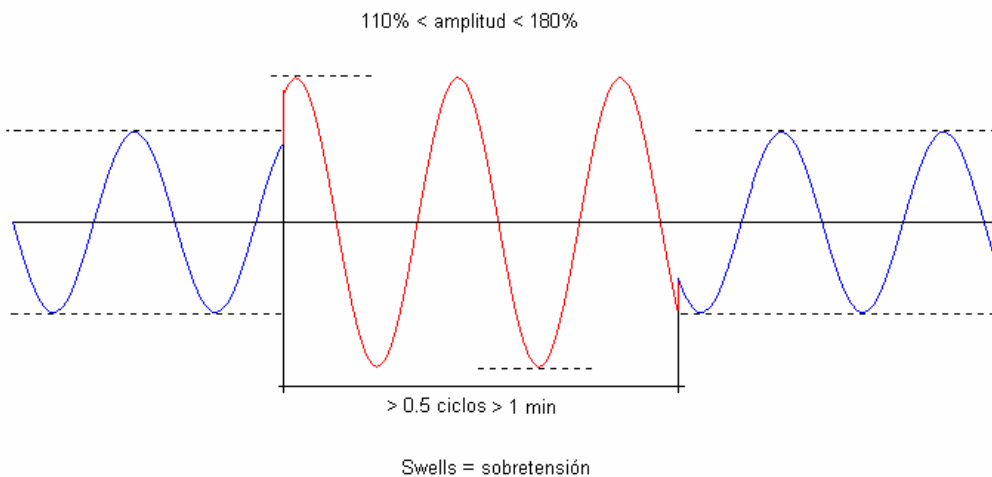


Figura 1.3 Definición de Swells.

1.2 TEORIA DE ARMONICOS.

¿Dónde puede estar el origen de la mala calidad de energía?

Puede tener dos orígenes: el primero, en la acometida de la red eléctrica que alimenta la instalación, por deficiencias del suministro. El segundo, en la propia instalación.

¿Cuáles son los problemas que genera la mala calidad de energía?

Generación de corrientes armónicas, fugas de corrientes en la red de tierra y variaciones de voltaje.

¿Cuáles son las razones principales por la que ocurren estos fenómenos?

Se pueden mencionar dos:

- La instalación de equipo electrónico en un ambiente determinado sin haber hecho las modificaciones necesarias en la instalación eléctrica, de tal manera que no hay un equilibrio entre el consumo de energía y la instalación que soporta este consumo.
- La construcción de edificaciones sin el conocimiento de la carga eléctrica que se requerirá para las necesidades de consumo de energía de los equipos que serán instalados.

Ahora que se sabe orígenes y razones cabe otra pregunta ¿Cómo se mide la calidad de potencia eléctrica? Que es lo que al final interesa al distribuidor y al usuario.

La calidad de potencia eléctrica se mide mediante la forma de onda del voltaje o corriente, que debe estar libre de distorsiones en forma permanente y en estado transitorio. En la práctica la forma sinusoidal pura del voltaje no se puede conseguir, pero la distorsión que tenga la forma de onda del voltaje y la corriente debe estar ajustada a unos límites que se definen en cada país de acuerdo a la normativa existente.

La distorsión de corriente se presenta debido a la presencia de cargas de tipo no lineal. Estas cargas requieren para su adecuado funcionamiento una tensión sinusoidal, pero la corriente que generan es de tipo no sinusoidal. Esta corriente con componentes armónicas, al circular por elementos del sistema que ofrecen oposición a la corriente (impedancias), generan caídas de tensión en especial por el tamaño de la impedancia de red y del transformador principal, igualmente distorsionadas, que como resultado hacen que se afecte la forma de onda del voltaje en mayor grado, mientras más cerca se esté de la carga inyectora de armónicos de corriente. El caso más crítico es para las cargas que están conectadas en la misma barra donde está la carga generadora de armónicos.

1.3 LIMITES ESTABLECIDOS PARA LA DEFORMACION DE ONDAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE EN EL SALVADOR ESTABLECIDOS POR LA SUPERINTENDENCIA GENERAL DE ELECTRICIDAD Y TELECOMUNICACIONES (SIGET).

“Estos niveles de referencia para las armónicas de voltaje en Baja Tensión, no deben ser superados durante más del cinco por ciento (5 %) del período de medición” (reglamentariamente 7 días calendario)[2].

Es decir que según el acuerdo N^o 192-E-2004 emitido por la SIGET, el período de medición es de 7 días calendario lo cual implica que estos límites no deben ser superados durante mas de 8.4 horas (el equivalente al 5% de 7 días).

Tabla 1.1. Límites de distorsión armónica en Media y Baja Tensión

| Límites de distorsión armónica en Media y Baja Tensión | |
|--|---------------------------------------|
| Orden de la armónica | Tasa de distorsión individual (TDI) % |
| N | |
| (impares no múltiplos de 3) | |
| 5 | 6.0 |
| Límites de distorsión armónica en Media y Baja Tensión | |
| Orden de la armónica | Tasa de distorsión individual (TDI) % |
| N | |
| (impares no múltiplos de 3) | |
| 7 | 5.0 |
| 11 | 3.5 |
| 13 | 3.0 |
| 17 | 2.0 |
| 19 | 1.5 |
| 23 | 1.5 |
| 25 | 1.5 |
| >25 | 0.2 + 1.3x25/n |
| (impares múltiplos de 3) | |
| 3 | 5.0 |
| 9 | 1.5 |
| 15 | 0.3 |
| 21 | 0.2 |
| >21 | 0.2 |
| (pares) | |
| 2 | 2.0 |
| 4 | 1.0 |
| 6 | 0.5 |
| 8 | 0.5 |
| 10 | 0.5 |
| 12 | 0.2 |
| >12 | 0.2 |
| Tasa de distorsión total (VDAT)% | 8.0 |

Tabla 1.2. Límites de distorsión armónica de la corriente de carga en Media y Baja Tensión.

| Tabla No 2. Límites de distorsión armónica de la corriente de carga en Media y Baja Tensión | | |
|---|----------------------------------|--|
| ORDEN DE LA ARMONICA (n) | P ≤ 10 kW -- V ≤ 600 V | P > 10 kW -- 600<V≤115 kV |
| | Intensidad armónica máxima (AMP) | Distorsión armónica individual de corriente DAII, en % |
| IMPARES NO MULTIPLOS DE 3 | | |
| 5 | 2.28 | 12 |
| 7 | 1.54 | 8.5 |

| | | |
|----|------|-----|
| 11 | 0.66 | 4.3 |
| 13 | 0.42 | 3 |
| 17 | 0.28 | 2.7 |
| 19 | 0.24 | 1.9 |
| 23 | 0.20 | 1.6 |

Tabla 1.2. Continuación.

| Tabla No 2. Límites de distorsión armónica de la corriente de carga en Media y Baja Tensión | | |
|---|---|---|
| ORDEN DE LA ARMONICA (n) | $P \leq 10 \text{ kW} \text{ -- } V \leq 600 \text{ V}$ | $P > 10 \text{ kW} \text{ -- } 600 < V \leq 115 \text{ kV}$ |
| | Intensidad armónica máxima (AMP) | Distorsión armónica individual de corriente DAII, en % |
| IMPARES NO MULTIPLOS DE 3 | | |
| 25 | 0.18 | 1.6 |
| >25 | 4.5/n | 0.2 + 0.8*25/n |
| IMPARES MULTIPLOS DE 3 | | |
| 3 | 4.60 | 16.60 |
| 9 | 0.80 | 2.20 |
| 15 | 0.30 | 0.60 |
| 21 | 0.21 | 0.40 |
| >21 | 4.5/n | 0.30 |
| PARES | | |
| 2 | 2.16 | 10.00 |
| 4 | 0.86 | 2.50 |
| 6 | 0.60 | 1.00 |
| 8 | 0.46 | 0.80 |
| 10 | 0.37 | 0.80 |
| 12 | 0.31 | 0.40 |
| >12 | 3.68/n | 0.30 |
| DISTORSION ARMONICA TOTAL DE CORRIENTE DATI, EN % | ---- | 20 |

1.4 CARGAS GENERADORAS DE ARMONICOS.

Generalmente los armónicos de tipo impar son los de interés en un sistema eléctrico pero existen algunos equipos que si producen armónicos pares:

- Rectificador de media onda.
- El transformador al producir la corriente de arranque durante la energización.
- Hornos de arco durante períodos de arco inestable.

Esto se debe a la asimetría de la señal de corriente producida.

Las fuentes de armónicos en forma general son tres:

- Dispositivos ferromagnéticos. Transformadores y motores.
- Dispositivos de arco eléctrico. Lámparas de arco: fluorescente, mercurio, sodio-vapor, etc. hornos de arco.

- Convertidores de electrónica de potencia. Manejadores de velocidad variable para motores. Fuentes ininterrumpibles de potencia (UPS), rectificadores, fuentes de potencia de computadores.

De las fuentes generales de que se habla en el párrafo anterior pueden tomarse algunas de las más comunes y exponer los problemas que estas ocasionan:

Transformadores: en un núcleo ideal sin pérdidas por histéresis, el flujo magnético y la corriente de magnetización necesaria para producirlo están relacionadas entre sí, mediante la curva de magnetización del acero utilizado en las laminaciones. Aún en esta condición, la forma de onda resultante no es una senoidal pura.

Cuando hay pérdidas por histéresis, la forma de onda de la corriente no es simétrica con respecto a su valor máximo. La distorsión que se obtiene se debe a las armónicas triplens (3^a, 9^a, 15^a, etc), pero primordialmente a la tercera, ya que para mantener una alimentación de voltaje senoidal es necesario proporcionar una trayectoria para estas armónicas triplens, esto se logra generalmente con el uso de devanados conectados en delta.

Las armónicas debidas a la corriente de magnetización se incrementan a sus niveles máximos en las horas de la madrugada, cuando el sistema tiene muy poca carga y el nivel de voltaje es alto.

Al desactivar un transformador, puede que almacene flujo magnético residual en el núcleo. Cuando se restablezca al unidad, la densidad de flujo magnético residual en el núcleo. Cuando se restablezca la unidad, la densidad de flujo puede tomar niveles máximos (pico) de hasta tres veces el flujo en operación normal. Esto puede causar en el transformador niveles extremos de saturación y producir ampere-vueltas excesivos en el núcleo. Este efecto da lugar a corrientes de magnetización de 5 a 10 p.u. de la corriente nominal (comparada con la corriente de magnetización nominal de apenas de 1% ó 2% de la corriente nominal).

La disminución de esta corriente de energización con el tiempo es función principalmente de la resistencia del devanado primario. Para transformadores muy grandes, esta corriente puede permanecer por mucos segundos, debido a su baja resistencia.

Máquinas rotatorias: los efectos más conocidos de las armónicas en las máquinas rotatorias son el aumento en las pérdidas y calentamiento, generalmente atribuidos a armónicos de bajo orden, alta magnitud y la aparición de pares parásitos.

Las pérdidas ocasionadas por las corrientes armónicas en los motores de inducción trifásicos son del tipo I^2R y pueden dividirse en pérdidas en el estator, pérdidas en el rotor y pérdidas adicionales. El valor de la resistencia tiende a disminuir la frecuencia. Otros tipos de pérdidas debidas a la distorsión de voltaje pueden despreciarse, por ser pequeñas.

Para las máquinas síncronas, generalmente se considera que la impedancia armónica es igual a la reactancia subtransitoria multiplicada por el orden de la armónica.

Lámparas fluorescentes: la utilización en gran escala de las lámparas fluorescentes como un medio para reducir el consumo de energía, se ha visto recientemente incrementada en muchos lugares del mundo. La utilización de nuevas tecnologías que abarcan diseños de lámparas fluorescentes y lámparas de vapor de metal, constituyen sistemas más eficientes de iluminación. Sin embargo, es importante analizar el lado negativo del uso masivo de las lámparas fluorescentes. La preocupación reside en el deterioro que puede sufrir la calidad de la energía en las instalaciones eléctricas donde se aplica éste tipo de alumbrado, por la generación de corrientes armónicas.

Las lámparas incandescentes, por ser cargas lineales, producen la circulación de corrientes de 60 Hz al ser alimentadas por una fuente de voltaje senoidal de la misma frecuencia. En cambio, las lámparas fluorescentes son cargas no lineales por naturaleza. Por lo tanto al aplicarles un voltaje senoidal, se produce una circulación de corrientes no senoidales a través de ellas.

Ya que las lámparas fluorescentes de alta eficacia se conectan a la red de distribución, las corrientes armónicas que se generan pueden fluir a través de los conductores hacia los transformadores en el sistema de distribución.

Ya que se han descrito algunas cargas que son fuentes de armónicas se puede hablar de los efectos de la distorsión armónica.

Impacto sobre los bancos de capacitores: en los sistemas eléctricos de potencia, se usan los bancos de capacitores para control de voltaje para mejorar o corregir el factor de potencia, pero su frecuencia constituye una de las componentes que afectan las características de la llamada respuesta a la frecuencia del sistema, ya que la conexión de los capacitores puede dar lugar a condiciones de resonancia en serie o en paralelo, que eventualmente amplifican los problemas de armónicas.

Condiciones resonantes. Las condiciones de resonancia del sistema son factores importantes que afectan los niveles armónicos del mismo. La resonancia paralelo se

manifiesta como una impedancia grande al flujo de la corriente armónica, mientras que la resonancia serie se manifiesta como una impedancia pequeña.

Cuando las condiciones resonantes no son un problema, es porque el sistema tiene la capacidad de absorber cantidades significativas de corrientes armónicas.

Flujos normales de las corrientes armónicas. Las corrientes armónicas tienden a fluir desde las cargas no lineales (fuentes armónicas) hacia la impedancia más pequeña, usualmente, la fuente de la compañía eléctrica.

La impedancia de la fuente de la compañía eléctrica es mucho más pequeña que las trayectorias paralelo presentadas por las cargas. Sin embargo, la corriente armónica se divide dependiendo de las relaciones de impedancia. Las armónicas de alto orden fluirán hacia los elementos capacitivos, los cuales presentan pequeñas impedancias a altas frecuencias.

Resonancia paralelo. La resonancia paralelo ocurre cuando las reactancias inductiva y capacitiva resultan ser iguales a la misma frecuencia. Si la combinación de los bancos de capacitores y la inductancia del sistema resultan en una resonancia paralelo cerca de una de las armónicas características generadas por la carga no lineal, esa corriente armónica excitará el circuito tanque, de ese modo dará origen a una corriente amplificada que oscilará entre la energía almacenada en la inductancia y la energía almacenada en la capacitancia. Esta corriente elevada de oscilación puede causar la distorsión del voltaje y la interferencia telefónica cuando el circuito de distribución y algún circuito de telecomunicaciones este próximo físicamente.

Resonancia serie. La resonancia serie es el resultado de la combinación serie del banco de capacitores y las inductancias del transformador o la línea. La resonancia serie presenta una trayectoria de baja impedancia a las corrientes armónicas y tienden a atrapar alguna corriente armónica a la cual este sintonizado el circuito LC resultante. La resonancia serie puede resultar en niveles altos de distorsión de voltaje entre la inductancia y el capacitor en el circuito serie.

Impacto sobre los transformadores. Los transformadores se diseñan para entregar la potencia requerida a las cargas conectadas con un mínimo de cargas operando a la frecuencia fundamental, la distorsión armónica de la corriente en particular y también la de voltaje, contribuyen en forma significativa al calentamiento para diseñar un transformador de potencia que pueda trabajar con frecuencias mayores que la fundamental. El diseñador debe hacer distintas variantes en el diseño, como por

ejemplo, usar cables continuos transpuestos en lugar de conductores sólidos y también ampliar el número de ductos de enfriamiento.

Como regla general, un transformador en el que la corriente de distorsión excede el 5%, es un candidato a ser degradado por efecto de armónicas. [3]

Existen tres efectos que resultan de incrementar el calentamiento en los transformadores, cuando la corriente de la carga incluye componentes armónicas:

- 1) **Valor eficaz de la corriente.** Si el transformador está dimensionado sólo para la potencia en kVA de la carga, las corrientes armónicas pueden hacer que el valor eficaz (rms) de corriente sea mayor que su capacidad, lo que traerá como consecuencia un incremento en las pérdidas (I^2R) en los conductores.
- 2) **Pérdidas por corrientes circulantes.** Estas son corrientes reducidas en un transformador y causadas por el flujo magnético, fluyen en el devanado, en el núcleo y en otras partes conductoras sujetas al campo magnético del transformador, causando un calentamiento adicional. Esta componente de las pérdidas del transformador se incrementa con el cuadrado de la frecuencia de la corriente, produciendo las corrientes circulantes, por lo que viene a ser una componente muy importante de las pérdidas del transformador para el calentamiento por las armónicas.

Pérdidas en el núcleo. El incremento en las pérdidas del núcleo en la presencia de armónicas depende básicamente del efecto de las armónicas sobre el voltaje aplicado y el diseño del núcleo del transformador. Un incremento en la distorsión del voltaje puede incrementar las corrientes circulantes en las laminaciones del núcleo, el impacto neto de esto tendrá dependencia del grueso de las laminaciones del núcleo y de la calidad del acero, el incremento en estas pérdidas no es tan crítico como el de las corrientes circulantes.

En la literatura común sobre calidad de la energía, se encuentra un factor k y se relaciona con la degradación del transformador y se puede definir en términos de las corrientes armónicas como sigue [3]:

$$k = \frac{\sum (I_h^2 * h^2)}{\sum (I_h^2)} \quad h = 1, 2, 3, \dots$$

1.5 EL FACTOR k EN LOS TRANSFORMADORES PARA LAS CARGAS CON ARMONICAS.

Los transformadores en instalaciones que contienen cargas no lineales, pueden ver las corrientes de las cargas con contenido de armónicas, esto produce pérdidas más altas en el transformador, debido a corrientes circulantes en los conductores de los devanados y partes estructurales, dejando como resultado temperaturas de operación mayores que las normales; las corrientes no lineales pueden exceder el amperaje de placa y pueden causar que los transformadores se calienten más de lo esperado, aún cuando estos estén sufriendo el 50% de su capacidad de placa. Como resultado de esto, la vida esperada de los transformadores se puede reducir sensiblemente.

La carga de los transformadores está restringida a corrientes senoidales con un contenido de armónicas menor que el 5%; sin embargo, en las normas actuales para transformadores, cuando se espera que éstos operen con cargas no lineales, se especifica un concepto conocido como “Factor k ” asociado directamente con las pérdidas del transformador.

El factor k asignado a un transformador y marcado en él es un índice de la habilidad que tiene para soportar contenido armónico en la corriente de carga mientras permanezca dentro de sus límites de temperatura de operación.

El factor k indica que un transformador puede suplir sus kVA a una carga de cantidad de contenido armónico específico. Los factores k comunes son: $k-1$, $k-4$, $k-9$, $k-13$, $k-20$, $k-30$, $k-40$.

$k-1$: Es un transformador que fue diseñado para manejar únicamente los efectos de calentamiento de las corrientes de Eddy y otras pérdidas ocasionadas por la componente de 60 Hz, no soporta el efecto de calentamiento de corrientes armónicas en su corriente de carga.

$k-4$: Suple su potencia, sin sobre calentarse, a una carga con 100% de la fundamental mas 16% de la fundamental como corriente de 3h; 10% de la fundamental como 5h; 7% de la fundamental como 7h; 5.5% de la fundamental como 9h; y pequeños porcentajes como la 25h.

El “4” indica su habilidad para acomodar 4 veces las pérdidas por corrientes de Eddy de un transformador con $k-1$.

$k-9$: Acomoda 163% de la carga armónica de un transformador $k-4$

$k-13$: Acomoda el 200% de la carga armónica de un transformador $k-4$

k-20, k-30, k-40: El alto número de cada uno de estos factores indica la habilidad para manejar satisfactoriamente grandes cantidades de armónicos en la carga ocasionando calentamiento. [4]

CONCLUSIONES CAPITULO I

- El factor k está relacionado directamente con las pérdidas del transformador.
- El factor k del transformador debe ser el factor k que se calcula para la carga lo que asegura que dicho transformador soportara esta cantidad de carga no lineal.
- En la configuración Δ/Y o Y/Δ el transformador en Δ ayuda a que el sistema conectado a este no tenga armónicas triplens. Aunque estas se quedan circulando en la delta lo que puede también producir recalentamiento en sus bobinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] IEEE Std 519-1192
- [2] Acuerdo No. 192-E-2004
Emitido por SIGET
- [3] El ABC de la Calidad de la energía eléctrica
Enríquez Harper (capítulo 3)
Editorial Limusa
- [4] <http://www.federalpacific.com/university/kfactor.html>
- [5] Manual de equipo Dranetz Power Guide BMI

CAPITULO II

MODELOS DE CARGAS NO LINEALES.

Introducción.

Este capítulo se divide en dos partes. La primera parte se trata del proceso de obtención de modelos de cargas no lineales a través de un análisis estadístico, en esta etapa se aplicaron análisis y técnicas estadísticas sobre mediciones experimentales para poder obtener modelos que reflejen el comportamiento armónico para dos tipos de cargas, las luminarias y las computadoras personales; de modo que se pueda realizar la predicción de dicho comportamiento y ver que tan factible resulta la utilización de estas técnicas en este proceso. Las luminarias estudiadas fueron de dos tipos. Luminarias de 2x40 watts y las luminarias de 3x32 watts.

La segunda parte muestra la forma de cómo se obtuvieron los modelos de los convertidores de AC/DC también llamados rectificadores, a partir de las ecuaciones de los circuitos equivalentes así como los diferentes tipos de rectificadores y los diferentes tipos de carga que estos dispositivos pueden manejar

2.1 MODELOS DE CARGAS OBTENIDOS CON ANALISIS ESTADISTICO.

Para hacer el análisis de las cargas no lineales nos basamos en el método científico experimental y algunas mediciones realizadas en el proyecto de investigación CIC-UES 03-16 sobre índices armónicas de cargas no lineales [2]. Aunque fue necesario realizar más mediciones de una carga en particular ya que solo había mediciones individuales y no grupales.

2.1.1 MARCO TEORICO.

2.1.1.1 METODO CIENTIFICO EXPERIMENTAL.

El Método Científico se puede resumir en cuatro etapas: observación, modelación, predicción, y experimentación, lo cual demuestra que constituye un proceso muy complejo y condicionado por las teorías, modelos, así como por el propio desarrollo tecnológico.

El método científico se puede definir como una serie de operaciones lógicas y organizadas las cuales se ejecutan en determinado momento del proceso para el

cumplimiento de objetivos precisos con vista a encontrar una explicación lógica a los diferentes fenómenos. Es una particularidad del Método Científico llevado a las necesidades del experimento de campo lo que lleva a desarrollar las habilidades experimentales sobre la realización de las mediciones. Su objetivo es el dar solución, a los problemas científicos planteados.

Sus etapas abarcan:

- Identificación del problema.
- Elaboración de las hipótesis.
- Elaboración del plan.
- Ejecución del plan.
- Formulación de soluciones al problema.
- Elaboración de conclusiones y aplicación de los conocimientos al problema.

La identificación del problema es el punto de partida, ya que surge a raíz de una dificultad, la cual se origina a partir de una necesidad, en la que aparecen dificultades sin resolver que pueden ser teóricas o prácticas, según estén en el campo de la especulación o en el de la ejecución.

Para lograr esto, se debe hacer uso de la información que se obtiene a partir de:

- La observación del fenómeno (o quién plantea el problema). Los datos que se pueden obtener al presenciar el fenómeno, los que pueden estar dentro o fuera del control del investigador, puntualizando que esto sucede sin llegar a realizar ninguna actividad de medición.
- La consulta bibliográfica. Permite conocer el estado actual del problema, es decir, qué es lo que se ha hecho, cuántos autores han referido importancia al mismo, qué críticas le han realizado, de qué forma, cómo se ha hecho. Evalúa la importancia del problema por resolver y las soluciones intentadas en las diferentes esferas.

La formulación de la hipótesis se hace una vez planteada la pregunta y hecha la consulta bibliográfica, este paso se puede analizar en el esquema siguiente (figura.2.1):

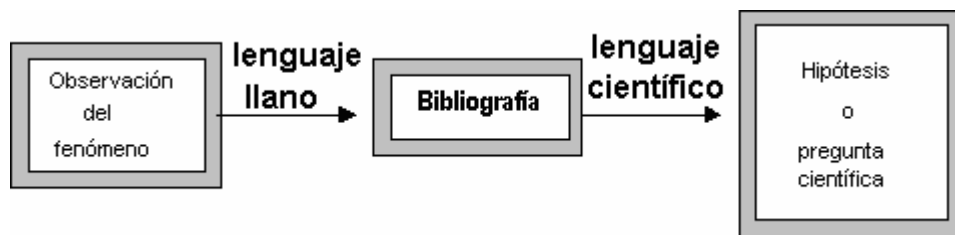


Figura 2.1 Camino desde la observación a la hipótesis.

Comenzando el estudio del fenómeno, y cuando se está dotado de toda la información científica posible se formula una hipótesis que se cree tenga posibilidades de explicar la observación, o se decide, cuáles de las leyes naturales son aplicables, “La hipótesis de trabajo es una predicción donde se explica cómo o por qué sucede un fenómeno, y se busca su comprobación o negación por medio de un experimento.”.

El enunciado de una hipótesis involucra las variables del fenómeno, ya sean cualitativas (si no es posible medirlas) o cuantitativas (cuando se pueden medir), e indica en cierta forma cómo se espera que estén relacionadas.

El análisis de la hipótesis señalará cuales son las variables dependientes, las independientes y los parámetros constantes, además se determina:

- La región en que interesan los resultados. Es el intervalo de valores numéricos de las variables, en los que se espera la aparición del fenómeno y que se cumpla la hipótesis.
- Las aproximaciones por introducir. Se debe tomar en consideración cómo se van a medir las variables, y en que unidades se va realizar dicha medición, bajo qué parámetros y qué escala se utilizará.
- La precisión requerida en los resultados.

En la etapa de la elaboración del plan de investigación se escoge el procedimiento que se va a usar y los elementos que permitirán controlar el fenómeno por estudiar o la medición a realizar. Se deben realizar algunas operaciones importantes que faciliten y organicen esta etapa. Las mismas pueden ser:

- Determinar todos y cada uno de los componentes del equipo que se vayan a utilizar.
- Acoplarlos.
- Realizar un experimento de prueba.
- Interpretar tentativamente los resultados para determinar la precisión, modificando si es necesario, el procedimiento y los equipos.

Se entiende que en todo trabajo de investigación o en la propia solución de un problema teórico o experimental, se necesita del tiempo, en especial si se trata de un problema complejo que debe hacerse en varias etapas y utilice procedimientos o técnicas laboriosas o que quizás deban repetirse muchas veces para obtener resultados concluyentes. Se deben tabular los datos obtenidos, detectando cualquier anomalía que se presente durante el desarrollo del mismo.

El análisis o interpretación de los resultados, ya sean valores, gráficas, tabulaciones, etc., debe contestar lo más claramente posible la o las preguntas planteadas por el problema.

Los resultados del experimento, permiten obtener las conclusiones para poder responder con claridad preguntas planteadas en el experimento, manifestar si fue válida o no la hipótesis de trabajo o el modelo propuesto.

2.1.1.2 REGRESION LINEAL.

En la práctica, con mucha frecuencia es necesario resolver problemas que implican conjunto de variables, cuando se sabe que existe alguna relación inherente entre ellas. En nuestro caso se desearía saber en que porcentaje las amplitudes de las armónicas tienen relación con el número de cargas usadas. También se necesita desarrollar un método de predicción, es decir, un procedimiento para estimar el valor de las amplitudes de las armónicas en función del número de cargas usadas a partir de la información experimental. El aspecto estadístico consiste en lograr la mejor estimación de la relación entre las variables implicadas.

En estos procesos existe una clara distinción entre el papel de las variables dentro del proceso experimental, generalmente se tiene una sola variable dependiente o respuesta, que no es controlada en el experimento. Esta respuesta depende de una o más variables independientes o de regresión, las cuales se miden con un error despreciable y en realidad, en la generalidad de los casos se controlan en el experimento. La relación fija para un conjunto de datos experimentales se caracteriza por una ecuación de predicción que recibe el nombre de ecuación de regresión. Cuando la relación es entre una variable dependiente y una independiente se le llama regresión lineal simple.

Entonces la regresión lineal es un método estadístico para predecir el valor de una variable a partir de los valores de otras.

En la regresión lineal se define cada variable aleatoria $Y_i = Y|x_i$ por medio de un modelo estadístico. Si se postula que todas las medias $\mu_{Y|x_i}$ caen sobre una línea recta, cada Y_i puede escribirse por el modelo de regresión lineal simple:

$$Y_i = \mu_{Y|x_i} + E_i = \alpha + \beta x_i + E_i$$

Cada observación (x_i, y_i) en la muestra satisface la ecuación:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$$

Donde ε_i es el valor que asume E_i cuando Y_i toma el valor y_i .

De manera similar, al utilizar la línea de regresión estimada o ajustada:

$$\hat{y} = a + bx,$$

Cada par de observaciones satisface la relación,

$$y_i = a + bx_i + e_i$$

Se encuentra a y b, y las estimaciones de α y β , de tal forma que la suma de los cuadrados de los residuos se mínima. Este procedimiento de minimización para estimar los parámetros de llama método de mínimos cuadrados.

Estimación de los coeficientes de regresión. Después de una serie de operaciones se plantea la siguiente definición:

Dada la muestra $\{(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, n\}$, las estimaciones de mínimos cuadrados a y b de los coeficientes de regresión α y β se calcula por medio de las fórmulas [1]:

$$a = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \qquad b = \frac{N \sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

2.1.1.3 CORRELACION.

El análisis de correlación intenta medir la relación de linealidad entre dos variables por medio de un simple número que recibe el nombre de coeficiente de correlación.

Con el fin de obtener el grado de correlación de linealidad surge la constante ρ (rho), recibe el nombre de coeficiente de correlación poblacional.

Aquí hay que hacer ciertas observaciones. El valor de ρ es 0 cuando $\beta = 0$, lo cual resulta cuando esencialmente no hay regresión lineal, es decir, la línea de regresión es horizontal y cualquier conocimiento de X no es de utilidad para predecir Y.

El rango de valores del coeficiente de correlación es $-1 \leq \rho \leq 1$. Los valores de $\rho = \pm 1$ solo ocurren cuando se tiene una relación lineal perfecta entre las dos variables y el signo indica el sentido de la pendiente en la regresión.

Se podría decir que estimaciones muestrales de ρ cercanas a la unidad en magnitud implican buena correlación o asociación lineal entre X y Y, mientras que valores cercanos a cero indican poca o ninguna correlación.

La medida de ρ de asociación lineal entre dos variables X y Y se estima con el coeficiente de correlación muestral r, donde:

$$r = b \sqrt{\frac{S_{xx}}{S_{yy}}} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}}$$

Además:

$$r^2 = \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}S_{yy}} = \frac{SSR}{S_{yy}}$$

Donde r^2 , se le llama coeficiente de determinación muestral y representa la proporción de la variación de S_{yy} explicada por la regresión de Y en x, es decir, SSR. Esto es, r^2 expresa la proporción de la variación total de los valores de la variable Y que se pueden contabilizar o explicar por una relación lineal con los valores de la variable aleatoria X. Entonces una correlación de 0.6 significa que 0.36 o 36% de la variación total de los valores de Y en la muestra se deben a una relación lineal con los valores de X.

El coeficiente de determinación muestral también se pueden describir de la siguiente forma:

$$r^2 = \frac{Cov(x, y)^2}{Var(x) \cdot var(y)}$$

Donde:

$$S_{xy} = Cov(x, y) \quad S_{xx} = Var(x) \quad S_{yy} = Var(y)$$

Y también:

$$Cov(x, y) = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i * y_i - \sum_{i=1}^N x_i * \sum_{i=1}^N y_i}{N^2}$$

$$Var(x) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N} - \left[\frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right]^2 \quad Var(y) = \frac{\sum_{i=1}^N y_i^2}{N} - \left[\frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right]^2$$

Además de la prueba del coeficiente de correlación muestral existen dos pruebas de hipótesis especial, las cuales se pueden resumir de la siguiente forma.

Prueba de la hipótesis especial $\rho = 0$, es equivalente a probar que $\beta = 0$ para el método de regresión lineal simple

1. $H_0 : \rho = 0$

2. Ahora se prueba la hipótesis de no asociación lineal para $H_1 : \rho \neq 0$.
3. Se asume un nivel de significancia de $\alpha = \alpha_0$.
4. Con una región crítica de $t < t_{\alpha_0}$ y $t > t_{\alpha_0}$.
5. Calculando $t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$
6. Decisión: se rechaza la hipótesis o se aprueba

Prueba de hipótesis más general $\rho = \rho_0$.

1. $H_0 : \rho = \rho_0$
2. Ahora se prueba la hipótesis de no asociación lineal para $H_1 : \rho > \rho_0$.
3. Se asume $\rho = \rho_0$, con un nivel de significancia de $\alpha = \alpha_0$.
4. Con una región crítica de $z < z_{\alpha_0}$.
5. Calculando $z = \frac{\sqrt{n-3}}{2} \ln \left[\frac{(1+r)(1-\rho_0)}{(1-r)(1+\rho_0)} \right]$
6. Decisión: se rechaza la hipótesis o se aprueba

2.1.1.4 DISTRIBUCIONES MUESTRALES DE MEDIAS.

En términos generales la distribución de probabilidad de un estadístico recibe el nombre de distribución muestral.

La distribución de probabilidad de \bar{X} se llama distribución muestral de la media.

La distribución muestral de un estadístico depende del tamaño de de la población, del tamaño de la muestra y del método de selección de las muestras.

En este tipo de distribución supóngase que una muestra aleatoria de n observaciones se toma una población normal con media μ y variancia σ^2 . Cada observación X_i , $i=1,2,\dots, n$, de la muestra aleatoria tiene entonces la misma distribución normal que la población que está siendo muestreada. De aquí que, que por la propiedad reproductiva de la distribución normal establecida en la definición de la variancia muestral, se concluye que:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Tiene una distribución normal con media,

$$\mu_{\bar{X}} = \frac{\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n}{n}$$

y variancia:

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}{n^2}$$

2.1.1.5 ESTIMACION DE LA DIFERENCIA ENTRE DOS MEDIAS.

Cuando se tienen dos poblaciones con medias μ_1 y μ_2 y variancias σ_1^2 y σ_2^2 respectivamente, estimador puntual de la diferencia entre μ_1 y μ_2 lo da el estadístico $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$. Por lo tanto, para obtener una estimación puntual de $\mu_1 - \mu_2$, se seleccionarán dos, muestras aleatorias independientes, una de cada población, los tamaños n_1 y n_2 , y se calculará la diferencia, $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$, de las medias muestrales. Por supuesto se deben considerar las distribuciones muestrales de $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$.

De acuerdo con el teorema 6.15, [1] se puede esperar que la distribución muestral $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ esté distribuida aproximadamente en forma normal con media $\mu_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \mu_1 - \mu_2$ y desviación estándar $\sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{(\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2)}$. Por lo tanto se puede afirmar con una probabilidad de $1 - \alpha$, que la variable normal estándar,

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{(\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2)}}$$

Caerá entre $-z_{\alpha/2}$ y $z_{\alpha/2}$. Una vez más con referencia a la figura 7.2, [1] se escribe:

$$P(-z_{\alpha/2} < Z < z_{\alpha/2}) = 1 - \alpha$$

Al sustituir Z, se establece en forma equivalente que,

$$P\left[-z_{\alpha/2} < \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{(\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2)}} < z_{\alpha/2}\right] = 1 - \alpha$$

Lo cual conduce al siguiente intervalo de confianza de $(1 - \alpha) * 100\%$ para $\mu_1 - \mu_2$.

Existen tres casos para obtener el intervalo de confianza para las pruebas de dos medias.

1. Intervalo de confianza para $\mu_1 - \mu_2$; conociendo σ_1^2 y σ_2^2 .

Si \bar{x}_1 y \bar{x}_2 son las medias de muestras aleatorias independientes de tamaños n_1 y n_2 de poblaciones con variancias conocidas σ_1^2 y σ_2^2 respectivamente, un intervalo de confianza de $(1 - \alpha) * 100\%$ para $\mu_1 - \mu_2$ es.

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} < \mu_1 - \mu_2 < (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

Donde $z_{\alpha/2}$ es el valor de z que tiene un área de $\alpha/2$ a la derecha.

2. Intervalo de confianza para $\mu_1 - \mu_2$; $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ pero desconocidas.

Si \bar{x}_1 y \bar{x}_2 son las medias de muestras aleatorias independientes de tamaños n_1 y n_2 respectivamente, de poblaciones aproximadamente normales con variancias iguales pero desconocidas, un intervalo de confianza de $(1-\alpha)*100\%$ para $\mu_1 - \mu_2$ es.

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{\alpha/2} s_p \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} < \mu_1 - \mu_2 < (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + t_{\alpha/2} s_p \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

Donde s_p es la estimación común de la desviación estándar poblacional y $t_{\alpha/2}$ es el valor de t con $v = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad, con un área de $\alpha/2$ a la derecha.

3. Intervalo de confianza para $\mu_1 - \mu_2$; $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ y desconocidas.

Si \bar{x}_1 y s_1^2 , \bar{x}_2 y s_2^2 son las medias y variancias de muestras pequeñas independientes de tamaños n_1 y n_2 respectivamente, de distribuciones aproximadamente normales con variancias diferentes y desconocidas, un intervalo de confianza de $(1-\alpha)*100\%$ para $\mu_1 - \mu_2$ es.

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} < \mu_1 - \mu_2 < (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

Donde $t_{\alpha/2}$ es el valor de t con

$$v = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{\left[(s_1^2/n_1)^2 / (n_1 - 1) \right] + \left[(s_2^2/n_2)^2 / (n_2 - 1) \right]}$$

Grados de libertad, con un área de $\alpha/2$ a la derecha.

2.1.1.6 PRUEBAS SOBRE DOS MEDIAS.

Como se sabe a partir de los capítulos anteriores dos muestras aleatorias independientes de tamaños n_1 y n_2 , respectivamente, se sacan de dos poblaciones son medias μ_1 y μ_2 y variancias σ_1^2 y σ_2^2 . Se sabe que la variable aleatoria,

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{(\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2)}}$$

Tiene una distribución normal estándar. Obviamente, si puede suponerse que $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$, el estadístico anterior se reduce a:

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sigma \sqrt{(1/n_1 + 1/n_2)}}$$

Los dos estadísticos anteriores sirven como base para el desarrollo de los procedimientos de prueba sobre dos medias. La equivalencia del intervalo de confianza y la facilidad en la transición del caso de pruebas sobre una sola media permiten simplicidad.

La hipótesis bilateral sobre dos medias en general pueden describirse como:

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = d_0$$

Como es obvio, la alternativa puede ser unilateral o bilateral. De nuevo, la distribución utilizada es la distribución del estadístico de prueba bajo H_0 . Se calculan los valores \bar{x}_1 y \bar{x}_2 y para σ_1^2 y σ_2^2 conocidas, el estadístico es:

$$z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{\sqrt{(\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2)}}$$

Con una región crítica de dos colas en el caso de una alternativa de dos lados. Esto es, el rechazo de H_0 en favor de $H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$ si $z > z_{\alpha/2}$ o $z < -z_{\alpha/2}$. Las regiones críticas de una cola se utilizan en el caso de las alternativas unilaterales.

Las situaciones que más prevalecen en pruebas sobre medias son aquellas en las cuales se desconocen las variancias. En un primer caso se puede asumir que las distribuciones son normales y que $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ puede utilizarse la prueba t combinada (a la que con frecuencia se denomina prueba de t de dos muestras). el estadístico de prueba es:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \sqrt{(1/n_1 + 1/n_2)}}$$

Donde,

$$s_p^2 = \frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}$$

Se incluye la distribución t y la hipótesis bilateral no se rechaza cuando:

$$-t_{\alpha/2, n_1+n_2-2} < t < t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$$

Se debe recordar que se deben calcular los grados de libertad para la distribución t en base a la combinación de los valores \bar{x}_1 y \bar{x}_2 con σ_1^2 y σ_2^2 .

En el caso más general se puede asumir que las distribuciones son normales y que $\sigma_1 \neq \sigma_2$, con la diferencia que se utiliza los valores obtenidos de s_1^2 y s_2^2 en lugar de los valores de σ_1^2 y σ_2^2 y siempre se utiliza la distribución t con los siguientes estadísticos de prueba:

Estimador de distribución t:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)}}$$

Con:

$$v = \left[\frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{[(s_1^2/n_1)^2/(n_1 - 1)] + [(s_2^2/n_2)^2/(n_2 - 1)]} \right]$$

Grados de libertad.

Se incluye la distribución t y la hipótesis bilateral no se rechaza cuando:

$$-t_{\alpha/2,v} < t < t_{\alpha/2,v}$$

2.1.2 PROCESO DE OBTENCION DE MODELOS ARMONICOS DE CARGAS NO LINEALES.

2.1.2.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Para realizar las mediciones el proceso de medición general fue el siguiente:

1. Se conectaron a un circuito de tomas de un subtablero del laboratorio de la EIE las cargas a medir de modo tal que solo se midieran las cargas específicas, por ejemplo las luminarias de 2x40 W, las luminarias de 3x32 W. En el caso de las computadoras personales se uso el centro de cómputo de la EIE.
2. Se instaló y se energizó adecuadamente el equipo de medición a utilizar [7,8], los equipos disponibles son los medidores de calidad de energía:
 - a. El Drantex PowerGuide 4400.
 - b. Fluke 433/434 Three Phase Power Quality.
3. Luego de haber conectado las cargas a medir y energizado adecuadamente los equipos de medición se procedió ha conectar con las pinzas de voltaje y de corriente los terminales de la carga, de modo que se midieran la señal de corriente y de voltaje.
4. Posteriormente se configuraban los equipos según sus instrucciones respectivas para que midieran los tiempos asignados.

5. Al terminar la medición se guardaban cada una de las mediciones en la memoria interna si era el Fluke 433/434 Three Phase Power Quality o en una memoria externa si se usaba El Drantex PowerGuide 4400.
6. Finalmente se descargaban los datos de cada uno de los archivos de medición guardados en los equipos con el respectivo software de cada equipo [8,9], para hacer los análisis correspondientes y poder definir patrones de comportamientos de las cargas.

2.1.2.2 LUMINARIAS DE 2x40 WATTS.

2.1.2.2.1 DEFINICION DEL PROBLEMA.

“Obtener el comportamiento armónico de una luminaria de 2x40 watts que sea representativo y a partir de él poder predecir el contenido armónico para cualquier número de luminarias, de modo que esta predicción pueda ser utilizada en un programa para simulación de armónicos”.

Partiendo de la definición del problema se pretende encontrar una fórmula que calcule el contenido armónico para un numero N de luminarias. Para esto se realizaron mediciones de una luminaria de 2x40 watts, luego se fueron incrementando el número de luminarias hasta tener 7 luminarias simultáneas en medición.

Datos técnicos de los balastos y de las luminarias utilizadas en la medición.

| | | |
|--------------------------|---|--------------|
| BALASTO | Rapido Start | |
| MARCA | MAGNETEK | |
| CLASS P | (Protector Térmico De Reseteado automatico) | |
| CAT: | N° 446-LR-E-QP | |
| 120 Voltios | 60 Hz | ILinea 0.8 A |
| 34 WATTS 4 FOOT T12/RS | | |
| Corriente Lamp Max 460mA | | |

| |
|------------------|
| LAMPARA 40 WATTS |
| MARCA SYLVANIA |
| F40/D/EX |

| |
|------------------|
| LAMPARA 40 WATTS |
| MARCA PHILLIPS |
| F40D/XPT |

| | | |
|----------------------|---------------|----------|
| BALASTO | RAPIDO START | |
| CON PRECALENTAMIENTO | | |
| RL-140-TP | MARCA ADVANCE | |
| CLASS: P | TIPO 1 | EXTERIOR |
| 120 Voltios | 60 Hz | 0.53 AMP |
| 40 WATTS | TMAX=50°F | |
| | | |

Figura 2.2 Datos técnicos de Balastos y lámparas de luminarias de 2x40 W.

En la medición de la luminaria de 2x40 W se midió el mismo tipo de balasto pero con dos diferentes categorías, los balastos marca ADVANCE y los balastos de las luminarias medidas de marcas UNIVERSAL y MAGNETEK, también se hicieron mediciones combinando balastos de marca ADVANCE con los balastos de marca UNIVERSAL y MAGNETEK.

2.1.2.2.2 ELABORACION DE LA HIPOTESIS.

De acuerdo a mediciones realizadas anteriormente, se ha podido observar que al cambiar el tipo de balasto en este caso de diferente categoría, se espera que la distorsión armónica varíe, además también se espera que para el caso de las luminarias la amplitud de sus armónicas varíen linealmente conforme se aumente el número de luminarias, por lo que al momento de plantear la hipótesis a probar se hizo tomando en cuenta estas experiencias previas y para que la hipótesis pueda ser aceptada o rechazada, el planteamiento de esta se hizo en función de la aproximación de la linealidad de las amplitudes de las armónicas y de que porcentaje de los datos se adaptan o se correlacionan al modelo de la linealidad.

“La variación de las amplitudes de las armónicas con respecto al número de luminarias de 2x40 W en ambas categorías es lineal”.

Para comprobar esta hipótesis se probará que tanto el coeficiente de correlación muestral como el coeficiente de correlación poblacional son mayores a 0.90 [1].

Por lo tanto se probará la condición:

$$r^2 > 0.90 \text{ y } \rho > 0.90$$

2.1.2.2.3 RESULTADOS OBTENIDOS.

Primero mostramos los datos obtenidos de mediciones hechas para una luminaria con diferentes tipos de balastos.

Se debe tomar en cuenta que las iniciales ADV indican mediciones realizadas con luminarias de balasto de marca Advance; mientras que las iniciales UNI y MAG representan mediciones hechas con luminarias con balastos de marca Universal o Magnetek, que para nuestro caso están ubicados en la misma categoría, en ambos casos

las diferentes combinaciones con estas iniciales indican diferentes mediciones hechas con el mismo tipo de balasto.

Tabla 2.1 Datos generales de potencia para la medición de una luminaria de 2x40 W.

| X | ADV | ADV1 | ADV2 | ADV F/B | ADV F/C | UNIVERSAL | MAG120405 | MAGNETEK | UNI F/A | PROM GRAL | STD |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|--------|
| Vrmsavg(Volts) | 118.4369 | 118.7443 | 119.4926 | 119.9518 | 120.8625 | 122.2697 | 116.6457 | 121.7160 | 121.2298 | 119.9277 | 1.7971 |
| Irmsavg(Amps) | 0.7860 | 0.8210 | 0.7060 | 0.7618 | 0.7426 | 0.8246 | 0.7382 | 0.7381 | 0.7329 | 0.7613 | 0.0410 |
| Pavg(kW) | 0.0903 | 0.0929 | 0.0803 | 0.0875 | 0.0869 | 0.0996 | 0.0844 | 0.0891 | 0.0882 | 0.0888 | 0.0054 |
| P-Fndavg(kW) | 0.0908 | 0.0935 | 0.0810 | 0.0881 | 0.0875 | 0.0997 | 0.0845 | 0.0891 | 0.0883 | 0.0892 | 0.0053 |
| Savg(kVA) | 0.0931 | 0.0973 | 0.0843 | 0.0914 | 0.0898 | 0.1008 | 0.0857 | 0.0898 | 0.0889 | 0.0912 | 0.0052 |
| QFndavg(kVAr) | -0.0082 | -0.0161 | -0.0096 | -0.0149 | -0.0059 | -0.0089 | -0.0039 | 0.0010 | -0.0013 | -0.0075 | 0.0057 |
| PFavg() | -0.9700 | -0.9542 | -0.9519 | -0.9569 | -0.9680 | -0.9885 | -0.9986 | 0.9916 | -0.9924 | -0.7543 | 0.6549 |
| Pphi-Fndavg(Deg) | 5.1293 | 9.7886 | 6.7413 | 9.5922 | 3.8402 | 5.0951 | 3.0686 | -0.6544 | 0.8289 | 4.8255 | 3.5575 |
| DPFavg() | -0.9960 | -0.9853 | -0.9930 | -0.9860 | -0.9977 | -0.9960 | 0.9929 | 0.9999 | -0.9998 | -0.5512 | 0.8774 |
| kWh(Energy)(kWh) | 0.0280 | 0.0264 | 0.0227 | 0.0186 | 0.0184 | 0.0278 | 0.0000 | 0.0196 | 0.0187 | 0.0200 | 0.0085 |
| kVARh(Q-Int)(kVARh) | -0.0025 | -0.0044 | -0.0026 | -0.0032 | -0.0013 | -0.0024 | 0.0000 | 0.0002 | -0.0003 | -0.0018 | 0.0016 |

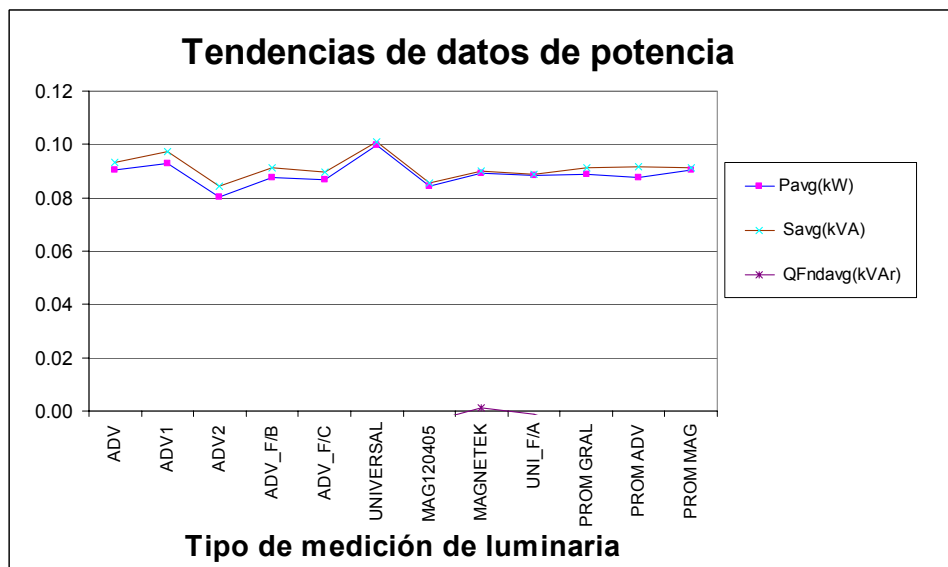
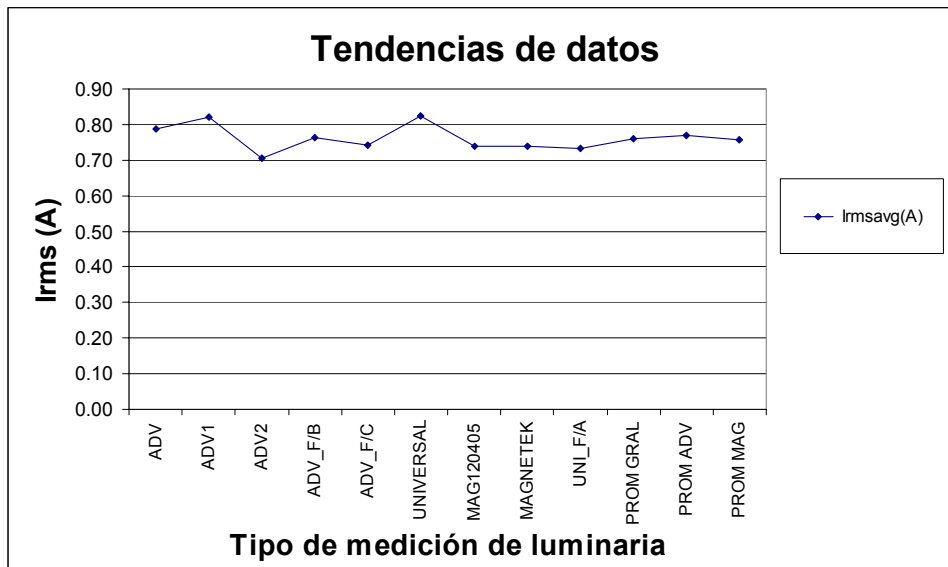


Figura 2.3 Datos generales de potencia para la medición de una luminaria de 2x40 W.

Al graficar los datos obtenidos se puede observar que la corriente rms se mantiene casi constante con una desviación estándar de 0.041 A rms alrededor de 0.7613 A rms. Además al observar la última columna de la tabla 2.1 la cual indica la desviación estándar de las mediciones, se ve que los datos mostrados poseen desviaciones estándar muy pequeñas, por lo en estas características las luminarias no presentan mayor variación.

Tabla 2.2 Amplitudes de cada uno de los armónicos para una luminaria de 2x40 W.

| Amplitud de los armónicos para un luminaria de 2x40W | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|---------|---------|-----------|-----------|----------|--------|----------|--------|
| Amplitud | ADV | ADV1 | ADV2 | ADV_F/B | ADV_F/C | UNIVERSAL | MAG120405 | MAGNETEK | UNI_FA | PROMGRAL | STD |
| I HG00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| I HG01 | 0.7711 | 0.8008 | 0.6821 | 0.7448 | 0.7264 | 0.8197 | 0.7386 | 0.7333 | 0.7291 | 0.7496 | 0.0417 |
| I HG02 | 0.0222 | 0.0196 | 0.0078 | 0.0088 | 0.0403 | 0.0087 | 0.0065 | 0.0162 | 0.0181 | 0.0165 | 0.0107 |
| I HG03 | 0.1369 | 0.1551 | 0.1572 | 0.1359 | 0.1336 | 0.0564 | 0.0662 | 0.0622 | 0.0503 | 0.1060 | 0.0457 |
| I HG04 | 0.0031 | 0.0038 | 0.0028 | 0.0023 | 0.0047 | 0.0016 | 0.0018 | 0.0034 | 0.0056 | 0.0032 | 0.0013 |
| I HG05 | 0.0597 | 0.0797 | 0.0746 | 0.0786 | 0.0694 | 0.0625 | 0.0583 | 0.0506 | 0.0507 | 0.0649 | 0.0112 |
| I HG06 | 0.0017 | 0.0014 | 0.0013 | 0.0011 | 0.0042 | 0.0009 | 0.0005 | 0.0013 | 0.0009 | 0.0015 | 0.0011 |
| I HG07 | 0.0182 | 0.0191 | 0.0165 | 0.0195 | 0.0194 | 0.0180 | 0.0198 | 0.0199 | 0.0195 | 0.0189 | 0.0011 |
| I HG08 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0015 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0011 | 0.0009 | 0.0006 | 0.0005 |
| I HG09 | 0.0121 | 0.0141 | 0.0116 | 0.0140 | 0.0136 | 0.0114 | 0.0114 | 0.0121 | 0.0100 | 0.0123 | 0.0014 |
| I HG10 | 0.0004 | 0.0006 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0006 | 0.0008 | 0.0004 | 0.0003 |
| I HG11 | 0.0061 | 0.0068 | 0.0052 | 0.0069 | 0.0059 | 0.0077 | 0.0072 | 0.0077 | 0.0067 | 0.0067 | 0.0008 |
| I HG12 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0002 | 0.0003 |
| I HG13 | 0.0038 | 0.0049 | 0.0038 | 0.0045 | 0.0039 | 0.0043 | 0.0049 | 0.0045 | 0.0044 | 0.0043 | 0.0004 |
| I HG14 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0002 |
| I HG15 | 0.0032 | 0.0036 | 0.0027 | 0.0038 | 0.0033 | 0.0039 | 0.0036 | 0.0033 | 0.0033 | 0.0034 | 0.0004 |

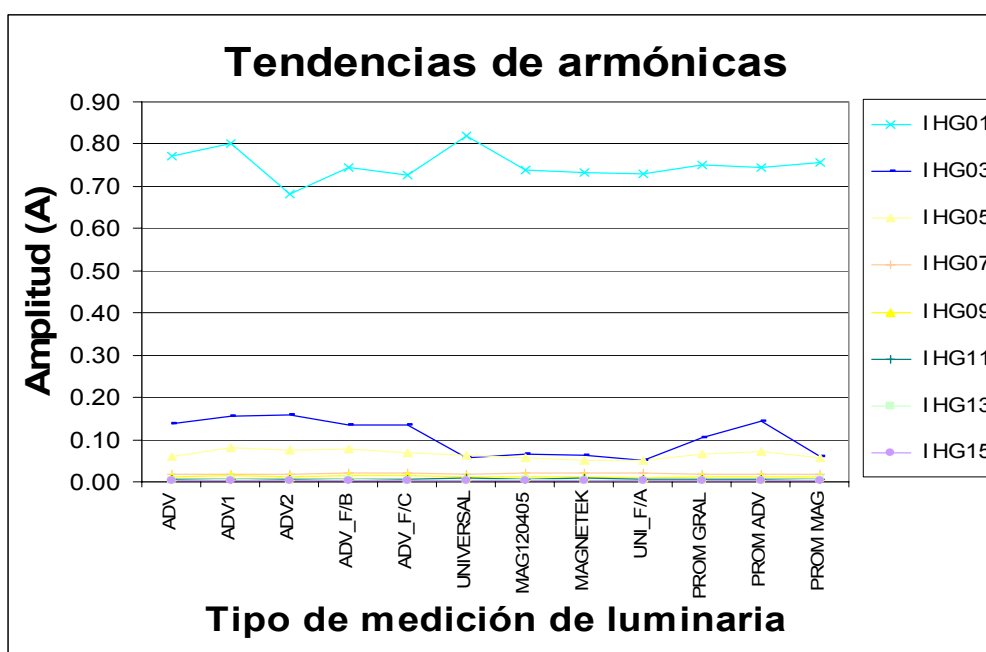


Figura 2.4 Amplitudes de cada uno de los armónicos para una luminaria de 2x40 W.

De la figura 2.4 y los valores mostrados por la tabla 2.2 se puede observar que solo la tercera armónica y la fundamental muestran una mayor variación, lo que es indicado por

su mayor desviación estándar comparándola con las demás armónicas, también se debe hacer notar todas las luminarias con balasto advance tienen un valor de tercera armónica de alrededor de 0.15 A rms, mientras todas las luminarias con balasto universal y magnetek tienen un valor de tercera armónica de 0.06 A rms.

Por lo que en el caso de las amplitudes de las armónicas si existe diferencia entre las mediciones para los tipos de balastos usados.

Tabla 2.3 THD en %FND de cada uno de los armónicos para una luminaria de 2x40 W.

| THD de los armónicos para un luminaria de 2X40W | | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|--------|
| % FND | ADV | ADV1 | ADV2 | ADV_F/B | ADV_F/C | UNIVERSAL | MAG120405 | MAGNETEK | UNI_F/A | PROM GRAL | STD |
| IThd(%) | 19.8273 | 22.1544 | 25.7917 | 21.4043 | 21.7625 | 10.7334 | 12.4547 | 11.6984 | 10.6659 | 17.3881 | 5.9239 |
| IHG00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| IHG01 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 0.0000 |
| IHG02 | 2.8852 | 2.4519 | 1.1209 | 1.1778 | 5.5509 | 1.0592 | 0.8834 | 2.2114 | 2.4857 | 2.2029 | 1.4615 |
| IHG03 | 17.7583 | 19.3671 | 23.1176 | 18.2456 | 18.3922 | 6.8786 | 8.9674 | 8.4804 | 6.8960 | 14.2337 | 6.3232 |
| IHG04 | 0.3993 | 0.4773 | 0.4035 | 0.3118 | 0.6427 | 0.1917 | 0.2396 | 0.4634 | 0.7723 | 0.4335 | 0.1852 |
| IHG05 | 7.7371 | 9.9469 | 10.9106 | 10.5472 | 9.5603 | 7.6271 | 7.8866 | 6.8935 | 6.9526 | 8.6736 | 1.5670 |
| IHG06 | 0.2177 | 0.1729 | 0.1876 | 0.1423 | 0.5839 | 0.1058 | 0.0730 | 0.1782 | 0.1214 | 0.1981 | 0.1515 |
| IHG07 | 2.3550 | 2.3824 | 2.4180 | 2.6184 | 2.6768 | 2.1945 | 2.6829 | 2.7191 | 2.6690 | 2.5240 | 0.1887 |
| IHG08 | 0.0844 | 0.0932 | 0.0352 | 0.0270 | 0.2109 | 0.0000 | 0.0702 | 0.1450 | 0.1208 | 0.0874 | 0.0652 |
| IHG09 | 1.5751 | 1.7667 | 1.7034 | 1.8759 | 1.8698 | 1.3864 | 1.5407 | 1.6447 | 1.3780 | 1.6379 | 0.1856 |
| IHG10 | 0.0536 | 0.0763 | 0.0390 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0358 | 0.0515 | 0.0775 | 0.1062 | 0.0489 | 0.0352 |
| IHG11 | 0.7877 | 0.8530 | 0.7599 | 0.9279 | 0.8177 | 0.9357 | 0.9788 | 1.0435 | 0.9255 | 0.8922 | 0.0937 |
| IHG12 | 0.0000 | 0.0709 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0220 | 0.0000 | 0.0017 | 0.0796 | 0.0868 | 0.0290 | 0.0384 |
| IHG13 | 0.4942 | 0.6149 | 0.5600 | 0.6035 | 0.5390 | 0.5210 | 0.6606 | 0.6104 | 0.6010 | 0.5783 | 0.0531 |
| IHG14 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0337 | 0.0000 | 0.0621 | 0.0106 | 0.0223 |
| IHG15 | 0.4212 | 0.4493 | 0.3984 | 0.5115 | 0.4505 | 0.4777 | 0.4916 | 0.4436 | 0.4497 | 0.4548 | 0.0346 |

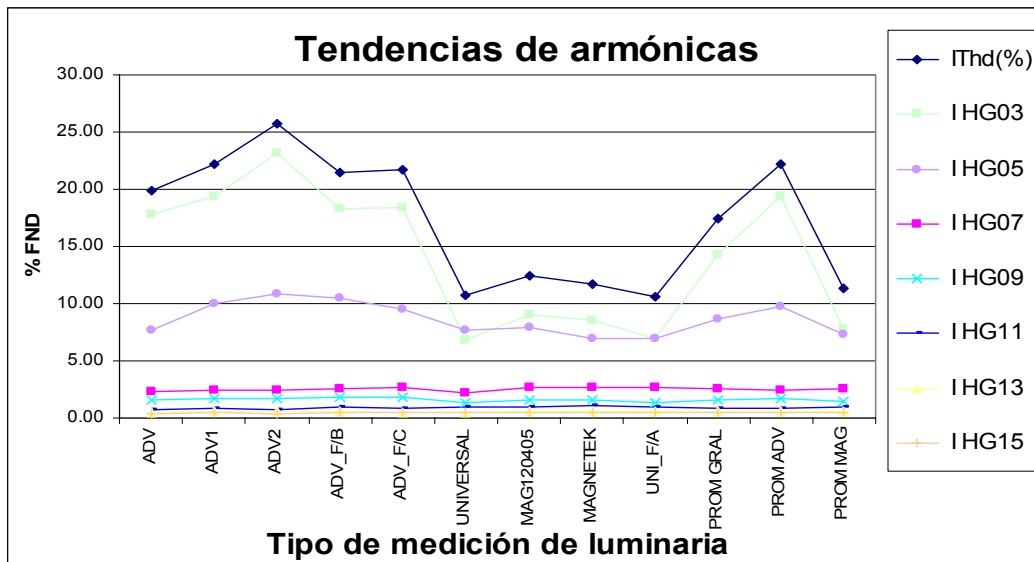


Figura 2.5 THD en %FND de cada uno de los armónicos para una luminaria de 2x40 W. Se puede observar nuevamente que las mayores variaciones se muestran en la componente fundamental y en la tercera armónica, lo que es confirmado según los datos

de la tabla 2.3 con la mayor desviación estándar. Además en la variación está implicado nuevamente el tipo de balasto que tiene la luminaria.

Por lo tanto a partir de las variaciones mostradas en las amplitudes y en el %THD de la tercera armónica medidas para la luminaria de 2x40 W se puede concluir que se debe analizar por separado el uso de un balasto de marca diferente.

2.1.2.2.4 MEDICIONES OBTENIDAS PARA LAS LUMINARIAS DE 2x40 W CON BALASTO DE MARCA ADVANCE.

Tabla 2.4 Datos generales de potencia para varias luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE.

| X | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | 5 LUM | 6 LUM | 7 LUM | a | b | CORREL |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Vrmsavg(Volts) | 119.1564 | 116.9281 | 116.6694 | 114.0984 | 113.7456 | 112.9913 | 113.3080 | -1.0122 | 119.3199 | 0.8814 |
| Irmsavg(Amps) | 0.7687 | 1.4480 | 2.2624 | 2.6193 | 3.7868 | 4.5885 | 5.2960 | 0.7638 | -0.0882 | 0.9911 |
| Pavg(kW) | 0.0877 | 0.0400 | 0.2523 | 0.1435 | 0.2574 | 0.4852 | 0.3610 | 0.0613 | -0.0126 | 0.7133 |
| P-Fndavg(kW) | 0.0884 | 0.0414 | 0.2544 | 0.1412 | 0.2542 | 0.4896 | 0.3567 | 0.0608 | -0.0108 | 0.6978 |
| Savg(kVA) | 0.0915 | 0.1697 | 0.2641 | 0.2870 | 0.4321 | 0.5058 | 0.6018 | 0.0847 | -0.0027 | 0.9856 |
| QFndavg(kVAR) | -0.0122 | -0.0766 | -0.0370 | 0.2362 | 0.3319 | -0.0541 | 0.4620 | 0.0656 | -0.1409 | 0.4205 |
| PFavg() | -0.9583 | -0.1916 | -0.9554 | 0.4922 | 0.5957 | -0.9592 | 0.5998 | 0.1675 | -0.8667 | 0.2261 |
| Pphi-Fndavg(Deg) | 7.8128 | 67.5869 | 8.2860 | -59.6800 | -52.5495 | 6.2032 | -52.3305 | -13.0012 | 41.3374 | 0.3640 |
| DPFavg() | -0.9901 | -0.2017 | -0.9895 | 0.5034 | 0.6081 | -0.9937 | 0.6111 | 0.1720 | -0.8957 | 0.2250 |
| kWh(Energy)(kWh) | 0.0239 | 0.0223 | 0.0282 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.0052 | 0.0313 | 0.6959 |
| kVARh(Q-Int)(kVARh) | -0.0032 | -0.0038 | -0.0039 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0007 | -0.0045 | 0.6954 |

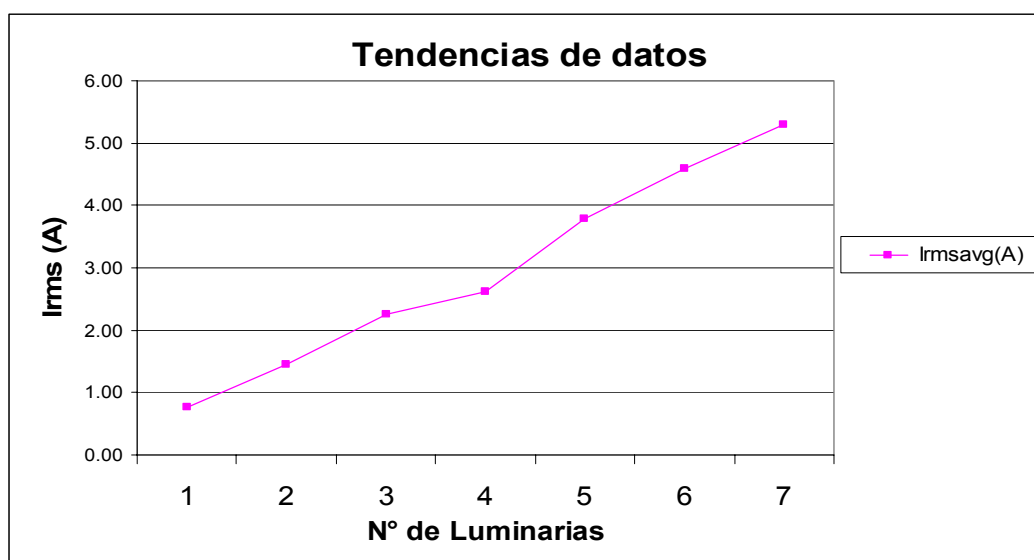


Figura 2.6 Datos generales de la corriente rms para varias luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE.

Las columnas etiquetadas con las letras “a” y “b” representan los coeficientes de regresión lineal y la columna CORREL indica el coeficiente de correlación poblacional.

De la figura 2.6 y la tabla 2.4 se puede observar que la mayoría de parámetros de potencia tienen una variación lineal, tal es el caso de la corriente rms. En el gráfico se puede ver que el aumento de la corriente al incrementar el número de luminarias es de proporción lineal, lo mismo sucede con los kVA y el voltaje rms (este comportamiento solo es visto en la tabla 2.4).

Tabla 2.5 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE.

| Amplitud de los armónicos para diferente número de luminarias | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| Amplitud | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | 5 LUM | 6 LUM | 7 LUM | a | b | CORREL |
| I HG00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1128 |
| I HG01 | 0.7452 | 1.3962 | 2.2063 | 2.5369 | 3.6737 | 4.4962 | 5.1490 | 0.7457 | -0.0965 | 0.9903 |
| I HG02 | 0.0197 | 0.0184 | 0.0196 | 0.0394 | 0.0374 | 0.0167 | 0.0833 | 0.0073 | 0.0042 | 0.4389 |
| I HG03 | 0.1439 | 0.3397 | 0.4565 | 0.6456 | 0.8683 | 0.9166 | 1.1611 | 0.1649 | -0.0122 | 0.9891 |
| I HG04 | 0.0033 | 0.0038 | 0.0036 | 0.0048 | 0.0059 | 0.0030 | 0.0100 | 0.0007 | 0.0020 | 0.4190 |
| I HG05 | 0.0724 | 0.1416 | 0.2053 | 0.2393 | 0.3425 | 0.3684 | 0.4739 | 0.0641 | 0.0068 | 0.9850 |
| I HG06 | 0.0019 | 0.0017 | 0.0021 | 0.0057 | 0.0031 | 0.0032 | 0.0073 | 0.0007 | 0.0007 | 0.5311 |
| I HG07 | 0.0185 | 0.0312 | 0.0503 | 0.0574 | 0.0747 | 0.1028 | 0.1076 | 0.0155 | 0.0011 | 0.9799 |
| I HG08 | 0.0007 | 0.0006 | 0.0009 | 0.0044 | 0.0010 | 0.0020 | 0.0039 | 0.0005 | 0.0001 | 0.3727 |
| I HG09 | 0.0131 | 0.0226 | 0.0362 | 0.0391 | 0.0544 | 0.0691 | 0.0781 | 0.0109 | 0.0009 | 0.9861 |
| I HG10 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0044 | 0.0018 | 0.0006 | 0.0038 | 0.0004 | 0.0000 | 0.2927 |
| I HG11 | 0.0062 | 0.0097 | 0.0164 | 0.0161 | 0.0257 | 0.0350 | 0.0376 | 0.0055 | -0.0011 | 0.9584 |
| I HG12 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0007 | 0.0024 | 0.0010 | 0.0009 | 0.0020 | 0.0002 | 0.0001 | 0.3944 |
| I HG13 | 0.0042 | 0.0073 | 0.0107 | 0.0124 | 0.0179 | 0.0193 | 0.0252 | 0.0034 | 0.0004 | 0.9819 |
| I HG14 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0021 | 0.0009 | 0.0003 | 0.0017 | 0.0002 | -0.0001 | 0.3041 |
| I HG15 | 0.0033 | 0.0050 | 0.0080 | 0.0082 | 0.0128 | 0.0153 | 0.0188 | 0.0026 | -0.0001 | 0.9696 |

Tabla 2.6 Amplitudes de los porcentajes de ERROR al aplicar los coeficientes de regresión lineal para varias luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE.

| VALORES OBTENIDOS DE % ERROR | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Amplitud | % error 1 | % error 2 | % error 3 | % error 4 | % error 5 | % error 6 | % error 7 | PROMERR |
| I HG00 | | | | | | | | |
| I HG01 | 12.8827 | 0.0950 | 2.9815 | 13.7707 | 1.1376 | 2.6395 | 0.5004 | 4.8582 |
| I HG02 | 41.6524 | 2.5792 | 33.7507 | 15.0272 | 9.1673 | 188.4270 | 33.3963 | 46.2857 |
| I HG03 | 6.1196 | 6.5201 | 5.6974 | 0.2798 | 6.4563 | 6.6122 | 1.6372 | 4.7604 |
| I HG04 | 18.2912 | 10.2188 | 16.1884 | 2.2349 | 3.7234 | 114.4155 | 28.7821 | 27.6935 |
| I HG05 | 1.9372 | 4.6156 | 2.9503 | 10.0496 | 4.3851 | 6.3018 | 3.8502 | 4.8700 |
| I HG06 | 26.3914 | 22.7478 | 39.1589 | 37.2277 | 38.7733 | 56.6982 | 21.6626 | 34.6657 |
| I HG07 | 10.1696 | 3.0127 | 5.1563 | 10.1645 | 5.3524 | 8.2889 | 2.0674 | 6.3160 |
| I HG08 | 13.3177 | 67.7757 | 61.2294 | 56.0277 | 138.6013 | 40.6429 | 16.1191 | 56.2448 |
| I HG09 | 9.6280 | 1.0078 | 6.9730 | 14.2748 | 2.1311 | 3.6465 | 0.8441 | 5.5008 |
| I HG10 | 73.8668 | 55.5879 | 101.7974 | 60.6295 | 18.6353 | 318.2553 | 21.0605 | 92.8333 |
| I HG11 | 28.0904 | 2.2151 | 5.5476 | 29.9140 | 2.9418 | 8.5986 | 0.3844 | 11.0989 |
| I HG12 | 142.7906 | 31.1657 | 24.8610 | 55.2505 | 34.5591 | 80.4524 | 10.8568 | 54.2766 |
| I HG13 | 10.4800 | 2.3954 | 1.5816 | 11.5226 | 3.8165 | 6.4970 | 4.8518 | 5.8779 |
| I HG14 | 0.0000 | 105.3611 | 104.8958 | 63.1653 | 6.3162 | 318.2022 | 15.5443 | 87.6407 |
| I HG15 | 25.1971 | 1.2125 | 4.0694 | 24.7673 | 0.4362 | 0.4218 | 4.9417 | 8.7209 |

Al observar la Tabla 2.6 que muestra los % de error al aplicar los coeficientes de regresión lineal se puede ver que en el caso de las primeras quince armónicas son pocos los valores que sobrepasan el 20 % de error (los valores de las celdas marcadas con color amarillo), además se puede observar que los valores de las armónicas que producen mayor error son las pares, las cuales son de valor muy pequeño en comparación con las armónicas impares. Por lo tanto la aplicación de los coeficientes de regresión lineal es aceptable. Otra observación muy importante es que las armónicas impares hasta la novena tienen un promedio de error menor a 7%, lo que viene a dar solvencia a la predicción.

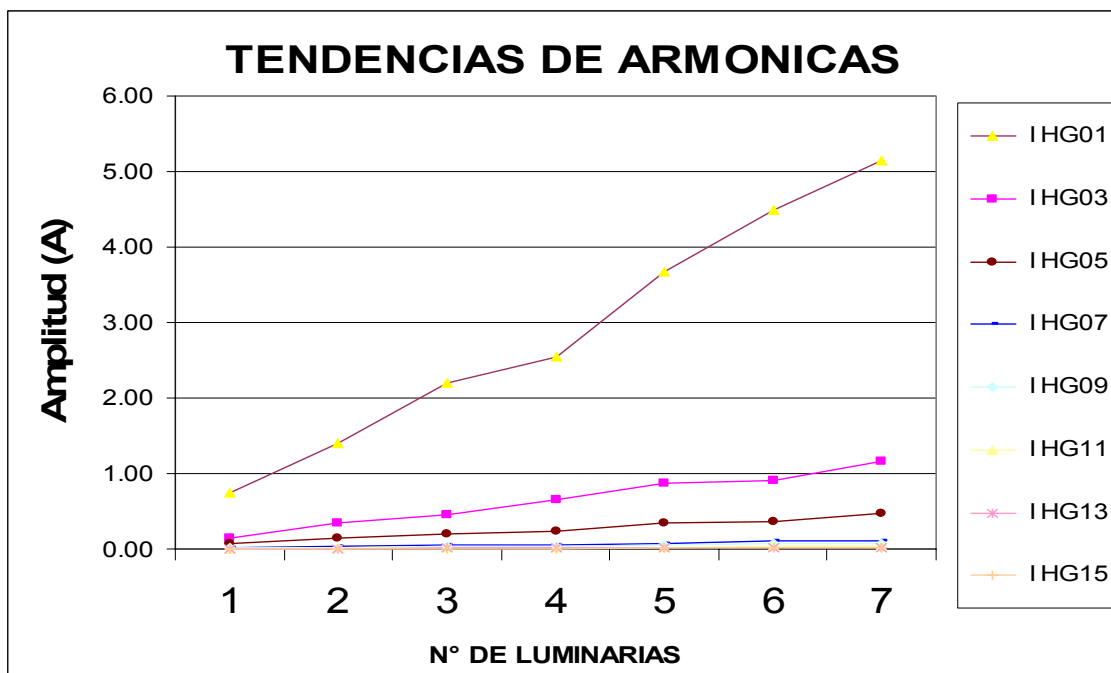


Figura 2.7 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE.

En el caso de las amplitudes de las armónicas impares se puede ver claramente que siguen una tendencia lineal de dependencia al incrementar el número de luminarias. Además al comparar los datos de la tabla 2.5 que representan el grado de correlación de linealidad se puede ver que todas las armónicas impares tienen valores mayores al 95% de correlación, unido a los % de error mostrados anteriormente, se está en condiciones de afirmar que existe suficiente evidencia estadística para decir que los datos presentados siguen una tendencia lineal.

Tabla 2.7 THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE.

| THD de los armónicos para diferente número de luminarias | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|--------|
| % FND | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | 5 LUM | 6 LUM | 7 LUM | a | b | CORREL | STD |
| I _{Thd} (%) | 22.1880 | 26.7459 | 22.9168 | 27.5607 | 25.5640 | 22.1528 | 24.5678 | 0.0214 | 24.4422 | 0.0004 | 2.1949 |
| I _{HG00} | 0.0000 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.1622 | 0.0002 |
| I _{HG01} | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| I _{HG02} | 2.6373 | 1.2899 | 0.8790 | 1.5531 | 1.0174 | 0.3711 | 1.6169 | -0.1700 | 2.0179 | 0.2643 | 0.7145 |
| I _{HG03} | 19.3762 | 24.4388 | 20.6938 | 25.4475 | 23.6367 | 20.3852 | 22.5496 | 0.1556 | 21.7388 | 0.0218 | 2.2767 |
| I _{HG04} | 0.4469 | 0.2694 | 0.1621 | 0.1894 | 0.1596 | 0.0661 | 0.1938 | -0.0417 | 0.3794 | 0.5682 | 0.1196 |
| I _{HG05} | 9.7404 | 10.1211 | 9.2980 | 9.4320 | 9.3221 | 8.1925 | 9.2044 | -0.1943 | 10.1074 | 0.4998 | 0.5938 |
| I _{HG06} | 0.2609 | 0.1239 | 0.0926 | 0.2251 | 0.0845 | 0.0714 | 0.1425 | -0.0167 | 0.2099 | 0.2440 | 0.0731 |
| I _{HG07} | 2.4901 | 2.2282 | 2.2792 | 2.2620 | 2.0344 | 2.2858 | 2.0888 | -0.0476 | 2.4288 | 0.4813 | 0.1483 |
| I _{HG08} | 0.0901 | 0.0440 | 0.0416 | 0.1738 | 0.0273 | 0.0449 | 0.0763 | -0.0019 | 0.0789 | 0.0069 | 0.0503 |
| I _{HG09} | 1.7582 | 1.6092 | 1.6424 | 1.5406 | 1.4820 | 1.5361 | 1.5178 | -0.0367 | 1.7306 | 0.7073 | 0.0943 |
| I _{HG10} | 0.0338 | 0.0401 | 0.0290 | 0.1721 | 0.0492 | 0.0136 | 0.0735 | 0.0031 | 0.0464 | 0.0157 | 0.0533 |
| I _{HG11} | 0.8292 | 0.6956 | 0.7423 | 0.6360 | 0.6998 | 0.7778 | 0.7305 | -0.0062 | 0.7550 | 0.0466 | 0.0622 |
| I _{HG12} | 0.0186 | 0.0323 | 0.0303 | 0.0949 | 0.0267 | 0.0192 | 0.0393 | 0.0012 | 0.0327 | 0.0090 | 0.0264 |
| I _{HG13} | 0.5623 | 0.5213 | 0.4833 | 0.4899 | 0.4876 | 0.4302 | 0.4892 | -0.0142 | 0.5516 | 0.5825 | 0.0402 |
| I _{HG14} | 0.0000 | 0.0131 | 0.0126 | 0.0845 | 0.0257 | 0.0065 | 0.0328 | 0.0035 | 0.0110 | 0.0709 | 0.0285 |
| I _{HG15} | 0.4462 | 0.3565 | 0.3606 | 0.3222 | 0.3490 | 0.3396 | 0.3658 | -0.0102 | 0.4038 | 0.3122 | 0.0395 |

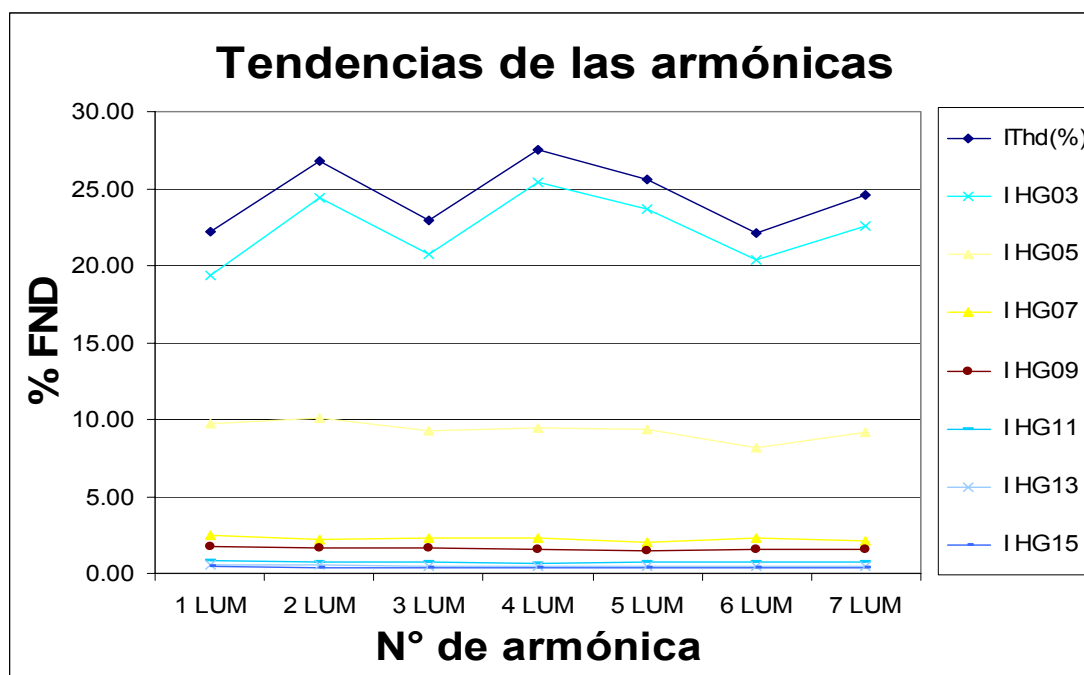


Figura 2.8 THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W de marca ADVANCE.

En el caso del THD individual de cada armónica se puede ver que es aproximadamente constante, lo que es reflejado con los valores pequeños mostrados en la columna STD de la tabla 2.7 que indica la variación estándar de las mediciones.

2.1.2.2.5 MEDICIONES OBTENIDAS PARA LAS LUMINARIAS DE 2x40 W CON BALASTO DE MARCA UNIVERSAL Y DE MARCA MAGNETEK.

Tabla 2.8 Datos generales de potencia para varias luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK.

| X | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | a | b | CORREL |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|
| Vrmsavg(Volts) | 120.4653 | 120.9410 | 121.2983 | 123.2901 | 0.8832 | 119.2907 | 0.8427 |
| Irmsavg(Amps) | 0.7585 | 1.5698 | 2.4466 | 3.1560 | 0.8069 | -0.0346 | 0.9984 |
| Pavg(kW) | 0.0903 | 0.1883 | 0.2899 | 0.3836 | 0.0982 | -0.0074 | 0.9998 |
| P-Fndavg(kW) | 0.0904 | 0.1880 | 0.2908 | 0.3846 | 0.0985 | -0.0079 | 0.9997 |
| Savg(kVA) | 0.0913 | 0.1900 | 0.2968 | 0.3893 | 0.1001 | -0.0084 | 0.9993 |
| QFndavg(kVAr) | -0.0033 | -0.0117 | -0.0434 | -0.0397 | -0.0141 | 0.0107 | 0.8262 |
| PFavg() | -0.4970 | -0.9907 | -0.9769 | -0.9854 | -0.1451 | -0.4997 | 0.5909 |
| Pphi-Fndavg(Deg) | 2.0845 | -0.0371 | 8.4895 | 5.8975 | 1.9965 | -0.8827 | 0.4563 |
| DPFavg() | -0.0008 | -0.9979 | -0.9890 | -0.9946 | -0.2972 | -0.0025 | 0.5973 |
| kWh(Energy)(kWh) | 0.0165 | 0.0590 | 0.0884 | 0.1111 | 0.0313 | -0.0095 | 0.9800 |
| kVARh(Q-Int)(kVARh) | -0.0006 | -0.0034 | -0.0131 | -0.0112 | -0.0042 | 0.0033 | 0.7905 |

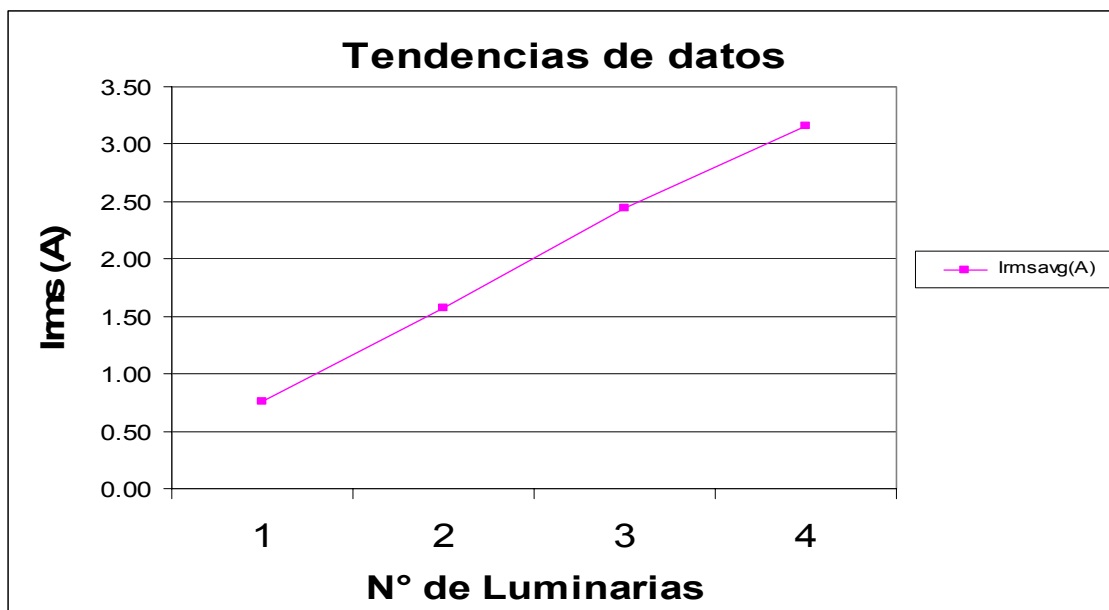


Figura 2.9 Datos generales de potencia para varias luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK.

Se vuelve a observar que la corriente rms describe una relación lineal al aumentar el número de luminarias, a diferencia del caso anterior con este tipo de balasto todos los valores de potencia kW, kVA, kVAR. (Mostrados en la tabla), también muestran una variación lineal.

Tabla 2.9 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK.

| Amplitud de los armónicos para diferente número de luminarias | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|----------|---------------|
| Amplitud | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | a | b | CORREL |
| I HG00 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0596 |
| I HG01 | 0.7552 | 1.5606 | 2.4260 | 3.1359 | 0.8008 | -0.0325 | 0.9986 |
| I HG02 | 0.0124 | 0.0117 | 0.0354 | 0.0546 | 0.0150 | -0.0090 | 0.8898 |
| I HG03 | 0.0588 | 0.1073 | 0.2291 | 0.2039 | 0.0557 | 0.0105 | 0.8041 |
| I HG04 | 0.0031 | 0.0025 | 0.0072 | 0.0120 | 0.0031 | -0.0016 | 0.8529 |
| I HG05 | 0.0555 | 0.1214 | 0.2119 | 0.2598 | 0.0704 | -0.0137 | 0.9878 |
| I HG06 | 0.0009 | 0.0016 | 0.0055 | 0.0048 | 0.0015 | -0.0007 | 0.7731 |
| I HG07 | 0.0193 | 0.0359 | 0.0539 | 0.0760 | 0.0188 | -0.0008 | 0.9956 |
| I HG08 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0025 | 0.0030 | 0.0009 | -0.0005 | 0.8956 |
| I HG09 | 0.0112 | 0.0251 | 0.0310 | 0.0403 | 0.0093 | 0.0036 | 0.9735 |
| I HG10 | 0.0005 | 0.0006 | 0.0019 | 0.0024 | 0.0007 | -0.0004 | 0.9247 |
| I HG11 | 0.0073 | 0.0154 | 0.0199 | 0.0274 | 0.0065 | 0.0014 | 0.9891 |
| I HG12 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0013 | 0.0015 | 0.0004 | -0.0003 | 0.8422 |
| I HG13 | 0.0045 | 0.0085 | 0.0101 | 0.0143 | 0.0031 | 0.0016 | 0.9755 |
| I HG14 | 0.0002 | 0.0005 | 0.0010 | 0.0012 | 0.0004 | -0.0002 | 0.9633 |
| I HG15 | 0.0035 | 0.0069 | 0.0068 | 0.0093 | 0.0017 | 0.0023 | 0.8877 |

Tabla 2.10 Amplitudes de los porcentajes de ERROR al aplicar los coeficientes de regresión lineal para varias luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK.

| Amplitud | VALORES OBTENIDOS DE % ERROR | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| | % error 1 | % error 2 | % error 3 | % error 4 | PROMERR |
| I HG00 | | | | | |
| I HG01 | 1.7343 | 0.5414 | 2.3162 | 1.1047 | 1.8294 |
| I HG02 | 51.6489 | 79.0087 | 1.8258 | 6.4532 | 19.8635 |
| I HG03 | 12.5888 | 13.6412 | 22.4646 | 14.4331 | 9.0944 |
| I HG04 | 51.4786 | 83.0740 | 7.9764 | 9.0418 | 21.6563 |
| I HG05 | 2.0079 | 4.6248 | 6.8755 | 3.0179 | 2.4454 |
| I HG06 | 3.9813 | 50.7846 | 27.7047 | 15.5423 | 14.0035 |
| I HG07 | 6.4671 | 2.7740 | 3.2510 | 1.9743 | 2.0905 |
| I HG08 | 40.7776 | 75.4503 | 13.2398 | 1.2814 | 18.6794 |
| I HG09 | 15.2830 | 11.4234 | 1.9252 | 1.3860 | 4.3018 |
| I HG10 | 37.7168 | 56.9337 | 8.5793 | 0.6415 | 14.8395 |
| I HG11 | 6.7117 | 7.4913 | 4.2103 | 0.6328 | 2.7298 |
| I HG12 | 46.2162 | 117.3909 | 18.2631 | 3.2656 | 26.4484 |
| I HG13 | 4.1454 | 7.9742 | 7.8189 | 2.1093 | 3.1543 |
| I HG14 | 1.7841 | 14.6568 | 12.4445 | 5.1976 | 4.8694 |
| I HG15 | 14.4372 | 15.9918 | 9.8363 | 0.8829 | 5.8815 |

Al observar la Tabla 2.10 que muestra los % de error al aplicar los coeficientes de regresión lineal se puede ver que en el caso de las primeras quince armónicas son pocos los valores que sobrepasan el 20 % de error (los valores de las celdas marcadas con color amarillo), además vuelve a observar que los valores de las armónicas que producen mayor error son las pares. Por lo tanto la aplicación de los coeficientes de regresión lineal es aceptable. Comparando los valores de los errores con los de los

balastos de marca ADVANCE, solo el error en la armónica tercera es mayor; mientras que las demás tienen % de error menor al 5%.

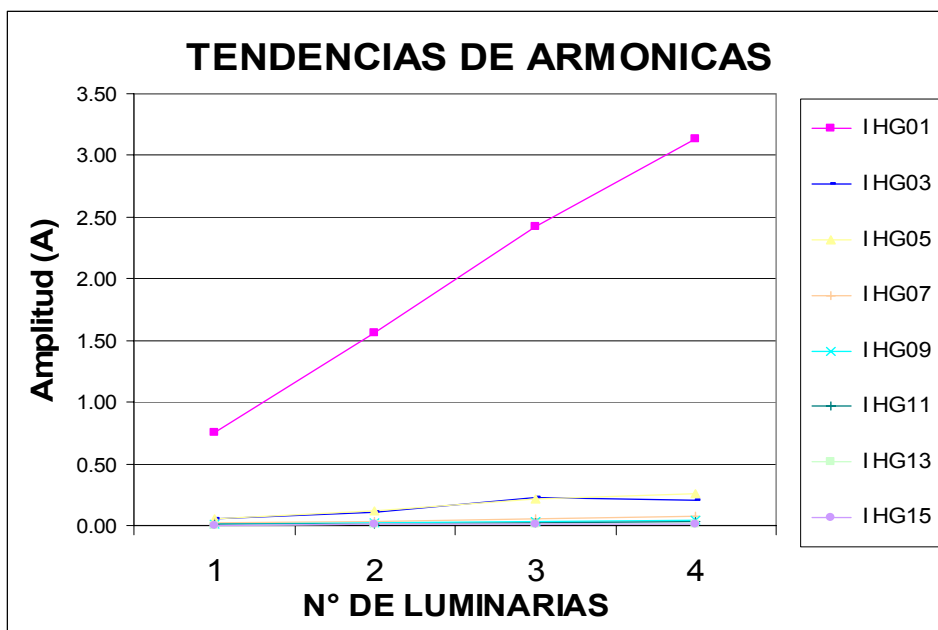


Figura 2.10 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK.

Se confirma nuevamente a partir de las tendencias del gráfico que las amplitudes de las armónicas para diferentes luminarias con balasto marca UNIVERSAL y MAGNETEK mantienen una relación de tipo lineal.

Tabla 2.11 THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK.

| THD de los armónicos para diferente número de luminarias | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|--------|
| % FND | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | a | b | CORREL | STD |
| I _{Thd} (%) | 11.3881 | 10.8673 | 13.2410 | 11.0870 | 0.1470 | 11.2782 | 0.0306 | 1.0846 |
| I _{HG00} | 0.0000 | 0.0049 | 0.0000 | 0.0000 | -0.0005 | 0.0024 | 0.0668 | 0.0024 |
| I _{HG01} | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| I _{HG02} | 1.6599 | 0.7521 | 1.4586 | 1.7403 | 0.0948 | 1.1658 | 0.0740 | 0.4496 |
| I _{HG03} | 7.8056 | 6.8727 | 9.4419 | 6.5018 | -0.1342 | 7.9910 | 0.0175 | 1.3112 |
| I _{HG04} | 0.4167 | 0.1621 | 0.2963 | 0.3818 | 0.0029 | 0.3069 | 0.0011 | 0.1134 |
| I _{HG05} | 7.3400 | 7.7763 | 8.7340 | 8.2855 | 0.3794 | 7.0853 | 0.6536 | 0.6059 |
| I _{HG06} | 0.1196 | 0.1024 | 0.2254 | 0.1517 | 0.0219 | 0.0949 | 0.2711 | 0.0544 |
| I _{HG07} | 2.5664 | 2.2993 | 2.2237 | 2.4244 | -0.0501 | 2.5038 | 0.1859 | 0.1502 |
| I _{HG08} | 0.0840 | 0.0459 | 0.1022 | 0.0958 | 0.0092 | 0.0591 | 0.2204 | 0.0252 |
| I _{HG09} | 1.4874 | 1.6091 | 1.2763 | 1.2856 | -0.0938 | 1.6492 | 0.5579 | 0.1622 |
| I _{HG10} | 0.0678 | 0.0411 | 0.0765 | 0.0767 | 0.0062 | 0.0499 | 0.2282 | 0.0168 |
| I _{HG11} | 0.9709 | 0.9893 | 0.8207 | 0.8733 | -0.0461 | 1.0289 | 0.5522 | 0.0801 |
| I _{HG12} | 0.0420 | 0.0181 | 0.0537 | 0.0467 | 0.0050 | 0.0277 | 0.1725 | 0.0154 |
| I _{HG13} | 0.5983 | 0.5416 | 0.4155 | 0.4547 | -0.0557 | 0.6417 | 0.7543 | 0.0828 |
| I _{HG14} | 0.0239 | 0.0295 | 0.0416 | 0.0375 | 0.0053 | 0.0199 | 0.7422 | 0.0079 |
| I _{HG15} | 0.4656 | 0.4403 | 0.2821 | 0.2979 | -0.0661 | 0.5368 | 0.8099 | 0.0949 |

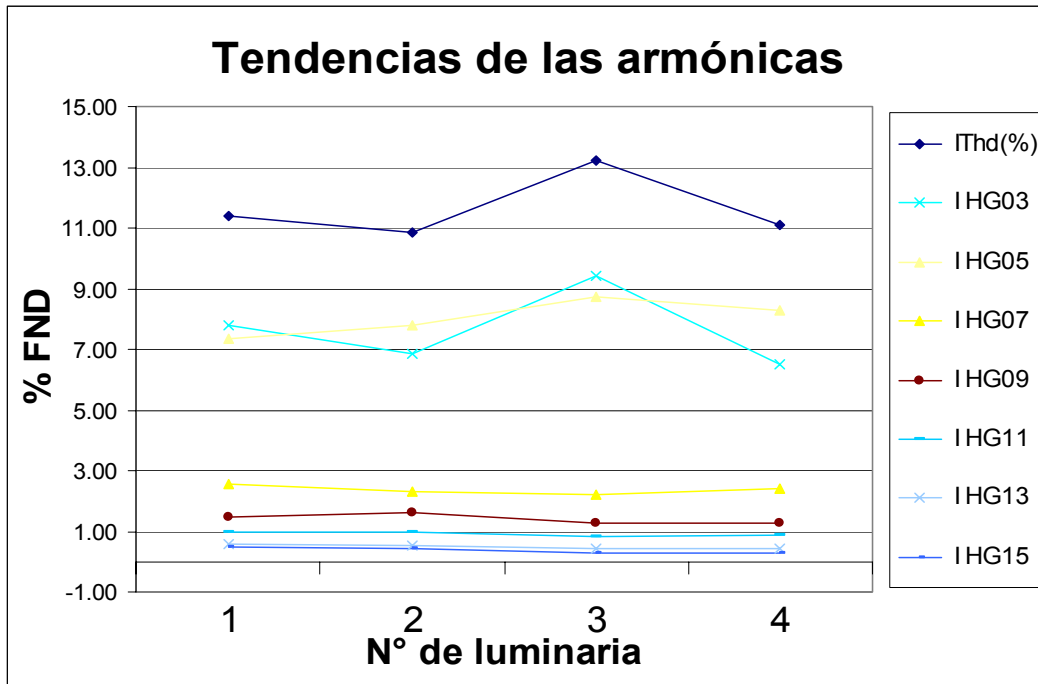


Figura 2.11 THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W de marca UNIVERSAL y MAGNETEK.

Comparando el comportamiento armónico de THD individual en %FND de las diferentes armónicas podemos ver que los valores son aproximadamente constantes, lo que es confirmado al observar el coeficiente de correlación muestral, ya que estos indican que el grado de linealidad es muy bajo; mientras que la desviación estándar mostrada en la columna STD muestra valores pequeños, lo cual indica que los valores se mantienen constantes.

Por ejemplo la desviación estándar para el valor de THD fue de 1.0846 con un valor promedio en %FND de 11.8362%. Además el valor del coeficiente de correlación para el THD fue de 0.0306 indicando que solo el 3.1% de los datos tienen relación de linealidad.

Por lo tanto se puede decir que a partir de los índices estadísticos mostrados para el comportamiento del THD individual en cada armónica, que no existen evidencias estadísticas que indiquen hay una relación de proporción lineal entre el valor de THD individual con el número de luminarias.

2.1.2.2.6 MEDICIONES OBTENIDAS PARA LAS LUMINARIAS DE 2x40 W COMBINANDO LOS BALASTOS DE MARCA UNIVERSAL Y DE MARCA MAGNETEK JUNTO CON LOS BALASTOS DE MARCA ADVANCE.

Tabla 2.12 Datos generales de potencia para varias luminarias de 2x40 W.

| X | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | 5 LUM | 6 LUM | 7 LUM | a | b | CORREL |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Vrmsavg(Volts) | 119.9277 | 118.5661 | 117.5034 | 116.6185 | 113.7456 | 112.9913 | 113.3080 | -1.2417 | 121.0610 | 0.9390 |
| Irmsavg(Amps) | 0.7613 | 1.5218 | 2.2797 | 2.8711 | 3.7868 | 4.5885 | 5.2960 | 0.7587 | -0.0199 | 0.9984 |
| Pavg(kW) | 0.0888 | 0.1143 | 0.2572 | 0.2514 | 0.2574 | 0.4852 | 0.3610 | 0.0557 | 0.0367 | 0.7779 |
| P-Fndavg(kW) | 0.0892 | 0.1151 | 0.2592 | 0.2515 | 0.2542 | 0.4896 | 0.3567 | 0.0552 | 0.0384 | 0.7604 |
| Savg(kVA) | 0.0912 | 0.1808 | 0.2680 | 0.3295 | 0.4321 | 0.5058 | 0.6018 | 0.0838 | 0.0090 | 0.9980 |
| QFndavg(kVAR) | -0.0075 | -0.0475 | -0.0368 | 0.0946 | 0.3319 | -0.0541 | 0.4620 | 0.0630 | -0.1459 | 0.4268 |
| PFavg() | -0.7543 | -0.5874 | -0.9595 | -0.2367 | 0.5957 | -0.9592 | 0.5998 | 0.1741 | -1.0251 | 0.3064 |
| Pphi-Fndavg(Deg) | 4.8255 | 35.6689 | 8.0873 | -26.1373 | -52.5495 | 6.2032 | -52.3305 | -10.3942 | 30.6863 | 0.4480 |
| DPFavg() | -0.5512 | -0.5982 | -0.9900 | -0.2441 | 0.6081 | -0.9937 | 0.6111 | 0.1534 | -0.9217 | 0.2380 |
| kWh(Energy)(kWh) | 0.0200 | 0.0404 | 0.0475 | 0.0570 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.0067 | 0.0505 | 0.3467 |
| kVARh(Q-Int)(kVARh) | -0.0018 | -0.0047 | -0.0064 | -0.0073 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0008 | -0.0059 | 0.2613 |

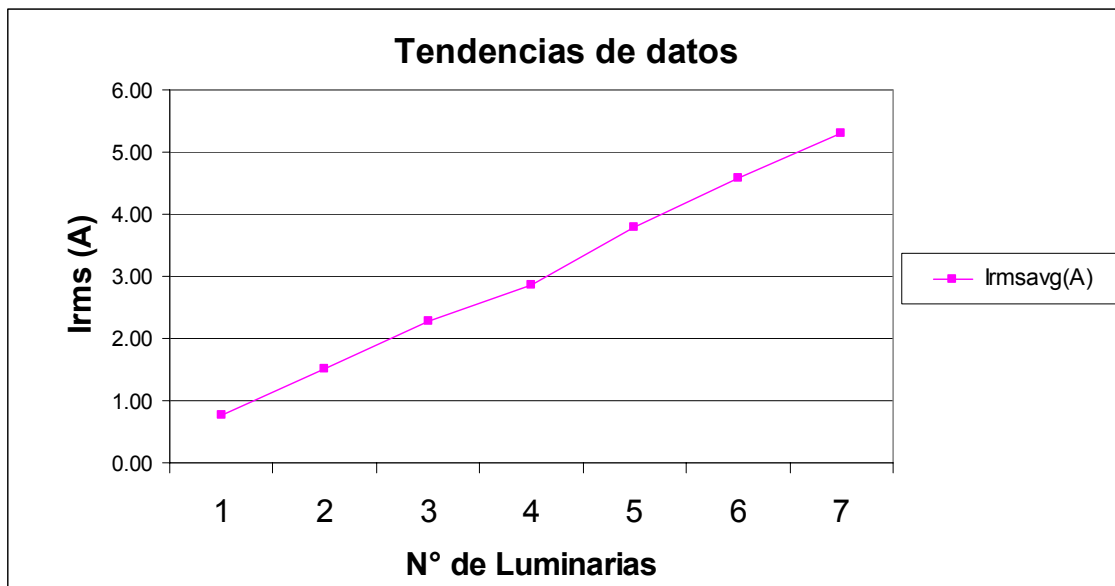


Figura 2.12 Datos generales de potencia para varias luminarias de 2x40 W.

Se vuelve a observar que la corriente rms describe una relación lineal al aumentar el número de luminarias independientemente de usar los dos tipos de balastos juntos, los valores de potencia kW, kVA, kVAR. (Solo es mostrado en la tabla), también muestran una variación lineal.

Tabla 2.13 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W.

| Amplitud | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | 5 LUM | 6 LUM | 7 LUM | a | b | CORREL |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|--------|
| I HG00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00000 | 0.00001 | 0.1431 |
| I HG01 | 0.7496 | 1.4889 | 2.2785 | 2.9131 | 3.6737 | 4.4962 | 5.1490 | 0.73598 | 0.02021 | 0.9993 |
| I HG02 | 0.0165 | 0.0166 | 0.0247 | 0.0349 | 0.0374 | 0.0167 | 0.0833 | 0.00761 | 0.00239 | 0.4740 |
| I HG03 | 0.1061 | 0.2480 | 0.3776 | 0.4596 | 0.8683 | 0.9166 | 1.1611 | 0.17832 | -0.12224 | 0.9641 |
| I HG04 | 0.0032 | 0.0038 | 0.0050 | 0.0069 | 0.0059 | 0.0030 | 0.0100 | 0.00070 | 0.00259 | 0.3711 |
| I HG05 | 0.0649 | 0.1310 | 0.2017 | 0.2492 | 0.3425 | 0.3684 | 0.4739 | 0.06581 | -0.00158 | 0.9897 |
| I HG06 | 0.0015 | 0.0017 | 0.0031 | 0.0041 | 0.0031 | 0.0032 | 0.0073 | 0.00074 | 0.00048 | 0.6668 |
| I HG07 | 0.0189 | 0.0316 | 0.0485 | 0.0639 | 0.0747 | 0.1028 | 0.1076 | 0.01552 | 0.00191 | 0.9860 |
| I HG08 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0014 | 0.0028 | 0.0010 | 0.0020 | 0.0039 | 0.00043 | 0.00006 | 0.5849 |
| I HG09 | 0.0123 | 0.0208 | 0.0308 | 0.0370 | 0.0544 | 0.0691 | 0.0781 | 0.01135 | -0.00216 | 0.9835 |
| I HG10 | 0.0004 | 0.0008 | 0.0012 | 0.0027 | 0.0018 | 0.0006 | 0.0038 | 0.00037 | 0.00011 | 0.4248 |
| I HG11 | 0.0067 | 0.0097 | 0.0146 | 0.0186 | 0.0257 | 0.0350 | 0.0376 | 0.00551 | -0.00091 | 0.9764 |
| I HG12 | 0.0002 | 0.0005 | 0.0010 | 0.0017 | 0.0010 | 0.0009 | 0.0020 | 0.00022 | 0.00014 | 0.5794 |
| I HG13 | 0.0043 | 0.0061 | 0.0090 | 0.0111 | 0.0179 | 0.0193 | 0.0252 | 0.00350 | -0.00075 | 0.9658 |
| I HG14 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0014 | 0.0009 | 0.0003 | 0.0017 | 0.00018 | 0.00002 | 0.4328 |
| I HG15 | 0.0034 | 0.0046 | 0.0066 | 0.0072 | 0.0128 | 0.0153 | 0.0188 | 0.00263 | -0.00070 | 0.9474 |

Tabla 2.14 Amplitudes de los porcentajes de ERROR al aplicar los coeficientes de regresión lineal para varias luminarias de 2x40 W.

| VALORES OBTENIDOS DE % ERROR | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Amplitud | % error 1 | % error 2 | % error 3 | % error 4 | % error 5 | % error 6 | % error 7 | PROMERR |
| I HG00 | 215122.6385 | 59.8694 | 100.0000 | 772.9075 | 100.0000 | 100.0000 | 148.3074 | 30914.8175 |
| I HG01 | 0.8751 | 0.2173 | 2.2112 | 1.7521 | 0.7209 | 1.3363 | 0.4496 | 1.0804 |
| I HG02 | 39.2184 | 5.9588 | 2.3558 | 5.8317 | 8.2605 | 188.1395 | 33.1044 | 40.4099 |
| I HG03 | 47.1262 | 5.4944 | 9.3050 | 28.6018 | 11.3996 | 3.3933 | 3.0223 | 15.4775 |
| I HG04 | 1.8724 | 6.0855 | 6.3679 | 21.6806 | 3.6923 | 127.9497 | 25.0732 | 27.5316 |
| I HG05 | 0.9941 | 0.7464 | 2.8967 | 4.9767 | 4.3805 | 6.7645 | 3.1344 | 3.4133 |
| I HG06 | 17.4444 | 15.0804 | 12.7433 | 16.1748 | 34.2068 | 52.7762 | 23.1611 | 24.5124 |
| I HG07 | 7.6410 | 4.3572 | 0.1307 | 0.0972 | 6.4047 | 7.5225 | 2.8009 | 4.1363 |
| I HG08 | 24.5049 | 27.7271 | 0.4644 | 36.4778 | 121.0664 | 30.9506 | 21.6211 | 37.5446 |
| I HG09 | 25.0832 | 1.4793 | 3.3395 | 16.9143 | 0.2352 | 4.5551 | 1.1292 | 7.5337 |
| I HG10 | 31.5959 | 6.1702 | 2.5781 | 39.5977 | 9.6352 | 283.7201 | 27.9579 | 57.3222 |
| I HG11 | 31.2115 | 3.9301 | 6.9076 | 13.4215 | 3.6748 | 8.0353 | 0.1621 | 9.6204 |
| I HG12 | 64.9740 | 22.6076 | 16.1330 | 38.2231 | 27.1946 | 69.8586 | 16.3496 | 36.4772 |
| I HG13 | 36.4549 | 3.3687 | 8.9785 | 19.8741 | 6.3931 | 4.8097 | 5.6107 | 12.2128 |
| I HG14 | 161.6953 | 5.1109 | 7.5259 | 44.6060 | 1.0860 | 283.5979 | 23.3103 | 75.2760 |
| I HG15 | 43.3770 | 1.6446 | 8.6889 | 36.2986 | 2.7913 | 1.1372 | 5.8665 | 14.2577 |

Al observar la Tabla 2.14 que muestra los % de error al aplicar los coeficientes de regresión lineal se vuelve a observar que en el caso de las primeras quince armónicas son pocos los valores que sobrepasan el 20 % de error (los valores de las celdas marcadas con color amarillo), y que nuevamente los valores de las armónicas que producen mayor error son las pares. Por lo tanto la aplicación de los coeficientes de regresión lineal es aceptable. Además cuando se utilizan ambos tipos de balastos el error es mayor, como se puede ver en el % de error de las armónicas novena y tercera.

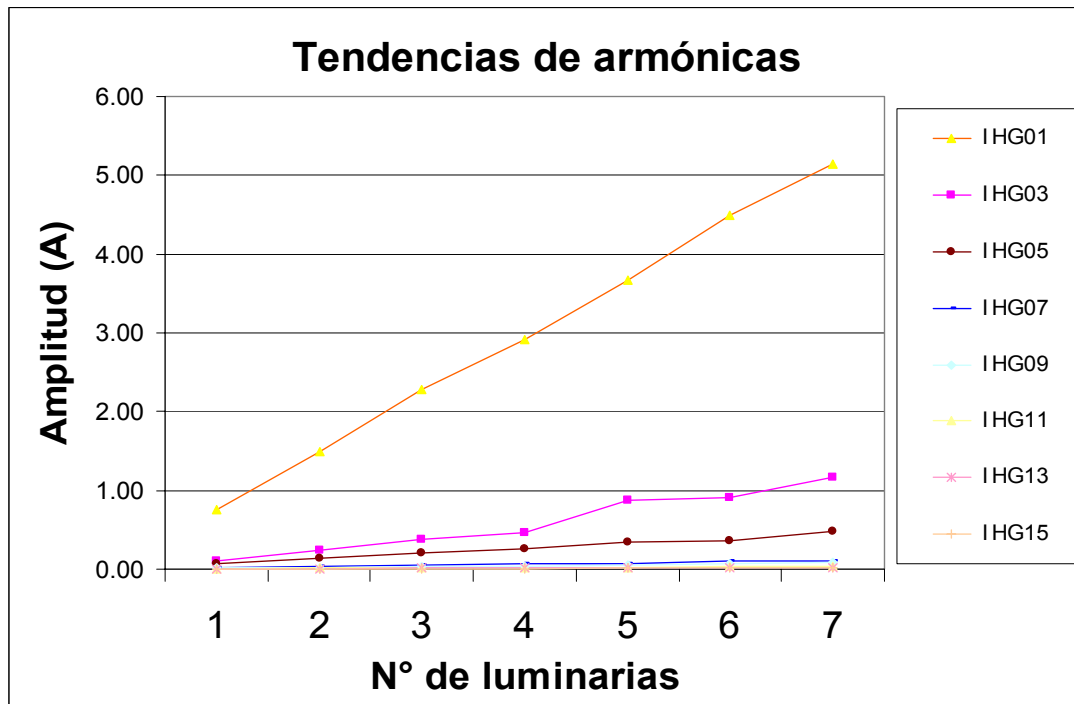


Figura 2.13 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 2x40 W.

Se confirma nuevamente que las amplitudes de las armónicas para diferentes luminarias con diferentes tipos de balasto ya sean de marca UNIVERSAL y MAGNETEK o de marca ADVANCE mantienen una relación de tipo lineal.

Tabla 2.15 THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W.

| % FND | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | 5 LUM | 6 LUM | 7 LUM | a | b | CORREL | STD |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|--------|
| IThd(%) | 17.3881 | 19.8403 | 19.3301 | 19.2834 | 25.5640 | 22.1528 | 24.5678 | 1.1571 | 16.5326 | 0.6837 | 3.0230 |
| IHG00 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.0001 | 0.0006 | 0.1649 | 0.0005 |
| IHG01 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| IHG02 | 2.2029 | 1.1148 | 1.0691 | 1.2139 | 1.0174 | 0.3711 | 1.6169 | -0.1178 | 1.7005 | 0.2024 | 0.5655 |
| IHG03 | 14.2337 | 17.1407 | 16.7537 | 16.4031 | 23.6367 | 20.3852 | 22.5496 | 1.3686 | 13.2547 | 0.7138 | 3.4992 |
| IHG04 | 0.4335 | 0.2501 | 0.2168 | 0.2320 | 0.1596 | 0.0661 | 0.1938 | -0.0409 | 0.3852 | 0.6266 | 0.1115 |
| IHG05 | 8.6736 | 8.8678 | 8.8576 | 8.6085 | 9.3221 | 8.1925 | 9.2044 | 0.0252 | 8.7172 | 0.0206 | 0.3794 |
| IHG06 | 0.1981 | 0.1140 | 0.1328 | 0.1451 | 0.0845 | 0.0714 | 0.1425 | -0.0107 | 0.1698 | 0.3003 | 0.0423 |
| IHG07 | 2.5240 | 2.1252 | 2.1311 | 2.1970 | 2.0344 | 2.2858 | 2.0888 | -0.0386 | 2.3525 | 0.2569 | 0.1646 |
| IHG08 | 0.0874 | 0.0480 | 0.0585 | 0.1009 | 0.0273 | 0.0449 | 0.0763 | -0.0025 | 0.0735 | 0.0443 | 0.0260 |
| IHG09 | 1.6379 | 1.4119 | 1.3593 | 1.2847 | 1.4820 | 1.5361 | 1.5178 | 0.0004 | 1.4598 | 0.0000 | 0.1186 |
| IHG10 | 0.0489 | 0.0532 | 0.0519 | 0.0960 | 0.0492 | 0.0136 | 0.0735 | -0.0003 | 0.0563 | 0.0006 | 0.0252 |
| IHG11 | 0.8922 | 0.6578 | 0.6404 | 0.6378 | 0.6998 | 0.7778 | 0.7305 | -0.0066 | 0.7460 | 0.0244 | 0.0917 |
| IHG12 | 0.0290 | 0.0317 | 0.0416 | 0.0592 | 0.0267 | 0.0192 | 0.0393 | -0.0003 | 0.0365 | 0.0028 | 0.0130 |
| IHG13 | 0.5783 | 0.4141 | 0.3941 | 0.3856 | 0.4876 | 0.4302 | 0.4892 | -0.0051 | 0.4744 | 0.0254 | 0.0686 |
| IHG14 | 0.0106 | 0.0241 | 0.0227 | 0.0487 | 0.0257 | 0.0065 | 0.0328 | 0.0012 | 0.0196 | 0.0354 | 0.0140 |
| IHG15 | 0.4548 | 0.3148 | 0.2920 | 0.2515 | 0.3490 | 0.3396 | 0.3658 | -0.0057 | 0.3611 | 0.0372 | 0.0641 |

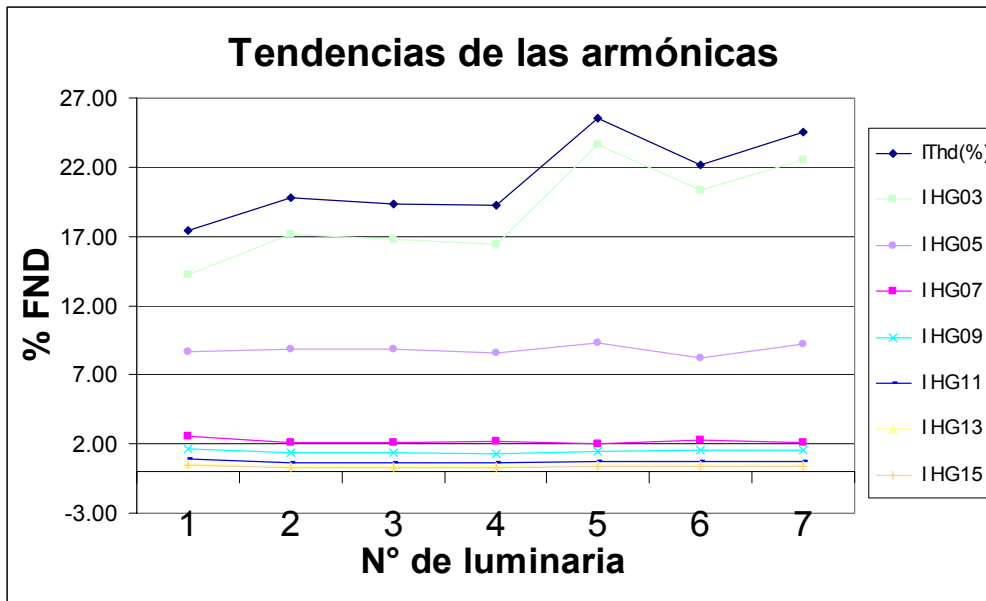


Figura 2.14 THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 2x40 W.

Como en los casos anteriores el comportamiento armónico en %FND de las diferentes armónicas podemos ver que los valores son aproximadamente constantes, la diferencia existe en la armónica tercera, lo que es confirmado al observar el coeficiente de correlación muestral, ya que estos indican que el grado de linealidad es muy bajo; mientras que la desviación estándar mostrada en la columna STD muestra valores bajos. Por ejemplo la desviación estándar para el valor de THD fue de 3.02 con un valor promedio en %FND de 21.16%. Además el valor del coeficiente de correlación para el THD fue de 0.66 lo que indica que existe alguna relación de linealidad entre el valor de THD y el número de luminarias; pero a pesar de esto no hay suficiente información que indique que se pueda asumir linealidad entre ambos.

2.1.2.2.7 PRUEBA DE DOS MEDIAS PARA LUMINARIAS DE 2x40 W.

El proceso para este análisis se hizo debido a que se quiere comprobar que tanto se puede obtener un resultado equivalente general de las mediciones de las luminarias de 2x40 W. Para esto se realizó la prueba de diferencia de medias con la que se pretende saber si la diferencia entre la combinación general y con alguno de los dos tipos de balasto se cumplen los límites equivalentes obtenidos. En el siguiente apartado se realizó la prueba de equivalencia de medias, en ambos casos se hizo la prueba para las amplitudes y para los valores de THD individual.

2.1.2.2.7.1 PRUEBA DE DIFERENCIA DE MEDIAS PARA AMPLITUDES DE LAS ARMONICAS.

Tabla 2.16 Límites de la diferencia de medias para amplitudes de armónicas en luminarias de 2x40 W.

| Amplitud | COMB. GENERAL | | MARCA ADVANCE | | MARCA UNIVERSAL | | diferencia de medias | Limite Inferior | Limite Superior |
|----------|---------------|----------|---------------|----------|-----------------|----------|----------------------|-----------------|-----------------|
| | MEDIA | VARIANZA | MEDIA | VARIANZA | MEDIA | VARIANZA | | | |
| I HG00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.000028 | -0.00008 | 0.00003 |
| I HG01 | 2.9641 | 2.1681 | 2.8862 | 2.2458 | 1.9694 | 0.8027 | 0.916757 | -0.71675 | 2.55026 |
| I HG02 | 0.0328 | 0.0005 | 0.0335 | 0.0005 | 0.0285 | 0.0003 | 0.004959 | -0.02320 | 0.03311 |
| I HG03 | 0.5910 | 0.1319 | 0.6474 | 0.1100 | 0.1497 | 0.0048 | 0.497626 | 0.19003 | 0.80522 |
| I HG04 | 0.0054 | 0.0000 | 0.0049 | 0.0000 | 0.0062 | 0.0000 | -0.001283 | -0.00705 | 0.00449 |
| I HG05 | 0.2617 | 0.0175 | 0.2633 | 0.0167 | 0.1621 | 0.0063 | 0.101178 | -0.04100 | 0.24336 |
| I HG06 | 0.0034 | 0.0000 | 0.0036 | 0.0000 | 0.0032 | 0.0000 | 0.000404 | -0.00262 | 0.00343 |
| I HG07 | 0.0640 | 0.0010 | 0.0632 | 0.0010 | 0.0463 | 0.0004 | 0.016925 | -0.01896 | 0.05281 |
| I HG08 | 0.0018 | 0.0000 | 0.0019 | 0.0000 | 0.0017 | 0.0000 | 0.000235 | -0.00154 | 0.00201 |
| I HG09 | 0.0432 | 0.0005 | 0.0447 | 0.0005 | 0.0269 | 0.0001 | 0.017761 | -0.00455 | 0.04007 |
| I HG10 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0017 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0000 | 0.000368 | -0.00125 | 0.00199 |
| I HG11 | 0.0211 | 0.0001 | 0.0210 | 0.0001 | 0.0175 | 0.0001 | 0.003445 | -0.00920 | 0.01609 |
| I HG12 | 0.0010 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0000 | 0.000239 | -0.00068 | 0.00116 |
| I HG13 | 0.0133 | 0.0001 | 0.0139 | 0.0000 | 0.0093 | 0.0000 | 0.004538 | -0.00249 | 0.01157 |
| I HG14 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0000 | 0.000084 | -0.00072 | 0.00089 |
| I HG15 | 0.0098 | 0.0000 | 0.0102 | 0.0000 | 0.0066 | 0.0000 | 0.003553 | -0.00158 | 0.00869 |

Tabla 2.17 Comparación de la diferencia de medias para amplitudes de armónicas en luminarias de 2x40 W.

| Amplitud | DIFERENCIA MEDIAS | | Dif. entre general y universal | | | Dif. entre general y advance | | |
|----------|-------------------|------------------|--------------------------------|---------------|-------------------|------------------------------|---------------|-------------------|
| | ENTRE ADV Y GRAL | ENTRE UNI Y GRAL | VALOR t | LIMITES 95% t | t con gamma 0.025 | VALOR t | LIMITES 95% t | t con gamma 0.025 |
| I HG00 | 0.0000 | 0.0000 | -0.21 | APROBADO | 3.182 | -1.28 | APROBADO | 3.182 |
| I HG01 | 0.0780 | 0.9947 | -0.11 | APROBADO | 2.262 | 2.26 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG02 | -0.0006 | 0.0043 | 0.05 | APROBADO | 2.306 | 3.06 | RECHAZADO | 2.306 |
| I HG03 | -0.0563 | 0.4413 | 0.43 | APROBADO | 2.365 | 7.52 | RECHAZADO | 2.365 |
| I HG04 | 0.0005 | -0.0008 | -0.22 | APROBADO | 2.776 | 1.97 | APROBADO | 2.776 |
| I HG05 | -0.0017 | 0.0995 | 0.03 | APROBADO | 2.262 | 5.51 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG06 | -0.0002 | 0.0002 | 0.13 | APROBADO | 2.447 | 3.10 | RECHAZADO | 2.447 |
| I HG07 | 0.0008 | 0.0177 | -0.05 | APROBADO | 2.262 | 5.04 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG08 | -0.0002 | 0.0001 | 0.20 | APROBADO | 2.306 | 2.62 | RECHAZADO | 2.306 |
| I HG09 | -0.0014 | 0.0163 | 0.15 | APROBADO | 2.262 | 6.14 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG10 | -0.0001 | 0.0003 | 0.16 | APROBADO | 2.262 | 2.76 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG11 | 0.0002 | 0.0036 | -0.03 | APROBADO | 2.262 | 4.37 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG12 | -0.0001 | 0.0002 | 0.13 | APROBADO | 2.306 | 3.16 | RECHAZADO | 2.306 |
| I HG13 | -0.0006 | 0.0039 | 0.19 | APROBADO | 2.262 | 5.71 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG14 | 0.0000 | 0.0000 | 0.11 | APROBADO | 2.262 | 2.35 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG15 | -0.0004 | 0.0032 | 0.16 | APROBADO | 2.306 | 6.00 | RECHAZADO | 2.306 |

En la tabla 2.16 se muestran los límites obtenidos para dos medias y dos varianzas con diferente numero de muestras, para luminarias con balasto advance y con balasto universal. La tabla 2.17 muestra la comparación de la diferencia entre las medias de la combinación general las luminarias con balasto advance y con balasto universal. A partir de los resultados mostrados en las tablas 2.16 y 2.17 se puede ver que entre las luminarias con balasto universal o magnetek y la combinación general si se aprueba la diferencia entre ellos, mientras que la diferencia entre las luminarias con balasto advance con la combinación general no es aprobada.

2.1.2.2.7.2 PRUEBA DE DIFERENCIA DE MEDIAS PARA THD INDIVIDUAL EN LAS ARMONICAS DE CORRIENTE.

Tabla 2.18 Límites de la diferencia de medias para THD individual de armónicas en luminarias de 2x40 W.

| THD(%FND) | COMB. GENERAL | | MARCA ADVANCE | | MARCA UNIVERSAL | | diferencia de medias | Limite Inferior | Limite Superior |
|-----------|---------------|----------|---------------|----------|-----------------|----------|----------------------|-----------------|-----------------|
| | MEDIA | VARIANZA | MEDIA | VARIANZA | MEDIA | VARIANZA | | | |
| I Thd(%) | 21.1609 | 7.8332 | 24.5280 | 4.1292 | 11.6458 | 0.8823 | 12.882160 | 10.84577 | 14.91855 |
| I HG00 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0000 | -0.001134 | -0.00356 | 0.00129 |
| I HG01 | 100.0000 | 0.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 0.000000 | 0.00000 | 0.00000 |
| I HG02 | 1.2294 | 0.2741 | 1.3378 | 0.4376 | 1.4027 | 0.1516 | -0.064895 | -0.78170 | 0.65191 |
| I HG03 | 18.7290 | 10.4955 | 22.3611 | 4.4427 | 7.6555 | 1.2894 | 14.705609 | 12.49275 | 16.91847 |
| I HG04 | 0.2217 | 0.0107 | 0.2125 | 0.0123 | 0.3142 | 0.0096 | -0.101752 | -0.25431 | 0.05080 |
| I HG05 | 8.8181 | 0.1234 | 9.3301 | 0.3022 | 8.0339 | 0.2753 | 1.296133 | 0.50461 | 2.08765 |
| I HG06 | 0.1269 | 0.0015 | 0.1430 | 0.0046 | 0.1498 | 0.0022 | -0.006796 | -0.08702 | 0.07343 |
| I HG07 | 2.1980 | 0.0232 | 2.2383 | 0.0188 | 2.3784 | 0.0169 | -0.140102 | -0.33684 | 0.05663 |
| I HG08 | 0.0633 | 0.0006 | 0.0712 | 0.0022 | 0.0820 | 0.0005 | -0.010824 | -0.05763 | 0.03598 |
| I HG09 | 1.4614 | 0.0121 | 1.5838 | 0.0076 | 1.4146 | 0.0197 | 0.169144 | -0.04624 | 0.38453 |
| I HG10 | 0.0552 | 0.0005 | 0.0588 | 0.0024 | 0.0655 | 0.0002 | -0.006741 | -0.05293 | 0.03944 |
| I HG11 | 0.7195 | 0.0072 | 0.7302 | 0.0033 | 0.9135 | 0.0048 | -0.183381 | -0.28870 | -0.07806 |
| I HG12 | 0.0352 | 0.0001 | 0.0373 | 0.0006 | 0.0401 | 0.0002 | -0.002808 | -0.02862 | 0.02300 |
| I HG13 | 0.4542 | 0.0040 | 0.4948 | 0.0014 | 0.5025 | 0.0051 | -0.007676 | -0.11455 | 0.09920 |
| I HG14 | 0.0244 | 0.0002 | 0.0250 | 0.0007 | 0.0331 | 0.0000 | -0.008111 | -0.03302 | 0.01680 |

Tabla 2.19 Comparación de la diferencia de medias para THD individual de armónicas en luminarias de 2x40 W.

| THD(%FND) | DIFERENCIA MEDIAS | | Dif. entre general y universal | | | Dif. entre general y advance | | |
|-----------|----------------------|----------------------|--------------------------------|---------------|-------------------|------------------------------|---------------|-------------------|
| | DIF ENTRE GRAL y adv | DIF ENTRE GRAL y uni | VALOR t | LIMITES 95% t | t con gamma 0.025 | VALOR t | LIMITES 95% t | t con gamma 0.025 |
| I Thd(%) | -3.3671 | 9.5151 | 3.74 | RECHAZADO | 2.262 | 33.23 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG00 | 0.0001 | -0.0010 | -0.13 | APROBADO | 2.306 | -0.88 | APROBADO | 2.306 |
| I HG01 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00 | APROBADO | 1.96 | 0.00 | APROBADO | 1.96 |
| I HG02 | -0.1084 | -0.1733 | 0.34 | APROBADO | 2.262 | 2.29 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG03 | -3.6322 | 11.0734 | 3.71 | RECHAZADO | 2.262 | 29.64 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG04 | 0.0092 | -0.0925 | -0.14 | APROBADO | 2.365 | 1.67 | APROBADO | 2.365 |
| I HG05 | -0.5120 | 0.7841 | 1.53 | APROBADO | 2.365 | 29.32 | RECHAZADO | 2.365 |
| I HG06 | -0.0161 | -0.0229 | 0.46 | APROBADO | 2.306 | 3.32 | RECHAZADO | 2.306 |
| I HG07 | -0.0403 | -0.1804 | 0.48 | APROBADO | 2.365 | 24.51 | RECHAZADO | 2.365 |
| I HG08 | -0.0078 | -0.0186 | 0.38 | APROBADO | 2.262 | 2.43 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG09 | -0.1224 | 0.0468 | 1.58 | APROBADO | 2.776 | 20.92 | RECHAZADO | 2.776 |
| I HG10 | -0.0036 | -0.0103 | 0.18 | APROBADO | 2.306 | 2.30 | APROBADO | 2.306 |
| I HG11 | -0.0107 | -0.1941 | 0.26 | APROBADO | 2.571 | 13.01 | RECHAZADO | 2.571 |
| I HG12 | -0.0021 | -0.0049 | 0.18 | APROBADO | 2.262 | 2.79 | RECHAZADO | 2.262 |
| I HG13 | -0.0407 | -0.0483 | 1.06 | APROBADO | 2.776 | 11.56 | RECHAZADO | 2.776 |
| I HG14 | -0.0006 | -0.0087 | 0.05 | APROBADO | 2.365 | 1.49 | APROBADO | 2.365 |
| I HG15 | -0.0246 | -0.0332 | 0.57 | APROBADO | 2.776 | 7.57 | RECHAZADO | 2.776 |

A partir de la tabla 2.19 se puede ver que en ambos casos los límites no son aceptados para la tercera componente y para el valor de THD, y en el caso de la diferencia entre la combinación general y las luminarias de balasto universal se aceptan todas las demás armónicas. Mientras que para el caso de la combinación general con las luminarias de balasto advance los límites para las armónicas impares y algunas pares son también rechazados.

2.1.2.2.8 PRUEBA DE EQUIVALENCIA DE MEDIAS PARA LUMINARIAS DE 2x40 W.

2.1.2.2.8.1 Prueba de equivalencia de medias para amplitudes de armónicas de corriente.

Tabla 2.20 Límites de la equivalencia de medias para amplitudes de armónicas en luminarias de 2x40 W.

| Amplitud | MARCA ADVANCE | | MARCA UNIVERSAL | | CALCULADO | | Límite Inferior | Límite Superior | MEDIA general | aceptacion general |
|----------|---------------|----------|-----------------|----------|-----------|----------|-----------------|-----------------|---------------|--------------------|
| | MEDIA | VARIANZA | MEDIA | VARIANZA | MEDIA | VARIANZA | | | | |
| I HG00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | rechazado |
| I HG01 | 2.8862 | 2.2458 | 1.9694 | 0.8027 | 2.4278 | 0.7621 | -0.8516 | 5.7072 | 2.9641 | aceptado |
| I HG02 | 0.0335 | 0.0005 | 0.0285 | 0.0003 | 0.0310 | 0.0002 | 0.0301 | 0.0319 | 0.0328 | rechazado |
| I HG03 | 0.6474 | 0.1100 | 0.1497 | 0.0048 | 0.3986 | 0.0287 | 0.2751 | 0.5220 | 0.5910 | rechazado |
| I HG04 | 0.0049 | 0.0000 | 0.0062 | 0.0000 | 0.0056 | 0.0000 | 0.0055 | 0.0056 | 0.0054 | rechazado |
| I HG05 | 0.2633 | 0.0167 | 0.1621 | 0.0063 | 0.2127 | 0.0057 | 0.1880 | 0.2374 | 0.2617 | rechazado |
| I HG06 | 0.0036 | 0.0000 | 0.0032 | 0.0000 | 0.0034 | 0.0000 | 0.0034 | 0.0034 | 0.0034 | rechazado |
| I HG07 | 0.0632 | 0.0010 | 0.0463 | 0.0004 | 0.0548 | 0.0004 | 0.0532 | 0.0563 | 0.0640 | rechazado |
| I HG08 | 0.0019 | 0.0000 | 0.0017 | 0.0000 | 0.0018 | 0.0000 | 0.0018 | 0.0018 | 0.0018 | rechazado |
| I HG09 | 0.0447 | 0.0005 | 0.0269 | 0.0001 | 0.0358 | 0.0001 | 0.0351 | 0.0364 | 0.0432 | rechazado |
| I HG10 | 0.0017 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0015 | 0.0016 | rechazado |
| I HG11 | 0.0210 | 0.0001 | 0.0175 | 0.0001 | 0.0192 | 0.0000 | 0.0190 | 0.0194 | 0.0211 | rechazado |
| I HG12 | 0.0011 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | rechazado |
| I HG13 | 0.0139 | 0.0000 | 0.0093 | 0.0000 | 0.0116 | 0.0000 | 0.0115 | 0.0117 | 0.0133 | rechazado |
| I HG14 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0008 | rechazado |
| I HG15 | 0.0102 | 0.0000 | 0.0066 | 0.0000 | 0.0084 | 0.0000 | 0.0084 | 0.0085 | 0.0098 | rechazado |

2.1.2.2.8.2 Prueba de equivalencia de medias para THD individual en las armónicas de corriente.

Tabla 2.21 Límites de la equivalencia de medias para THD individual de armónicas en luminarias de 2x40 W.

| THD(%FND) | MARCA ADVANCE | | MARCA UNIVERSAL | | CALCULADO | | Límite Inferior | Límite Superior | MEDIA general | aceptacion general |
|-----------|---------------|----------|-----------------|----------|-----------|----------|-----------------|-----------------|---------------|--------------------|
| | MEDIA | VARIANZA | MEDIA | VARIANZA | MEDIA | VARIANZA | | | | |
| I THd(%) | 24.5280 | 4.1292 | 11.6458 | 0.8823 | 18.0869 | 1.2529 | 12.6958 | 23.4780 | 21.1609 | aceptado |
| I HG00 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0002 | rechazado |
| I HG01 | 100.0000 | 0.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | aceptado |
| I HG02 | 1.3378 | 0.4376 | 1.4027 | 0.1516 | 1.3703 | 0.1473 | 0.7364 | 2.0041 | 1.2294 | aceptado |
| I HG03 | 22.3611 | 4.4427 | 7.6555 | 1.2894 | 15.0083 | 1.4330 | 8.8420 | 21.1746 | 18.7290 | aceptado |
| I HG04 | 0.2125 | 0.0123 | 0.3142 | 0.0096 | 0.2634 | 0.0055 | 0.2398 | 0.2869 | 0.2217 | rechazado |
| I HG05 | 9.3301 | 0.3022 | 8.0339 | 0.2753 | 8.6820 | 0.1444 | 8.0607 | 9.3033 | 8.8181 | aceptado |
| I HG06 | 0.1430 | 0.0046 | 0.1498 | 0.0022 | 0.1464 | 0.0017 | 0.1391 | 0.1537 | 0.1269 | rechazado |
| I HG07 | 2.2383 | 0.0188 | 2.3784 | 0.0169 | 2.3084 | 0.0089 | 2.2699 | 2.3469 | 2.1980 | rechazado |
| I HG08 | 0.0712 | 0.0022 | 0.0820 | 0.0005 | 0.0766 | 0.0007 | 0.0737 | 0.0794 | 0.0633 | rechazado |
| I HG09 | 1.5838 | 0.0076 | 1.4146 | 0.0197 | 1.4992 | 0.0068 | 1.4698 | 1.5286 | 1.4614 | rechazado |
| I HG10 | 0.0588 | 0.0024 | 0.0655 | 0.0002 | 0.0621 | 0.0007 | 0.0593 | 0.0650 | 0.0552 | rechazado |
| I HG11 | 0.7302 | 0.0033 | 0.9135 | 0.0048 | 0.8219 | 0.0020 | 0.8131 | 0.8306 | 0.7195 | rechazado |
| I HG12 | 0.0373 | 0.0006 | 0.0401 | 0.0002 | 0.0387 | 0.0002 | 0.0379 | 0.0396 | 0.0352 | rechazado |
| I HG13 | 0.4948 | 0.0014 | 0.5025 | 0.0051 | 0.4987 | 0.0016 | 0.4917 | 0.5057 | 0.4542 | rechazado |
| I HG14 | 0.0250 | 0.0007 | 0.0331 | 0.0000 | 0.0291 | 0.0002 | 0.0283 | 0.0299 | 0.0244 | rechazado |

En este caso se obtuvo los límites de la media equivalente a partir de las medias individuales para balasto advance y universal y luego se comparó los valores de la combinación general y verificar si se aprueban. Al final se comprobó para las amplitudes de las armónicas solo la componente fundamental aprobaba los límites, mientras que para los valores de THD individual se aceptan las componentes fundamental, la segunda, la tercera, la quinta y los valores de THD.

2.1.2.2.9 CONCLUSIONES DE HIPOTESIS DE LUMINARIA DE 2x40 W.

En los resultados obtenidos se mostraron tablas de datos conteniendo una columna etiquetada como CORREL, que es llamado coeficiente de correlación muestral, a partir del cual es posible calcular el coeficiente de correlación poblacional que son de nuestro interés para aceptar o rechazar la hipótesis que se está probando. [1]

$$\text{coeficiente de correlación} = r^2$$

2.1.2.2.9.1 LUMINARIA DE 2x40 W CON BALASTO MARCA ADVANCE.

A partir de los datos mostrados por la tabla 2.5, obtenemos los siguientes coeficientes de correlación muestral:

Armónico IH01 con $r^2 = 0.9903$

Armónico IH03 con $r^2 = 0.9891$

Armónico IH05 con $r^2 = 0.9850$

Armónico IH07 con $r^2 = 0.9798$

Armónico IH09 con $r^2 = 0.9861$

Armónico IH011 con $r^2 = 0.9584$

Armónico IH013 con $r^2 = 0.9819$

Armónico IH015 con $r^2 = 0.9697$

Tomando en cuenta el coeficiente de correlación muestral todas las amplitudes de cada uno de las armónicas impares cumplen la condición de ser mayor de 0.90, lo que nos indica que por lo menos el 90% de los datos muestrales tienen relación lineal. En todos los casos se supera el 95% de correlación.

Prueba de la hipótesis.

1. $H_0 : \rho = 0.90$
2. Ahora se prueba la hipótesis de no asociación lineal para $H_1 : \rho > 0.90$.
3. Se asume $\rho_0 = 0.90$, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$,
4. Con una región crítica de $z > 1.645$.

5. Calculando $z = \frac{\sqrt{n-3}}{2} \ln \left[\frac{(1+r)(1-\rho_0)}{(1-r)(1+\rho_0)} \right]$

Armónico IH01 con $z = 3.0755$

Armónico IH03 con $z = 2.9511$

Armónico IH05 con $z = 2.6318$

Armónico IH07 con $z = 2.3361$

Armónico IH09 con $z = 2.7103$

Armónico IH011 con $z = 1.6001$

Armónico IH013 con $z = 2.4473$

Armónico IH015 con $z = 1.9215$

6. De acuerdo con los cálculos de z para cada armónica impar, la armónicas IH011 no pasa la prueba de asociación de linealidad, pero debido a que esta cerca del límite, además ya ha pasado la prueba de correlación, y sus amplitudes no son muy significativas. Por lo tanto se puede aceptar que la dependencia de todas las amplitudes de las armónicas es lineal según el número de luminarias.

2.1.2.2.9.2 LUMINARIA DE 2x40 W CON BALASTO MARCA UNIVERSAL Y MAGNETEK.

A partir de los datos mostrados por la tabla 2.9, obtenemos los siguientes coeficientes de correlación muestral:

Armónico IH01 con $r^2 = 0.9986$

Armónico IH03 con $r^2 = 0.8041$

Armónico IH05 con $r^2 = 0.9878$

Armónico IH07 con $r^2 = 0.9956$

Armónico IH09 con $r^2 = 0.9735$

Armónico IH011 con $r^2 = 0.9891$

Armónico IH013 con $r^2 = 0.9755$

Armónico IH015 con $r^2 = 0.8877$

Tomando en cuenta el coeficiente de correlación muestral la mayoría de las armónicas impares cumplen la condición de ser mayor de 0.90, excepto la tercera y la quinceava armónica, esto se debe que el número máximo de luminarias medidas fue de cuatro.

Prueba de la hipótesis.

1. $H_0 : \rho = 0.90$

2. Ahora se prueba la hipótesis de no asociación lineal para $H_1 : \rho > 0.90$.

3. Se asume $\rho_0 = 0.90$, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$,

4. Con una región crítica de $z > 1.645$.

5. Calculando $z = \frac{\sqrt{n-3}}{2} \ln \left[\frac{(1+r)(1-\rho_0)}{(1-r)(1+\rho_0)} \right]$

Armónico IH01 con $z = 2.4946$

Armónico IH03 con $z = -0.0172$

Armónico IH05 con $z = 1.4197$

Armónico IH07 con $z = 1.9299$

Armónico IH09 con $z = 1.0287$

Armónico IH011 con $z = 1.4758$

Armónico IH013 con $z = 1.0685$

Armónico IH015 con $z = 0.2847$

6. Debido al número máximo de luminarias medidas solo la componente fundamental y la séptima armónica aprueba la hipótesis de que $\rho > 0.90$ [1], pero la información obtenida por el coeficiente muestral hace aceptar la linealidad de la medición para todas las armónicas.

2.1.2.2.9.3 LUMINARIA DE 2x40 W COMBINANDO BALASTOS MARCA UNIVERSAL Y MAGNETEK CON BALASTOS DE MARCA ADVANCE.

A partir de los datos mostrados por la tabla 2.13, obtenemos los siguientes coeficientes de correlación muestral:

Armónico IH01 con $r^2 = 0.9993$

Armónico IH03 con $r^2 = 0.9641$

Armónico IH05 con $r^2 = 0.9897$

Armónico IH07 con $r^2 = 0.9860$

Armónico IH09 con $r^2 = 0.9835$

Armónico IH011 con $r^2 = 0.9764$

Armónico IH013 con $r^2 = 0.9658$

Armónico IH015 con $r^2 = 0.9474$

Tomando en cuenta el coeficiente de correlación muestral todas las amplitudes de cada uno de las armónicas impares cumplen la condición de ser mayor de 0.90, lo que indica

que por lo menos el 90% de los datos muestrales tienen relación lineal. En todos los casos se supera el 95% de correlación. [1]

Prueba de la hipótesis.

1. $H_0 : \rho = 0.90$
2. Ahora se prueba la hipótesis de no asociación lineal para $H_1 : \rho > 0.90$.
3. Se asume $\rho_0 = 0.90$, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$,
4. Con una región crítica de $z > 1.645$.
5. Calculando $z = \frac{\sqrt{n-3}}{2} \ln \left[\frac{(1+r)(1-\rho_0)}{(1-r)(1+\rho_0)} \right]$

Armónico IH01 con $z = 5.7620$

Armónico IH03 con $z = 1.7495$

Armónico IH05 con $z = 3.0171$

Armónico IH07 con $z = 2.7040$

Armónico IH09 con $z = 2.5391$

Armónico IH011 con $z = 2.1754$

Armónico IH013 con $z = 1.7987$

Armónico IH015 con $z = 1.3610$

6. De acuerdo con los cálculos de z para cada armónica impar, la armónica IH015 no pasa la prueba de asociación de linealidad, pero debido a que sus amplitudes no son muy significativas y el orden de la armónica es alto, no afecta considerablemente el nivel de aproximación en la predicción. Por lo tanto se puede aceptar que la dependencia de todas las amplitudes de las armónicas es lineal según el número de luminarias.

2.1.2.3 LUMINARIAS DE 3X32 WATTS.

2.1.2.3.1 DEFINICION DEL PROBLEMA.

“Obtener el comportamiento armónico de una luminaria de 3X32 watts que sea representativo y a partir de él poder predecir el contenido armónico para cualquier número de luminarias, de modo que esta predicción pueda ser utilizada en un programa para simulación de armónicos”.

Partiendo de la definición del problema se pretende encontrar una fórmula que calcule el contenido armónico para un número N de luminarias. En este caso se realizaron las mediciones de una luminaria de 3x32 Watts, y luego se hicieron las mediciones para 6 y 7 luminarias. Esto se hizo de esta manera ya que no se contaban en el laboratorio con el suficiente número de balastos y se tuvo que tomar en cuenta las mediciones de un circuito de 6 y otro de 7 luminarias de 3x32 Watts.

| | | |
|----------------------------------|---------|-----------|
| BALASTO INSTANT START ELECTRONIC | | |
| MARCA | ADVANCE | 3X32W |
| REL-3P32-SC | | |
| CLASS: P | TIPO 1 | EXTERIOR |
| 120 Voltios | 60 Hz | 0.71 AMP |
| 32 WATTS | | TMAX=70°C |
| HIGH POWER FACTOR | | |
| SONIDO CLASE A | | |
| PROTECCION INHERENTE TERMICA | | |

Figura 2.15 Datos técnicos del Balasto de la luminaria de 2X32W.

2.1.2.3.2 ELABORACION DE LA HIPOTESIS.

De acuerdo a mediciones realizadas anteriormente con luminarias de 2x40 W, se ha podido observar que para el caso de las luminarias la amplitud de sus armónicas varíen linealmente conforme se aumente el número de luminarias, por lo que al momento de plantear la hipótesis a probar se hizo tomando en cuenta estas experiencias previas y para que la hipótesis pueda ser aceptada o rechazada, el planteamiento de esta se hizo en función de la aproximación de la linealidad de las amplitudes de la armónicas y de que porcentaje de los datos se adaptan o se correlacionan al modelo de la linealidad.

“La variación de las amplitudes de las armónicas con respecto al número de luminarias de 3x32 W es lineal”.

Para comprobar esta hipótesis como se ha hecho en los casos anteriores se probará que tanto el coeficiente de correlación muestral como el coeficiente de correlación poblacional son mayores a 0.90. [1]

Por lo tanto se probará la condición:

$$r^2 > 0.90 \text{ y } \rho > 0.81$$

2.1.2.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación se muestran los datos obtenidos de mediciones hechas para una luminaria de 3x32 W.

Tabla 2.22 Datos generales de potencia para varias luminarias de 3x32 W.

| X | 1 LUM | 6 LUM | 7 LUM | a | b | CORREL |
|---------------------|----------|-----------|-----------|----------|---------|--------|
| Vrmsavg(Volts) | 114.4465 | 121.2515 | 121.5998 | 20.8666 | 21.7220 | 0.8266 |
| Irmsavg(Amps) | 0.7825 | 4.1557 | 4.8837 | 0.6976 | 0.0187 | 0.9998 |
| Pavg(kW) | 0.0889 | -0.5021 | -0.5915 | -0.0800 | 0.0386 | 0.9564 |
| P-Fndavg(kW) | 0.0888 | -0.5015 | -0.5906 | -0.0799 | 0.0386 | 0.9564 |
| Savg(kVA) | 0.0895 | 0.5039 | 0.5939 | 0.0846 | 0.0010 | 0.9999 |
| QFndavg(kVAR) | -0.0086 | 0.0353 | 0.0463 | 0.0059 | -0.0034 | 0.9393 |
| PFavg() | -0.9935 | -0.9965 | -0.9959 | -0.1725 | -0.1904 | 0.8091 |
| Pphi-Fndavg(Deg) | 5.5562 | -175.9644 | -175.5077 | -26.1360 | 6.6625 | 0.9804 |
| DPFavg() | -0.9953 | -0.9975 | -0.9969 | -0.1727 | -0.1908 | 0.8088 |
| kWh(Energy)(kWh) | 0.0000 | -0.1534 | -0.1160 | -0.0200 | 0.0034 | 0.9534 |
| kVARh(Q-Int)(kVARh) | 0.0000 | 0.0107 | 0.0091 | 0.0015 | -0.0003 | 0.9694 |

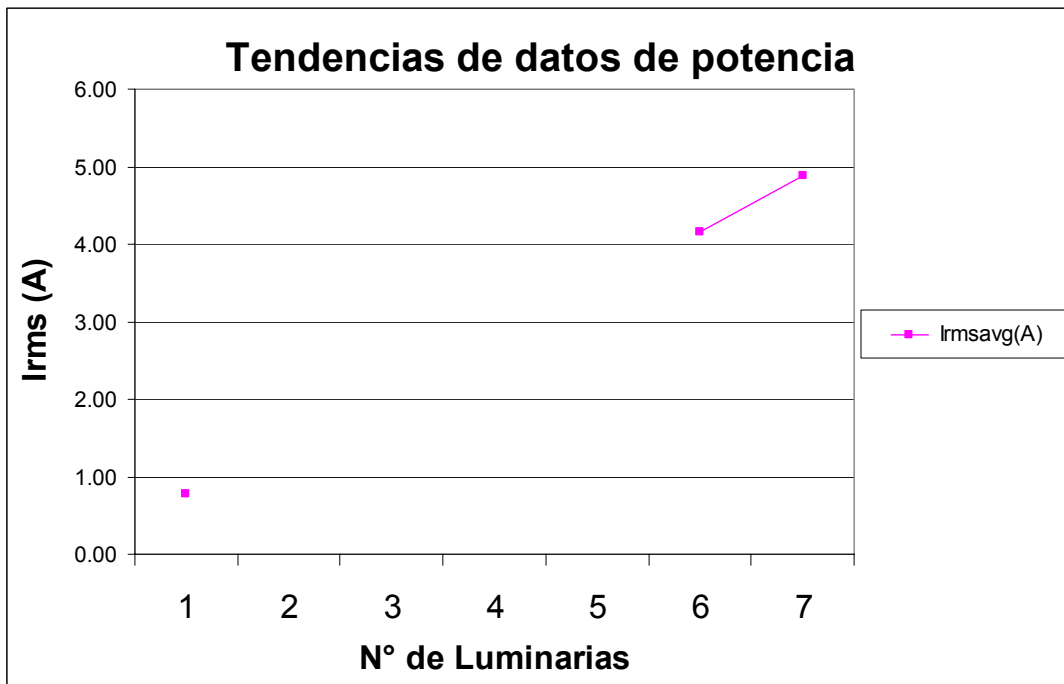


Figura 2.16 Datos generales de potencia para varias luminarias de 3x32 W.

De la figura 2.16 y la Tabla 2.22 se puede observar que la tendencia de los parámetros de potencia tienen una variación lineal, ya que a pesar de tener todas las mediciones se puede ver la tendencia que siguen los datos, tal es el caso de la corriente rms. En el gráfico se puede ver que el aumento de la corriente al incrementar el número de luminarias es de proporción lineal, lo mismo sucede con los kVA y los kVAR.

Tabla 2.23 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 3x32 W.

| Amplitud | 1 LUM | 6 LUM | 7 LUM | a | b | CORREL |
|----------|--------|--------|--------|----------|-----------|--------|
| I HG00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.000006 | 0.000001 | 0.3434 |
| I HG01 | 0.7820 | 4.1498 | 4.8765 | 0.679557 | 0.098181 | 0.9999 |
| I HG02 | 0.0025 | 0.0141 | 0.0156 | 0.002225 | 0.000367 | 0.9972 |
| I HG03 | 0.0182 | 0.1457 | 0.1747 | 0.025901 | -0.007988 | 0.9996 |
| I HG04 | 0.0008 | 0.0035 | 0.0035 | 0.000481 | 0.000355 | 0.9807 |
| I HG05 | 0.0154 | 0.1443 | 0.1299 | 0.021242 | -0.002602 | 0.9349 |
| I HG06 | 0.0008 | 0.0017 | 0.0025 | 0.000261 | 0.000444 | 0.9150 |
| I HG07 | 0.0031 | 0.0238 | 0.0070 | 0.001764 | 0.003065 | 0.2666 |
| I HG08 | 0.0007 | 0.0010 | 0.0022 | 0.000186 | 0.000462 | 0.5666 |
| I HG09 | 0.0057 | 0.0245 | 0.0324 | 0.004227 | 0.001159 | 0.9822 |
| I HG10 | 0.0006 | 0.0011 | 0.0022 | 0.000201 | 0.000360 | 0.6919 |
| I HG11 | 0.0025 | 0.0280 | 0.0169 | 0.003275 | 0.000492 | 0.6777 |
| I HG12 | 0.0006 | 0.0009 | 0.0023 | 0.000214 | 0.000256 | 0.5985 |
| I HG13 | 0.0022 | 0.0086 | 0.0094 | 0.001227 | 0.001026 | 0.9974 |
| I HG14 | 0.0005 | 0.0010 | 0.0024 | 0.000238 | 0.000195 | 0.6199 |
| I HG15 | 0.0013 | 0.0115 | 0.0066 | 0.001261 | 0.000605 | 0.6276 |

Tabla 2.24 Amplitudes de los porcentajes de ERROR al aplicar los coeficientes de regresión lineal para varias luminarias de 3x32 W.

| VALORES OBTENIDOS DE % ERROR | | | | |
|------------------------------|----------|-----------|----------|----------|
| Amplitud | 1 LUM | 6 LUM | 7 LUM | PROM ERR |
| I HG00 | 331.6049 | 2248.2970 | 21.5312 | 867.1444 |
| I HG01 | 0.5479 | 0.6195 | 0.4393 | 0.5356 |
| I HG02 | 2.6762 | 2.8701 | 2.1646 | 2.5703 |
| I HG03 | 1.5630 | 1.1712 | 0.8139 | 1.1827 |
| I HG04 | 4.8872 | 6.7218 | 5.5174 | 5.7088 |
| I HG05 | 21.0133 | 13.4612 | 12.4578 | 15.6441 |
| I HG06 | 6.1173 | 15.8905 | 9.1843 | 10.3974 |
| I HG07 | 53.7854 | 42.6108 | 121.2035 | 72.5332 |
| I HG08 | 12.6698 | 55.5793 | 21.0297 | 29.7596 |
| I HG09 | 5.7534 | 8.0368 | 5.0756 | 6.2886 |
| I HG10 | 12.1251 | 42.1756 | 17.9714 | 24.0907 |
| I HG11 | 52.9446 | 27.9768 | 38.5866 | 39.8360 |
| I HG12 | 17.7310 | 65.1262 | 22.3939 | 35.0837 |
| I HG13 | 1.6352 | 2.5274 | 1.9213 | 2.0280 |
| I HG14 | 19.9206 | 66.0842 | 22.4304 | 36.1450 |
| I HG15 | 42.9729 | 29.1677 | 42.3031 | 38.1479 |

Al observar la Tabla 2.24 que muestra los % de error al aplicar los coeficientes de regresión lineal se vuelve a observar que en el caso de las primeras quince armónicas son pocos los valores que sobrepasan el 20 % de error (los valores de las celdas marcadas con color amarillo), y que nuevamente los valores de las armónicas que producen mayor error son las pares. Por lo tanto la aplicación de los coeficientes de

regresión lineal es aceptable. Además se puede observar que las armónicas séptima onceava y la quinceava tienen un % de error alto.

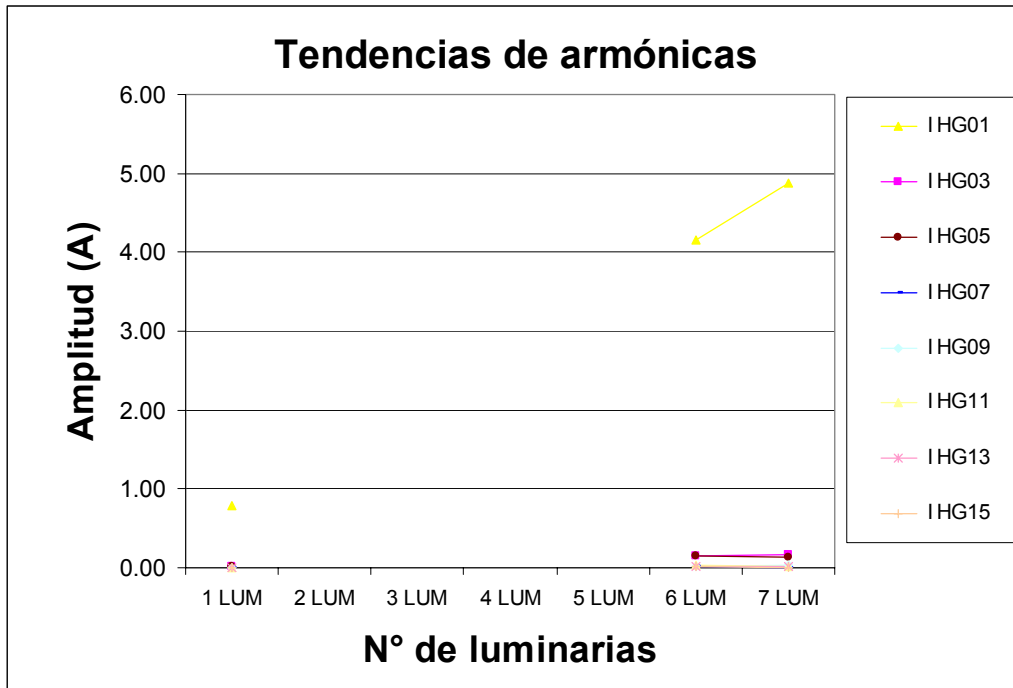


Figura 2.17 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias luminarias de 3x32 W.

Se confirma que al igual que con las luminarias de 2x40 W, para el caso de las luminarias de 3x32 W las amplitudes de las armónicas para luminarias con balasto electrónico mantienen una relación de tipo lineal.

Tabla 2.25 THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 3x32 W.

| % FND | 1 LUM | 6 LUM | 7 LUM | a | b | CORREL | STD |
|---------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|--------|
| IThd(%) | 3.5018 | 5.1355 | 4.6384 | 0.2337 | 3.3345 | 0.8049 | 0.8375 |
| I HG00 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0001 | 0.0000 | 0.2594 | 0.0006 |
| I HG01 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| I HG02 | 0.3228 | 0.3404 | 0.3200 | 0.0008 | 0.3239 | 0.0567 | 0.0110 |
| I HG03 | 2.3270 | 3.5113 | 3.5834 | 0.2182 | 2.1221 | 0.9890 | 0.7055 |
| I HG04 | 0.1019 | 0.0838 | 0.0724 | -0.0045 | 0.1070 | 0.9451 | 0.0149 |
| I HG05 | 1.9697 | 3.4766 | 2.6640 | 0.1756 | 1.8839 | 0.5602 | 0.7542 |
| I HG06 | 0.0960 | 0.0418 | 0.0513 | -0.0086 | 0.1029 | 0.9006 | 0.0290 |
| I HG07 | 0.4015 | 0.5731 | 0.1429 | -0.0181 | 0.4571 | 0.0725 | 0.2166 |
| I HG08 | 0.0948 | 0.0244 | 0.0458 | -0.0101 | 0.1021 | 0.8055 | 0.0361 |
| I HG09 | 0.7308 | 0.5915 | 0.6642 | -0.0165 | 0.7391 | 0.5799 | 0.0697 |
| I HG10 | 0.0816 | 0.0265 | 0.0441 | -0.0078 | 0.0871 | 0.7910 | 0.0281 |
| I HG11 | 0.3149 | 0.6738 | 0.3465 | 0.0267 | 0.3204 | 0.1868 | 0.1987 |
| I HG12 | 0.0730 | 0.0225 | 0.0463 | -0.0063 | 0.0765 | 0.6357 | 0.0253 |
| I HG13 | 0.2835 | 0.2074 | 0.1935 | -0.0151 | 0.2985 | 0.9999 | 0.0485 |
| I HG14 | 0.0691 | 0.0235 | 0.0492 | -0.0052 | 0.0715 | 0.5327 | 0.0228 |
| I HG15 | 0.1669 | 0.2781 | 0.1360 | 0.0037 | 0.1765 | 0.0250 | 0.0747 |

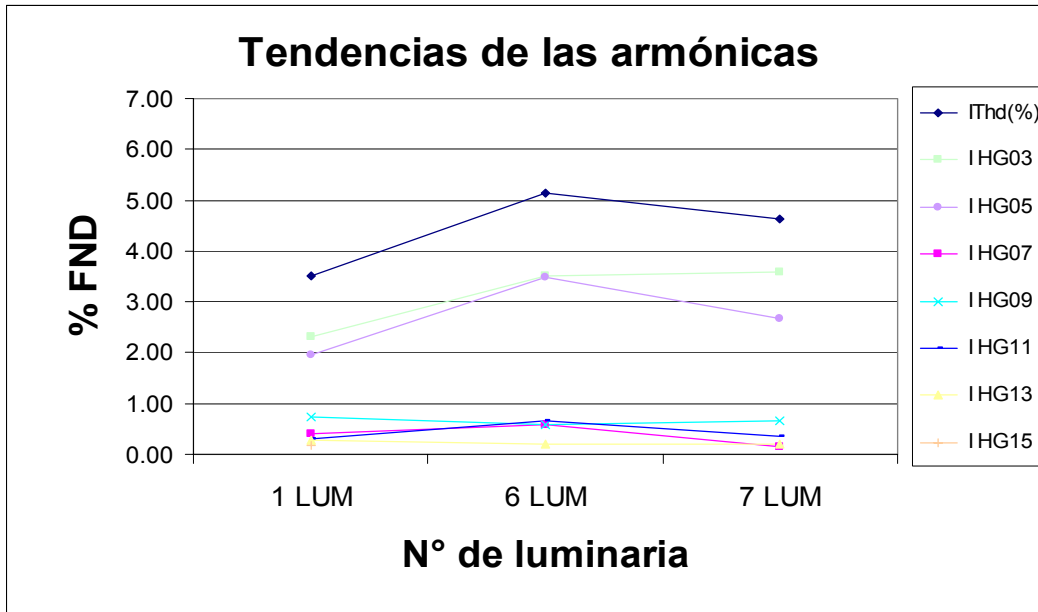


Figura 2.18 THD en %FND de cada uno de los armónicos para luminarias de 3x32 W.

Como en los casos anteriores el comportamiento armónico en %FND de las diferentes armónicas podemos ver que los valores son aproximadamente constantes, la diferencia existe en la armónica tercera, lo que es confirmado al observar el coeficiente de correlación muestral, ya que estos indican que el grado de linealidad es muy bajo; mientras que la desviación estándar mostrada en la columna STD muestra valores bajos. Por ejemplo la desviación estándar para el valor de THD fue de 0.8375 con un valor promedio en %FND de 4.425%. Además el valor del coeficiente de correlación para el THD fue de 0.8042 lo que indica que existe alguna relación de linealidad entre el valor de THD y el número de luminarias; pero a pesar de esto no hay suficiente información que indique que se pueda asumir linealidad entre ambos.

2.1.2.3.4 CONCLUSIONES DE HIPOTESIS DE LUMINARIAS 3x32 W.

2.1.2.3.4.1 LUMINARIA DE 3x32 W CON BALASTO ELECTRONICO.

A partir de los datos mostrados por la tabla 2.23, obtenemos los siguientes coeficientes de correlación muestral:

Armónico IH01 con $r^2 = 0.9998$

Armónico IH03 con $r^2 = 0.9993$

Armónico IH05 con $r^2 = 0.9842$

Armónico IH07 con $r^2 = 0.7850$

Armónico IH09 con $r^2 = 0.9919$

Armónico IH011 con $r^2 = 0.9233$

Armónico IH013 con $r^2 = 0.9947$

Armónico IH015 con $r^2 = 0.8286$

Tomando en cuenta el coeficiente de correlación muestral todas las amplitudes de cada uno de las armónicas impares cumplen la condición de ser mayor de 0.90 [1], lo que nos indica que por lo menos el 90% de los datos muestrales tienen relación lineal. En todos los casos se supera el 95% de correlación.

Prueba de la hipótesis.

1. $H_0 : \rho = 0.90$

2. Ahora se prueba la hipótesis de no asociación lineal para $H_1 : \rho > 0.90$.

3. Se asume $\rho_0 = 0.90$, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$,

4. Con una región crítica de $z > 1.645$.

5. Calculando $z = \frac{\sqrt{n-3}}{2} \ln \left[\frac{(1+r)(1-\rho_0)}{(1-r)(1+\rho_0)} \right]$

Armónico IH01 con $z = 4.9910$

Armónico IH03 con $z = 4.3372$

Armónico IH05 con $z = 2.7637$

Armónico IH07 con $z = 1.4031$

Armónico IH09 con $z = 3.0987$

Armónico IH011 con $z = 1.9575$

Armónico IH013 con $z = 3.3142$

Armónico IH015 con $z = 1.5290$

6. De acuerdo con los cálculos de z para cada armónica impar, la armónica IH07 y la armónica IH015 no pasan la prueba de asociación de linealidad, pero debido a que han pasado la prueba de correlación, y sus amplitudes no son muy significativas. Se puede aceptar que la dependencia de todas las amplitudes de las armónicas es lineal según el número de computadoras.

2.1.2.4 COMPUTADORAS PERSONALES.

2.1.2.4.1 DEFINICION DEL PROBLEMA.

“Obtener el comportamiento armónico de una computadora personal que sea representativo y a partir de él poder predecir el contenido armónico para cualquier número de computadoras, de modo que esta predicción pueda ser utilizada en un programa para simulación de armónicos”.

Se pretende encontrar una fórmula que calcule el contenido armónico para un numero N de computadoras personales. Para esto se realizaron mediciones de una computadora, luego se fueron incrementando hasta tener 13 computadoras simultáneas en medición.

Datos técnicos de las computadoras utilizadas se muestran a continuación.

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| CPU MORMAL | |
| UPS SMART550USB | INPUT:120V,60HZ, 10A |
| | OUTPUT: 550VA,300WATTS |
| MONITOR AC 100-240V | 50/60HZ, 1.5A |

| |
|----------------------------|
| CPU MORMAL |
| UPS CDP |
| MONITOR AC 100-240V |

Figura 2.19 Datos técnicos de las computadoras personales.

Para realizar el análisis estadístico de las mediciones hechas con computadoras personales se hizo de manera general ya que en la práctica se pudo ver que el comportamiento armónico era similar para los diferentes tipos de computadoras.

2.1.2.4.2 ELABORACION DE LA HIPOTESIS.

Al igual que en el caso de las luminarias al realizar las mediciones se pudo observar que la amplitud de las armónicas en una computadora varían linealmente conforme se aumente el numero de estas, por lo que al momento de plantear la hipótesis a probar se hizo tomando en la misma dirección y para que la hipótesis pueda ser aceptada o rechazada, el planteamiento de esta se hizo en función de la aproximación de la linealidad de las amplitudes de la armónicas y de que porcentaje de los datos se adaptan o se correlacionan al modelo de la linealidad.

“La variación de las amplitudes de las armónicas con respecto al número de computadoras personales es lineal”.

Para comprobar esta hipótesis se probará la condición:

$$r^2 > 0.90 \text{ y } \rho > 0.90$$

2.1.2.4.3 RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación se muestran los datos obtenidos de mediciones hechas para las computadoras personales.

Tabla 2.26 Datos generales de potencia para varias computadoras personales.

| X | 1 PC | 2 PC | 3 PC | 4 PC | 5 PC | 6 PC | 7 PC | 8 PC | 9 PC | 10 PC | 11 PC | 12 PC | 13 PC |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Vrmsavg(Volts) | 113.2515 | 110.8995 | 110.6988 | 110.7600 | 110.4275 | 110.2008 | 112.0557 | 112.2891 | 112.2068 | 112.2634 | 112.4410 | 112.2840 | 112.3376 |
| Irmsavg(Amps) | 1.9348 | 3.2833 | 5.3840 | 6.4905 | 8.1042 | 9.8026 | 12.1146 | 13.7073 | 14.8679 | 15.9501 | 17.5552 | 19.4808 | 21.5509 |
| Pavg(kW) | 0.1393 | 0.2418 | 0.1136 | 0.1153 | 0.5958 | 0.7186 | 0.8885 | 1.0093 | 1.1022 | 1.1882 | 1.3253 | 1.4599 | 1.6192 |
| P-Fndavg(kW) | 0.1397 | 0.2415 | 0.1156 | 0.1179 | 0.5985 | 0.7235 | 0.8914 | 1.0124 | 1.1082 | 1.1985 | 1.3377 | 1.4726 | 1.6332 |
| Savg(kVA) | 0.2146 | 0.3800 | 0.5977 | 0.7172 | 0.9010 | 1.0800 | 1.3594 | 1.5394 | 1.6669 | 1.7868 | 1.9822 | 2.1886 | 2.4241 |
| QFndavg(kVAR) | 0.0076 | 0.0055 | -0.0137 | -0.0073 | 0.0152 | 0.0254 | 0.0745 | 0.0818 | 0.0896 | 0.0831 | 0.1050 | 0.1092 | 0.0954 |
| PFavg() | 0.2158 | 0.0412 | 0.3808 | 0.6737 | 0.6627 | 0.6660 | 0.6537 | 0.6556 | 0.6612 | 0.6649 | 0.6685 | 0.6669 | 0.6679 |
| Pphi-Fndavg(Deg) | -3.1089 | -0.9264 | 58.1805 | 58.3271 | -1.3602 | -1.8788 | -4.7728 | -4.6189 | -4.6249 | -3.9747 | -4.4902 | -4.2420 | -3.3460 |
| DPFavg() | 0.3302 | 0.0012 | 0.3318 | 0.9992 | 0.9996 | 0.9993 | 0.9963 | 0.9967 | 0.9967 | 0.9975 | 0.9969 | 0.9972 | 0.9983 |
| kWh(Energy)(kWh) | 0.0301 | 0.0347 | -0.0305 | -0.0607 | 0.0578 | 0.0830 | 0.2464 | 0.3364 | 0.2827 | 0.4115 | 0.4279 | 0.4732 | 0.4094 |
| kVARh(Q-Int)(kVARh) | 0.0031 | 0.0017 | -0.0036 | -0.0037 | 0.0019 | 0.0041 | 0.0177 | 0.0276 | 0.0232 | 0.0284 | 0.0337 | 0.0353 | 0.0246 |

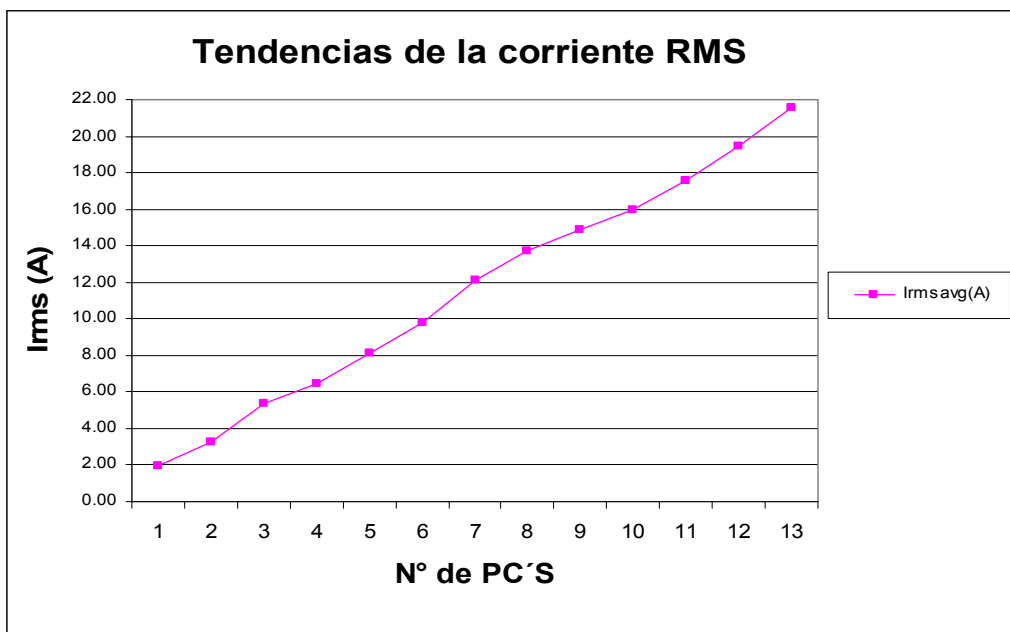


Figura 2.20 Datos generales de potencia para varias computadoras personales.

De la figura 2.20 y la Tabla 2.26 se puede observar que la tendencia de los parámetros de potencia tienen una variación lineal, ya que a pesar de no tener todas las mediciones se puede ver la tendencia que siguen los datos, tal es el caso de la corriente rms. En el gráfico se puede ver que el aumento de la corriente al incrementar el número de computadoras personales es de proporción lineal, lo mismo sucede con todos los datos de potencia.

Tabla 2.27 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias computadoras personales.

| Amplitud de los armónicos para diferente número de computadoras | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| amplitud | 1PC | 2PC | 3PC | 4PC | 5PC | 6PC | 7PC | 8PC | 9PC | 10PC | 11PC | 12PC | 13PC |
| IHG00 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0053 | 0.0337 | 0.0142 | 0.0125 | 0.0130 | 0.0171 | 0.0150 | 0.0201 | 0.0142 |
| IHG01 | 1.2171 | 2.1705 | 3.6715 | 4.3904 | 5.4386 | 6.5797 | 7.9427 | 8.9919 | 9.8571 | 10.7080 | 11.9349 | 13.1483 | 14.5725 |
| IHG02 | 0.0189 | 0.0247 | 0.0283 | 0.0229 | 0.0261 | 0.0706 | 0.0517 | 0.0565 | 0.0616 | 0.0634 | 0.0584 | 0.0717 | 0.0601 |
| IHG03 | 0.9619 | 1.8381 | 2.9266 | 3.5488 | 4.5137 | 5.3640 | 6.5059 | 7.3851 | 8.0471 | 8.7077 | 9.6450 | 10.6552 | 11.8389 |
| IHG04 | 0.0213 | 0.0249 | 0.0285 | 0.0220 | 0.0229 | 0.0664 | 0.0450 | 0.0498 | 0.0511 | 0.0555 | 0.0559 | 0.0622 | 0.0366 |
| IHG05 | 0.7586 | 1.4544 | 2.1162 | 2.5870 | 3.3676 | 3.9045 | 5.0422 | 5.7434 | 6.1276 | 6.5617 | 7.2164 | 8.0022 | 8.8411 |
| IHG06 | 0.0206 | 0.0239 | 0.0262 | 0.0198 | 0.0200 | 0.0627 | 0.0407 | 0.0437 | 0.0422 | 0.0528 | 0.0554 | 0.0630 | 0.0302 |
| IHG07 | 0.5167 | 0.9956 | 1.2946 | 1.5636 | 2.0528 | 2.2823 | 3.2028 | 3.6735 | 3.7726 | 3.9474 | 4.2658 | 4.7826 | 5.2693 |
| IHG08 | 0.0168 | 0.0211 | 0.0213 | 0.0163 | 0.0165 | 0.0578 | 0.0346 | 0.0343 | 0.0326 | 0.0481 | 0.0483 | 0.0607 | 0.0213 |
| IHG09 | 0.3069 | 0.5539 | 0.6533 | 0.7205 | 0.9199 | 1.0027 | 1.6493 | 1.8732 | 1.7970 | 1.7884 | 1.8746 | 2.1553 | 2.3397 |
| IHG10 | 0.0126 | 0.0169 | 0.0164 | 0.0135 | 0.0126 | 0.0528 | 0.0273 | 0.0238 | 0.0242 | 0.0368 | 0.0336 | 0.0496 | 0.0171 |
| IHG11 | 0.1576 | 0.2075 | 0.2260 | 0.1949 | 0.2366 | 0.4665 | 0.6184 | 0.6058 | 0.5229 | 0.4467 | 0.4586 | 0.5759 | 0.5962 |
| IHG12 | 0.0110 | 0.0125 | 0.0135 | 0.0115 | 0.0090 | 0.0483 | 0.0212 | 0.0153 | 0.0184 | 0.0218 | 0.0168 | 0.0315 | 0.0149 |
| IHG13 | 0.0737 | 0.1090 | 0.1943 | 0.2057 | 0.2942 | 0.4153 | 0.3149 | 0.3219 | 0.4164 | 0.4692 | 0.5580 | 0.6144 | 0.7124 |
| IHG14 | 0.0100 | 0.0090 | 0.0109 | 0.0094 | 0.0067 | 0.0455 | 0.0182 | 0.0131 | 0.0160 | 0.0125 | 0.0113 | 0.0167 | 0.0127 |
| IHG15 | 0.0660 | 0.1267 | 0.1798 | 0.2707 | 0.3207 | 0.3780 | 0.3548 | 0.4330 | 0.4489 | 0.4756 | 0.5242 | 0.5918 | 0.6863 |

Tabla 2.28 Datos del análisis estadístico en las amplitudes de las armónicas para varias computadoras personales.

| Análisis estadístico en amplitud de PC'S | | | | | | | |
|--|----------|--------|----------|---------|---------|---------|--------|
| amplitud | Σ | MEDIA | VARIANZA | VAR X_Y | a | b | CORREL |
| IHG00 | 0.1468 | 0.0113 | 0.0001 | 0.0219 | 0.00156 | 0.00036 | 0.3840 |
| IHG01 | 100.6230 | 7.7402 | 16.6471 | 15.2521 | 1.08943 | 0.11419 | 0.9981 |
| IHG02 | 0.6148 | 0.0473 | 0.0004 | 0.0601 | 0.00429 | 0.01726 | 0.7105 |
| IHG03 | 81.9379 | 6.3029 | 10.9482 | 12.3682 | 0.88344 | 0.11883 | 0.9980 |
| IHG04 | 0.5451 | 0.0419 | 0.0002 | 0.0420 | 0.00300 | 0.02093 | 0.5112 |
| IHG05 | 61.7228 | 4.7479 | 6.2063 | 9.3013 | 0.66438 | 0.09724 | 0.9957 |
| IHG06 | 0.5011 | 0.0385 | 0.0002 | 0.0380 | 0.00272 | 0.01953 | 0.4241 |
| IHG07 | 37.6195 | 2.8938 | 2.1801 | 5.4860 | 0.39186 | 0.15080 | 0.9861 |
| IHG08 | 0.4298 | 0.0331 | 0.0002 | 0.0336 | 0.00240 | 0.01625 | 0.3407 |
| IHG09 | 17.6347 | 1.3565 | 0.4282 | 2.3783 | 0.16988 | 0.16737 | 0.9434 |
| IHG10 | 0.3373 | 0.0259 | 0.0002 | 0.0249 | 0.00178 | 0.01349 | 0.2583 |
| IHG11 | 5.3737 | 0.4134 | 0.0278 | 0.5193 | 0.03710 | 0.15370 | 0.6934 |
| IHG12 | 0.2456 | 0.0189 | 0.0001 | 0.0115 | 0.00082 | 0.01317 | 0.0896 |
| IHG13 | 4.6993 | 0.3615 | 0.0346 | 0.6735 | 0.04811 | 0.02472 | 0.9354 |
| IHG14 | 0.1918 | 0.0148 | 0.0001 | 0.0040 | 0.00029 | 0.01275 | 0.0129 |
| IHG15 | 4.8564 | 0.3736 | 0.0303 | 0.6423 | 0.04588 | 0.05240 | 0.9712 |

La tabla 2.27 nos muestra que el coeficiente de correlación para las armónicas impares es mayor que 0.93 a excepción del valor de la armónica 11, por lo tanto a partir de los datos de la tabla podemos decir que las armónicas impares tienen correlación lineal con el número de computadoras personales. Además se pueden ver los coeficientes de regresión lineal para cada una de las armónicas.

Tabla 2.29 Amplitudes de los porcentajes de ERROR al aplicar los coeficientes de regresión lineal para varias computadoras personales.

| VALORES OBTENIDOS DE %ERROR | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|---------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| amplitud | 1 PC | 2 PC | 3 PC | 4 PC | 5 PC | 6 PC | 7 PC | 8 PC | 9 PC | 10 PC | 11 PC | 12 PC | 13 PC |
| I HG00 | 423.16 | 845.51 | 839.58 | 1409.68 | 54.70 | 71.09 | 20.29 | 2.64 | 10.89 | 6.45 | 16.81 | 5.16 | 45.17 |
| I HG01 | 1.11 | 5.65 | 7.87 | 1.86 | 2.26 | 1.08 | 2.55 | 1.80 | 0.63 | 2.81 | 1.37 | 0.30 | 2.03 |
| I HG02 | 13.82 | 4.78 | 6.60 | 50.11 | 48.46 | 39.09 | 8.53 | 8.65 | 9.26 | 5.16 | 10.34 | 4.10 | 21.60 |
| I HG03 | 4.20 | 2.59 | 5.38 | 2.92 | 0.49 | 1.03 | 3.12 | 2.69 | 0.28 | 2.82 | 1.99 | 0.61 | 1.99 |
| I HG04 | 12.34 | 8.15 | 4.92 | 49.91 | 56.66 | 41.36 | 6.81 | 9.71 | 6.19 | 8.29 | 3.61 | 8.42 | 51.46 |
| I HG05 | 0.40 | 1.95 | 1.22 | 6.49 | 1.53 | 4.59 | 5.84 | 5.76 | 0.83 | 2.73 | 2.62 | 0.85 | 1.21 |
| I HG06 | 8.14 | 4.43 | 5.61 | 53.70 | 65.49 | 42.81 | 5.25 | 5.64 | 4.29 | 11.60 | 10.74 | 17.31 | 81.78 |
| I HG07 | 5.02 | 6.13 | 2.46 | 9.89 | 2.79 | 9.63 | 9.65 | 10.56 | 2.52 | 3.09 | 4.58 | 1.47 | 0.46 |
| I HG08 | 10.75 | 0.23 | 10.26 | 58.21 | 71.60 | 46.98 | 4.40 | 3.38 | 16.00 | 16.25 | 11.67 | 25.81 | 123.03 |
| I HG09 | 9.89 | 8.44 | 3.63 | 17.54 | 10.54 | 18.34 | 17.75 | 18.51 | 5.61 | 4.34 | 8.61 | 2.35 | 1.54 |
| I HG10 | 21.60 | 0.90 | 15.02 | 52.29 | 77.24 | 54.24 | 5.08 | 16.45 | 21.87 | 15.04 | 1.64 | 29.78 | 114.19 |
| I HG11 | 21.04 | 9.83 | 17.25 | 54.98 | 14.35 | 19.33 | 33.16 | 25.65 | 6.76 | 17.46 | 22.49 | 3.98 | 6.67 |
| I HG12 | 27.43 | 18.83 | 15.89 | 43.41 | 92.41 | 62.60 | 10.97 | 28.67 | 11.81 | 2.14 | 31.68 | 27.08 | 60.11 |
| I HG13 | 1.12 | 10.92 | 12.99 | 5.59 | 9.85 | 24.54 | 14.81 | 27.26 | 9.92 | 7.81 | 0.73 | 2.02 | 8.74 |
| I HG14 | 30.76 | 47.66 | 24.98 | 48.39 | 113.25 | 68.18 | 18.72 | 14.85 | 4.34 | 25.21 | 40.43 | 3.00 | 29.74 |
| I HG15 | 48.8863 | 13.7668 | 5.6749 | 12.84 | 12.13 | 13.31 | 5.31 | 3.13 | 3.66 | 7.48 | 6.27 | 1.90 | 5.45 |

Al observar la Tabla 2.29 que muestra los % de error al aplicar los coeficientes de regresión lineal, se vuelve a observar que en el caso de las primeras quince armónicas son pocos los valores que sobrepasan el 20 % de error (los valores de las celdas marcadas con color amarillo), y que nuevamente los valores de las armónicas que producen mayor error son las pares. Por lo tanto la aplicación de los coeficientes de regresión lineal es aceptable. Además se puede ver en el % de error de las armónicas impares es menor de 7%.

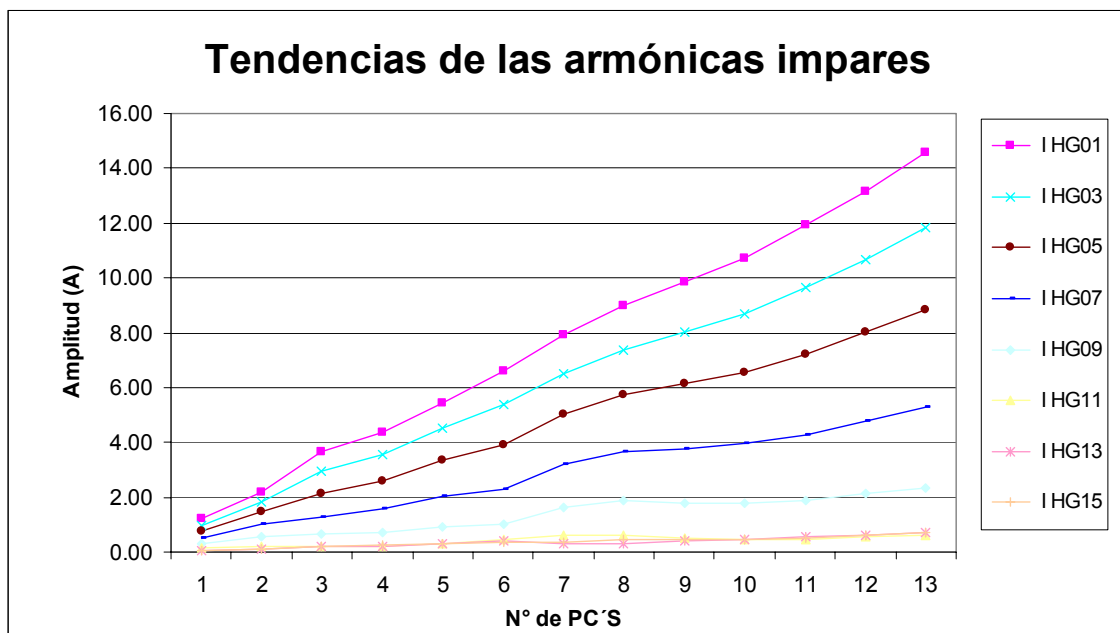


Figura 2.21 Amplitudes de cada uno de los armónicos para varias computadoras personales.

Al observar las tendencias de la gráfica se confirma que al igual que con las luminarias de 2x40 W, para el caso de las computadoras personales, las amplitudes de las armónicas mantienen una relación de tipo lineal.

Tabla 2.30 THD en %FND de cada uno de los armónicos para computadoras personales.

| THD de los armónicos para diferente número de computadoras | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| %FND | 1PC | 2PC | 3PC | 4PC | 5PC | 6PC | 7PC | 8PC | 9PC | 10PC | 11PC | 12PC | 13PC |
| IThd(%) | 115.5381 | 120.1143 | 108.8215 | 109.2462 | 112.5081 | 110.5887 | 113.9485 | 114.2925 | 111.5285 | 110.0256 | 108.6400 | 109.3826 | 109.2721 |
| IHG00 | 0.0291 | 0.0153 | 0.0151 | 0.0097 | 0.0910 | 0.4369 | 0.1784 | 0.1393 | 0.1319 | 0.1595 | 0.1258 | 0.1532 | 0.0977 |
| IHG01 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 |
| IHG02 | 1.5180 | 1.1178 | 0.7409 | 0.5086 | 0.4665 | 0.9612 | 0.6510 | 0.6280 | 0.6247 | 0.5924 | 0.4895 | 0.5452 | 0.4121 |
| IHG03 | 79.4184 | 84.8569 | 80.4944 | 81.3564 | 83.1906 | 81.8875 | 81.9103 | 82.1300 | 81.6380 | 81.3198 | 80.8134 | 81.0389 | 81.2415 |
| IHG04 | 1.7111 | 1.1249 | 0.7325 | 0.4819 | 0.4077 | 0.9006 | 0.5665 | 0.5534 | 0.5183 | 0.5186 | 0.4688 | 0.4728 | 0.2715 |
| IHG05 | 62.8783 | 66.9387 | 58.7332 | 59.4896 | 61.9628 | 59.6683 | 63.4826 | 63.8725 | 62.1641 | 61.2786 | 60.4645 | 60.8609 | 60.6697 |
| IHG06 | 1.6484 | 1.0758 | 0.6650 | 0.4275 | 0.3507 | 0.8441 | 0.5122 | 0.4863 | 0.4278 | 0.4934 | 0.4639 | 0.4795 | 0.2071 |
| IHG07 | 43.0355 | 45.5868 | 36.2942 | 36.0506 | 37.6765 | 34.9383 | 40.3241 | 40.8529 | 38.2731 | 36.8642 | 35.7426 | 36.3745 | 36.1591 |
| IHG08 | 1.3413 | 0.9466 | 0.5400 | 0.3493 | 0.2865 | 0.7724 | 0.4354 | 0.3814 | 0.3311 | 0.4489 | 0.4047 | 0.4620 | 0.1460 |
| IHG09 | 25.6777 | 25.0698 | 18.3303 | 16.5119 | 16.7118 | 15.1623 | 20.7647 | 20.8320 | 18.2308 | 16.7020 | 15.7071 | 16.3920 | 16.0558 |
| IHG10 | 0.9937 | 0.7558 | 0.4187 | 0.2879 | 0.2210 | 0.6991 | 0.3442 | 0.2648 | 0.2456 | 0.3439 | 0.2817 | 0.3774 | 0.1173 |
| IHG11 | 13.1685 | 9.0247 | 6.0569 | 4.1268 | 5.1644 | 6.7916 | 7.7864 | 6.7377 | 5.3049 | 4.1714 | 3.8427 | 4.3803 | 4.0913 |
| IHG12 | 0.8641 | 0.5535 | 0.3389 | 0.2425 | 0.1579 | 0.6347 | 0.2672 | 0.1704 | 0.1863 | 0.2037 | 0.1411 | 0.2398 | 0.1020 |
| IHG13 | 6.0027 | 5.0655 | 5.3890 | 4.9195 | 5.5862 | 6.3875 | 3.9641 | 3.5794 | 4.2244 | 4.3814 | 4.6754 | 4.6731 | 4.8889 |
| IHG14 | 0.7786 | 0.3969 | 0.2674 | 0.1979 | 0.1166 | 0.5948 | 0.2286 | 0.1457 | 0.1626 | 0.1165 | 0.0949 | 0.1269 | 0.0871 |
| IHG15 | 5.4740 | 6.1604 | 5.3218 | 6.4104 | 6.0601 | 5.8508 | 4.4664 | 4.8153 | 4.5542 | 4.4417 | 4.3923 | 4.5006 | 4.7094 |

Tabla 2.31 Datos del análisis estadístico en los valores de THD en %FND de las armónicas para varias computadoras personales.

| THD de los armónicos para diferente número de computadoras | | | | | | | | |
|--|--------------|----------|----------|---------|----------|-----------|--------|--------|
| % FND | $\Sigma\Psi$ | MEDIA | VARIANZA | VAR X Y | a | b | CORREL | STD |
| IThd(%) | 1453.9067 | 111.8390 | 10.5164 | -6.7613 | -0.48295 | 115.21965 | 0.3105 | 3.3753 |
| IHG00 | 1.5828 | 0.1218 | 0.0116 | 0.1367 | 0.00977 | 0.05338 | 0.1152 | 0.1121 |
| IHG01 | 1300.0000 | 100.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00000 | 100.00000 | 0.0000 | 0.0000 |
| IHG02 | 9.2560 | 0.7120 | 0.0907 | -0.7900 | -0.05643 | 1.10699 | 0.4915 | 0.3134 |
| IHG03 | 1061.2961 | 81.6382 | 1.5970 | -0.7575 | -0.05411 | 82.01693 | 0.0257 | 1.3153 |
| IHG04 | 8.7287 | 0.6714 | 0.1354 | -0.9976 | -0.07126 | 1.17025 | 0.5249 | 0.3830 |
| IHG05 | 802.4639 | 61.7280 | 4.4838 | -2.0570 | -0.14693 | 62.75651 | 0.0674 | 2.2040 |
| IHG06 | 8.0816 | 0.6217 | 0.1326 | -0.9569 | -0.06835 | 1.10011 | 0.4931 | 0.3791 |
| IHG07 | 498.1723 | 38.3209 | 9.5228 | -6.1521 | -0.43944 | 41.39701 | 0.2839 | 3.2119 |
| IHG08 | 6.8457 | 0.5266 | 0.0944 | -0.7799 | -0.05571 | 0.91654 | 0.4602 | 0.3198 |
| IHG09 | 242.1483 | 18.6268 | 11.1448 | -7.8720 | -0.56228 | 22.56277 | 0.3972 | 3.4747 |
| IHG10 | 5.3513 | 0.4116 | 0.0580 | -0.6089 | -0.04349 | 0.71609 | 0.4563 | 0.2508 |
| IHG11 | 80.6475 | 6.2037 | 6.4090 | -6.6293 | -0.47352 | 9.51831 | 0.4898 | 2.6350 |
| IHG12 | 4.1022 | 0.3156 | 0.0480 | -0.5736 | -0.04097 | 0.60236 | 0.4892 | 0.2281 |
| IHG13 | 63.7371 | 4.9029 | 0.5857 | -1.4343 | -0.10245 | 5.62000 | 0.2509 | 0.7965 |
| IHG14 | 3.3143 | 0.2549 | 0.0418 | -0.5223 | -0.03731 | 0.51611 | 0.4666 | 0.2127 |
| IHG15 | 67.1574 | 5.1660 | 0.5143 | -2.0430 | -0.14593 | 6.18744 | 0.5796 | 0.7465 |

Como en los casos anteriores el comportamiento armónico en %FND de las diferentes armónicas podemos ver que los valores son aproximadamente constantes, la diferencia existe en la armónica tercera, lo que es confirmado al observar el coeficiente de

correlación muestral, ya que estos valores indican que el grado de linealidad es muy bajo; mientras que la desviación estándar mostrada en la columna STD muestra valores bajos.

Por ejemplo la desviación estándar para el valor de THD fue de 3.37 con un valor promedio en %FND de 111.839%. Además el valor del coeficiente de correlación para el THD fue de 0.3105 lo que indica que no existe alguna relación de linealidad entre el valor de THD y el número de computadoras personales.

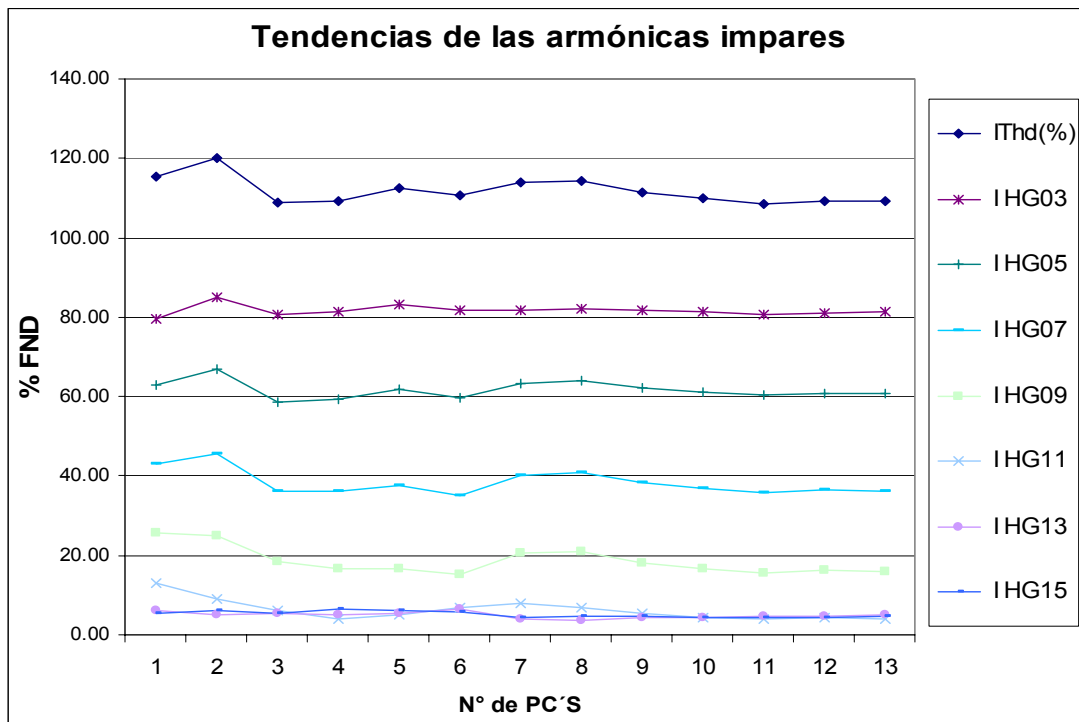


Figura 2.22 THD en %FND de cada uno de los armónicos para computadoras personales.

2.1.2.4.4 CONCLUSIONES DE HIPOTESIS DE COMPUTADORAS PERSONALES.

2.1.2.4.4.1 COMPUTADORAS PERSONALES.

A partir de los datos mostrados por la tabla 2.28, obtenemos los siguientes coeficientes de correlación muestral:

Armónico IH01 con $r^2 = 0.9981$

Armónico IH03 con $r^2 = 0.9980$

Armónico IH05 con $r^2 = 0.9957$

Armónico IH07 con $r^2 = 0.9861$

Armónico IH09 con $r^2 = 0.9434$

Armónico IH011 con $r^2 = 0.6931$

Armónico IH013 con $r^2 = 0.9355$

Armónico IH015 con $r^2 = 0.9712$

Tomando en cuenta el coeficiente de correlación muestral todas las amplitudes de cada uno de las armónicas impares cumplen la condición de ser mayor de 0.90 [1], lo que nos indica que por lo menos el 90% de los datos muestrales tienen relación lineal. En todos los casos se supera el 95% de correlación.

Prueba de la hipótesis.

1. $H_0 : \rho = 0.90$

2. Ahora se prueba la hipótesis de no asociación lineal para $H_1 : \rho > 0.90$.

3. Se asume $\rho_0 = 0.90$, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$,

4. con una región crítica de $z > 1.645$.

5. calculando $z = \frac{\sqrt{n-3}}{2} \ln \left[\frac{(1+r)(1-\rho_0)}{(1-r)(1+\rho_0)} \right]$

Armónico IH01 con $z = 7.4705$

Armónico IH03 con $z = 7.3888$

Armónico IH05 con $z = 6.1449$

Armónico IH07 con $z = 4.2832$

Armónico IH09 con $z = 2.0304$

Armónico IH011 con $z = -0.8722$

Armónico IH013 con $z = 1.8182$

Armónico IH015 con $z = 3.1246$

6. De acuerdo con los cálculos de z para cada armónica impar, la armónica IH011 no pasa la prueba de asociación de linealidad, pero debido a que ha pasado la prueba de correlación, y sus amplitudes no son muy significativas. Se puede aceptar que la dependencia de todas las amplitudes de las armónicas es lineal según el número de computadoras.

2.1.3 OBTENCION DE LOS ANGULOS DE LAS COMPONENTES ARMONICAS.

2.1.3.1 LUMINARIAS DE 2x40 WATTS.

Tabla 2.32 Angulos de las amplitudes de las armónicas de corriente de las luminarias de 2x40 W obtenidos de la medición original.

| Ang(°) | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | 5 LUM | 6 LUM | 7 LUM | a | b | CORREL |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| I HG01 | 190.4496 | 220.2672 | 219.7043 | 270.7656 | 322.3150 | 262.8500 | 322.1350 | 20.8154 | 175.0934 | 0.7636 |
| I HG02 | 150.1378 | 192.0906 | 111.8697 | 90.1462 | 129.1800 | 18.6600 | 134.7850 | -13.4146 | 171.7827 | 0.2861 |
| I HG03 | 104.4000 | 155.5564 | 185.3303 | 170.9299 | 191.8100 | 31.1850 | 192.9700 | 0.8374 | 144.1050 | 0.0009 |
| I HG04 | 116.6076 | 120.8294 | 200.0514 | 97.9137 | 274.6250 | 100.4150 | 262.0600 | 16.7894 | 100.3429 | 0.2218 |
| I HG05 | 169.1973 | 163.9342 | 228.9241 | 220.3552 | 285.0350 | 1.5500 | 285.9150 | 2.9106 | 181.9165 | 0.0041 |
| I HG06 | 211.6845 | 185.6984 | 230.1080 | 200.7882 | 159.6400 | 167.4300 | 158.0700 | -9.5660 | 225.8953 | 0.5540 |
| I HG07 | 236.7072 | 233.5702 | 253.9543 | 304.5021 | 331.6700 | 294.7150 | 334.9450 | 17.6685 | 213.6207 | 0.7885 |
| I HG08 | 171.2243 | 203.4777 | 192.9481 | 203.9991 | 218.9700 | 163.7400 | 252.6950 | 6.8200 | 173.7279 | 0.2434 |
| I HG09 | 196.5621 | 181.0710 | 182.8205 | 153.1172 | 21.0600 | 231.0200 | 23.9500 | -20.7035 | 224.1857 | 0.2806 |
| I HG10 | 158.9402 | 157.7216 | 150.4647 | 218.3253 | 272.4150 | 87.5950 | 290.3250 | 13.4233 | 137.1336 | 0.1591 |
| I HG11 | 191.4761 | 164.5449 | 188.3784 | 136.5523 | 66.6000 | 166.8250 | 72.9950 | -16.8808 | 208.5761 | 0.4927 |
| I HG12 | 174.4191 | 156.7502 | 187.1995 | 178.6664 | 347.3950 | 301.8750 | 176.7000 | 16.3317 | 152.2454 | 0.2221 |
| I HG13 | 143.3171 | 164.7410 | 132.9729 | 111.9396 | 109.1550 | 98.1800 | 116.7500 | -8.4515 | 159.0995 | 0.6276 |
| I HG14 | 151.6129 | 133.4211 | 151.6469 | 66.9930 | 26.7000 | 259.4950 | 57.6600 | -5.5235 | 143.1695 | 0.0231 |
| I HG15 | 212.0532 | 246.6829 | 202.7512 | 217.0213 | 173.9700 | 44.9850 | 181.2700 | -18.7331 | 257.6086 | 0.3841 |

La Tabla 2.32 de datos muestra los ángulos para cada una de las armónicas obtenidos a partir de las mediciones, además se muestran los coeficientes de regresión lineal y los valores del coeficiente de correlación, los cuales muestran que todos los ángulos de las armónicas impares tienen poca o nula relación de linealidad. [1]

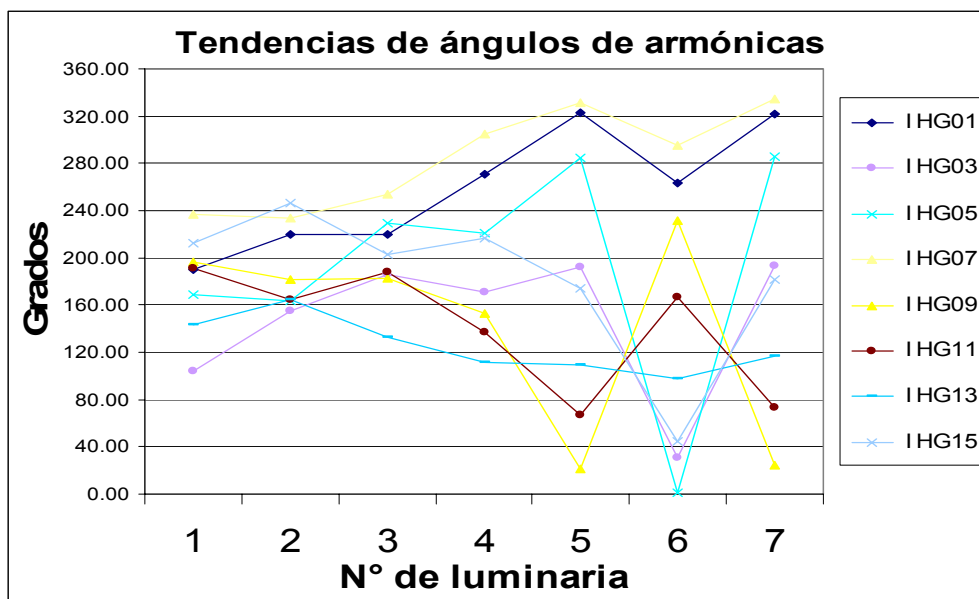


Figura 2.23 Gráfico de las tendencias de los ángulos de cada uno de los armónicos de voltaje para diferente número de luminarias de 2x40 W.

El gráfico de la figura 2.23 muestra las tendencias de los ángulos de las armónicas, las cuales como se puede ver no tienen una forma definida basada en las formas de ondas típicas [1], de ahí que no se puede aplicar una aproximación estadística basada en dichas formas de onda.

Tabla 2.33 Angulos de las amplitudes de voltaje de las luminarias de 2x40 W obtenidos con la señal de voltaje referenciada al origen.

| ANGULOS DE ARMONICAS DE VOLTAJE | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | 5 LUM | 6 LUM | 7 LUM | PROM | STD |
| IGH00 | 180.00 | 180.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 51.43 | 87.83 |
| IGH01 | 92.81 | 92.77 | 92.99 | 92.77 | 92.79 | 92.83 | 92.89 | 92.84 | 0.08 |
| IGH02 | 86.68 | 260.28 | 112.39 | 226.16 | 106.08 | 75.76 | 166.81 | 147.74 | 71.96 |
| IGH03 | 34.61 | 25.44 | 23.57 | 33.72 | 46.66 | 44.98 | 47.16 | 36.59 | 9.91 |
| IGH04 | 121.44 | 197.23 | 324.80 | 151.47 | 244.61 | 123.88 | 194.46 | 193.99 | 72.65 |
| IGH05 | 288.33 | 310.94 | 315.01 | 298.41 | 285.53 | 288.55 | 289.02 | 296.54 | 11.98 |
| IGH06 | 40.69 | 199.45 | 209.63 | 222.64 | 344.56 | 156.56 | 11.92 | 169.35 | 113.70 |
| IGH07 | 171.48 | 189.75 | 220.79 | 135.32 | 150.01 | 156.60 | 168.68 | 170.38 | 28.15 |
| IGH08 | 44.41 | 122.67 | 260.55 | 4.89 | 45.74 | 145.84 | 29.99 | 93.44 | 89.51 |
| IGH09 | 95.47 | 354.05 | 339.27 | 92.92 | 73.71 | 80.55 | 80.47 | 159.49 | 128.15 |
| IGH10 | 170.76 | 223.83 | 271.36 | 351.27 | 0.20 | 94.65 | 48.46 | 165.79 | 125.96 |
| IGH11 | 24.46 | 352.65 | 356.23 | 334.81 | 349.73 | 3.09 | 354.00 | 253.57 | 164.07 |
| IGH12 | 112.86 | 166.31 | 33.14 | 218.59 | 47.48 | 139.01 | 232.17 | 135.65 | 77.40 |
| IGH13 | 200.84 | 79.69 | 99.28 | 194.99 | 231.65 | 195.62 | 246.23 | 178.33 | 63.92 |
| IGH14 | 13.67 | 131.10 | 156.17 | 149.56 | 104.31 | 194.10 | 33.16 | 111.73 | 66.34 |
| IGH15 | 235.70 | 46.79 | 41.47 | 146.00 | 209.82 | 208.72 | 217.27 | 157.97 | 82.56 |

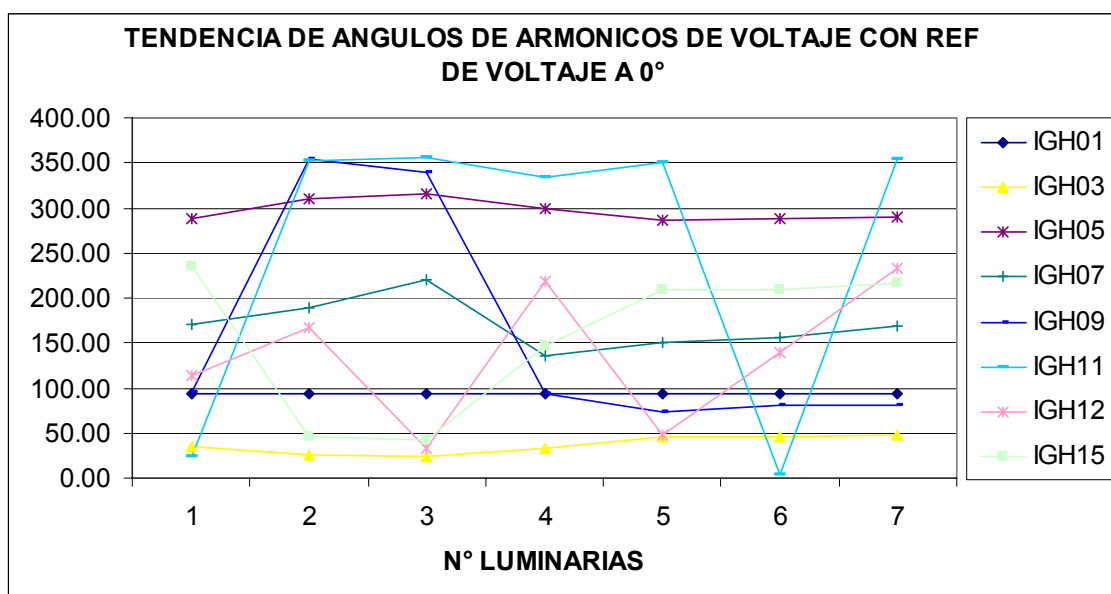


Figura 2.24 Gráfico de las tendencias de los ángulos de cada uno de los armónicos de voltaje para diferente número de luminarias de 2x40 W obtenidos con la señal de voltaje referenciada a cero.

La tabla 2.33 y la figura 2.24 muestran los valores de los ángulos de los armónicos de voltaje y se puede observar que la variación en las tendencias no es característica.

Tabla 2.34 Angulos de las amplitudes de corriente de las luminarias de 2x40 W obtenidos con la señal de voltaje referenciada al origen.

| ANGULOS DE ARMONICAS DE CORRIENTE | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 LUM | 2 LUM | 3 LUM | 4 LUM | 5 LUM | 6 LUM | 7 LUM | PROM | STD |
| | 0.00 | 180.00 | 180.00 | 180.00 | 180.00 | 0.00 | 0.00 | 102.86 | 96.21 |
| IGH01 | 87.53 | 83.07 | 86.58 | 86.43 | 145.37 | 85.85 | 145.27 | 102.87 | 29.03 |
| IGH02 | 18.21 | 3.72 | 16.87 | 132.47 | 135.26 | 27.27 | 139.75 | 67.65 | 64.18 |
| IGH03 | 216.86 | 188.96 | 200.50 | 196.30 | 20.67 | 220.07 | 22.38 | 152.25 | 89.97 |
| IGH04 | 43.41 | 17.42 | 349.24 | 144.61 | 278.69 | 121.99 | 269.17 | 174.93 | 126.40 |
| IGH05 | 191.72 | 158.86 | 170.05 | 186.77 | 119.58 | 196.09 | 121.38 | 163.49 | 32.06 |
| IGH06 | 188.33 | 130.61 | 171.16 | 7.09 | 183.73 | 183.84 | 160.20 | 146.42 | 64.57 |
| IGH07 | 132.55 | 99.35 | 105.73 | 129.67 | 170.52 | 134.12 | 177.11 | 135.58 | 29.43 |
| IGH08 | 172.14 | 167.97 | 120.77 | 291.04 | 263.51 | 181.42 | 250.97 | 206.83 | 61.94 |
| IGH09 | 71.47 | 28.41 | 40.67 | 65.17 | 227.46 | 76.35 | 231.22 | 105.82 | 86.08 |
| IGH10 | 85.17 | 29.49 | 83.97 | 201.17 | 302.93 | 105.73 | 322.39 | 161.55 | 115.35 |
| IGH11 | 12.04 | 311.38 | 332.14 | 353.06 | 277.02 | 17.26 | 286.84 | 227.11 | 147.39 |
| IGH12 | 33.54 | 326.30 | 300.08 | 187.78 | 348.27 | 11.40 | 41.34 | 178.39 | 149.04 |
| IGH13 | 299.19 | 231.77 | 253.51 | 257.33 | 327.17 | 313.10 | 335.97 | 288.29 | 40.58 |
| IGH14 | 274.50 | 257.90 | 303.97 | 197.80 | 85.96 | 324.22 | 99.36 | 220.53 | 96.03 |
| IGH15 | 260.00 | 178.18 | 204.32 | 196.52 | 36.14 | 266.49 | 47.82 | 169.92 | 93.28 |

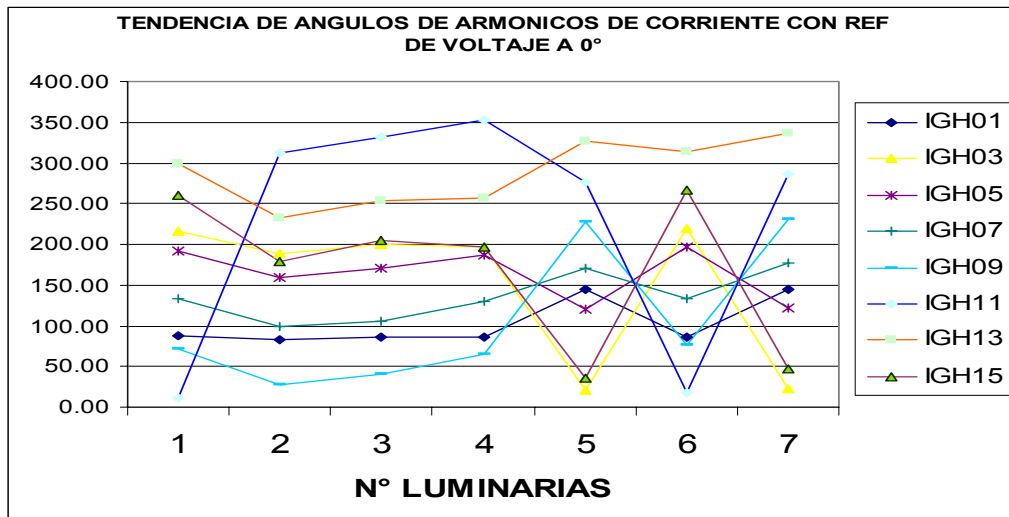


Figura 2.25. Gráfico de las tendencias de los ángulos de cada uno de los armónicos para diferente número de luminarias de 2x40 W obtenidos con la señal de voltaje a cero.

Los ángulos de las armónicas de la tabla 2.34 han sido obtenidos haciendo un desplazamiento al mismo tiempo de la forma de onda del voltaje y de la forma de onda de corriente, de modo que la onda de voltaje empiece desde cero, todo esto se ha hecho debido a que la señal de voltaje será referenciada a que comience desde un valor de cero.

Al mismo tiempo se puede observar que solo la componente fundamental se mantiene con valores constantes en cinco mediciones, pero su valor de desviación estándar de 29.03 todavía es alto; mientras que los demás valores de los ángulos tienen un valor muy alto de desviación estándar.

2.1.3.1.1 RECUPERACION DE LAS SEÑALES.

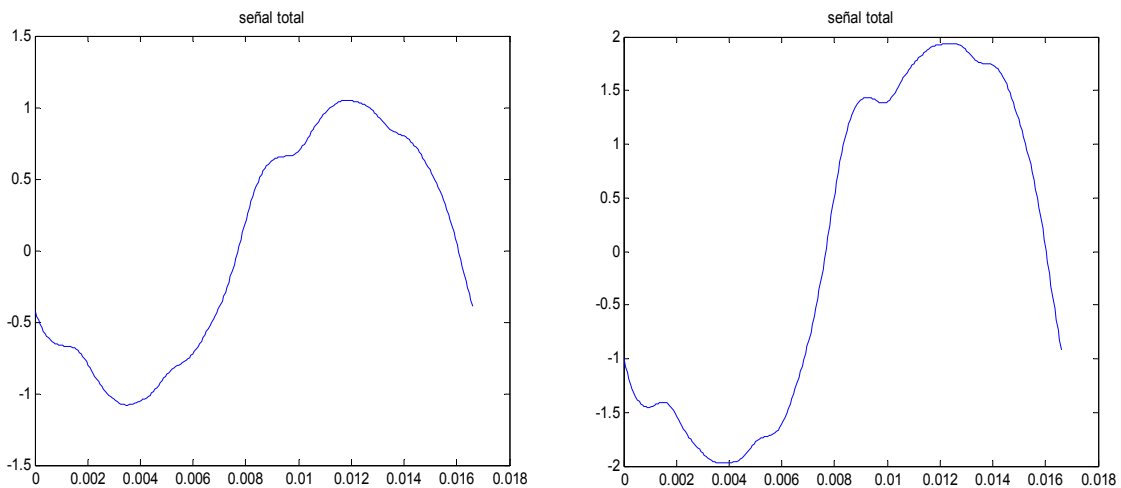


Figura 2.26. Gráfico de las formas de onda recuperadas con los ángulos promedios de la tabla 2.34.

En los gráficos de la figura 2.26 se usaron los ángulos promedios obtenidos a partir de la tabla 2.34 para recuperar la señal de la forma de onda de corriente para una y para dos luminarias de 2x40 W con las amplitudes de las armónicas de cada una de ellas. Obteniéndose como se puede ver las formas de onda muy distorsionadas, a pesar de que dichos valores usados presentaban valores de desviación estándar relativamente pequeños, lo que podría sugerir que los ángulos eran aproximadamente constantes.

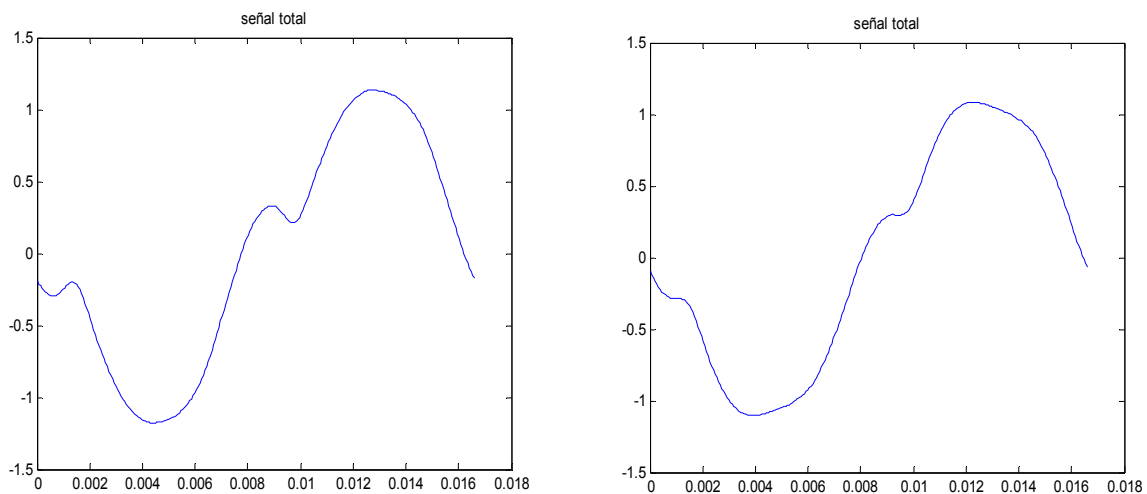


Figura 2.27. Gráfico de las formas de onda recuperadas con los ángulos de la tabla 2.34 para una luminaria de 2x40 W.

En la figura 2.27 a la izquierda aparece la forma de onda original obtenida a partir de las mediciones para una luminaria de 2x40 W. A la derecha de la figura 2.27 aparece la forma de onda de una luminaria de 2x40 W recuperada a partir de los componentes armónicos generados por los coeficientes de regresión lineal junto con los ángulos base de las armónicas obtenidas para una luminaria, que son mostrados en la tabla 2.34. Al comparar las dos gráficas se puede observar que las formas de ondas son similares.

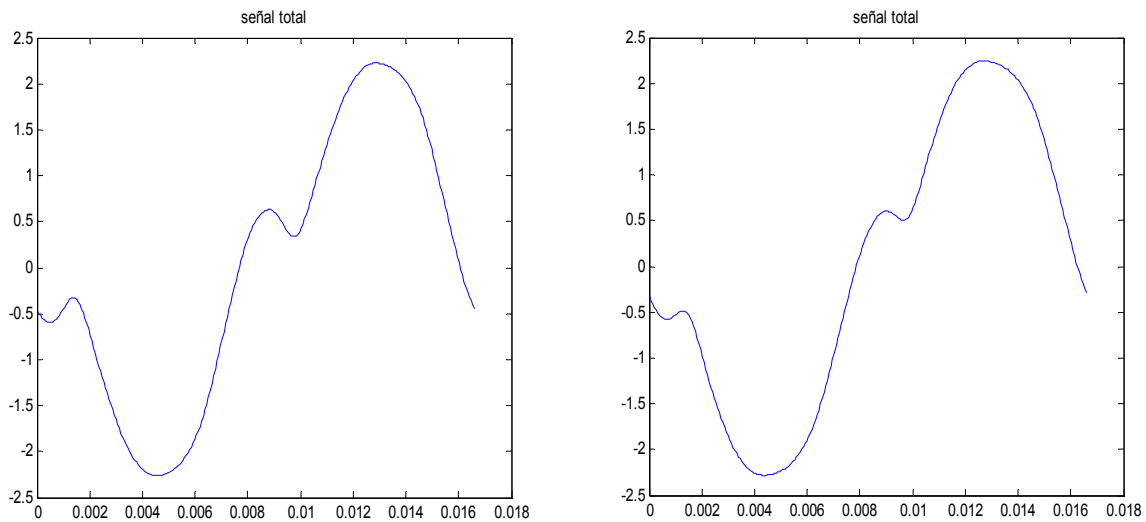


Figura 2.28. Gráfico de las formas de onda recuperadas con los ángulos de la tabla 2.34 para una luminaria de 2x40 W con las amplitudes de dos luminarias de 2x40 W.

La figura 2.28 muestra dos formas de onda una con la señal original de dos luminarias de 2x40 W que esta ubicada a la izquierda de la figura y otra con la señal recuperada a partir de los amplitudes armónicas y los ángulos base obtenidos para una luminaria los cuales pueden ser vistos en la tabla 2.34.

Al comparar las figuras anteriores se pudo comprobar que al utilizar un conjunto base de ángulos, en este caso ocupando los ángulos para una luminaria, se puede recuperar la forma de onda de corriente de modo que se aproximen a las formas de ondas originales, además se pudo observar que el caso que presentaba mayor distorsión es para una luminaria pero cuando hizo para más de una luminaria las formas de ondas eran casi idénticas.

2.1.3.2 LUMINARIAS DE 3X32 WATTS.

Tabla 2.35 Angulos de las amplitudes de corriente de una luminaria de 3x32 W obtenidos con la señal de voltaje referenciada al origen.

| UNA LUMINARIA DE 3X32W | | | | |
|------------------------|----------|--------|-----------|--------|
| | VOLTAJE | | CORRIENTE | |
| | RADIANES | GRADOS | RADIANES | GRADOS |
| IGH01 | 1.5978 | 91.55 | 1.4757 | 84.55 |
| IGH02 | 0.38373 | 21.99 | 3.127 | 179.16 |
| IGH03 | 0.65848 | 37.73 | 5.6489 | 323.66 |
| IGH04 | 4.3854 | 251.26 | 1.2215 | 69.99 |
| IGH05 | 4.8114 | 275.67 | 4.2817 | 245.32 |
| IGH06 | 3.7052 | 212.29 | 3.8371 | 219.85 |
| IGH07 | 1.9098 | 109.42 | 4.723 | 270.61 |
| IGH08 | 4.3873 | 251.37 | 0.15864 | 9.09 |
| IGH09 | 5.5223 | 316.40 | 4.122 | 236.17 |
| IGH10 | 1.7488 | 100.20 | 2.0501 | 117.46 |
| IGH11 | 4.0245 | 230.59 | 4.6407 | 265.89 |
| IGH12 | 4.4412 | 254.46 | 4.2918 | 245.90 |
| IGH13 | 0.46734 | 26.78 | 3.997 | 229.01 |
| IGH14 | 5.1802 | 296.80 | 1.4141 | 81.02 |
| IGH15 | 1.5822 | 90.65 | 3.7585 | 215.35 |

Los ángulos de las armónicas de la tabla 2.35 han sido obtenidos haciendo un desplazamiento al mismo tiempo de la forma de onda del voltaje y de la forma de onda de corriente, de modo que la fonda de voltaje empiece desde cero. De este modo se manejarán un juego de datos se ángulos de armónicos fijos y solo se variarán las amplitudes como en el caso de la luminaria de 2x40 W.

2.1.3.2.1 RECUPERACION DE LA SEÑAL.

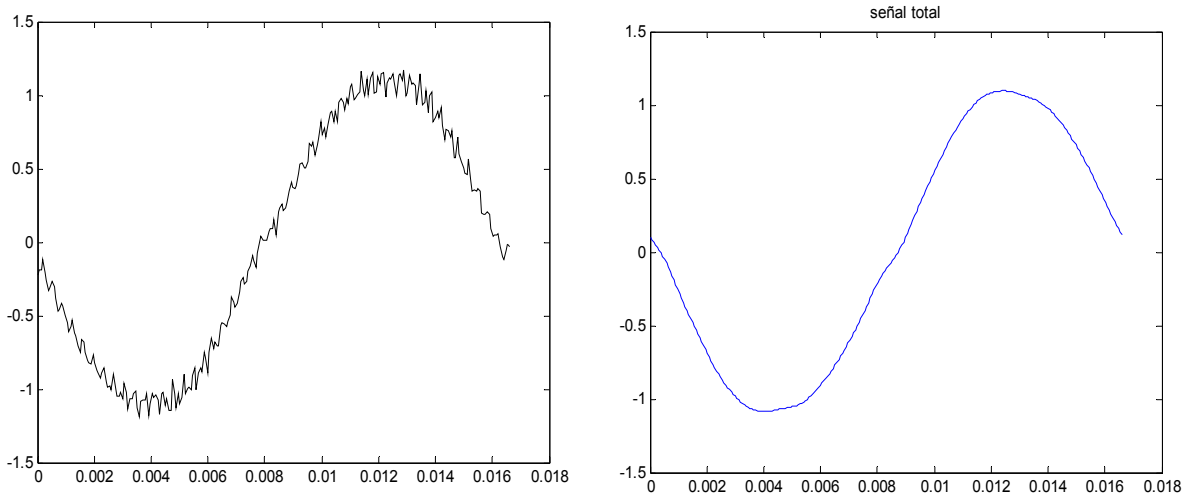


Figura 2.29. Gráfico de las formas de onda recuperadas con los ángulos de la tabla 2.35 para una luminaria de 3x32 W.

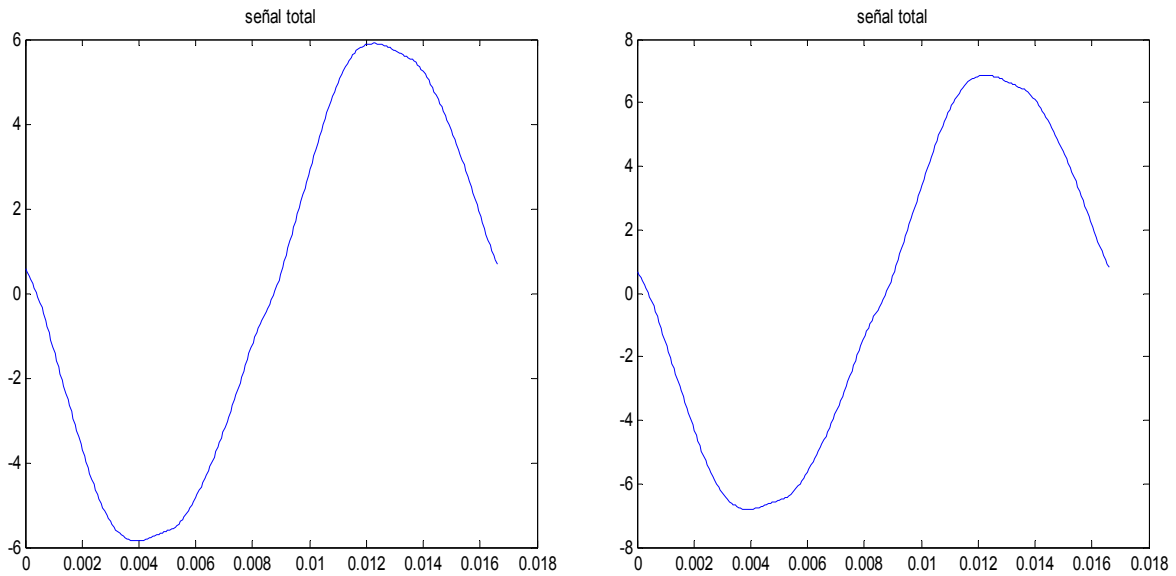


Figura 2.30. Gráfico de las formas de onda recuperadas con los ángulos de la tabla 2.35 para una luminaria de 3x32 W en las amplitudes de dos luminarias de 3x32 W.

En la figura 2.29 a la izquierda aparece la forma de onda original para una luminaria de 3x32 W. A la derecha de la figura 2.29 aparece la forma de onda de una luminaria de 3x32 W recuperada a partir de los componentes armónicos generados por los coeficientes de regresión lineal junto con los ángulos de las armónicas obtenidos para una luminaria, que son mostrados en la tabla 2.35. Al comparar las dos gráficas se puede observar que las formas de ondas son similares. Con excepción de un pequeño rizado de la señal original.

La figura 2.30 muestra dos formas de onda una con la representa la señal recuperada a partir de las amplitudes armónicas de seis luminarias de 3x32 W, que esta ubicada a la izquierda de la figura y otra con la señal recuperada a partir de los amplitudes armónicas de siete luminarias de 3x32 W, en ambas gráficas se usaron los ángulos obtenidos para una luminaria de 3x32 W los cuales están en la tabla 2.35.

De acuerdo a las figuras 1.28 y 1.29 con la utilización de un conjunto de datos base de ángulos de armónicos se puede recuperar las señales de corriente que representan a la luminaria de 3x32 W.

En conclusión solo se obtendrían las amplitudes de las armónicas a partir de los coeficiente de regresión lineal obtenidos junto con un conjunto base de ángulos para representar la carga no lineal.

2.1.3.3 COMPUTADORAS PERSONALES.

Tabla 2.36 Angulos de las amplitudes de las armónicas de corriente de las computadoras personales obtenidos de la medición original.

| ang(°) | 1PC | 2PC | 3PC | 4PC | 5PC | 6PC | 7PC | 8PC | 9PC | 10PC | 11PC | 12PC | 13PC |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| IHG01 | 249.0606 | 268.4783 | 164.1876 | 178.1272 | 244.0342 | 228.1668 | 262.8753 | 256.6060 | 250.6060 | 262.0260 | 256.5197 | 268.2290 | 249.3307 |
| IHG02 | 181.4743 | 208.8411 | 172.3149 | 157.6070 | 197.3206 | 190.0950 | 248.1487 | 243.5293 | 255.7317 | 263.5757 | 268.7067 | 281.5333 | 231.6180 |
| IHG03 | 104.2754 | 109.1370 | 220.5867 | 163.0131 | 94.8122 | 133.8232 | 106.3513 | 111.0027 | 118.1340 | 105.5750 | 112.6927 | 99.7300 | 114.8057 |
| IHG04 | 169.9815 | 153.5880 | 208.7016 | 195.0045 | 158.6698 | 190.7106 | 157.0480 | 90.5810 | 79.8137 | 141.1020 | 102.2773 | 97.7740 | 156.7260 |
| IHG05 | 235.9642 | 262.9016 | 161.5498 | 176.9899 | 248.7463 | 229.1442 | 271.5760 | 263.2697 | 258.7803 | 269.8423 | 266.8940 | 276.2573 | 253.2977 |
| IHG06 | 170.2549 | 192.9059 | 176.3820 | 154.6987 | 204.2363 | 174.3242 | 237.0267 | 240.1933 | 247.4607 | 261.7730 | 282.8150 | 287.6403 | 215.2850 |
| IHG07 | 122.1315 | 97.3062 | 204.5950 | 171.2883 | 111.1763 | 139.1799 | 122.2103 | 124.3087 | 132.8107 | 119.5553 | 128.7230 | 114.5577 | 125.3963 |
| IHG08 | 155.3645 | 133.1851 | 208.3097 | 193.5412 | 148.4889 | 181.3214 | 135.1660 | 105.2687 | 83.6897 | 119.9630 | 115.2107 | 108.3377 | 144.8593 |
| IHG09 | 228.7375 | 251.1293 | 145.7534 | 187.5724 | 273.1437 | 241.6159 | 291.9357 | 279.2050 | 277.4670 | 288.0627 | 287.2777 | 296.6987 | 269.3707 |
| IHG10 | 209.9862 | 177.6510 | 140.4101 | 153.0218 | 213.6356 | 183.6224 | 248.8683 | 241.2297 | 269.9527 | 295.1303 | 295.5677 | 286.3040 | 202.0627 |
| IHG11 | 129.3818 | 102.0573 | 196.3897 | 198.9053 | 206.6087 | 161.3982 | 156.6057 | 162.2653 | 182.8020 | 173.8343 | 182.9697 | 176.9287 | 186.0313 |
| IHG12 | 116.5326 | 149.4678 | 174.0978 | 217.2514 | 148.6858 | 167.6399 | 180.1943 | 135.5230 | 164.8847 | 105.5943 | 114.9267 | 104.7080 | 208.2467 |
| IHG13 | 170.5991 | 162.4012 | 179.5113 | 139.3203 | 84.4372 | 166.8789 | 68.6300 | 84.6347 | 103.6360 | 97.4170 | 110.8867 | 89.9470 | 97.7747 |
| IHG14 | 173.6851 | 212.0296 | 116.7629 | 162.5824 | 202.7142 | 204.1512 | 134.8823 | 73.8047 | 116.5700 | 213.3173 | 148.3383 | 208.3103 | 119.8120 |
| IHG15 | 225.4804 | 242.1832 | 130.9001 | 175.6887 | 260.2973 | 231.3866 | 278.2207 | 268.1123 | 269.6850 | 284.0940 | 285.6743 | 289.3267 | 255.8740 |

Tabla 2.37 Datos del análisis estadístico aplicado a los ángulos de las amplitudes de las armónicas de corriente de las computadoras personales.

| ang(°) | Σ | MEDIA | VARIANZA | VAR X Y | a | b | CORREL | STD |
|--------|-----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|--------|---------|
| IHG01 | 3138.2473 | 241.4036 | 1011.7753 | 50.9986 | 3.64276 | 215.90434 | 0.1836 | 33.1072 |
| IHG02 | 2900.4962 | 223.1151 | 1528.7122 | 118.3118 | 8.45084 | 163.95921 | 0.6540 | 40.6953 |
| IHG03 | 1593.9389 | 122.6107 | 1080.0021 | -43.3785 | -3.09846 | 144.29993 | 0.1245 | 34.2053 |
| IHG04 | 1901.9780 | 146.3060 | 1621.1058 | -92.6038 | -6.61456 | 192.60791 | 0.3778 | 41.9070 |
| IHG05 | 3174.2134 | 244.1703 | 1198.2655 | 70.8390 | 5.05993 | 208.75075 | 0.2991 | 36.0294 |
| IHG06 | 2844.9960 | 218.8458 | 1802.5252 | 126.3943 | 9.02816 | 155.64872 | 0.6331 | 44.1898 |
| IHG07 | 1713.2493 | 131.7884 | 712.9234 | -24.9533 | -1.78238 | 144.26508 | 0.0624 | 27.7909 |
| IHG08 | 1832.7059 | 140.9774 | 1232.6985 | -75.8500 | -5.41786 | 178.90239 | 0.3334 | 36.5434 |
| IHG09 | 3317.9696 | 255.2284 | 1863.7546 | 106.5730 | 7.61236 | 201.94192 | 0.4353 | 44.9340 |
| IHG10 | 2917.4425 | 224.4187 | 2590.5163 | 131.7631 | 9.41165 | 158.53709 | 0.4787 | 52.9754 |
| IHG11 | 2216.1780 | 170.4752 | 776.9444 | 41.4319 | 2.95942 | 149.75928 | 0.1578 | 29.0119 |
| IHG12 | 1987.7530 | 152.9041 | 1262.7651 | -18.8376 | -1.34555 | 162.32289 | 0.0201 | 36.9864 |
| IHG13 | 1556.0741 | 119.6980 | 1375.5180 | -95.6364 | -6.83117 | 167.51621 | 0.4750 | 38.6024 |
| IHG14 | 2086.9603 | 160.5354 | 1954.9977 | -28.1510 | -2.01079 | 174.61091 | 0.0290 | 46.0208 |
| IHG15 | 3196.9233 | 245.9172 | 2010.2434 | 109.0687 | 7.79062 | 191.38285 | 0.4227 | 46.6665 |

Los datos mostrados en la tabla 2.37 nos indican a partir de los valores del coeficiente de correlación que todas las armónicas incluyendo las pares no presentan ninguna relación de linealidad, además se puede ver que los valores de la desviación estándar mostrados por la columna STD de la tabla mencionada son muy altos para indicar que los valores de los ángulos se mantienen constantes. [1]

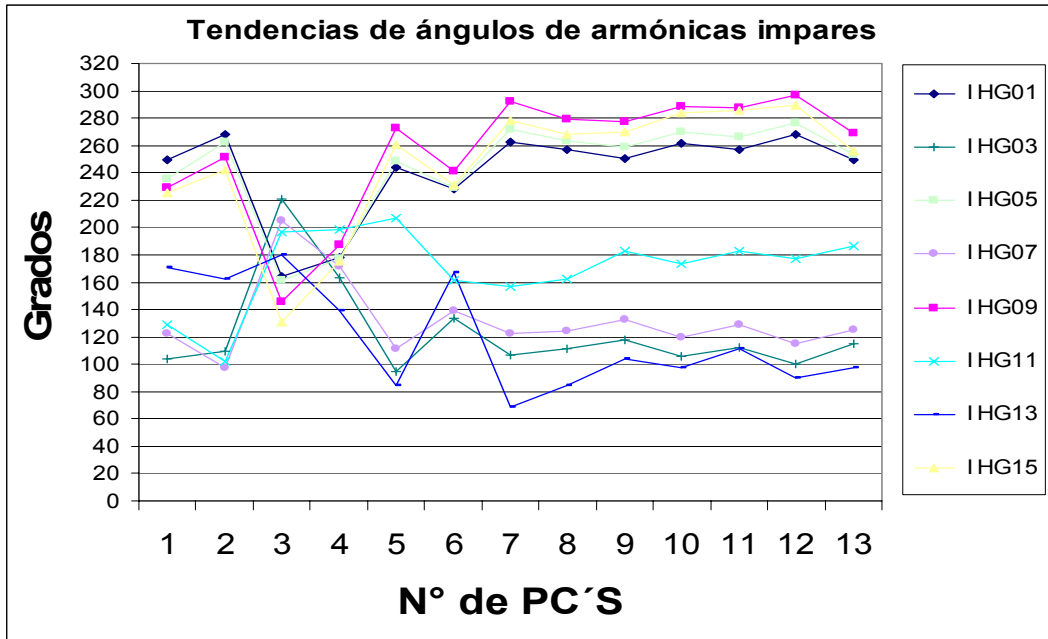


Figura 2.31. Gráfico de las tendencias de los ángulos de cada uno de los armónicos de corriente para diferentes números de computadoras personales.

A partir de la figura 2.31 podemos decir que las tendencias de los ángulos de las armónicas no tienen una forma de onda característica de modo que se les pueda aplicar un análisis estadístico para poder predecir su comportamiento, lo que viene a comprobar gráficamente lo establecido en la tabla 2.37. [1]

Tabla 2.38 Angulos de las amplitudes de las armónicas de corriente de las computadoras personales obtenidos a partir de la señal original.

| ANGULOS DE ARMÓNICAS DE CORRIENTE | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 PC | 2 PC | 3 PC | 4 PC | 5 PC | 6 PC | 7 PC | 8 PC | 9 PC | 10 PC | 11 PC | 12 PC | 13 PC |
| IGH00 | 180.00 | 0.00 | 180.00 | 180.00 | 180.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 180.00 | 180.00 | 180.00 | 180.00 |
| IGH01 | 273.78 | 273.56 | 95.12 | 93.08 | 272.19 | 272.45 | 270.05 | 274.92 | 274.72 | 273.56 | 274.33 | 274.40 | 273.52 |
| IGH02 | 315.68 | 152.45 | 2.69 | 317.72 | 127.90 | 327.50 | 300.97 | 54.33 | 242.61 | 315.68 | 213.70 | 335.12 | 27.07 |
| IGH03 | 76.62 | 87.38 | 269.17 | 267.20 | 89.37 | 88.52 | 236.51 | 94.56 | 93.94 | 93.33 | 94.30 | 94.31 | 91.59 |
| IGH04 | 99.83 | 306.11 | 219.37 | 119.98 | 280.00 | 115.35 | 76.90 | 259.16 | 68.51 | 104.39 | 70.59 | 122.22 | 199.45 |
| IGH05 | 255.99 | 269.21 | 90.55 | 86.38 | 273.80 | 272.69 | 325.27 | 283.94 | 282.42 | 281.47 | 283.06 | 283.59 | 278.78 |
| IGH06 | 253.87 | 102.18 | 56.99 | 283.17 | 89.04 | 285.01 | 243.52 | 106.68 | 248.04 | 274.76 | 276.45 | 282.20 | 15.28 |
| IGH07 | 66.94 | 87.89 | 261.53 | 258.23 | 95.44 | 93.50 | 216.08 | 111.35 | 107.93 | 107.69 | 109.22 | 111.43 | 103.85 |
| IGH08 | 51.65 | 177.09 | 250.62 | 70.72 | 256.85 | 94.22 | 6.13 | 302.88 | 65.55 | 87.94 | 128.07 | 76.78 | 162.14 |
| IGH09 | 238.57 | 268.45 | 73.35 | 70.99 | 280.36 | 277.68 | 45.99 | 309.08 | 299.38 | 301.13 | 302.49 | 310.65 | 297.67 |
| IGH10 | 205.76 | 324.49 | 69.63 | 192.31 | 65.23 | 259.53 | 88.29 | 130.53 | 234.94 | 261.94 | 341.71 | 230.58 | 292.88 |
| IGH11 | 43.80 | 91.28 | 249.68 | 248.53 | 110.64 | 107.39 | 224.77 | 187.27 | 150.17 | 165.30 | 180.54 | 199.66 | 172.36 |
| IGH12 | 366.12 | 133.01 | 246.39 | 314.34 | 202.52 | 102.51 | 261.46 | 266.24 | 27.05 | 21.38 | 193.21 | 353.49 | 106.58 |
| IGH13 | 184.92 | 282.68 | 78.89 | 165.08 | 4.58 | 12.58 | 170.45 | 80.04 | 78.51 | 87.67 | 95.72 | 93.08 | 77.64 |
| IGH14 | 138.86 | 282.00 | 55.87 | 98.15 | 288.62 | 89.89 | 31.98 | 33.69 | 121.24 | 93.11 | 43.62 | 64.84 | 237.64 |
| IGH15 | 290.71 | 214.44 | 32.62 | 54.90 | 259.58 | 258.66 | 4.73 | 289.58 | 293.73 | 298.41 | 299.81 | 310.10 | 284.42 |

Tabla 2.39 Datos del análisis estadístico aplicado a los ángulos de las amplitudes de las armónicas de corriente de las computadoras personales.

| ANGULOS DE ARMONICAS DE CORRIENTE | | | | | |
|-----------------------------------|--------|---------------|-----------|----------|--------|
| | PROM | $\sum Xi^2Xi$ | $\sum Xi$ | VAR | STD |
| IGH00 | 124.62 | 291600.00 | 1620.00 | 7476.92 | 86.47 |
| IGH01 | 121.70 | 248452.08 | 1582.05 | 4660.28 | 68.27 |
| IGH02 | 218.96 | 780899.45 | 2846.53 | 13134.50 | 114.61 |
| IGH03 | 242.99 | 821452.09 | 3158.82 | 4491.97 | 67.02 |
| IGH04 | 171.92 | 503264.31 | 2235.02 | 9917.35 | 99.59 |
| IGH05 | 124.00 | 254829.45 | 1612.05 | 4577.48 | 67.66 |
| IGH06 | 227.05 | 768429.55 | 2951.67 | 8187.32 | 90.48 |
| IGH07 | 250.23 | 876694.21 | 3252.96 | 5226.12 | 72.29 |
| IGH08 | 149.28 | 394335.65 | 1940.69 | 8718.46 | 93.37 |
| IGH09 | 132.30 | 273617.80 | 1719.91 | 3839.44 | 61.96 |
| IGH10 | 201.35 | 662451.99 | 2617.58 | 11282.87 | 106.22 |
| IGH11 | 199.63 | 746403.27 | 2595.25 | 19025.16 | 137.93 |
| IGH12 | 216.66 | 721339.27 | 2816.54 | 9259.72 | 96.23 |
| IGH13 | 225.01 | 755361.75 | 2925.17 | 8096.72 | 89.98 |
| IGH14 | 157.80 | 495594.86 | 2051.37 | 14324.46 | 119.68 |
| IGH15 | 121.66 | 235025.54 | 1581.55 | 3551.56 | 59.60 |

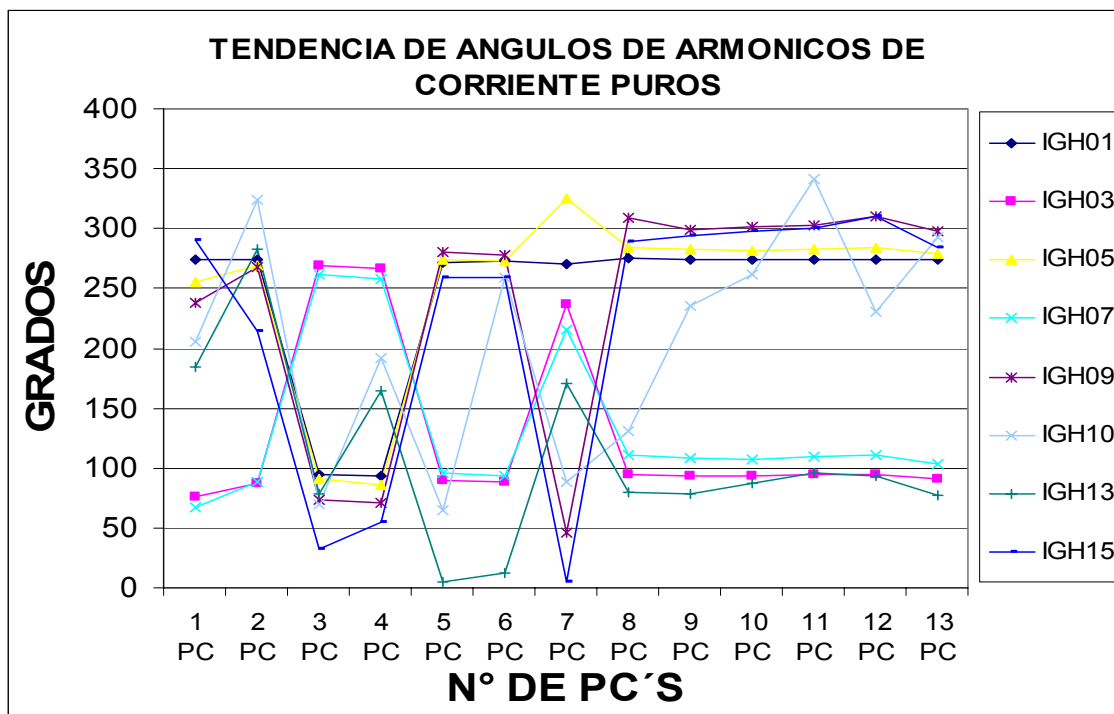


Figura 2.32. Gráfico de las tendencias de los ángulos de cada uno de los armónicos de corriente obtenidos a partir de la señal original.

Como en las figuras anteriores las tendencias de los ángulos no siguen una forma característica para poder evaluar un análisis estadístico y poder hacer una predicción de dichos ángulos en función del número de computadoras.

Tabla 2.40 Angulos de las amplitudes de corriente de las computadoras personales obtenidos con la señal de voltaje referenciada al origen.

| ANGULOS DE ARMONICAS DE CORRIENTE | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 PC | 2 PC | 3 PC | 4 PC | 5 PC | 6 PC | 7 PC | 8 PC | 9 PC | 10 PC | 11 PC | 12 PC | 13 PC |
| IGH00 | 180.00 | 180.00 | 180.00 | 180.00 | 180.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 180.00 | 180.00 | 180.00 | 180.00 |
| IGH01 | 93.84 | 93.54 | 276.53 | 274.47 | 92.14 | 92.48 | 93.58 | 94.93 | 94.73 | 93.59 | 94.34 | 94.38 | 93.50 |
| IGH02 | 312.52 | 97.86 | 13.18 | 339.09 | 168.72 | 296.38 | 160.30 | 44.76 | 221.96 | 317.92 | 211.19 | 332.06 | 330.59 |
| IGH03 | 256.72 | 267.16 | 93.29 | 91.42 | 269.13 | 268.60 | 270.40 | 274.64 | 273.99 | 273.40 | 274.30 | 274.25 | 271.51 |
| IGH04 | 97.33 | 303.27 | 217.62 | 138.60 | 333.74 | 85.21 | 315.49 | 251.64 | 55.18 | 107.65 | 67.41 | 119.01 | 142.90 |
| IGH05 | 76.14 | 88.95 | 277.49 | 273.40 | 93.44 | 92.84 | 96.42 | 104.07 | 102.51 | 101.59 | 103.05 | 103.48 | 98.66 |
| IGH06 | 251.69 | 325.40 | 65.12 | 293.33 | 141.19 | 274.59 | 108.99 | 96.67 | 240.72 | 279.28 | 271.83 | 281.44 | 321.41 |
| IGH07 | 247.12 | 267.35 | 91.29 | 88.09 | 274.87 | 273.68 | 278.96 | 291.55 | 288.09 | 287.79 | 289.20 | 291.30 | 283.67 |
| IGH08 | 49.94 | 127.11 | 276.77 | 64.62 | 287.29 | 98.66 | 255.62 | 293.47 | 59.98 | 93.41 | 120.31 | 78.64 | 134.86 |
| IGH09 | 58.69 | 88.10 | 265.99 | 263.62 | 99.65 | 97.75 | 105.70 | 129.28 | 119.62 | 121.10 | 122.35 | 130.54 | 117.52 |
| IGH10 | 205.57 | 300.02 | 100.43 | 190.22 | 0.61 | 289.08 | 36.49 | 123.04 | 237.14 | 268.97 | 327.46 | 230.22 | 308.31 |
| IGH11 | 223.62 | 270.74 | 84.99 | 83.88 | 289.54 | 287.04 | 300.54 | 7.28 | 329.89 | 344.83 | 0.98 | 19.62 | 352.30 |
| IGH12 | 359.07 | 102.75 | 278.33 | 336.43 | 154.52 | 119.22 | 178.55 | 269.70 | 291.81 | 72.47 | 175.31 | 319.58 | 158.78 |
| IGH13 | 3.30 | 104.79 | 276.82 | 358.50 | 182.14 | 192.26 | 216.07 | 260.35 | 256.73 | 268.65 | 276.70 | 272.10 | 256.76 |
| IGH14 | 148.33 | 270.63 | 91.19 | 126.24 | 326.82 | 358.09 | 321.24 | 9.50 | 71.12 | 101.55 | 18.51 | 89.95 | 118.22 |
| IGH15 | 110.87 | 37.70 | 232.41 | 255.96 | 78.35 | 80.47 | 90.31 | 110.12 | 113.55 | 118.98 | 120.62 | 128.90 | 103.31 |

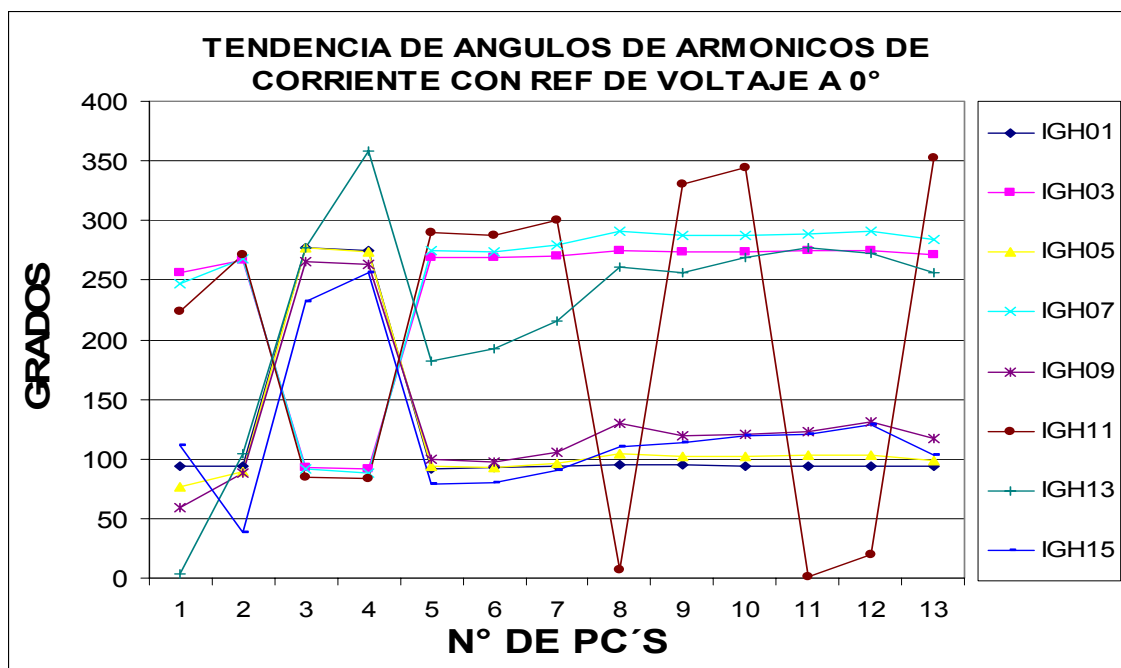


Figura 2.33. Gráfico de las tendencias de los ángulos de las amplitudes de corriente de las computadoras personales obtenidos con la señal de voltaje referenciada al origen.

Los datos presentados en la figura 2.33 han sido obtenidos referenciado la señal de voltaje para que empiece desde el origen. Y como lo muestran las tendencias no tienen una forma característica definida.

2.1.3.3.1 RECUPERACION DE LA SEÑAL.

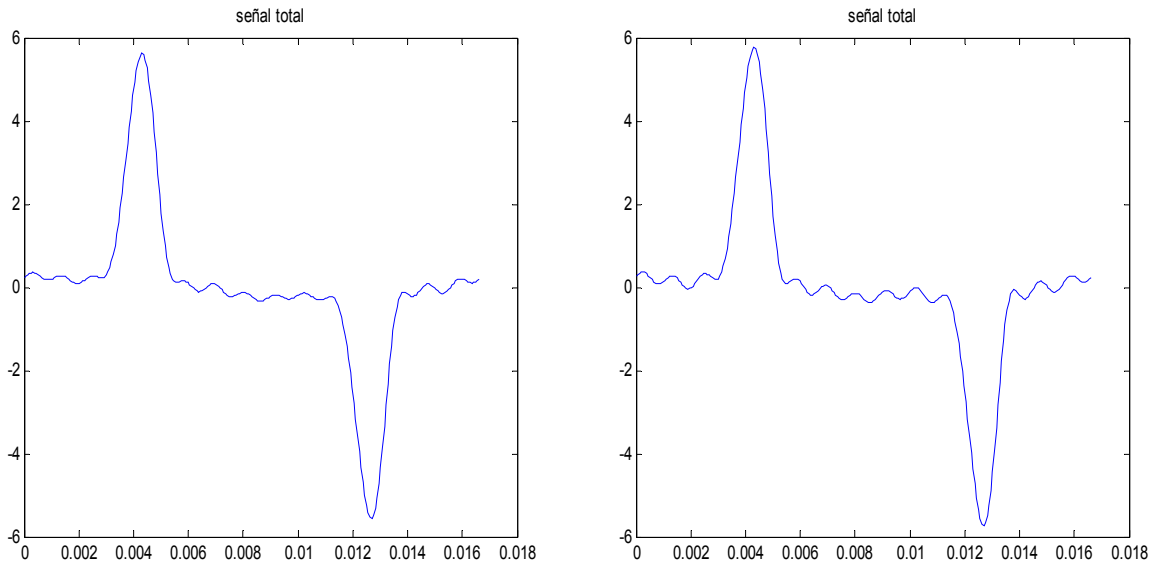


Figura 2.34. Gráfico de las formas de onda recuperadas para una computadora personal.

En la figura 2.34 se muestra la comparación de la señal generada con las amplitudes armónicas y los ángulos obtenidos para una computadora personal contra la señal original de la medición y se puede observar que la diferencia entre una señal y otra es mínima.

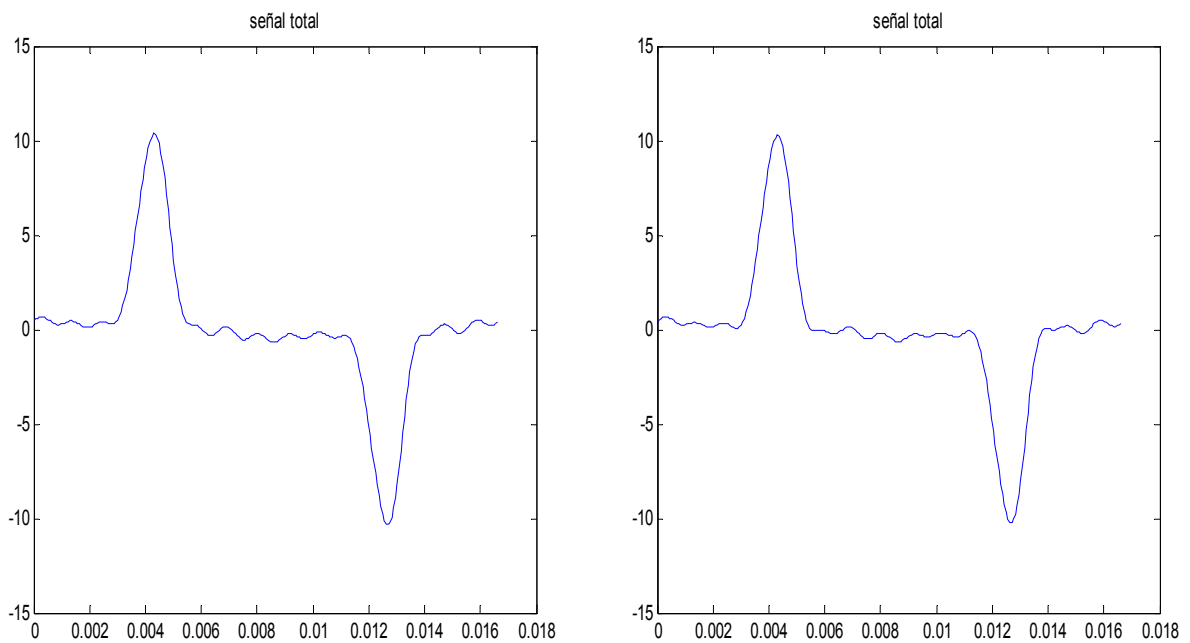


Figura 2.35. Gráfico de las formas de onda recuperadas para dos computadoras personales.

Como en el caso de una computadora, cuando se ocupan dos computadoras las diferencias entre las señales obtenidas son mínimas.

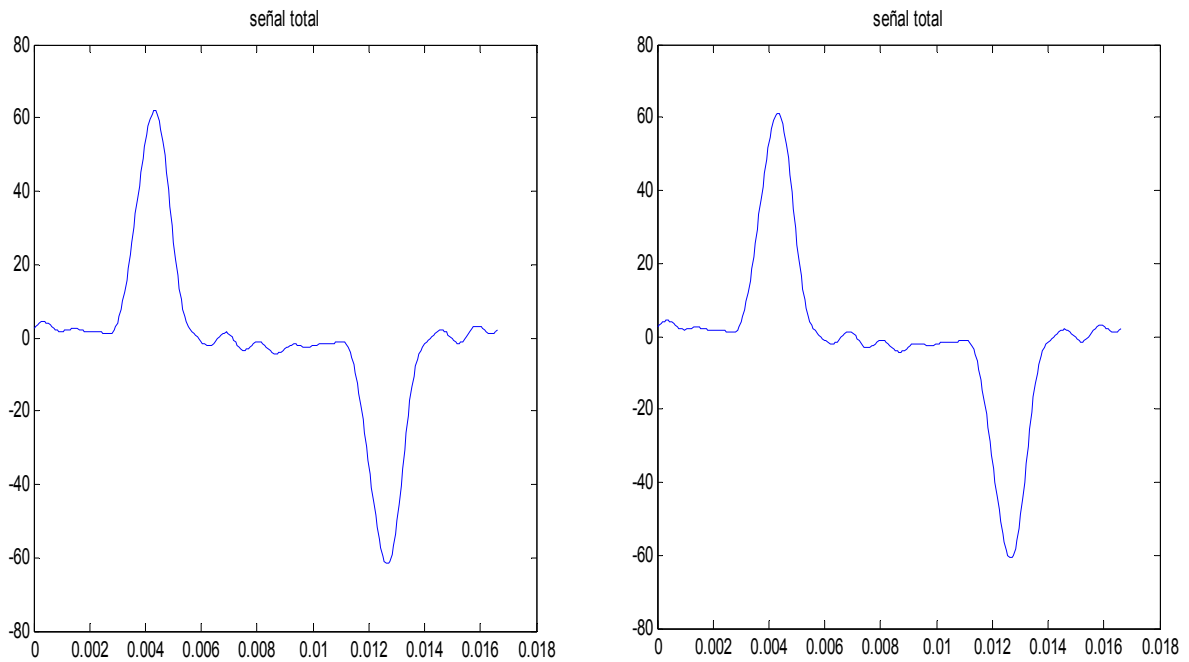


Figura 2.36. Gráfico de las formas de onda recuperadas para trece computadoras personales.

Al observar el comportamiento de las señales generadas usando un conjunto de ángulos para la recuperación de las señales podemos concluir que la mejor manera de reproducir las señales es como se dijo utilizar un juego de datos junto con los coeficientes de regresión lineal para generar las cargas no lineales estudiadas.

2.2 MODELOS DE CARGAS NO LINEALES OBTENIDAS TEORICAMENTE.

2.2.1 MARCO TEORICO.

Cada vez son más los dispositivos y sistemas que en una o varias de sus etapas son accionados por energía eléctrica. Los accionamientos consisten, en general, en procesos que transforman la energía eléctrica en otro tipo de energía, o en el mismo tipo, pero con diferentes características. Los encargados de realizar dichos procesos son los Sistemas de Potencia.

Las aplicaciones de la electrónica estuvieron limitadas durante mucho tiempo a las técnicas de alta frecuencia (emisores, receptores, etc.). En la evolución de la electrónica industrial, las posibilidades estaban limitadas por la falta de fiabilidad de los elementos electrónicos entonces disponibles (tubos amplificadores, tiratrones, resistencias, condensadores). Esta fiabilidad era insuficiente para responder a las altas exigencias que se requerían en las nuevas aplicaciones del campo industrial.

En general, cualquier conversión de energía eléctrica se puede realizar por procedimientos electromecánicos o por procedimientos electrónicos. Los convertidores electrónicos disponen de las siguientes ventajas frente a los electromecánicos:

1. Mayor flexibilidad y más posibilidades de control.
2. Mayor estabilidad y mayor rapidez de respuesta, gracias a las características eléctricas.
3. Menor mantenimiento al no disponer de partes mecánicas.
4. Mayor vida media y mayor fiabilidad.
5. No producción del arco eléctrico.

Como inconvenientes se pueden destacar:

Menor robustez eléctrica, al disponer de menor capacidad para soportar sobretensiones y sobrecorrientes.

Mayor coste para algunas de sus aplicaciones.

La mayor flexibilidad y controlabilidad de los dispositivos electrónicos, hace que se apliquen para resolver procesos cada vez más complejos. Un equipo electrónico de potencia consta fundamentalmente de dos partes, tal como se simboliza en la siguiente figura:

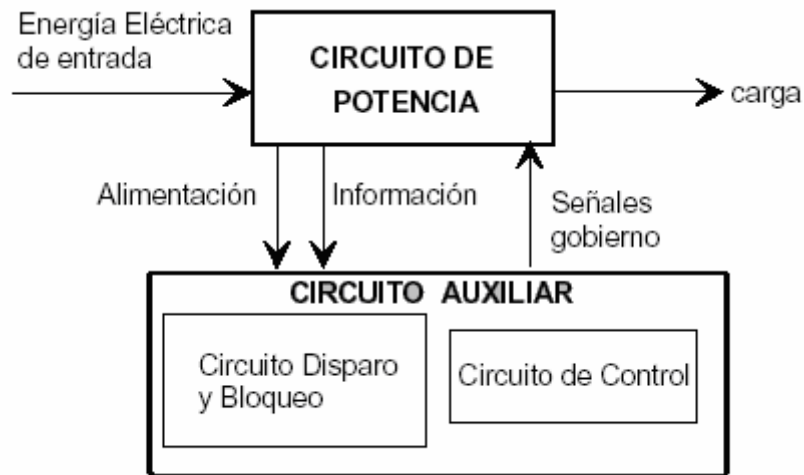


Figura 2.37 Diagrama de bloques de un Sistema de Potencia.

1. Un circuito de Potencia, compuesto de semiconductores de potencia y elementos pasivos, que liga la fuente primaria de alimentación con la carga.
2. Un circuito de mando, que elabora la información proporcionada por el circuito de potencia y genera unas señales de excitación que determinan la conducción de los semiconductores controlados con una fase y secuencia conveniente.

En la Electrónica de Potencia, el concepto principal es el rendimiento. El elemento de base no puede trabajar en régimen de amplificación pues las pérdidas serían elevadas, es necesario trabajar en régimen de conmutación, siendo el componente de base el semiconductor quien trabaja como interruptor. Este componente trabajando en conmutación deberá cumplir las siguientes características:

- Tener dos estados claramente definidos, uno de alta impedancia (bloqueo) y otro de baja impedancia (conducción).
- Poder controlar el paso de un estado a otro con facilidad y con pequeña potencia de control.
- Ser capaz de soportar altas tensiones cuando está bloqueado y grandes intensidades, con pequeñas caídas de tensión entre sus extremos, cuando está en conducción.
- Rapidez de funcionamiento para pasar de un estado a otro.

Así podemos definir la Electrónica de Potencia de la siguiente manera:

Electrónica de Potencia es la parte de la Electrónica encargada del estudio de dispositivos, circuitos, sistemas y procedimientos para el procesamiento, control y conversión de la energía eléctrica.

El campo de la Electrónica de Potencia puede dividirse en grandes disciplinas o bloques temáticos:

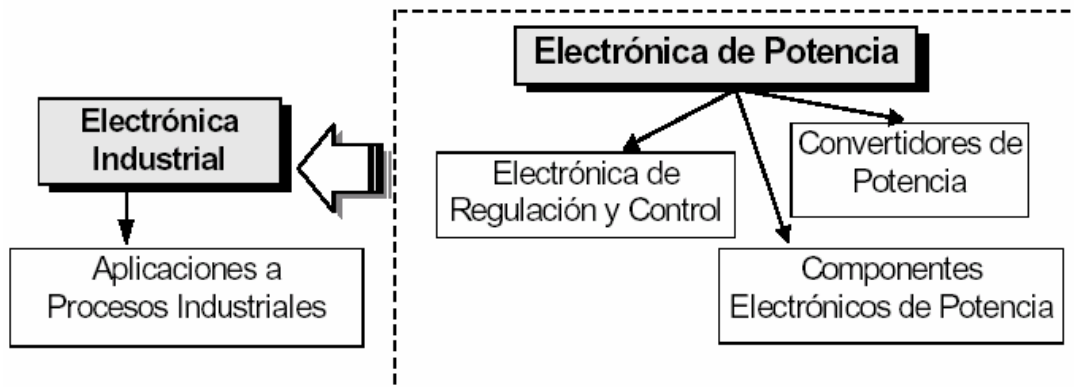


Figura 2.38 Bloques temáticos que comprende la Electrónica de Potencia

2.2.1.1 SISTEMAS DE POTENCIA.

Los sistemas electrónicos de potencia consisten en uno o más convertidores de potencia, que gobiernan la transferencia de energía. El convertidor es el módulo básico en un sistema de potencia.

En general, un convertidor controla y moldea la magnitud eléctrica de entrada V_i , frecuencia f_i y número de fases m_i , en una magnitud eléctrica de salida V_o , frecuencia f_o y número de fases m_o . La potencia puede fluir de forma reversible, intercambiándose los papeles entre la entrada y la salida.

De manera general se puede abordar el estudio de los distintos convertidores en función de los cuatro tipos de conversión posibles:

1. Conversión alterna-continua.
2. Conversión alterna-alterna.
3. Conversión continua-alterna.
4. Conversión continua-continua.

Desde el punto de vista real, dado que el funcionamiento del sistema encargado de transformar el tipo de “presentación” de la energía eléctrica viene condicionado por el tipo de energía disponible en su entrada, se ha tomado en general como criterio, clasificar los convertidores estáticos de energía en función del tipo de energía eléctrica que los alimenta, tal y como se muestra en la siguiente figura:

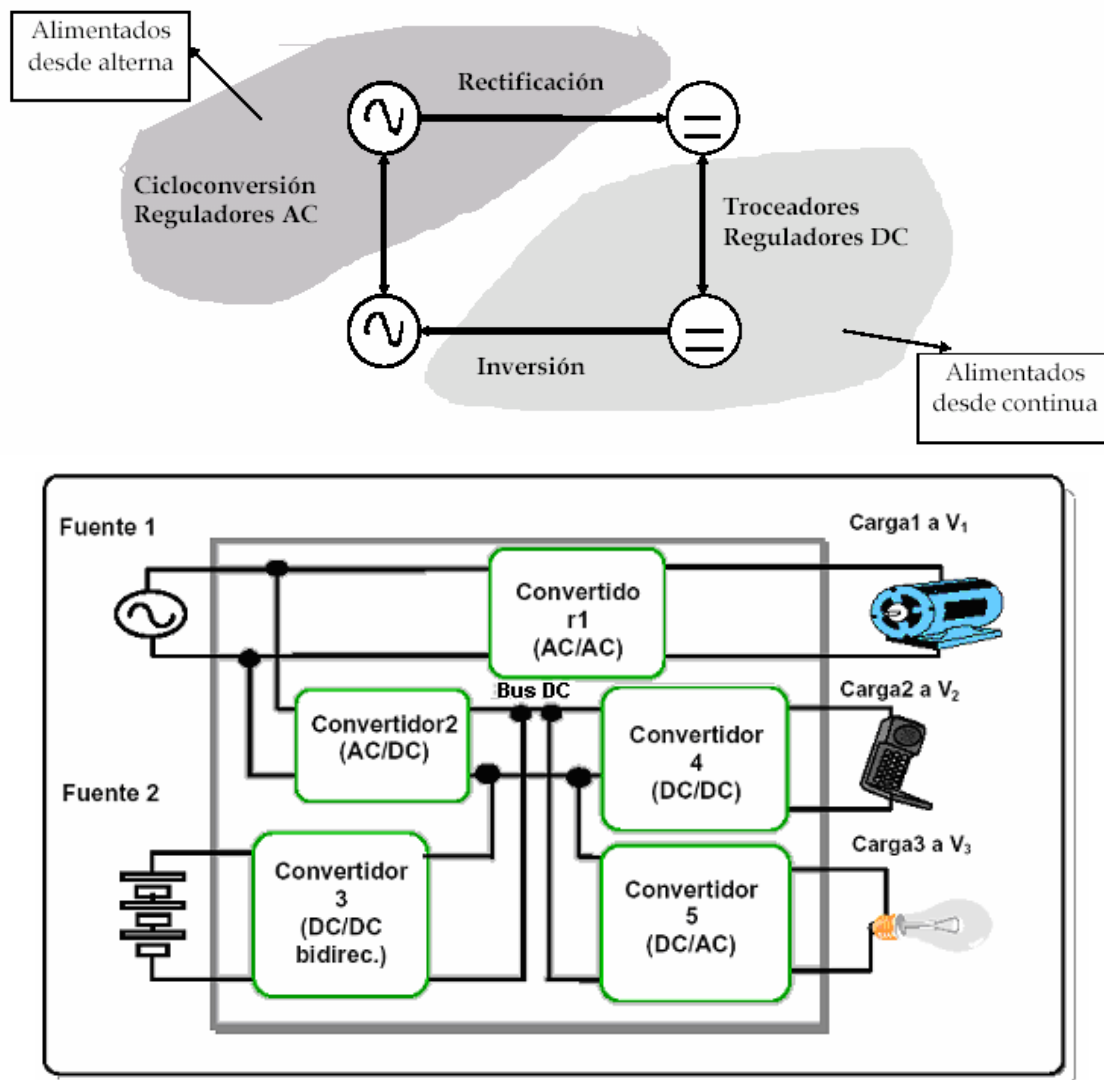


Figura 2.39 Clasificación y ejemplo de los convertidores estáticos de energía eléctrica.

Ahora, atendiendo al tipo de conmutación se obtiene la siguiente clasificación de convertidores de potencia:

Conmutación natural: Cuando la fuente de tensión primaria, presente a uno de los lados del convertidor, facilita el paso a corte de los semiconductores. Además dichos semiconductores pasan a conducción en fase con la frecuencia de la tensión de entrada. (Rectificadores, Reguladores de corriente alterna y Cicloconvertidores).

Conmutación forzada: Cuando los conmutadores controlables son llevados a corte y a conducción a frecuencias mayores que la frecuencia de la red. (Troceadores, Inversores y Onduladores autónomos).

De las clasificaciones anteriores se pueden extraer las características básicas de cada uno de los convertidores mencionados:

- a) Rectificador no controlado: Transforma la corriente alterna de voltaje constante en corriente continua de voltaje constante. Formado por diodos, constituyen montajes irreversibles.
- b) Rectificador controlado: Transforma la corriente alterna de voltaje constante en corriente continua de voltaje variable. Formado por tiristores. El montaje puede ser reversible, denominándose inversor no autónomo.
- c) Reguladores de AC: Transforman la corriente alterna de voltaje constante en corriente alterna de voltaje variable y de la misma frecuencia
- d) Cicloconvertidores: Reguladores de alterna o convertidores directos alterna/alterna de distinta frecuencia.
- e) Ondulador autónomo o Inversor: Transforman una corriente continua en corriente alterna de frecuencia fija o variable.
- f) Troceador o "chopper": Transforma corriente continua de voltaje constante en corriente continua

2.2.1.2 CAMPOS DE APLICACION.

Rectificadores:

- Alimentación de todo tipo de sistemas electrónicos, donde se necesite energía eléctrica en forma de corriente continua.
- Control de motores de continua utilizados en procesos industriales: Máquinas herramienta, carretillas elevadoras y transportadoras, trenes de laminación y papeleras.
- Transporte de energía eléctrica en c.c. y alta tensión.
- Procesos electroquímicos.
- Cargadores de baterías.

Reguladores de alterna:

- Calentamiento por inducción.
- Control de iluminación.
- Equipos para procesos de electrodeposición.

Cambiadores de frecuencia:

- Enlace entre dos sistemas energéticos de corriente alterna no sincronizados.
- Alimentación de aeronaves o grupos electrógenos móviles.

Inversores:

- Accionadores de motores de corriente alterna en todo tipo de aplicaciones industriales.
- Convertidores corriente continua en alterna para fuentes no convencionales, tales como la fotovoltaica o eólica
- Calentamiento por inducción.
- SAI

Troceadores:

- Alimentación y control de motores de continua.
- Alimentación de equipos electrónicos a partir de baterías o fuentes autónomas de corriente continua.

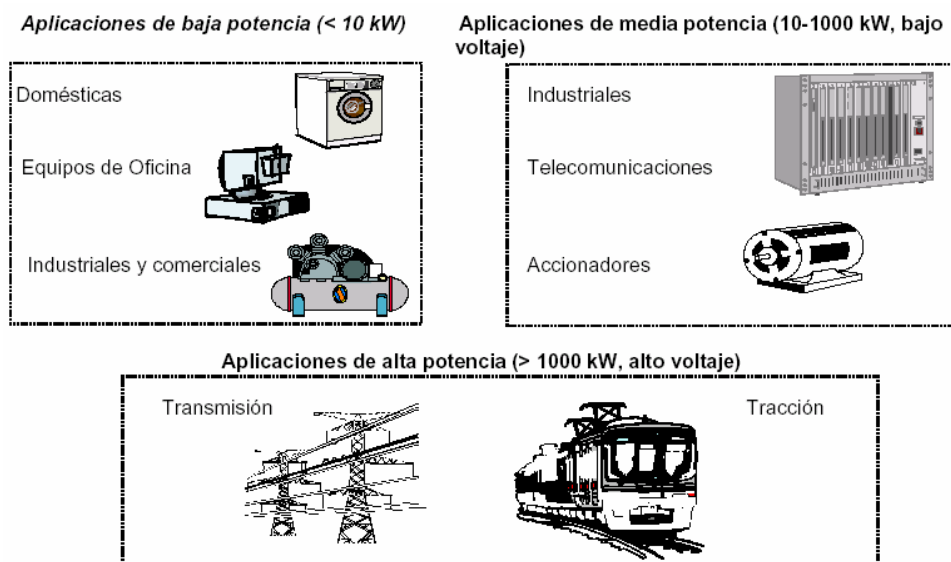


Figura 2.40 Aplicaciones de los dispositivos de potencia.

2.2.1.3 RECTIFICACION NO CONTROLADA.

Los rectificadores o convertidores de corriente se caracterizan por transformar la corriente alterna en continua. De esta manera permiten la conversión directa desde un circuito alimentado con voltaje alterno, poder alimentar a la carga con corriente continua. Los rectificadores no controlados están formados exclusivamente por diodos, no necesitando circuitos de mando, por lo que los diodos conmutan de manera natural forzados por la fuente de alimentación.

Para entender como funciona un rectificador bastan con fijarnos en dos aspectos:

- 1 Los conjuntos de diodos o conmutadores.

2 La forma como están conectados los devanados que suministran las tensiones alternas a rectificar: el tipo de montaje.

Para rectificar q tensiones alternas $v_1 \dots v_q$, se utiliza un conjunto de q diodos que pueden estar conectados con los cátodos comunes o con los ánodos comunes, dando lugar a los dos tipos de conmutadores, cuyos esquemas se muestran en la siguiente figura:

a) Los conmutadores con cátodos comunes o "más positivos", donde el voltaje de salida toma el valor en cada instante de la mayor tensión de entrada.

b) Los conmutadores con los ánodos unidos o "más negativos", donde la tensión de salida toma en cada instante un valor igual al voltaje de entrada más negativo.

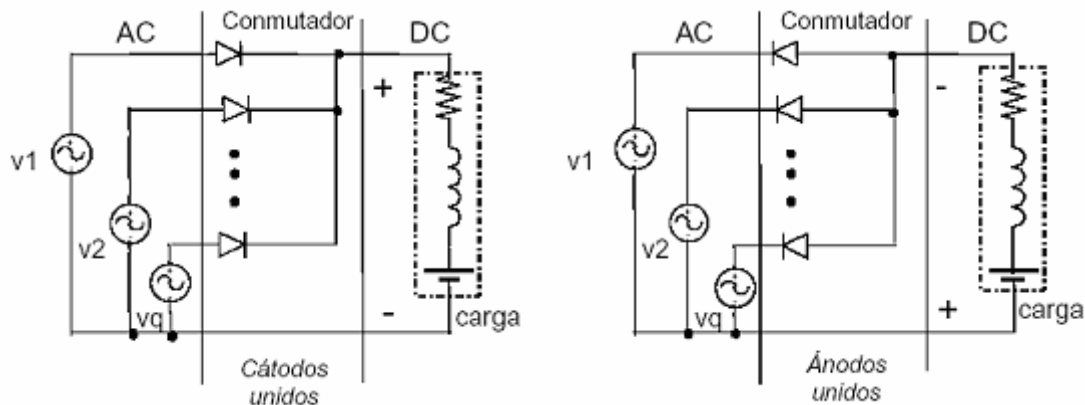


Figura 2.41 Circuitos rectificadores según el conmutador utilizado.

La única diferencia entre ambas configuraciones es que dan el voltaje de salida con polaridad distinta.

2.2.1.3.1 TIPOS DE RECTIFICADORES.

Para obtener un voltaje continuo se rectifica un conjunto de q voltajes alternos senoidales que forman un sistema polifásico equilibrado. Estos voltajes son suministrados por una red monofásica o trifásica a través de un transformador, cuyas misiones son:

- a) Aislar galvánicamente la salida de corriente continua del generador de alterna.
- b) Acomodar el valor del voltaje de salida gracias a la relación de transformación.
- c) Mediante una configuración adecuada, contribuir a disminuir el rizado a la salida.

Una clasificación posible se basa en la forma como se conectan los devanados donde se encuentran las tensiones alternas:

Rectificador de media onda: Las q fases están conectadas en estrella. Los q devanados secundarios, cada uno en serie con su diodo, están montados en paralelo entre los

bornes de salida. El punto M está siempre unido al borne más positivo 1, 2,...,q. El voltaje rectificado u_d se recoge entre M y el punto neutro N.

Rectificador tipo paralelo doble (PD) o en puente con la fuente conectada en estrella:

Los q devanados están también conectados en estrella, pero utilizando $2q$ diodos. Por tanto están formados por dos conmutadores de q diodos cada uno, uno con cátodos unidos y el otro con ánodos unidos. El voltaje rectificado es igual a la diferencia entre la más positiva y la más negativa de las tensiones alternas en cada instante.

Rectificador tipo serie (S) o en puente con la fuente conectada en polígono: Los devanados donde aparecen las tensiones alternas se conectan en polígono (la suma de q tensiones que forman un sistema equilibrado es nula). Existen $2q$ diodos agrupados en dos conmutadores de q diodos cada uno, uno con cátodos unidos y el otro con ánodos unidos.

Este tipo de rectificador trabaja no por comparación sino por suma, poniendo en serie, entre los bornes de salida, los devanados donde se encuentran las tensiones del mismo signo.

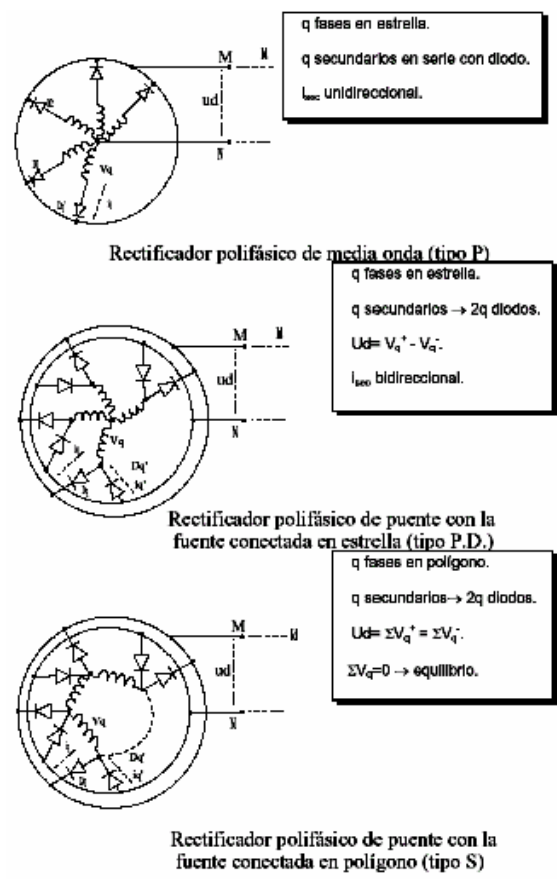


Figura 2.42 Diagramas y características de los diversos montajes de rectificadores.

2.2.1.3.2 RECTIFICADORES MONOFASICO NO CONTROLADO TIPO P.D. O RECTIFICADORES DE ONDA COMPLETA CON LA FUENTE EN ESTRELLA.

Estos montajes utilizan $2q$ diodos para rectificar q tensiones. Si bien el conexionado de los devanados en los que se inducen las tensiones a rectificar no interviene en lo referente a la tensión rectificada, si hay que considerarlo para el cálculo de las corrientes de estos devanados y para el efecto de las inductancias de dispersión. Consideremos en este caso cuando la fuente está conectada en estrella.

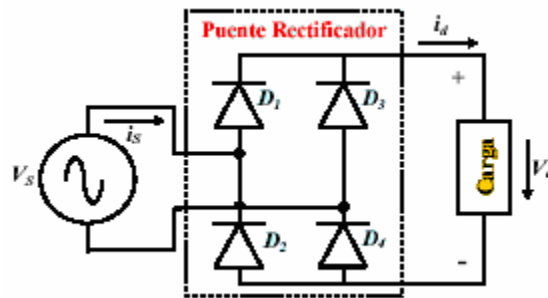


Figura 2.43 Rectificador de onda completa en puente.

Al usar cuatro diodos, durante el semiciclo positivo del voltaje de entrada, se suministra la corriente a la carga a través de los diodos D1 y D4. Durante el semiciclo negativo los diodos D2 y D3 son los que conducen, la forma de onda del voltaje de salida y de la corriente a la entrada del rectificador con carga altamente inductiva se ve en la figura.

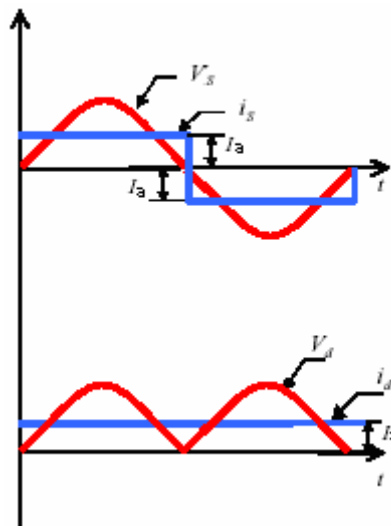


Figura 2.44 Forma de onda del rectificador monofásico con carga altamente inductiva.

La corriente en la entrada del rectificador con carga altamente inductiva se puede expresar en series de Fourier de la siguiente manera:

$$i_s(t) = \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{4I_a}{n\pi} \text{sen}(n\omega t)$$

El valor rms de la corriente de entrada es

$$I_s = I_a$$

Como se puede observar a partir de la ecuación anterior el contenido armónico tiene armónicas impares incluyendo las armónicas triplens.

Con una carga resistiva, la corriente de carga tiene forma idéntica a la del voltaje de salida. En la práctica, la mayor parte de las cargas son inductivas hasta cierto grado, y la corriente de carga depende de los valores de resistencia R y de la inductancia de carga L.

Con $v_s = V_m \text{sen}(wt) = \sqrt{2}V_s \text{sen}(wt)$, la impedancia de carga es $Z = [R^2 + (wL)^2]^{1/2}$, el ángulo de la impedancia de carga es $\theta = \tan^{-1}(wL/R)$, V_s es el valor rms del voltaje de entrada y agregando una batería de voltaje E para deducir ecuaciones generales, se obtienen las ecuaciones de la corriente en la carga siguientes:

Caso 1: corriente de carga continua.

$$i_0 = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \left[\text{sen}(wt - \theta) + \frac{2}{1 - e^{-(R/L)(\pi/w)}} \text{sen}(\theta) e^{-(R/L)t} \right] - \frac{E}{R} \text{ Para } 0 \leq (wt - \theta) \leq \pi \text{ e } i_0 \geq 0.$$

Caso 2: corriente de carga discontinua.

La corriente de carga fluye únicamente durante el intervalo $\alpha \leq wt \leq \beta$, además se define la relación de voltajes $x = E/V_m = E/\sqrt{2}V_s$, los diodos comienzan a conducir

cuando $wt = \alpha$, donde: $\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{E}{V_m} = \text{sen}^{-1}(x)$

Cuando $wt = \beta$ la corriente cae nuevamente a cero.

$$i_0 = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \text{sen}(wt - \theta) + \left[\frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \text{sen}(\alpha - \theta) \right] e^{(R/L)(\alpha/w-t)} - \frac{E}{R}$$

Para $\alpha \leq wt \leq \beta$ e $i_0 \geq 0$.

2.2.1.3.3 RECTIFICADOR TRIFASICO NO CONTROLADO PD3.

Este rectificador alimentado de la red trifásica, compuesto por seis diodos es uno de los más utilizados. Su estructura se muestra en la siguiente figura.

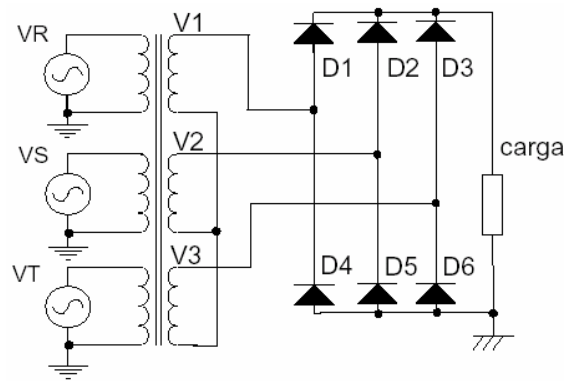


Figura 2.45 Rectificador trifásico completo en estrella.

El esquema anterior nos muestra como los 6 diodos están colocados dos por cada fase y en oposición, con lo que se aprovecha toda la onda de la tensión de red en cada fase. Analizando los intervalos de intersección entre las fases durante un ciclo, vemos que en cada intervalo conducen siempre dos diodos, aquellos que tienen el ánodo más positivo o el cátodo más negativo. Vemos pues los intervalos de conducción:

| | | |
|-------------------------------|---|-----------|
| $\pi/6 < \omega t < 3\pi/6$ | $u_d = V_1 - V_2 = V_m \{ \sin \omega t - \sin(\omega t - 2\pi/3) \}$ | D1, D5 ON |
| $3\pi/6 < \omega t < 5\pi/6$ | $u_d = V_1 - V_3$ | D1, D6 ON |
| $5\pi/6 < \omega t < 7\pi/6$ | $u_d = V_2 - V_3$ | D2, D6 ON |
| $7\pi/6 < \omega t < 9\pi/6$ | $u_d = V_2 - V_1$ | D2, D4 ON |
| $9\pi/6 < \omega t < 11\pi/6$ | $u_d = V_3 - V_1$ | D3, D4 ON |

Figura 2.46 Intervalos de conducción para el voltaje en la carga.

Cuando la carga es puramente resistiva, la expresión de la corriente obtenida para una fase es la siguiente:

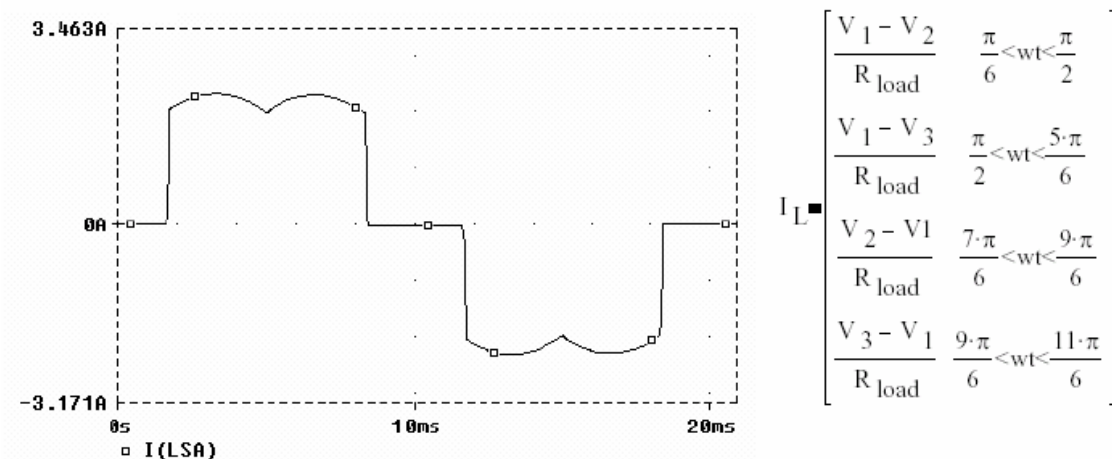


Figura 2.47 Forma de onda de la corriente en una fase para carga puramente resistiva.

La corriente en la entrada del rectificador trifásico con carga altamente inductiva se puede expresar en series de fourier de la siguiente manera:

$$i_s(t) = \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} c_n \text{sen}(n\omega t) \quad c_n = \sum_{n=1,5,7,11,13,\dots}^{\infty} \frac{-4I_a}{n\pi} \cos(n\pi) \text{sen}\left(\frac{n\pi}{2}\right) \text{sen}\left(\frac{n\pi}{3}\right)$$

El valor rms de la corriente de entrada es

$$I_s = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_a = 0.7797 I_a$$

Como se puede observar a partir de las ecuaciones anteriores el contenido armónico tiene armónicas impares sin incluir las armónicas triplenas.

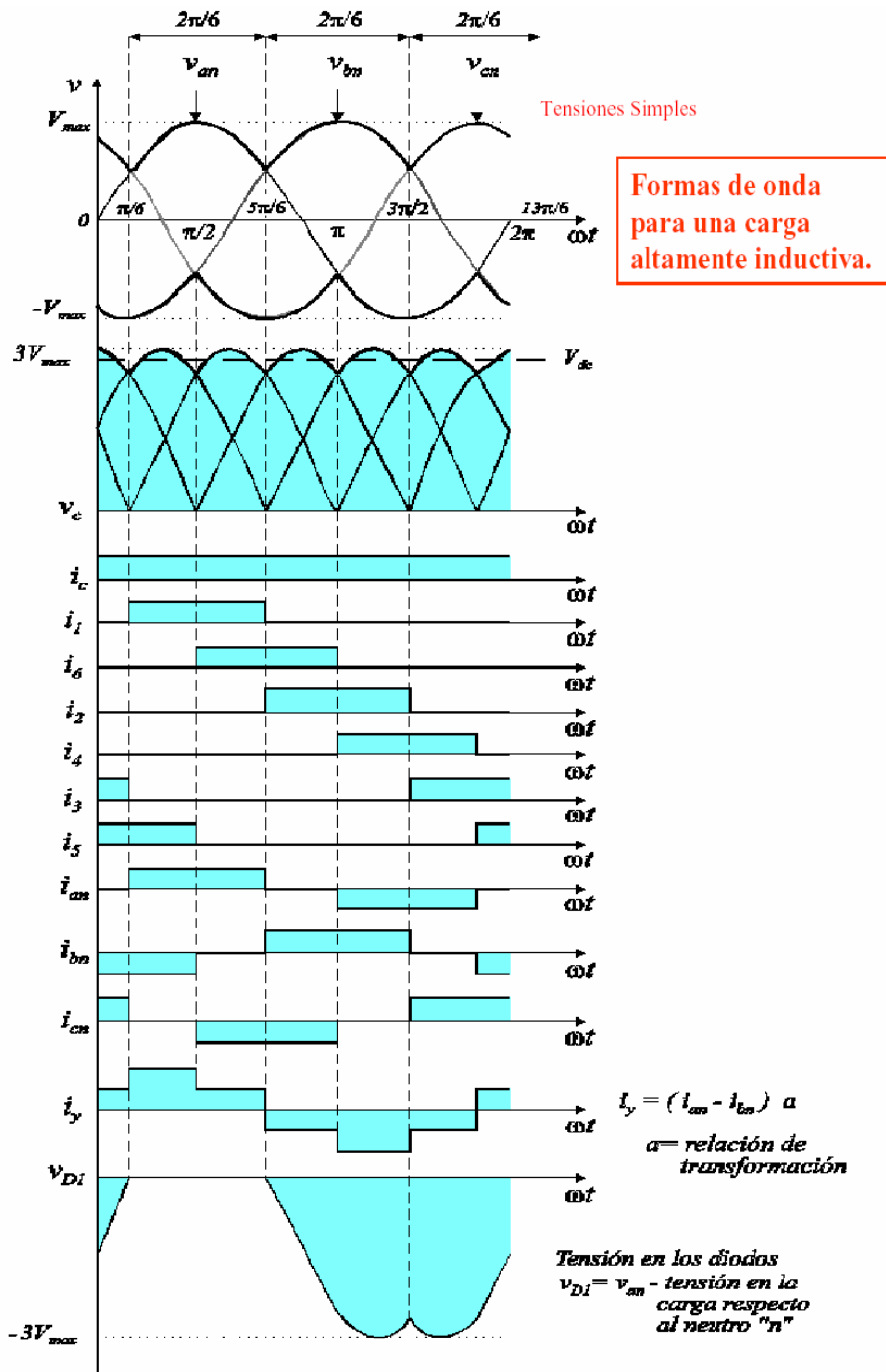


Figura 2.48 Formas de onda para el rectificador trifásico completo con carga inductiva.

Para el caso de cargas RL en el rectificador trifásico aplicando un análisis similar que en el caso monofásico se tiene.

Con $v_{ab} = \sqrt{2}V_{ab}\text{sen}(wt) = \sqrt{2}\sqrt{3}V_s\text{sen}(wt)$, $V_{ab} = \sqrt{3}V_s$, la impedancia de carga es $Z = [R^2 + (wL)^2]^{1/2}$, el ángulo de la impedancia de carga es $\theta = \tan^{-1}(wL/R)$, V_s es el valor rms del voltaje de entrada y agregando una batería de voltaje E para deducir ecuaciones generales, se obtienen las ecuaciones de la corriente en la carga siguientes:

Caso 1: corriente de carga continua.

$$i_0 = \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \left[\text{sen}(wt - \theta) + \frac{\text{sen}(2\pi/3 - \theta) - \text{sen}(\pi/3 - \theta)}{1 - e^{-(R/L)(\pi/3w)}} \text{sen}(\theta) e^{(R/L)(\pi/3w-t)} \right] - \frac{E}{R}$$

Para $\pi/3 \leq wt \leq 2\pi/3$ e $i_0 \geq 0$.

Caso 2: corriente de carga discontinua.

Primero se encuentra el valor crítico de la relación de voltajes:

$$x_c = \left[\frac{\text{sen}(2\pi/3 - \theta) - \text{sen}(\pi/3 - \theta)e^{-(\pi/3 \tan \theta)}}{1 - e^{-(\pi/3 \tan \theta)}} \right] \cos(\theta)$$

Cuando x sobrepasa este valor crítico la corriente se vuelve discontinua.

$$x > x_c$$

La corriente de carga fluye únicamente durante el intervalo $\alpha \leq wt \leq \beta$, además se define la relación de voltajes $x = E/V_m = E/\sqrt{2}V_s$, los diodos comienzan a conducir cuando $wt = \alpha$, donde: $\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{E}{V_m} = \text{sen}^{-1}(x)$

Cuando $wt = \beta$ la corriente cae nuevamente a cero.

Cuando $wt = \beta$ la corriente cae nuevamente a cero.

$$i_0 = \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \text{sen}(wt - \theta) + \left[\frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \text{sen}\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right) \right] e^{(R/L)(\pi/3w-t)} - \frac{E}{R} \text{ Para } \alpha \leq wt \leq \beta \text{ e } i_0 \geq 0.$$

2.2.1.4 RECTIFICADORES CONTROLADOS.

En los circuitos rectificadores se pueden sustituir, total o parcialmente, a los diodos por tiristores, de forma que se pueda obtener un sistema de rectificación controlada o semicontrolada.

Estos sistemas permitirán la regulación del valor medio de la tensión en la carga. La sustitución del diodo por el tiristor permite retardar la entrada en conducción del mismo, lo cual ocurre no sólo cuando la tensión entre sus bornes es positiva, sino cuando, siendo positiva se inyecta un pulso de cebado a la puerta del tiristor.

El parámetro fundamental en estos rectificadores con tiristores será el ángulo de retardo α , de forma que un tiristor conduce con un retardo de tiempo α/ω con relación al instante en el cual conduciría el diodo al que ha sustituido.

Los rectificadores con tiristores utilizan los mismos esquemas que los rectificadores con diodos, si bien aquí hay que distinguir entre dos tipos:

- a. Rectificadores semicontrolados. Formados por tiristores y diodos.
- b. Rectificadores totalmente controlados. Formados únicamente por tiristores.

Dada la similitud entre los rectificadores con tiristores y los rectificadores con diodos utilizaremos resultados anteriormente deducidos.

El principio de funcionamiento consiste en disparar los tiristores con un cierto ángulo respecto del punto de conmutación natural o paso por cero de la señal de entrada. Con ello se consigue aplicar la tensión de la fuente sobre la carga un tiempo variable, que depende del momento del disparo y por tanto se conseguirá variar los valores medios y eficaces de la tensión en la carga. Dependiendo del tipo de carga, se deberá analizar el tipo de impulso de cebado del tiristor. Para las cargas con componente inductiva, la corriente en la carga, y por tanto en el tiristor, no variará bruscamente, con lo que se tardará un cierto tiempo en alcanzar la corriente de enclavamiento del tiristor. Así se deberá mantener la excitación de puerta hasta que el tiristor alcance la plena conducción. En esta circunstancia será más adecuado el uso de un tren de impulsos de larga duración, evitando pérdidas en el tiristor. En el caso de cargas poco inductivas, se deberá tener en cuenta el di/dt , con el fin de no sobrepasar los niveles máximos de cada tiristor.

La conmutación se producirá de manera natural ante la existencia de un impulso de cebado, si la tensión $V_{ak} > 0$. En cuanto al bloqueo de los tiristores en un montaje rectificador, este se producirá de manera natural, al anularse la corriente en el circuito, o

bien cuando se dispare otro tiristor, y se polariza inversamente el que conducía, lo que produce un bloqueo forzado. En este caso los problemas de tiempo de bloqueo no son importantes cuando se trabaja a frecuencias bajas (bloqueo estático).

2.2.1.4.1 RECTIFICADOR MONOFASICO CONTROLADO COMPLETO.

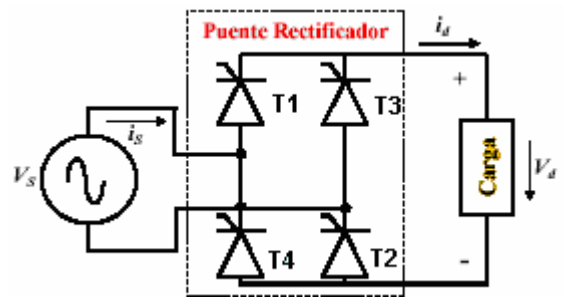


Figura 2.49 Rectificador monofásico controlado completo.

La figura anterior muestra el arreglo de un circuito convertidor monofásico completo. Durante el medio ciclo positivo los tiristores T_1 y T_2 tienen polarización directa, y cuando se disparan en forma simultánea esos dos tiristores, en $\omega t = \alpha$, la carga se conecta a la fuente de alimentación a través de T_1 y T_2 . Debido a la carga inductiva, los tiristores T_1 y T_2 continúan conduciendo después de $\omega t = \pi$, aún cuando el voltaje de entrada ya sea negativo. Durante el medio ciclo negativo del voltaje de entrada, los tiristores T_3 y T_4 tienen polarización directa, y el disparo de esos tiristores aplica el voltaje de alimentación a través de los tiristores T_1 y T_2 en forma de bloqueo inverso. T_1 y T_2 se desactivan por conmutación de línea o natural, y la corriente de carga es transferida de T_1 y T_2 a T_3 y T_4 .

Durante el periodo de α a π , ω el voltaje de entrada v_s y la corriente de entrada i_s son positivos, y la potencia pasa de la fuente a la carga. Se dice que el convertidor está en modo de rectificación. Durante el período de π a $\pi+\alpha$, el voltaje de entrada v_s es negativo y la corriente de entrada i_s es positiva, y pasa potencia inversa de la carga a la fuente, se dice que el convertidor está operando en modo de inversión. Este convertidor se usa en aplicaciones de hasta 15kW. Dependiendo del valor de α , el voltaje promedio de salida podría ser positivo o negativo, y proporciona una operación en dos cuadrantes.

La corriente en la entrada del rectificador con carga altamente inductiva se puede expresar en series de fourier de la siguiente manera:

$$i_s(t) = \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{4I_a}{n\pi} \text{sen}(n\omega t + \phi_n) \quad \phi_n = \tan^{-1} \frac{a_n}{b_n} = -n\alpha$$

$$a_n = -\frac{4I_a}{n\pi} \text{sen}(n\alpha) \quad b_n = \frac{4I_a}{n\pi} \cos(n\alpha)$$

El valor rms de la corriente de entrada es

$$I_s = I_a$$

Como se puede observar a partir de la ecuación anterior el contenido armónico tiene armónicas impares incluyendo las armónicas triplens.

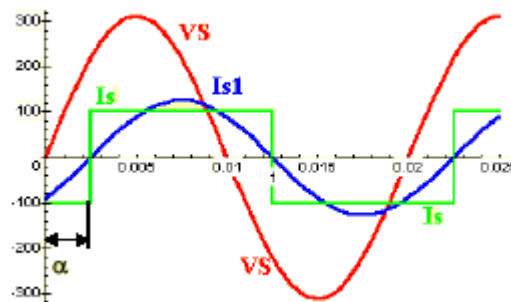


Figura 2.50 Forma de onda del rectificador monofásico controlado con carga altamente inductiva.

La operación del convertidor se puede dividir en dos modos idénticos: el modo 1, cuando conducen T₁ y T₂, y el modo 2, cuando conducen T₃ y T₄. Las corrientes de entrada durante esos modos son parecidas, y solo se debe examinar un modo para determinar la corriente de salida completa i_L.

Con $v_s = V_m \text{sen}(\omega t) = \sqrt{2}V_s \text{sen}(\omega t)$, la impedancia de carga es $Z = [R^2 + (\omega L)^2]^{1/2}$, el ángulo de la impedancia de carga es $\theta = \tan^{-1}(\omega L/R)$, V_s es el valor rms del voltaje de entrada y agregando una batería de voltaje E para deducir ecuaciones generales, se obtienen las ecuaciones de la corriente en la carga siguientes:

Caso 1: corriente de carga continua.

$$i_0 = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \text{sen}(wt - \theta) + \left[I_{L0} + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \text{sen}(\alpha - \theta) \right] e^{(R/L)(\alpha/w-t)} - \frac{E}{R}$$

$$I_{L0} = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \frac{\text{sen}(\alpha - \theta) - \text{sen}(\alpha - \theta)e^{-(R/L)(\pi/w)}}{1 - e^{-(R/L)(\pi/w)}} - \frac{E}{R} \quad \text{Para } \alpha \leq wt \leq \pi + \alpha \text{ e } I_{L0} \geq 0.$$

Caso 2: corriente de carga discontinua.

Primero se encuentra el valor crítico del ángulo de disparo:

$$\alpha_c = \theta - \text{sen}^{-1} \left[\frac{1 - e^{-(\pi/\tan \theta)x}}{1 - e^{-(\pi/\tan \theta)} \cos \theta} \right]$$

Cuando α sobrepasa este valor crítico la corriente se vuelve discontinua.

$$\alpha > \alpha_c$$

La corriente de carga fluye únicamente durante el intervalo $\alpha \leq wt \leq \beta$, además se define la relación de voltajes $x = E/V_m = E/\sqrt{2}V_s$, los diodos comienzan a conducir

cuando $wt = \alpha$, donde: $\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{E}{V_m} = \text{sen}^{-1}(x)$

Cuando $wt = \beta$ la corriente cae nuevamente a cero.

$$i_0 = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \text{sen}(wt - \theta) + \left[\frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \text{sen}(\alpha - \theta) \right] e^{(R/L)(\alpha/w-t)} - \frac{E}{R}$$

Para $\alpha \leq wt \leq \beta$ e $i_0 \geq 0$.

2.2.1.4.2 RECTIFICADOR TRIFÁSICO CONTROLADO COMPLETO.

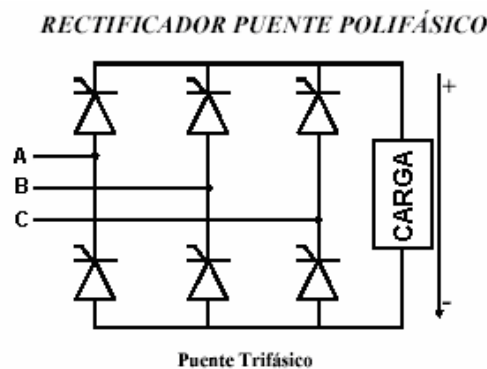


Figura 2.51 Rectificador trifásico controlado.

Se puede obtener a partir del rectificador P.D.3 con diodos sin más que sustituir los seis diodos por tiristores. El cebado de dichos tiristores se puede realizar mediante un único tren de pulsos desfasados $2\pi/6$ (60°) que se aplican simultáneamente a la puerta de los seis tiristores.

El punto de conmutación natural de cada grupo de diodos ($\pi/6$) define el inicio del retardo α , de modo que con $\phi=\pi/6$ el rectificador se convierte en no controlado, siendo la tensión de la salida la diferencia entre la envolvente superior y la inferior de las tensiones de las fases, tal como ocurría en el rectificador P.D.3 con diodos. Si $\alpha > 0$ se producirá un retraso y por tanto una regulación de la tensión de la salida. Suponiendo una carga resistiva, podrán darse dos casos según el ángulo de cebado, dando lugar a la conducción continua o discontinua.

La corriente en la entrada del rectificador trifásico controlado con carga altamente inductiva se puede expresar en series de fourier de la siguiente manera:

$$i_s(t) = \sum_{n=1,5,7,11,13,\dots}^{\infty} \frac{4I_a}{n\pi} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi}{3}\right) \operatorname{sen}(n\omega t + \phi_n) \quad \phi_n = \tan^{-1} \frac{a_n}{b_n} = -n\alpha$$

$$a_n = -\frac{4I_a}{n\pi} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi}{3}\right) \operatorname{sen}(n\alpha) \quad b_n = \frac{4I_a}{n\pi} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi}{3}\right) \cos(n\alpha)$$

El valor rms de la corriente de entrada es

$$I_s = \sqrt{\frac{2}{3}} I_a = 0.8165 I_a$$

Como se puede observar a partir de las ecuaciones anteriores el contenido armónico tiene armónicas impares sin incluir las armónicas triplens.

Para el caso de cargas RL en el rectificador trifásico aplicando un análisis similar que en el caso monofásico se tiene.

Con $v_{ab} = \sqrt{2}V_{ab}\operatorname{sen}(wt + \pi/6) = \sqrt{2}\sqrt{3}V_s\operatorname{sen}(wt + \pi/6)$, $V_{ab} = \sqrt{3}V_s$, la impedancia de carga es $Z = [R^2 + (\omega L)^2]^{1/2}$, el ángulo de la impedancia de carga es $\theta = \tan^{-1}(\omega L/R)$,

V_s es el valor rms del voltaje de entrada y agregando una batería de voltaje E para deducir ecuaciones generales, se obtienen las ecuaciones de la corriente en la carga siguientes:

Caso 1: corriente de carga continua.

$$i_0 = \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \text{sen}(wt + \pi/6 - \theta) + \left[I_{L1} + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \text{sen}\left(\frac{\pi}{3} + \alpha - \theta\right) \right] e^{(R/L)((\pi/3+\alpha)/w - (t+\pi/6w))} - \frac{E}{R}$$

$$I_{L1} = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \frac{\text{sen}(2\pi/3 + \alpha - \theta) - \text{sen}(\pi/3 + \alpha - \theta)e^{-(R/L)(\pi/3w)}}{1 - e^{-(R/L)(\pi/3w)}} - \frac{E}{R}$$

Para $\pi/6 + \alpha \leq wt \leq \pi/2 + \alpha$ e $I_{L1} \geq 0$.

Caso 2: Corriente de carga discontinua.

Primero se encuentra el valor crítico de la relación de voltajes:

$$x_c = \left[\frac{\text{sen}(2\pi/3 + \alpha - \theta) - \text{sen}(\pi/3 + \alpha - \theta)e^{-(\pi/3 \tan \theta)}}{1 - e^{-(\pi/3 \tan \theta)}} \right] \cos(\theta)$$

Cuando x sobrepasa este valor crítico la corriente se vuelve discontinua.

$$x > x_c$$

La corriente de carga fluye únicamente durante el intervalo $\alpha \leq wt \leq \beta$, además se define la relación de voltajes $x = E/V_m = E/\sqrt{2}V_s$, los diodos comienzan a conducir

cuando $wt = \alpha$, donde: $\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{E}{V_m} = \text{sen}^{-1}(x)$

Cuando $wt = \beta$ la corriente cae nuevamente a cero.

$$i_0 = \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \text{sen}(wt + \pi/6 - \theta) + \left[\frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \text{sen}\left(\frac{\pi}{3} + \alpha - \theta\right) \right] e^{(R/L)((\pi/3+\alpha)/w - (t+\pi/6w))} - \frac{E}{R}$$

Para $\alpha \leq wt \leq \beta$ e $i_0 \geq 0$.

2.2.1.5 SEMICONVERTIDORES MONOFASICOS.

El arreglo del circuito de un semiconvertidor monofásico se ve en la siguiente figura. Si se supone que la carga es altamente inductiva, la corriente de carga es continua y no contiene rizo. Durante el medio ciclo positivo, el tiristor T_1 tiene polarización directa. Cuando ese tiristor se dispara en $\omega t = \alpha$, la carga se conecta a la alimentación a través de T_1 y D_2 , durante el período $\alpha \leq \omega t \leq \pi$. Durante el período $\pi \leq \omega t \leq \pi + \alpha$, el voltaje de entrada es negativo y el diodo D_M conduce para proporcionar continuidad de corriente en la carga inductiva. La corriente de la carga es transferida de T_1 y D_2 a D_M ; y el tiristor y el diodo se desactivan. Durante el medio ciclo negativo del voltaje de entrada, el tiristor T_2 tiene polarización directa y el disparo del tiristor T_2 y en $\omega t = \pi + \alpha$ invierte la polarización de D_M . El diodo D_M se desactiva y la carga se conecta a la alimentación a través de T_2 y D_1 .

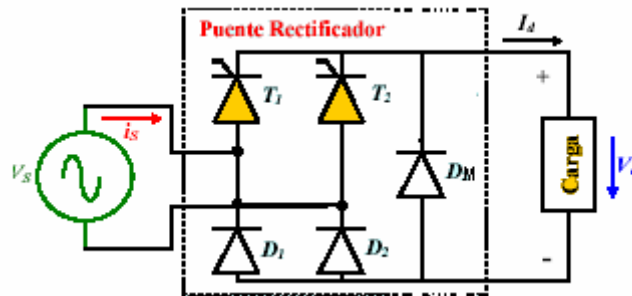


Figura 2.52 Semiconvertidor monofásico.

La corriente en la entrada del semiconvertidor monofásico con carga altamente inductiva se puede expresar en series de fourier de la siguiente manera:

$$i_s(t) = \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{4I_a}{n\pi} \cos\left(\frac{n\alpha}{2}\right) \text{sen}(n\omega t + \phi_n) \quad \phi_n = \tan^{-1} \frac{a_n}{b_n} = -n\alpha$$

$$a_n = -\frac{2I_a}{n\pi} \text{sen}(n\alpha) \quad b_n = \frac{2I_a}{n\pi} \cos(1 + n\alpha)$$

El valor rms de la corriente de entrada es

$$I_s = I_a \left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right)^{1/2}$$

Como se puede observar a partir de la ecuación anterior el contenido armónico tiene armónicas impares incluyendo las armónicas triplens.

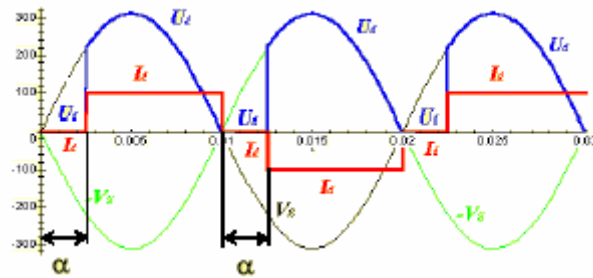


Figura 2.53 Forma de onda del semiconvertidor altamente inductivo.

Con $v_s = V_m \text{sen}(wt) = \sqrt{2}V_s \text{sen}(wt)$, la impedancia de carga es $Z = [R^2 + (wL)^2]^{1/2}$, el ángulo de la impedancia de carga es $\theta = \tan^{-1}(wL/R)$, V_s es el valor rms del voltaje de entrada y agregando una batería de voltaje E para deducir ecuaciones generales, se obtienen las ecuaciones de la corriente en la carga siguientes:

Caso 1: corriente de carga continua.

Modo 1.

Este modo es válido para $0 \leq wt \leq \alpha$.

$$I_{L0} = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \frac{\text{sen}(\pi - \theta) - \text{sen}(\alpha - \theta)e^{(R/L)((\alpha - \pi)/w)}}{1 - e^{-(R/L)(\pi/w)}} - \frac{E}{R}$$

$$i_{L1} = (I_{L0})e^{-(R/L)t} - \frac{E}{R}(1 - e^{-(R/L)t}) \text{ para } i_{L1} \geq 0.$$

Modo 2.

Este modo es válido para $\alpha \leq wt \leq \pi$.

$$I_{L1} = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \frac{\text{sen}(\pi - \theta) - \text{sen}(\alpha - \theta)e^{(R/L)((\alpha - \pi)/w)}}{1 - e^{-(R/L)(\pi/w)}} e^{-(R/L)(\alpha/w)} - \frac{E}{R}$$

$$i_{L2} = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \left[\text{sen}(wt - \theta) + \frac{\text{sen}(\pi - \theta) - \text{sen}(\alpha - \theta)e^{(R/L)((\alpha)/w)}}{1 - e^{-(R/L)(\pi/w)}} e^{-(R/L)t} \right] - \frac{E}{R} \quad \text{Para } i_{L2} \geq 0.$$

Caso 2: corriente de carga discontinua.

Primero se encuentra el valor crítico de la relación de voltajes:

$$x_c = \left[\frac{\text{sen}(\pi - \theta) - \text{sen}(\alpha - \theta)e^{-((\alpha - \pi)/\tan \theta)}}{1 - e^{-(\pi/\tan \theta)}} \right] \cos(\theta)$$

Además se define la relación de voltajes $x = E/V_m = E/\sqrt{2}V_s$, por prueba y error se obtiene el valor crítico de α . Cuando α sobrepasa este valor crítico la corriente se vuelve discontinua.

$$\alpha > \alpha_c$$

La corriente de carga fluye únicamente durante el intervalo $\alpha \leq wt \leq \beta$, cuando $wt = \beta$ la corriente cae nuevamente a cero.

$$i_0 = \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \text{sen}(wt - \theta) + \left[\frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \text{sen}(\alpha - \theta) \right] e^{(R/L)(\alpha/w-t)} - \frac{E}{R}$$

2.2.2 SIMULACION DE LOS MODELOS DE LOS RECTIFICADORES.

Para poder simular el comportamiento armónico de los rectificadores se creó un programa en matlab que evaluara las configuraciones más comunes de los tipos de carga RL que pueden manejar los rectificadores, de modo que calculara la señal de corriente en el tiempo en función de las ecuaciones en el tiempo desarrolladas para el circuito equivalente [3]. Luego se le aplica la transformada FFT a la señal en el tiempo para obtener las componentes armónicas y su fase correspondiente de modo que puedan ser usados en un programa de simulación de armónicos. Esto se hizo para los diferentes tipos de rectificadores monofásicos y trifásicos así como controlados o no controlados, además se incluye a los semiconvertidores monofásicos y a los reguladores de AC.

2.2.2.1 RECTIFICADORES NO CONTROLADOS.

2.2.2.1.1 RECTIFICADOR MONOFASICO COMPLETO NO CONTROLADO.

a. Formas de onda caso señal de corriente continua.

A continuación se muestra las formas de onda para un rectificador monofásico con carga RL con valores de $R=2.5\Omega$, $L=6.5\text{mH}$ y $E=10\text{V}$, las cuales son idénticas a las esperadas según el análisis teórico [3].

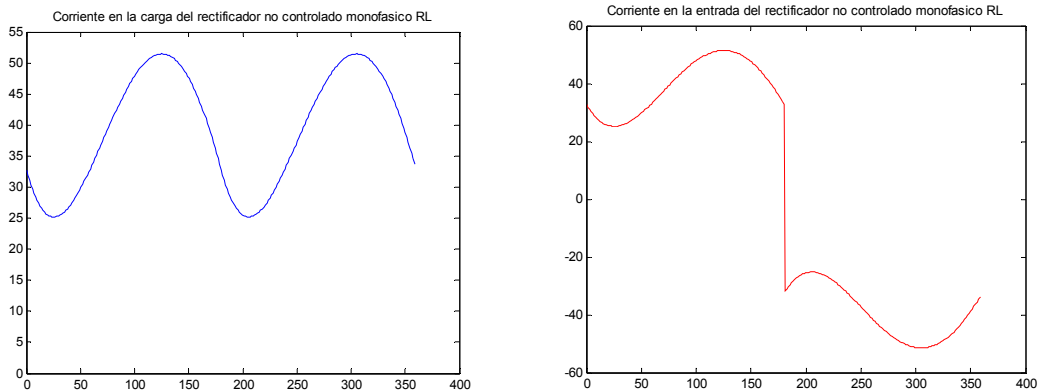


Figura 2.54 Formas de onda de un rectificador monofásico no controlado con carga RL.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

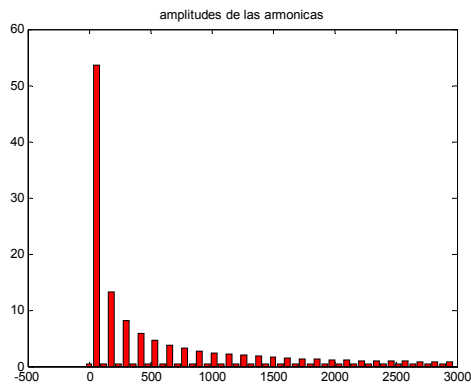


Figura 2.55 Gráfico de armónicas

Al observar el comportamiento armónico obtenido se comprueba que está dominado por las armónicas impares, a pesar de manejar una carga RL.

Tabla 2.41 Amplitudes y Fases de armónicas.

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 53.527 | 1.7684 | 101.32 |
| IGH02 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH03 | 13.187 | 1.2012 | 68.82 |
| IGH04 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH05 | 8.1774 | 1.3441 | 77.01 |
| IGH06 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH07 | 5.891 | 1.4075 | 80.64 |
| IGH08 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH09 | 4.5932 | 1.4431 | 82.68 |
| IGH10 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH11 | 3.7582 | 1.4657 | 83.98 |
| IGH12 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH13 | 3.1761 | 1.4814 | 84.88 |
| IGH14 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH15 | 2.7468 | 1.4928 | 85.53 |
| IGH16 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH17 | 2.417 | 1.5015 | 86.03 |
| IGH18 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH19 | 2.1553 | 1.5084 | 86.42 |
| IGH20 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH21 | 1.9425 | 1.5138 | 86.73 |
| IGH22 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH23 | 1.7659 | 1.5183 | 86.99 |
| IGH24 | 0.51255 | 0 | 0.00 |
| IGH25 | 1.6167 | 1.522 | 87.20 |

b. Formas de onda caso señal de corriente discontinua.

En este caso se muestra las formas de onda para un rectificador monofásico con carga RL cambiando el valor de la fuente de voltaje a $E=130V$, dejando los demás valores iguales.

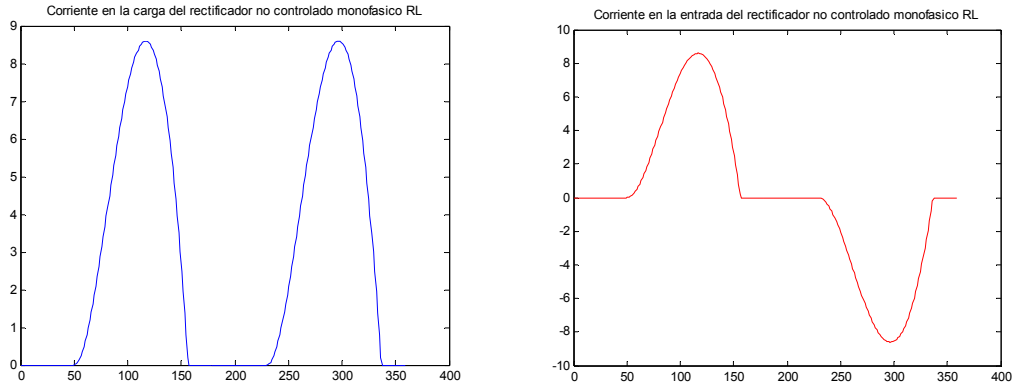


Figura 2.56 Formas de onda discontinua de un rectificador monofásico no controlado.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.42 Amplitudes y Fases de armónicas.

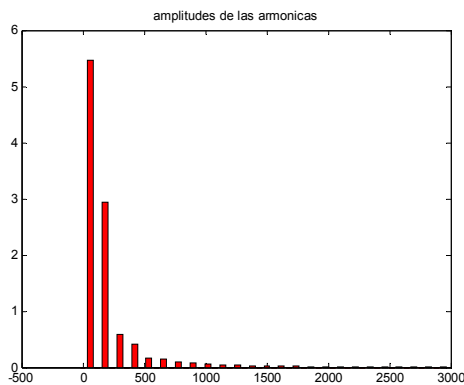


Figura 2.57 Gráfico de armónicas

Al observar el comportamiento de contenido armónico se vuelve a ver que las armónicas que influyen son las impares predominando la armónica tercera.

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 5.4594 | 1.9531 | 111.90 |
| IGH02 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH03 | 2.9449 | 5.9189 | 339.13 |
| IGH04 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH05 | 0.58912 | 4.1955 | 240.38 |
| IGH06 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH07 | 0.41444 | 3.7447 | 214.56 |
| IGH08 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH09 | 0.16491 | 2.7327 | 156.57 |
| IGH10 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH11 | 0.1558 | 1.8658 | 106.90 |
| IGH12 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH13 | 0.089119 | 1.1909 | 68.23 |
| IGH14 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH15 | 0.073951 | 0.1295 | 7.42 |
| IGH16 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH17 | 0.058766 | 5.7861 | 331.52 |
| IGH18 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH19 | 0.041523 | 4.8115 | 275.68 |
| IGH20 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH21 | 0.039726 | 4.0449 | 231.76 |
| IGH22 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH23 | 0.028495 | 3.2575 | 186.64 |
| IGH24 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH25 | 0.026654 | 2.3321 | 133.62 |

c. Formas de onda caso señal de corriente continua con carga altamente inductiva.

En este caso se muestra para una carga altamente inductiva, en nuestro caso el programa reconoce a $R=0$, e inmediatamente asocia con puramente inductivo y pide la corriente inductiva en DC, que es el caso con carga altamente inductiva [3].

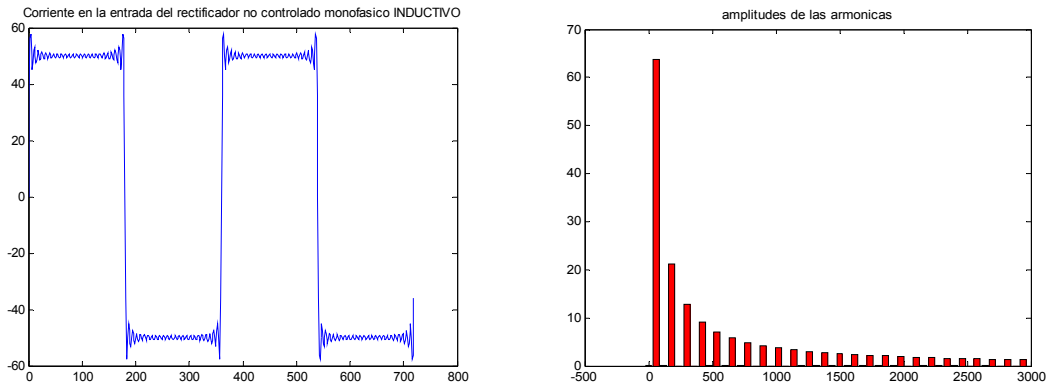


Figura 2.58 Formas de onda de un rectificador monofásico con carga inductiva.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.43 Amplitudes y Fases de armónicas.

En este caso primero se obtuvo las amplitudes de cada una de las armónicas a partir de las ecuaciones desarrolladas para los coeficientes de Fourier [3] y luego se le aplicó la transformada de Fourier FFT a la señal obtenida en el Tiempo y se pudo comprobar que se obtenían los mismos valores de las armónicas, comprobando que se puede usar este método para obtener el comportamiento armónico de las cargas en mención.

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 8.55E-15 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 63.662 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH02 | 7.53E-15 | 0.43115 | 24.70 |
| IGH03 | 21.221 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH04 | 2.94E-15 | 0.019918 | 1.14 |
| IGH05 | 12.732 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH06 | 5.66E-15 | 1.9281 | 110.47 |
| IGH07 | 9.0946 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH08 | 1.10E-14 | 5.6144 | 321.68 |
| IGH09 | 7.0736 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH10 | 7.66E-15 | 5.3159 | 304.58 |
| IGH11 | 5.7875 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH12 | 8.65E-15 | 1.5931 | 91.28 |
| IGH13 | 4.8971 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH14 | 4.65E-15 | 4.7677 | 273.17 |
| IGH15 | 4.2441 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH16 | 3.06E-15 | 0.53545 | 30.68 |
| IGH17 | 3.7448 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH18 | 5.43E-15 | 4.3452 | 248.96 |
| IGH19 | 3.3506 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH20 | 1.18E-14 | 1.6055 | 91.99 |
| IGH21 | 3.0315 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH22 | 6.17E-15 | 4.0578 | 232.49 |
| IGH23 | 2.7679 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH24 | 1.45E-14 | 0.98604 | 56.50 |
| IGH25 | 2.5465 | 1.5708 | 90.00 |

2.2.2.1.2 RECTIFICADOR TRIFASICO COMPLETO NO CONTROLADO.

a. Formas de onda caso señal de corriente continua.

A continuación se muestra las formas de onda para un rectificador trifásico con carga RL con valores de $R=2.5\Omega$, $L=1.5\text{mH}$ y $E=10\text{V}$, las cuales son idénticas a las esperadas según el análisis teórico [3].

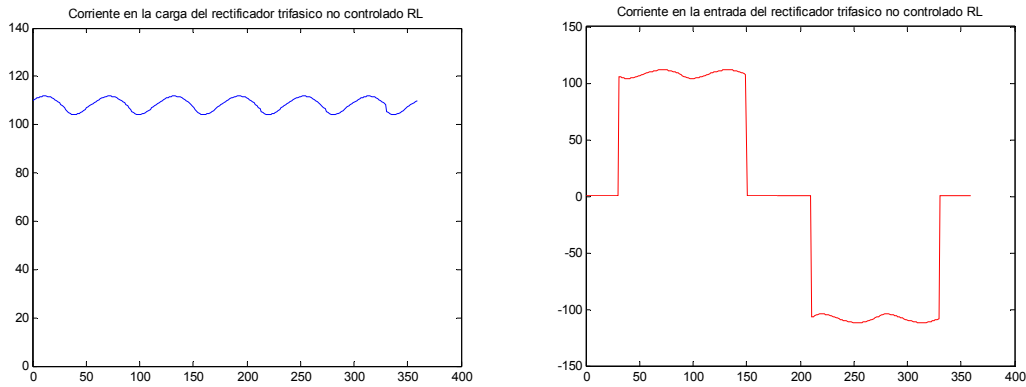


Figura 2.59 Formas de onda de un rectificador trifásico no controlado con carga RL.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.44 Amplitudes y Fases de armónicas.

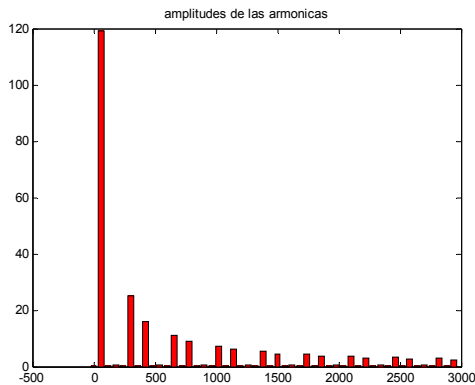


Figura 2.60 Gráfico de armónicas

En este caso a diferencia del caso del rectificador monofásico, las amplitudes de las armónicas que influyen son las armónicas impares sin incluir las armónicas triplens, lo cual cumple con la teoría [3-6].

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0.00039054 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 119.24 | 1.577 | 90.36 |
| IGH02 | 0.020331 | 2.4035 | 137.71 |
| IGH03 | 0.54456 | 4.6634 | 267.19 |
| IGH04 | 0.07208 | 2.7745 | 158.97 |
| IGH05 | 24.932 | 4.8028 | 275.18 |
| IGH06 | 0.18621 | 5.9436 | 340.54 |
| IGH07 | 16.129 | 4.6064 | 263.93 |
| IGH08 | 0.07878 | 2.784 | 159.51 |
| IGH09 | 0.57608 | 1.6301 | 93.40 |
| IGH10 | 0.030793 | 2.3763 | 136.15 |
| IGH11 | 10.912 | 1.5746 | 90.22 |
| IGH12 | 0.05269 | 3.3922 | 194.36 |
| IGH13 | 8.8615 | 1.5233 | 87.28 |
| IGH14 | 0.044943 | 6.1787 | 354.01 |
| IGH15 | 0.56651 | 4.7572 | 272.57 |
| IGH16 | 0.026971 | 5.842 | 334.72 |
| IGH17 | 7.2128 | 4.7038 | 269.51 |
| IGH18 | 0.024149 | 0.69253 | 39.68 |
| IGH19 | 6.015 | 4.6856 | 268.46 |
| IGH20 | 0.030157 | 3.1601 | 181.06 |
| IGH21 | 0.56519 | 1.6037 | 91.89 |
| IGH22 | 0.021985 | 2.858 | 163.75 |
| IGH23 | 5.4497 | 1.5607 | 89.42 |
| IGH24 | 0.014117 | 4.2431 | 243.11 |
| IGH25 | 4.5209 | 1.5537 | 89.02 |

b. Formas de onda caso señal de corriente discontinua.

En este caso se muestra las formas de onda para un rectificador trifásico con carga RL cambiando el valor de la fuente de voltaje a $E=280V$ y dejando los demás valores iguales.

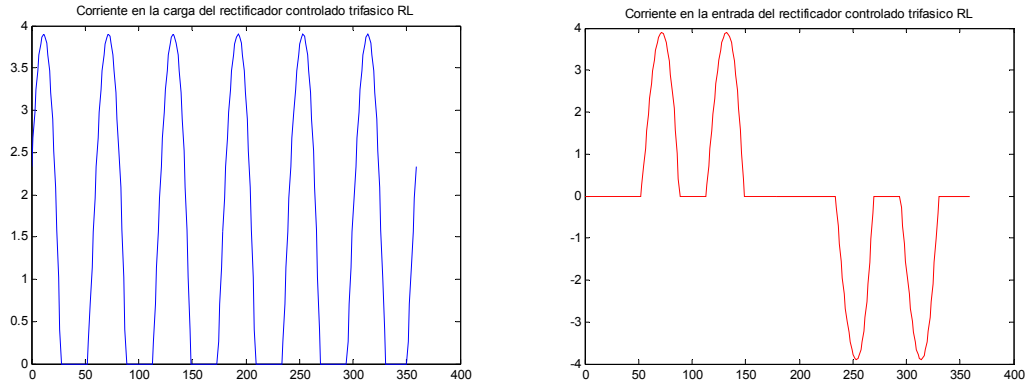


Figura 2.61 Formas de onda discontinua de un rectificador trifásico no controlado.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.45 Amplitudes y Fases de armónicas.

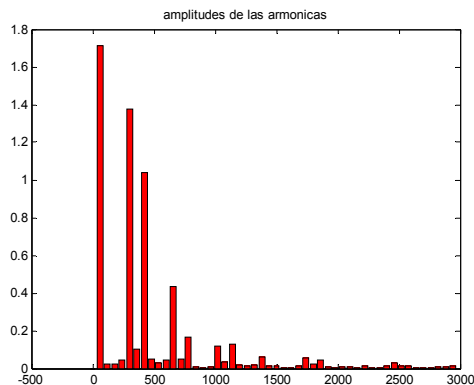


Figura 2.62 Gráfico de armónicas

En este caso cuando la señal de corriente es discontinua en el tiempo siempre afectan las mismas armónicas, pero las más predominantes son las armónicas quinta y séptima tal como lo muestra el gráfico.

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 1.7132 | 1.7793 | 101.95 |
| IGH02 | 0.02332 | 1.988 | 113.90 |
| IGH03 | 0.022545 | 2.197 | 125.88 |
| IGH04 | 0.043343 | 2.4067 | 137.89 |
| IGH05 | 1.3746 | 5.7588 | 329.95 |
| IGH06 | 0.10336 | 5.9706 | 342.09 |
| IGH07 | 1.0389 | 3.0426 | 174.33 |
| IGH08 | 0.0479 | 3.2588 | 186.72 |
| IGH09 | 0.031014 | 3.479 | 199.33 |
| IGH10 | 0.043506 | 3.7055 | 212.31 |
| IGH11 | 0.43285 | 0.80161 | 45.93 |
| IGH12 | 0.049279 | 1.0615 | 60.82 |
| IGH13 | 0.1666 | 4.5186 | 258.90 |
| IGH14 | 0.0072251 | 5.0425 | 288.91 |
| IGH15 | 0.0030735 | 0.22823 | 13.08 |
| IGH16 | 0.01017 | 1.2326 | 70.62 |
| IGH17 | 0.11788 | 4.7823 | 274.00 |
| IGH18 | 0.034191 | 5.0772 | 290.90 |
| IGH19 | 0.12964 | 2.1974 | 125.90 |
| IGH20 | 0.015808 | 2.449 | 140.32 |
| IGH21 | 0.010922 | 2.7022 | 154.82 |
| IGH22 | 0.015933 | 2.9692 | 170.12 |
| IGH23 | 0.063089 | 0.13374 | 7.66 |
| IGH24 | 0.011927 | 0.5668 | 32.48 |
| IGH25 | 0.015162 | 4.7286 | 270.93 |

c. Formas de onda caso señal de corriente con carga altamente inductiva.

En este caso se muestra para una carga altamente inductiva en función de la corriente inductiva en DC, que es el caso cuando existe carga altamente inductiva [3].

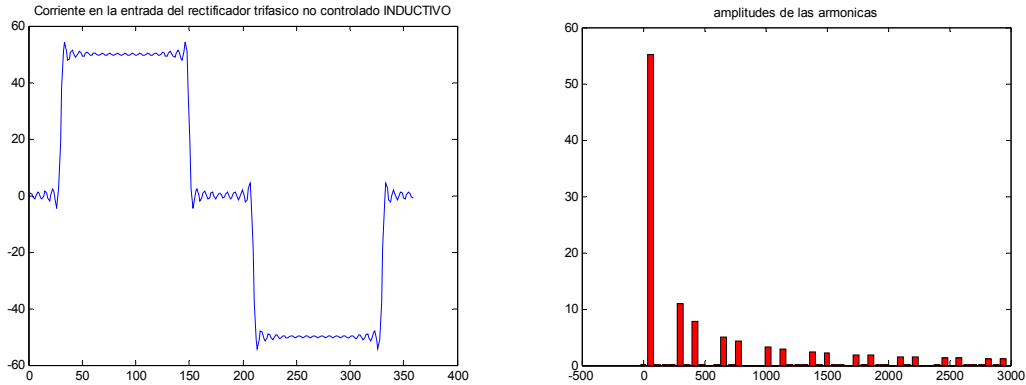


Figura 2.63 Formas de onda de un rectificador trifásico con carga inductiva.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.46 Amplitudes y Fases de armónicas.

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 6.11E-15 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH01 | 55.133 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH02 | 1.03E-14 | 1.9263 | 110.37 |
| IGH03 | 1.02E-14 | 2.1269 | 121.86 |
| IGH04 | 9.75E-15 | 1.0656 | 61.05 |
| IGH05 | 11.027 | 4.7124 | 270.00 |
| IGH06 | 8.08E-15 | 6.0213 | 344.99 |
| IGH07 | 7.8761 | 4.7124 | 270.00 |
| IGH08 | 5.60E-15 | 5.7995 | 332.29 |
| IGH09 | 2.75E-15 | 3.9285 | 225.09 |
| IGH10 | 7.14E-15 | 4.6692 | 267.52 |
| IGH11 | 5.0121 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH12 | 1.50E-14 | 2.0029 | 114.76 |
| IGH13 | 4.241 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH14 | 4.50E-15 | 3.099 | 177.56 |
| IGH15 | 5.12E-16 | 0.77901 | 44.63 |
| IGH16 | 3.96E-15 | 1.0535 | 60.36 |
| IGH17 | 3.2431 | 4.7124 | 270.00 |
| IGH18 | 1.65E-15 | 1.4647 | 83.92 |
| IGH19 | 2.9017 | 4.7124 | 270.00 |
| IGH20 | 9.10E-15 | 4.7966 | 274.82 |
| IGH21 | 9.72E-15 | 4.4066 | 252.48 |
| IGH22 | 1.07E-14 | 4.5599 | 261.26 |
| IGH23 | 2.3971 | 1.5708 | 90.00 |
| IGH24 | 8.11E-15 | 1.1566 | 66.27 |
| IGH25 | 2.2053 | 1.5708 | 90.00 |

2.2.2.2 RECTIFICADORES CONTROLADOS

2.2.2.2.1 RECTIFICADOR MONOFASICO COMPLETO CONTROLADO.

a. Formas de onda caso señal de corriente continua.

A continuación se muestra las formas de onda para un rectificador monofásico con carga RL con valores de $R=0.5\Omega$, $L=6.5\text{mH}$, $E=10\text{V}$ y con un ángulo de disparo de $\pi/3$.

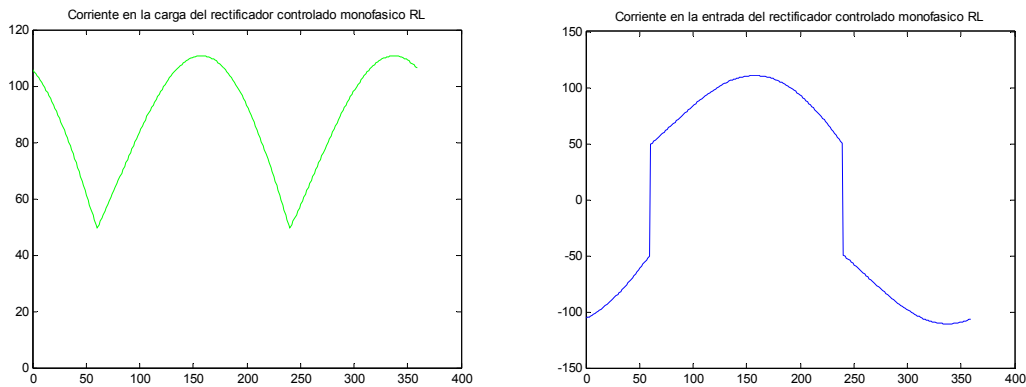


Figura 2.64 Formas de onda de un rectificador monofásico controlado con carga RL.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.47 Amplitudes y Fases de armónicas.

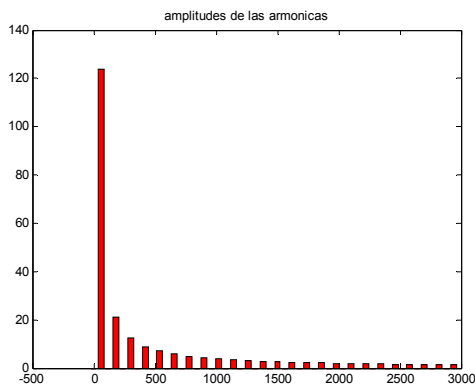


Figura 2.65 Gráfico de armónicas

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 123.72 | 2.6499 | 151.83 |
| IGH02 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH03 | 20.931 | 4.6047 | 263.83 |
| IGH04 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH05 | 12.579 | 0.44591 | 25.55 |
| IGH06 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH07 | 8.9937 | 2.5485 | 146.02 |
| IGH08 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH09 | 7.0017 | 4.6439 | 266.08 |
| IGH10 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH11 | 5.7348 | 0.4527 | 25.94 |
| IGH12 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH13 | 4.8586 | 2.543 | 145.70 |
| IGH14 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH15 | 4.2168 | 4.6321 | 265.40 |
| IGH16 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH17 | 3.7268 | 0.43744 | 25.06 |
| IGH18 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH19 | 3.3406 | 2.5255 | 144.70 |
| IGH20 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH21 | 3.0286 | 4.6131 | 264.31 |
| IGH22 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH23 | 2.7714 | 0.41738 | 23.91 |
| IGH24 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH25 | 2.5559 | 2.5046 | 143.50 |

b. Formas de onda caso señal de corriente discontinua.

En este caso se muestra las formas de onda para un rectificador monofásico con carga RL cambiando el valor de la inductancia a $E=0.15\text{mH}$, dejando los demás valores iguales.

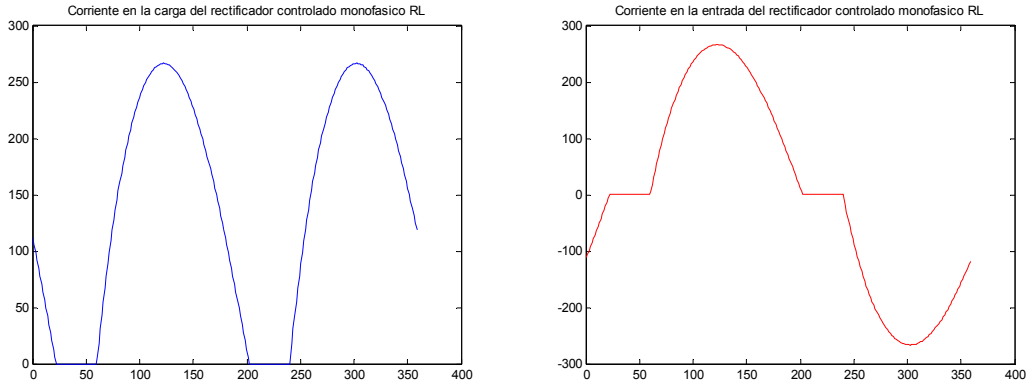


Figura 2.66 Formas de onda discontinua de un rectificador monofásico controlado.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.48 Amplitudes y Fases de armónicas.

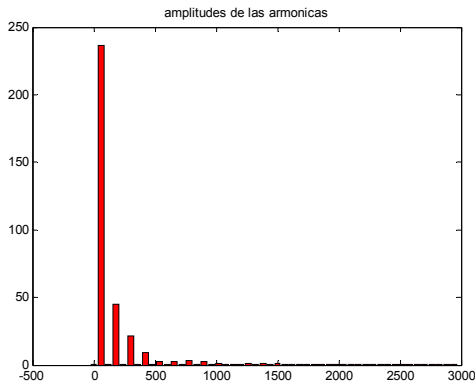


Figura 2.67 Gráfico de armónicas

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0.035519 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 236.78 | 2.2167 | 127.01 |
| IGH02 | 0.035519 | 2.1108 | 120.94 |
| IGH03 | 44.683 | 0.17498 | 10.03 |
| IGH04 | 0.035519 | 4.2215 | 241.87 |
| IGH05 | 21.887 | 1.8744 | 107.39 |
| IGH06 | 0.035519 | 0.049087 | 2.81 |
| IGH07 | 9.1924 | 3.5642 | 204.21 |
| IGH08 | 0.035519 | 2.1598 | 123.75 |
| IGH09 | 2.5509 | 5.6597 | 324.28 |
| IGH10 | 0.035519 | 4.2706 | 244.69 |
| IGH11 | 2.2398 | 2.536 | 145.30 |
| IGH12 | 0.035519 | 0.098175 | 5.63 |
| IGH13 | 2.9397 | 4.407 | 252.50 |
| IGH14 | 0.035519 | 2.2089 | 126.56 |
| IGH15 | 2.4213 | 6.0609 | 347.26 |
| IGH16 | 0.035519 | 4.3197 | 247.50 |
| IGH17 | 1.3333 | 1.5003 | 85.96 |
| IGH18 | 0.035519 | 0.14726 | 8.44 |
| IGH19 | 0.48322 | 4.0213 | 230.40 |
| IGH20 | 0.035519 | 2.258 | 129.37 |
| IGH21 | 0.80478 | 0.48187 | 27.61 |
| IGH22 | 0.035519 | 4.3688 | 250.31 |
| IGH23 | 1.0242 | 2.2412 | 128.41 |
| IGH24 | 0.035519 | 0.19635 | 11.25 |
| IGH25 | 0.84754 | 3.8989 | 223.39 |

c. Formas de onda caso señal de corriente con carga altamente inductiva.

En este caso se muestra para una carga altamente inductiva en función de la corriente inductiva en DC y el ángulo de disparo siempre en $\pi/3$.

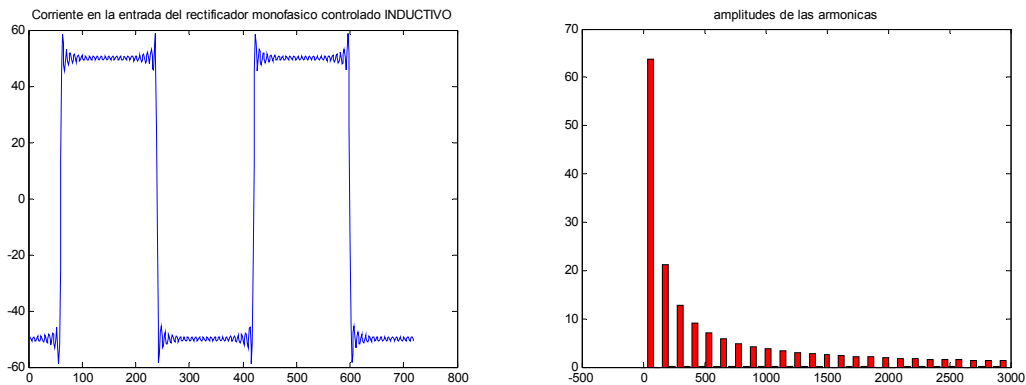


Figura 2.68 Formas de onda de un rectificador monofásico controlado con carga inductiva.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.49 Amplitudes y Fases de armónicas.

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 3.68E-15 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 63.662 | 2.618 | 150.00 |
| IGH02 | 5.79E-15 | 3.2029 | 183.51 |
| IGH03 | 21.221 | 4.7124 | 270.00 |
| IGH04 | 9.89E-15 | 2.0849 | 119.46 |
| IGH05 | 12.732 | 0.5236 | 30.00 |
| IGH06 | 5.96E-15 | 0.52306 | 29.97 |
| IGH07 | 9.0946 | 2.618 | 150.00 |
| IGH08 | 6.66E-15 | 4.6359 | 265.62 |
| IGH09 | 7.0736 | 4.7124 | 270.00 |
| IGH10 | 1.07E-14 | 3.0731 | 176.08 |
| IGH11 | 5.7875 | 0.5236 | 30.00 |
| IGH12 | 1.02E-14 | 0.6451 | 36.96 |
| IGH13 | 4.8971 | 2.618 | 150.00 |
| IGH14 | 2.30E-14 | 5.9199 | 339.18 |
| IGH15 | 4.2441 | 4.7124 | 270.00 |
| IGH16 | 1.11E-14 | 5.5683 | 319.04 |
| IGH17 | 3.7448 | 0.5236 | 30.00 |
| IGH18 | 1.52E-14 | 5.7488 | 329.38 |
| IGH19 | 3.3506 | 2.618 | 150.00 |
| IGH20 | 7.49E-15 | 4.2804 | 245.25 |
| IGH21 | 3.0315 | 4.7124 | 270.00 |
| IGH22 | 9.35E-15 | 3.0797 | 176.45 |
| IGH23 | 2.7679 | 0.5236 | 30.00 |
| IGH24 | 1.09E-14 | 6.2322 | 357.08 |
| IGH25 | 2.5465 | 2.618 | 150.00 |

2.2.2.2.2 RECTIFICADOR TRIFASICO COMPLETO CONTROLADO.

a. Formas de onda caso señal de corriente continua.

A continuación se muestra las formas de onda para un rectificador trifásico con carga RL con valores de $R=2.5\Omega$, $L=1.5\text{mH}$, $E=10\text{V}$ y un ángulo de disparo de $\pi/3$.

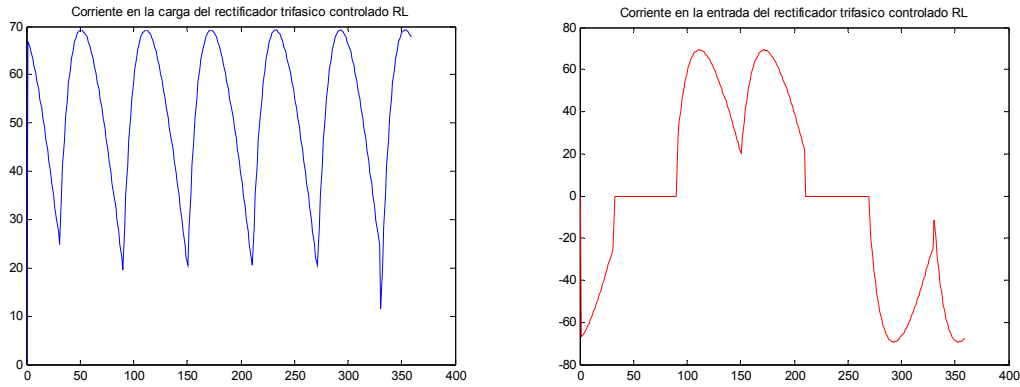


Figura 2.69 Formas de onda de un rectificador trifásico controlado con carga RL.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.50 Amplitudes y Fases de armónicas.

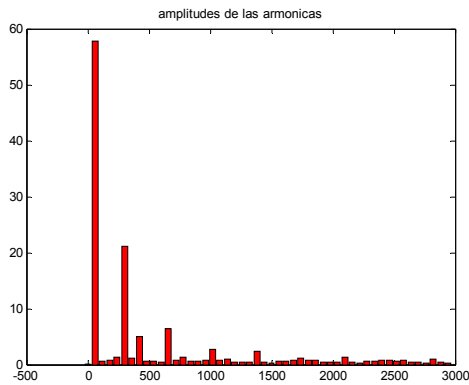


Figura 2.70 Gráfico de armónicas

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0.09753 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 57.788 | 2.5968 | 148.79 |
| IGH02 | 0.63363 | 4.403 | 252.27 |
| IGH03 | 0.84399 | 5.0644 | 290.17 |
| IGH04 | 1.3572 | 5.5251 | 316.56 |
| IGH05 | 21.176 | 3.4613 | 198.32 |
| IGH06 | 1.1157 | 4.9529 | 283.78 |
| IGH07 | 4.9421 | 1.3014 | 74.56 |
| IGH08 | 0.60585 | 0.48287 | 27.67 |
| IGH09 | 0.55363 | 0.37938 | 21.74 |
| IGH10 | 0.37086 | 0.80463 | 46.10 |
| IGH11 | 6.473 | 0.60539 | 34.69 |
| IGH12 | 0.7566 | 0.84958 | 48.68 |
| IGH13 | 1.2384 | 4.9335 | 282.67 |
| IGH14 | 0.662 | 5.8387 | 334.53 |
| IGH15 | 0.62991 | 5.9649 | 341.76 |
| IGH16 | 0.79806 | 5.9936 | 343.41 |
| IGH17 | 2.7382 | 4.112 | 235.60 |
| IGH18 | 0.7738 | 5.7361 | 328.65 |
| IGH19 | 0.95111 | 0.44951 | 25.75 |
| IGH20 | 0.51427 | 0.454 | 26.01 |
| IGH21 | 0.47679 | 0.29262 | 16.77 |
| IGH22 | 0.36041 | 0.45576 | 26.11 |
| IGH23 | 2.2936 | 0.74321 | 42.58 |
| IGH24 | 0.44967 | 0.59357 | 34.01 |
| IGH25 | 0.29104 | 5.4088 | 309.90 |

b. Formas de onda caso señal de corriente discontinua.

En este caso se muestra las formas de onda para un rectificador trifásico con carga RL cambiando el valor de la fuente de voltaje a $E=170V$ y dejando los demás valores iguales.

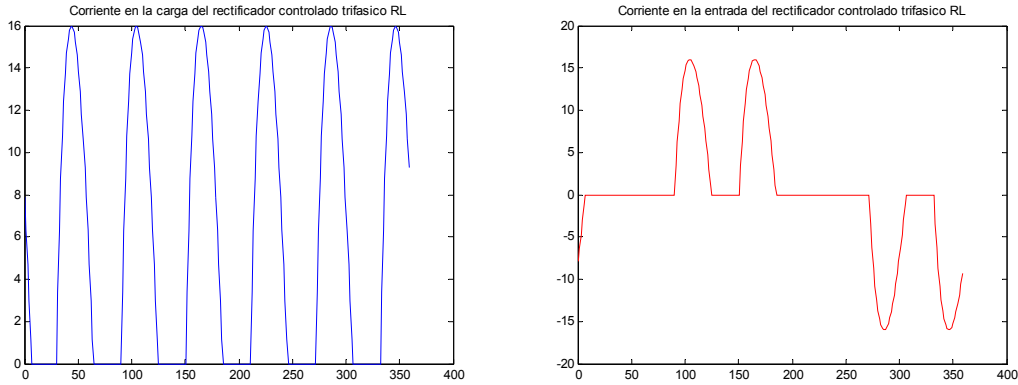


Figura 2.71 Formas de onda discontinua de un rectificador trifásico controlado.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.51 Amplitudes y Fases de armónicas.

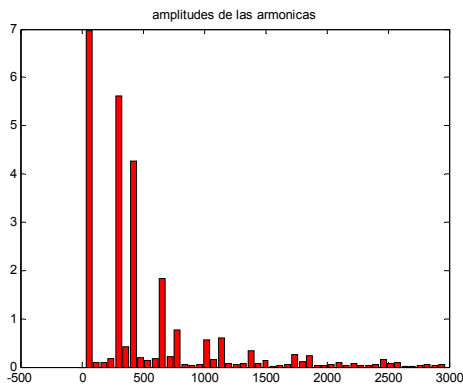


Figura 2.72 Gráfico de armónicas

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 6.9615 | 2.3932 | 137.12 |
| IGH02 | 0.094831 | 3.2153 | 184.22 |
| IGH03 | 0.091792 | 4.0368 | 231.29 |
| IGH04 | 0.17678 | 4.8571 | 278.29 |
| IGH05 | 5.6197 | 2.5342 | 145.20 |
| IGH06 | 0.42383 | 3.3505 | 191.97 |
| IGH07 | 4.2763 | 1.022 | 58.56 |
| IGH08 | 0.19812 | 1.8302 | 104.86 |
| IGH09 | 0.12908 | 2.6311 | 150.75 |
| IGH10 | 0.18265 | 3.4206 | 195.99 |
| IGH11 | 1.8414 | 1.0486 | 60.08 |
| IGH12 | 0.21479 | 1.7801 | 101.99 |
| IGH13 | 0.77054 | 5.567 | 318.96 |
| IGH14 | 0.041296 | 5.981 | 342.69 |
| IGH15 | 0.024129 | 5.9817 | 342.73 |
| IGH16 | 0.055376 | 6.1744 | 353.77 |
| IGH17 | 0.57294 | 3.5823 | 205.25 |
| IGH18 | 0.1616 | 4.2667 | 244.46 |
| IGH19 | 0.61202 | 1.859 | 106.51 |
| IGH20 | 0.07556 | 2.6105 | 149.57 |
| IGH21 | 0.05349 | 3.3626 | 192.66 |
| IGH22 | 0.081305 | 4.0992 | 234.87 |
| IGH23 | 0.3469 | 1.6522 | 94.66 |
| IGH24 | 0.077146 | 2.2406 | 128.38 |
| IGH25 | 0.13072 | 5.6924 | 326.15 |

c. Formas de onda caso señal de corriente con carga altamente inductiva.

En este caso se muestra para una carga altamente inductiva en función de la corriente inductiva en DC y el ángulo de disparo siempre en $\pi/3$.

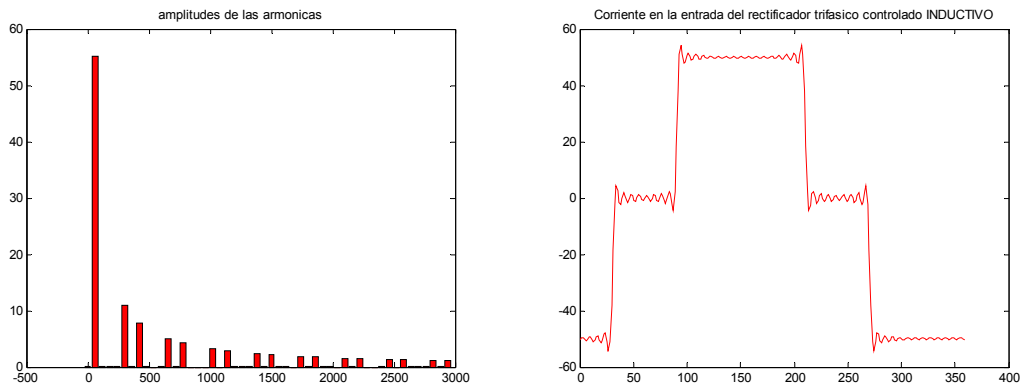


Figura 2.73 Formas de onda de un rectificador trifásico controlado con carga inductiva.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.52 Amplitudes y Fases de armónicas.

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 6.11E-15 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH01 | 55.133 | 2.6262 | 150.47 |
| IGH02 | 1.03E-14 | 4.0371 | 231.31 |
| IGH03 | 8.88E-15 | 5.39 | 308.82 |
| IGH04 | 9.75E-15 | 5.2871 | 302.93 |
| IGH05 | 11.027 | 3.7061 | 212.34 |
| IGH06 | 8.08E-15 | 6.0704 | 347.81 |
| IGH07 | 7.8761 | 5.8169 | 333.28 |
| IGH08 | 5.60E-15 | 1.6762 | 96.04 |
| IGH09 | 2.54E-15 | 0.88539 | 50.73 |
| IGH10 | 7.14E-15 | 2.6566 | 152.21 |
| IGH11 | 5.0121 | 0.61359 | 35.16 |
| IGH12 | 1.50E-14 | 2.1011 | 120.38 |
| IGH13 | 4.241 | 2.7243 | 156.09 |
| IGH14 | 4.50E-15 | 5.3079 | 304.12 |
| IGH15 | 1.02E-15 | 3.2884 | 188.41 |
| IGH16 | 3.96E-15 | 5.3732 | 307.86 |
| IGH17 | 3.2431 | 3.8043 | 217.97 |
| IGH18 | 1.65E-15 | 1.6119 | 92.35 |
| IGH19 | 2.9017 | 5.915 | 338.90 |
| IGH20 | 9.10E-15 | 0.77144 | 44.20 |
| IGH21 | 1.06E-14 | 1.4057 | 80.54 |
| IGH22 | 1.07E-14 | 2.6455 | 151.58 |
| IGH23 | 2.3971 | 0.71177 | 40.78 |
| IGH24 | 8.11E-15 | 1.3529 | 77.52 |
| IGH25 | 2.2053 | 2.8225 | 161.72 |

2.2.2.3 SEMICONVERTIDOR MONOFASICO.

a. Formas de onda caso señal de corriente continua.

A continuación se muestra las formas de onda para un rectificador monofásico con carga RL con valores de $R=2.5\Omega$, $L=6.5\text{mH}$, $E=10\text{V}$ y con un ángulo de disparo de $\pi/3$.

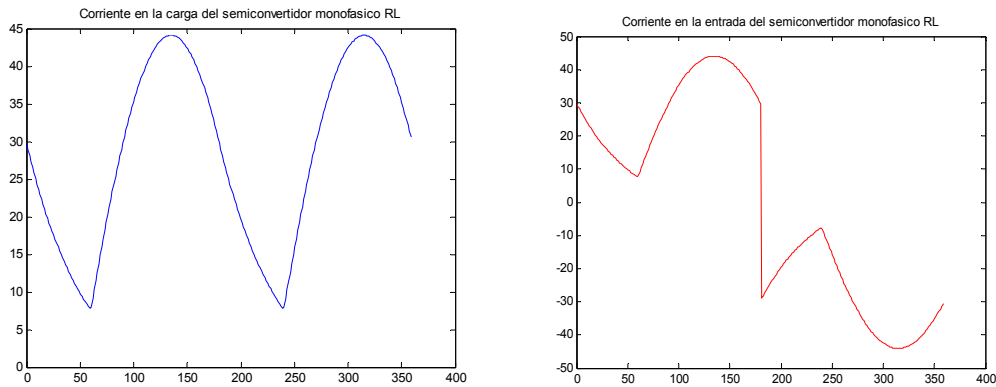


Figura 2.74 Formas de onda de un semiconvertidor monofásico con carga RL.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.53 Amplitudes y Fases de armónicas.

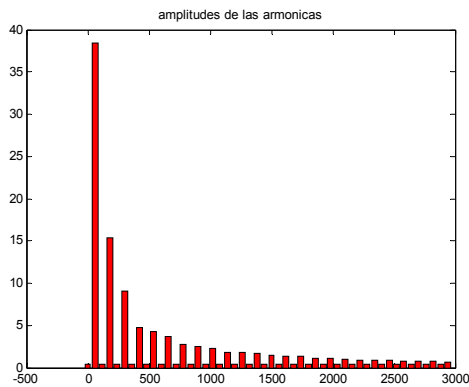


Figura 2.75 Gráfico de armónicas

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 38.394 | 1.946 | 111.50 |
| IGH02 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH03 | 15.422 | 0.9081 | 52.03 |
| IGH04 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH05 | 9.067 | 1.4498 | 83.07 |
| IGH06 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH07 | 4.7667 | 1.4739 | 84.45 |
| IGH08 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH09 | 4.2932 | 1.3315 | 76.29 |
| IGH10 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH11 | 3.711 | 1.5122 | 86.64 |
| IGH12 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH13 | 2.7023 | 1.5182 | 86.99 |
| IGH14 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH15 | 2.5199 | 1.4248 | 81.63 |
| IGH16 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH17 | 2.3145 | 1.5315 | 87.75 |
| IGH18 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH19 | 1.8697 | 1.5338 | 87.88 |
| IGH20 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH21 | 1.7729 | 1.4647 | 83.92 |
| IGH22 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH23 | 1.6672 | 1.5406 | 88.27 |
| IGH24 | 0.46512 | 0 | 0.00 |
| IGH25 | 1.4168 | 1.5416 | 88.33 |

b. Formas de onda caso señal de corriente discontinua.

En este caso se muestra las formas de onda para un rectificador trifásico con carga RL cambiando el valor de la fuente de voltaje a $E=150V$ y dejando los demás valores iguales.

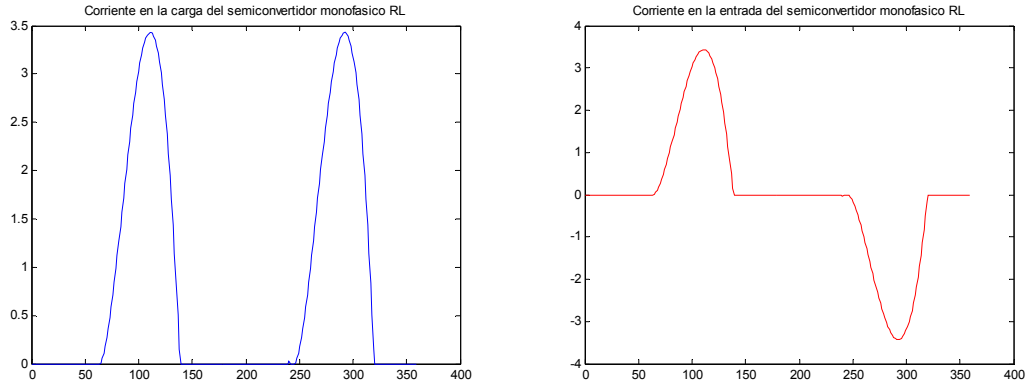


Figura 2.76 Formas de onda discontinua de un semiconvertidor monofásico.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.54 Amplitudes y Fases de armónicas.

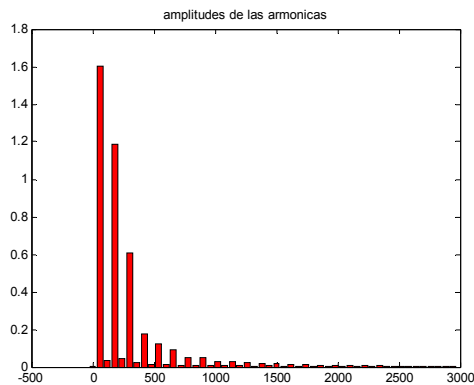


Figura 2.77 Gráfico de armónicas

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0.00019618 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH01 | 1.6033 | 1.8784 | 107.62 |
| IGH02 | 0.035078 | 2.1911 | 125.54 |
| IGH03 | 1.1892 | 5.6549 | 324.00 |
| IGH04 | 0.04418 | 6.0027 | 343.93 |
| IGH05 | 0.60643 | 3.2417 | 185.74 |
| IGH06 | 0.026237 | 3.7175 | 213.00 |
| IGH07 | 0.17646 | 1.3269 | 76.03 |
| IGH08 | 0.011193 | 2.5554 | 146.41 |
| IGH09 | 0.12494 | 0.36653 | 21.00 |
| IGH10 | 0.014916 | 1.0125 | 58.01 |
| IGH11 | 0.09151 | 4.7793 | 273.83 |
| IGH12 | 0.0087936 | 5.5804 | 319.73 |
| IGH13 | 0.047593 | 3.545 | 203.11 |
| IGH14 | 0.0089129 | 4.4912 | 257.33 |
| IGH15 | 0.049374 | 2.0399 | 116.88 |
| IGH16 | 0.0079566 | 2.7054 | 155.01 |
| IGH17 | 0.029367 | 0.45287 | 25.95 |
| IGH18 | 0.0057681 | 1.5377 | 88.10 |
| IGH19 | 0.027327 | 5.5354 | 317.15 |
| IGH20 | 0.0067626 | 6.2274 | 356.80 |
| IGH21 | 0.022005 | 3.8402 | 220.03 |
| IGH22 | 0.0045458 | 4.7703 | 273.32 |
| IGH23 | 0.015922 | 2.6282 | 150.58 |
| IGH24 | 0.005358 | 3.4675 | 198.67 |
| IGH25 | 0.016417 | 1.0617 | 60.83 |

c. Formas de onda caso señal de corriente con carga altamente inductiva.

En este caso se muestra para una carga altamente inductiva en función de la corriente inductiva en DC y el ángulo de disparo siempre en $\pi/3$.

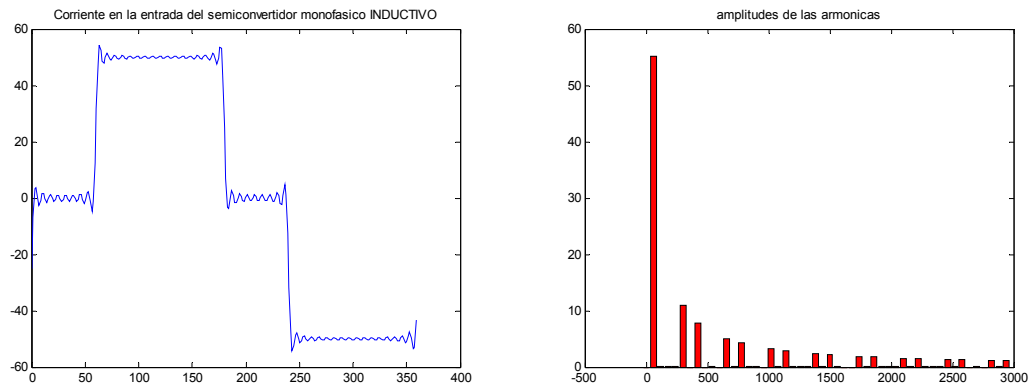


Figura 2.78 Formas de onda de un semiconvertidor monofásico con carga altamente inductiva.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.55 Amplitudes y Fases de armónicas.

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 2.33E-15 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 55.133 | 2.0944 | 120.00 |
| IGH02 | 7.21E-15 | 2.8278 | 162.02 |
| IGH03 | 1.00E-14 | 2.2176 | 127.06 |
| IGH04 | 5.13E-15 | 2.1366 | 122.42 |
| IGH05 | 11.027 | 1.0472 | 60.00 |
| IGH06 | 4.57E-15 | 1.3785 | 78.98 |
| IGH07 | 7.8761 | 2.0944 | 120.00 |
| IGH08 | 3.14E-15 | 2.0508 | 117.50 |
| IGH09 | 5.89E-15 | 2.9995 | 171.86 |
| IGH10 | 3.96E-15 | 0.24801 | 14.21 |
| IGH11 | 5.0121 | 1.0472 | 60.00 |
| IGH12 | 7.99E-15 | 2.9392 | 168.40 |
| IGH13 | 4.241 | 2.0944 | 120.00 |
| IGH14 | 8.12E-15 | 4.8415 | 277.40 |
| IGH15 | 6.21E-15 | 3.1694 | 181.59 |
| IGH16 | 1.17E-15 | 0.24812 | 14.22 |
| IGH17 | 3.2431 | 1.0472 | 60.00 |
| IGH18 | 9.19E-15 | 5.0045 | 286.74 |
| IGH19 | 2.9017 | 2.0944 | 120.00 |
| IGH20 | 1.18E-14 | 2.6564 | 152.20 |
| IGH21 | 8.45E-15 | 3.6189 | 207.35 |
| IGH22 | 1.21E-14 | 2.9367 | 168.26 |
| IGH23 | 2.3971 | 1.0472 | 60.00 |
| IGH24 | 1.60E-14 | 0.99878 | 57.23 |
| IGH25 | 2.2053 | 2.0944 | 120.00 |

2.2.2.4 CONTROLADOR DE CORRIENTE ALTERNA MONOFASICO.

a. Formas de onda con carga RL.

A continuación se muestra las formas de onda para un controlador de AC monofásico con carga RL con valores de $R=5\Omega$, $L=6.5\text{mH}$, y con un ángulo de disparo de $\pi/2$.

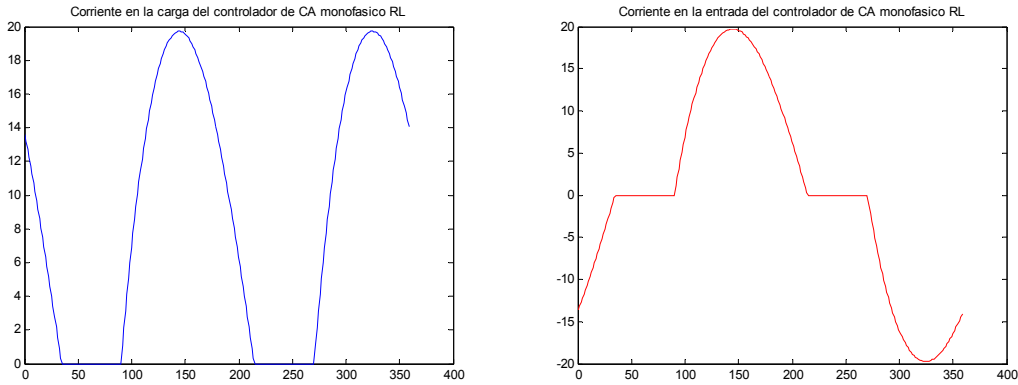


Figura 2.79 Formas de onda de un controlador monofásico de AC con carga RL.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.56 Amplitudes y Fases de armónicas.

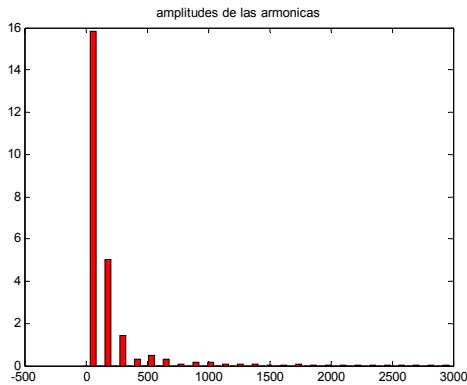


Figura 2.80 Gráfico de armónicas

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH01 | 1.58E+01 | 2.5963 | 148.76 |
| IGH02 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH03 | 5.04E+00 | 1.4161 | 81.14 |
| IGH04 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH05 | 1.42E+00 | 3.9619 | 227.00 |
| IGH06 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH07 | 2.83E-01 | 1.7444 | 99.95 |
| IGH08 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH09 | 5.12E-01 | 4.8712 | 279.10 |
| IGH10 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH11 | 3.22E-01 | 1.0672 | 61.15 |
| IGH12 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH13 | 7.55E-02 | 4.5186 | 258.90 |
| IGH14 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH15 | 1.66E-01 | 1.9102 | 109.45 |
| IGH16 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH17 | 1.48E-01 | 4.393 | 251.70 |
| IGH18 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH19 | 4.70E-02 | 1.0263 | 58.80 |
| IGH20 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH21 | 7.16E-02 | 5.1798 | 296.78 |
| IGH22 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH23 | 8.53E-02 | 1.4279 | 81.81 |
| IGH24 | 0 | 0 | 0.00 |
| IGH25 | 3.86E-02 | 4.0912 | 234.41 |

b. Forma de onda con carga resistiva.

En este caso se muestra las formas de onda para un controlador de AC monofásico con una carga con valores de $R=2.5\Omega$, haciendo $L=0$ y con un ángulo de disparo de $\pi/2$.

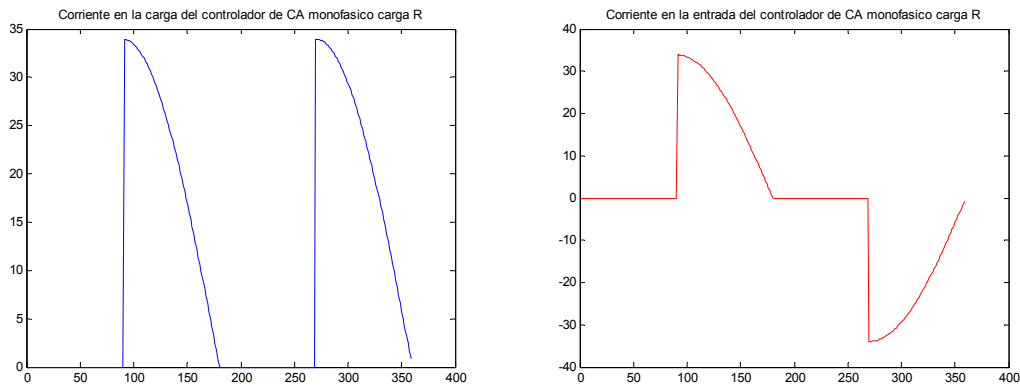


Figura 2.81 Formas de onda de un controlador monofásico de AC con carga resistiva.

Al aplicar la transformada FFT se obtienen las componentes armónicas siguientes:

Tabla 2.57 Amplitudes y Fases de armónicas.

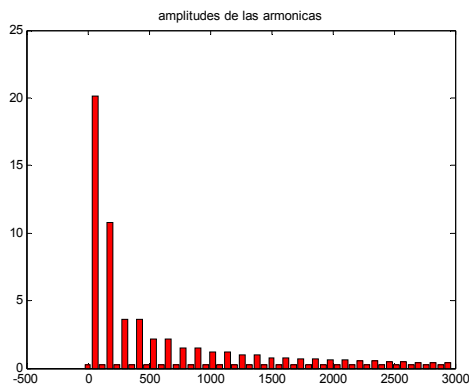


Figura 2.82 Gráfico de armónicas

| RESULTADO DE SIMULACION | | | |
|-------------------------|---------------|--------------|------------|
| ARMONICA | AMPLITUD(RMS) | ANGULO (RAD) | ANGULO (°) |
| IGH00 | 0.26517 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH01 | 2.01E+01 | 2.1376 | 122.48 |
| IGH02 | 0.26517 | 0 | 0.00 |
| IGH03 | 1.08E+01 | 3.24E-16 | 0.00 |
| IGH04 | 0.26517 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH05 | 3.59E+00 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH06 | 0.26517 | 0 | 0.00 |
| IGH07 | 3.59E+00 | 4.17E-16 | 0.00 |
| IGH08 | 0.26517 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH09 | 2.15E+00 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH10 | 0.26517 | 0 | 0.00 |
| IGH11 | 2.15E+00 | 4.65E-16 | 0.00 |
| IGH12 | 0.26517 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH13 | 1.53E+00 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH14 | 0.26517 | 0 | 0.00 |
| IGH15 | 1.53E+00 | 7.99E-16 | 0.00 |
| IGH16 | 0.26517 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH17 | 1.18E+00 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH18 | 0.26517 | 0 | 0.00 |
| IGH19 | 1.18E+00 | 4.47E-16 | 0.00 |
| IGH20 | 0.26517 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH21 | 9.58E-01 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH22 | 0.26517 | 0 | 0.00 |
| IGH23 | 9.58E-01 | 7.82E-16 | 0.00 |
| IGH24 | 0.26517 | 3.1416 | 180.00 |
| IGH25 | 8.03E-01 | 3.1416 | 180.00 |

CONCLUSIONES DEL CAPITULO II.

- Al analizar los datos que se habían obtenido inicialmente con las mediciones del proyecto de mediciones de índices de armónicos [2], nos dimos cuenta que era necesario realizar más mediciones, ya que solo había mediciones individuales y no grupales y no existían suficientes datos para poder predecir comportamiento armónico.
- Los resultados del método científico experimental permiten obtener las conclusiones para poder responder si es válida o no una determinada hipótesis de trabajo o algún modelo propuesto, de ahí su grado de importancia que tiene para aplicarlo en la predicción de comportamientos armónicos.
- De acuerdo a mediciones realizadas anteriormente, se pudo observar que al cambiar el tipo de balasto y la capacidad de las luminarias la distorsión armónica variaba, además se observaba en el caso de las luminarias y de las computadoras personales la amplitud de sus armónicas variaba linealmente conforme se aumente el número de cargas, por lo que al momento de plantear la hipótesis a probar se hizo tomando en cuenta estas experiencias previas, el planteamiento de esta se hizo en función de la aproximación de la linealidad de las amplitudes de las armónicas y de que porcentaje de los datos se adaptan o se correlacionan al modelo de la linealidad.
- Al analizar la hipótesis de que las amplitudes de las armónicas variaban linealmente y de acuerdo con los cálculos de z para cada armónica impar, en cada caso estudiado por lo general solo una armónica no pasa la prueba de asociación de linealidad, pero debido a que sus amplitudes no son muy significativas y el orden de la armónica es alto, no se podía considerar que afectaba el nivel de aproximación en la predicción. Por lo tanto se puede aceptar que la dependencia de todas las amplitudes de las armónicas es lineal según el número de cargas de luminarias o de computadoras personales.
- Los ángulos para cada una de las armónicas obtenidos a partir de las mediciones originales en ambos casos, para luminarias y computadoras personales, muestran a partir del análisis del coeficiente de correlación, todos los ángulos de las armónicas impares tienen poca o nula relación de linealidad. Además si se evaluaba la desviación estándar tampoco se podía concluir que mantenían una tendencia constante.

- El análisis del comportamiento de los ángulos de las armónicas y de la recuperación de las señales nos muestra que, con la utilización de un conjunto de datos base de ángulos de armónicos se puede recuperar las señales de corriente que representan a las formas de onda para las luminarias y para las computadoras personales por lo que en conclusión solo se obtendrían las amplitudes de las armónicas a partir de los coeficiente de regresión lineal obtenidos junto con un conjunto base de ángulos para representar la carga no lineal, y el estudio realizado respalda esta conclusión.
- Los rectificadores debido a la conversión de energía de AC a DC que hacen generan armónicas en la carga y en la línea de alimentación, en el caso de los rectificadores monofásicos ya sea controlados o no controlados generan armónicos impares en la señal de corriente, el mismo comportamiento sufren los semiconvertidores monofásico; mientras que los rectificadores trifásicos controlados o no controlados generan armónicas impares sin incluir las armónicas triplens.
- Los rectificadores no controlados proporcionan un solo voltaje de salida fijo, para obtener voltajes de salida controlados se usan tiristores con control por fase en lugar de diodos, la variación de voltaje de salida se varía controlando el ángulo de retardo o de disparo de los tiristores.
- Los rectificadores controlados por fase son sencillos y menos costosos, y su eficiencia es en general mayor al 95%, se usan en forma extensa en aplicaciones industriales, en especial en propulsores de velocidad variable.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- [1] Probabilidad y estadística.
Cuarta edición en español.
Ronald E. Walpole, Raymond H. Meyers.
McGRAW-HILL.
- [2] Proyecto de investigación 03.16. del CIC-UES.
Estudio de los índices de distorsión armónica generadas por cargas no lineales.
Encargado del proyecto Ing. Jorge Alberto Zetino.
Investigadores: Blanca Heidi Castaneda.
Edgardo Ernesto Méndez.
Julio Alberto Ramos R.
Larisa Yasmín Terezón S.
Romeo Alexander Chávez.
Zuleyma Inés Acevedo.
- [3] Electrónica de Potencia.
Circuitos, dispositivos y aplicaciones.
Muhammad H. Rashid.
Tercera Edición.
PEARSON, PRENTICE HALL.
México 2004.
- [4] Documento. Introducción a la Electrónica de Potencia.
Universidad de Valencia.
Curso 2005/2006.
- [5] Factor de potencia y armónicas en convertidores electrónicos.
Por ing. Javier Rodríguez Bailey.
Departamento de Ingeniería Eléctrica, ÍTEMS, campus Monterrey.
- [6] Documento ABB ARMONICOS.
Ing. Norman Toledo.
MANANDES S.C.C.I. Manta-calle 10 y Av. 10 tel. 624078 fax 626652.
- [7] Manual de Usuario.
Fluke 433/434 Three Phase Power Quality Analyzer.
- [8] Manual de Usuario.
PowerGuide® 4400

- [9] Guía de usuario del software para análisis de potencia AC.
DRAN-VIEW® Pro Version 5.0

CAPITULO III

DISEÑO DE UN PROGRAMA PARA LA SIMULACION DE ARMONICOS EN BAJA TENSION.

Introducción.

El recopilar datos y estudiar el comportamiento de cargas armónicas se hizo con el propósito de poder elaborar un programa que de aproximaciones razonables del nivel de armónicos en un sistema de baja tensión, es decir, simule la interacción que muestran cargas armónicas al ser interconectadas. Para poder desarrollar dicho programa se revisó, como adquieren los datos los equipos de medición de calidad de energía mediante documentación (hasta donde lo permite la información que proporciona el fabricante) y la observación de los datos obtenidos; se hizo uso de conceptos que fueron de mucha importancia para obtener señales tales como el teorema de muestreo y la transformada de Fourier aparte de los manejados en sistemas de potencia.

Para dar una solución a la pregunta de ¿cómo simular armónicos en baja tensión?, se leyeron varios documentos y se llegó a que se basaría el programa en el escaneo en frecuencia y la resolución de la Y_{BARRA} ; además se eligió MATLAB como software para desarrollar la aplicación.

A continuación se incluye la teoría que se consideró para el desarrollo del programa donde se señalan los conceptos aplicados.

3.1 GENERALIDADES DE LA SERIE DE FOURIER

Se puede representar una función periódica $f(x)$, con cualquier periodo mediante una serie de Fourier.

Para representar una con periodo 2π se tiene que:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nx) + b_n \text{sen}(nx)) \quad (3.1)$$

en donde los coeficientes $a_0, a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, \dots$ son constantes reales desconocidas. Si se integra la ecuación (3.1) con respecto a la variable x desde $-\pi$ hasta π se tiene que:

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx = a_0 \int_{-\pi}^{\pi} dx + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \int_{-\pi}^{\pi} \cos(nx) dx + b_n \int_{-\pi}^{\pi} \text{sen}(nx) dx \right) \quad (3.2)$$

De donde:

$$\int_{-\pi}^{\pi} \cos(nx) dx = 0 \text{ y } \int_{-\pi}^{\pi} \text{sen}(nx) dx = 0 \text{ para todo } n = 1, 2, \dots \quad (3.3)$$

Por lo tanto:

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx = a_0 2\pi \quad (3.4)$$

Si la ecuación (3.1) se multiplica por $\cos(mx)$ y se integra desde $-\pi$ hasta π se obtiene:

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(mx) dx = a_n \pi \quad (3.5)$$

De manera similar si la ecuación (3.1) se multiplica por $\text{sen}(mx)$ y se integra desde $-\pi$ hasta π se obtiene:

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(x) \text{sen}(mx) dx = b_n \pi \quad (3.6)$$

Ahora se observa que de las ecuaciones (3.4), (3.5) y (3.6) se obtienen las ecuaciones para determinar los coeficientes de Fourier: [1]

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(mx) dx \quad (3.7)$$

$$b_m = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \text{sen}(mx) dx$$

En el caso del desarrollo del programa ya se tienen los coeficientes de la serie y debemos reconstruir la señal; así que hacemos uso de la ecuación (3.1) para calcular la forma de onda de la corriente pedida por el usuario.

Los coeficientes a_n y b_n se tienen ya que se hace el cálculo de c_n (el modelo para cada uno de los armónicos que se cargan) y se carga un juego de ángulos tipo para cada carga, a consecuencia de esto se utilizan las formulas de acuerdo al siguiente triangulo:

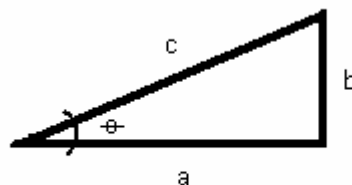


Figura 3.1 Relación entre los lados del triángulo

De aquí que: $a = c * \cos \theta$

$$b = c * \text{sen} \theta \quad (3.8)$$

Existen formas de onda para las cuales no existen los coeficientes a o b , o solo aparecen armónicos impares o pares e impares y como se dejó en capítulo líneas atrás aquí se muestra que estos resultados son debido a la simetría de las formas de onda.

SIMETRÍA DE LAS FORMAS DE ONDA.

El conocimiento de la simetría de una forma de onda da lugar a una reducción de los cálculos en el cálculo de la serie de Fourier.

Simetría par.

Una función $f(x)$ es par cuando $f(x) = f(-x)$. La función $f(x) = 2 + x^2 + x^4$ es un ejemplo de función par ya que el valor de $f(x) = f(-x)$. El coseno es una función par.

La suma de dos o más funciones pares es otra función par, y la adición de una constante no varía la naturaleza par de una función.

Simetría impar.

Una función $f(x)$ es impar cuando $f(x) = -f(-x)$. La función $f(x) = x + x^3 + x^5$ es un ejemplo de función impar ya que se cumple la condición anterior. El seno es una función impar. La suma de dos o más funciones impares es otra función impar, pero la adición de una constante destruye la naturaleza impar de la función, ya que $f(x)$ no es ya igual a $-f(-x)$. El producto de dos funciones impares es una función par.

Ejemplo de funciones par e impar:

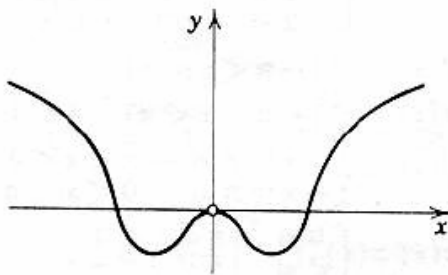


Figura 3.2 Función par

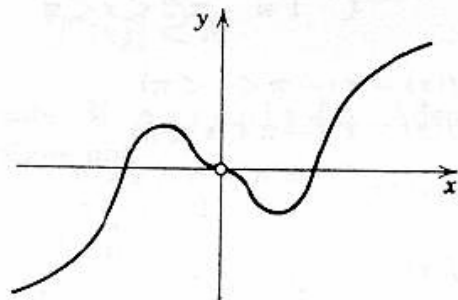


Figura 3.3 Función impar

Simetría de semionda.

Una función periódica $f(x)$ tiene una simetría de semionda si $f(x) = -f(x + T/2)$, siendo T el período en la figura 3.4 se presentan dos ejemplos de este tipo.

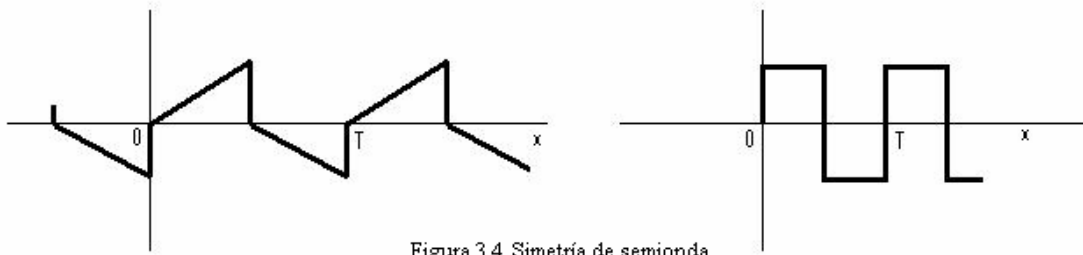


Figura 3.4. Simetría de semionda

Una vez establecido el tipo de simetría de una onda se llega a las conclusiones siguientes. Si la forma de onda es par, todos los términos de la serie correspondiente son cosenos con una constante. Si la forma de onda es impar, la serie solo contiene senos. La onda solo puede ser impar después de eliminar la constante. Si la onda tiene simetría de semionda, en la serie habrá solamente armónicos impares. Estas series contendrán términos en seno y coseno a menos que la función sea también par o impar. En todo caso los coeficientes a y b son nulos para $n=2, 4, 6, \dots$ y para cualquier onda con simetría de semionda. [1], [2]

3.2 EL TEOREMA DE MUESTREO

Si se tiene un equipo muestreando señales, este trabaja con una frecuencia de muestreo determinada, pero una vez teniendo en mano esas muestras ¿cómo se recupera la señal original?

En general, hay una cantidad infinita de señales que pueden generar un conjunto dado de muestras. Sin embargo, si una señal es de banda limitada y si las muestras son tomadas lo suficientemente cercanas unas de otras, en relación con la frecuencia más alta presente en la señal, entonces las muestras especifican unívocamente a la señal y se puede reconstruir perfectamente.

Se vera desde el punto de vista de la frecuencia.

La siguiente figura es una función periódica $X_p(\omega)$ en el dominio de la frecuencia que consiste de una suma de réplicas de $X(\omega)$ desplazadas y escaladas por $1/T$, tal como se ilustra.

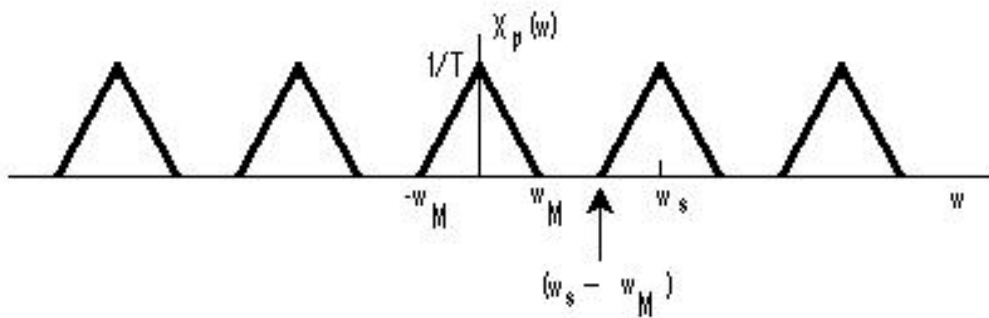


Figura 3.5. Espectro de señal muestreada con $\omega_s > 2\omega_M$

En esta figura $\omega_M < (\omega_s - \omega_M)$, lo que equivale a $\omega_s > 2\omega_M$, entonces $X(\omega)$ se reproduce fielmente en múltiplos enteros de la frecuencia de muestreo. Por lo tanto, si $\omega_s > 2\omega_M$, $x(t)$ se puede recuperar exactamente a partir de $X_p(\omega)$ con una frecuencia de corte mayor que ω_M y menor que $\omega_s - \omega_M$. Este resultado es conocido con el teorema de muestreo, y se expresa como sigue:

“Sea $x(t)$ una señal de banda limitada con $X(\omega) = 0$ para $|\omega| > \omega_M$. Entonces $x(t)$ está determinada unívocamente por sus muestras $x(nT)$, $n = \pm 1, \pm 2, \dots$ si $\omega_s > 2\omega_M$ donde $\omega_s = \frac{2\pi}{T}$. Dadas estas muestras, puede reconstruirse $x(t)$ generando un tren de impulsos periódicos en el que los impulsos sucesivos tienen amplitudes que corresponden a valores de muestras sucesivas. La salida resultante será igual a $x(t)$.”

La frecuencia de muestreo, bajo el teorema de muestreo, debe exceder a la frecuencia $2\omega_M$, la cual se conoce comúnmente como la velocidad de Nyquist. La frecuencia ω_M correspondiente a la mitad de la razón de Nyquist se conoce a menudo como la frecuencia de Nyquist. [3]

A continuación se muestra un programa hecho en Matlab para recuperar la señal de una pc.

```
%Recuperacion de la señal de una pc
muestras=load('una_pc.txt');
fs=15360;
t=0:1/fs:1000/fs;
plot(t(1:256),muestras)
grid on
```

El resultado del programa se muestra al lado de la forma de onda que arroja el equipo con el que se tomaron las muestras.

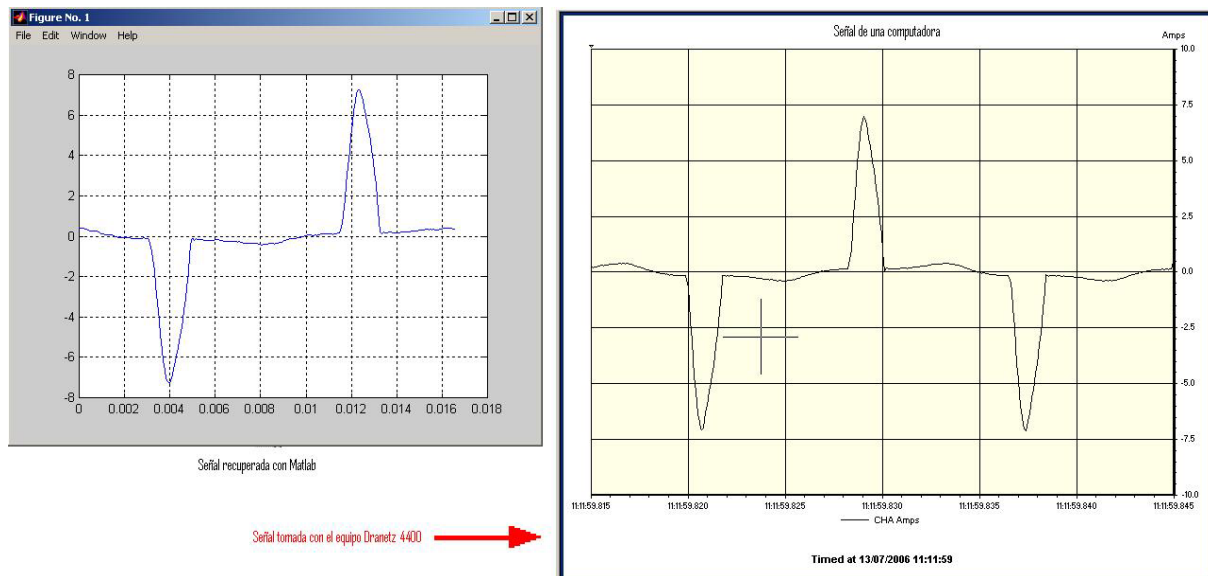


Figura 3.6 Señal muestreada con equipo Dranetz (derecha), señal graficada con el programa (izquierda).

La reconstrucción de las formas de onda y los armónicos de las cargas de rectificadores que están incluidas en el programa (mencionadas en el capítulo II de este documento) fueron obtenidas con ayuda de Matlab y la FFT. Como un ejemplo de reconstrucción de señal y cálculo de sus armónicos se incluye el siguiente programa:

```
%Cargamos las muestras de la señal
muestras=load('una_pc.txt');
%Frecuencia de muestreo
fs=15360;
%Frecuencia de Nyquist
fn=fs/2;
%No de muestras por ciclo
n=256;
%Tiempo
t=0:1/fs:(n-1)/fs
%Calculo de la FFT
fftmuestras=fft(muestras,n)/length(muestras);
%Puntos unicos de la transformada
unicos=1+n/2;
atomar=fftmuestras(1:unicos);
%Magnitud de la FFT
magnitud=abs(atomar);
%Eje de frecuencias
%Recordar que  $cn=(an^2+bn^2)^{1/2}=2|fn|$ 
f=(0:unicos-1)*2*fn/n;
plot(f,magnitud)
pause

%El objetivo es reconstruir la señal a partir de
```

```

%los coeficientes de la FFT
angulos=angle(atomar);
%Valor de cada armonico
barras=2*magnitud;
[M,N]=size(barras);
filas=M;
%Sacamos los coeficientes an y bn
for b=1:filas
    coef_a(b,1)=barras(b)*cos(angulos(b));
    coef_b(b,2)=barras(b)*sin(angulos(b));
end
%frecuencia de la red
fg=60;
largo=length(t);
%Ahora obtenemos los terminos seno y los coseno
for w=1:filas-1
    ww=w+1;
    for www=1:largo
        ter_a(w,www)=coef_a(ww,1)*cos(2*pi*w*fg*t(www));
        ter_b(w,www)=coef_b(ww,2)*sin(2*pi*w*fg*t(www));
    end
end
%Representacion de la senal como una serie de Fourier
senal=ter_a+ter_b;
%hasta aqui tenemos una matriz en donde el dato de cada
%columna pertenece al mismo armonico

for un=1:largo
    suma=0;
    for uun=1:M-1
        suma=suma+senal(uun,un);
    end
    senall(un)=suma;
end
senal1=senal1+barras(1,1);
plot(t(1:256),senal1(1:256),'r')

```

El resultado de este programa es la grafica de la figura 3.6 (izquierda), mostrada anteriormente.

3.3 FUNDAMENTOS DE Y_{BARRA}

Las componentes de los sistemas de potencia se modelan y representan por medio de impedancias pasivas o admitancias equivalentes que se acompañan, cuando es necesario, por fuentes activas de voltaje o corriente.

Matemáticamente el proceso en el sistema es resuelto con la siguiente ecuación:

$$[Y_f][V_f]=[I_f] \quad (3.9)$$

donde $[I_f]$ es el vector de corriente conocida, $[V_f]$ es el vector de voltaje nodal a ser resuelto y $[Y_f]$ es la matriz de admitancias del sistema (Y_{BARRA}). En un típico escaneo solo una entrada de $[I_f]$ no es cero. [4]

3.4 RUTINA DE CALCULO PARA Y_{BARRA} .

El programa construye la Y_{BARRA} de acuerdo a los datos de admitancia que son calculados por medio de una tabla (tabla 9 Alternating-Current Resistente and Reactance for 600Volt Cables) [6], que se maneja internamente para la impedancia de los conductores de que se dispone en un menú entre los nodos respectivos.

Esta es construida por una rutina, una función llamada *yba.m*; esta espera la matriz que contiene las admitancias y los números de nodo entre los cuales se encuentra dicha rama.

La matriz esperada esta construida de manera que cada fila es una rama diferente, la columna uno es un número de nodo, la columna dos es el otro extremo y la columna tres es la admitancia de la rama.

Luego se calcula el numero de ramas y se busca el número máximo de nodos; teniendo estos datos, se suman todas las admitancias que tienen un mismo número de nodo y se coloca el resultado en la columna que corresponde a ese numero; las otras columnas se llenan con el negativo de la admitancia que hay entre el numero de nodo en cuestión y su extremo.

Como ejemplo supongamos que Y_a es la admitancia que se encuentra entre los nodos 0 y 3, Y_b entre los nodos 2 y 3, Y_c entre 1 y 3, Y_d entre 1 y 2, Y_e entre 2 y 4, Y_f entre 1 y 4 y Y_g entre 0 y 4; en este caso la rutina formaría la matriz siguiente:

$$\begin{bmatrix} (Y_c + Y_d + Y_f) & -Y_d & -Y_c & -Y_f \\ -Y_d & (Y_b + Y_d + Y_e) & -Y_b & -Y_e \\ -Y_c & -Y_b & (Y_a + Y_b + Y_c) & 0 \\ -Y_f & -Y_e & 0 & (Y_e + Y_f + Y_g) \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Y devolverá la matriz anterior más en número de nodos total y el número de ramas al programa principal.

Una vez construida la matriz anterior es agregada otra columna al final para las fuentes de voltaje que existen en el sistema, solo que no se introduce como una fuente de voltaje sino ya transformada en una fuente de corriente, que es la que alimenta al sistema (en este trabajo se asume una fuente de voltaje limpia, es decir sin ninguna distorsión).

Ya que se han agregado las fuentes que alimentan al sistema, se agrega un contaminante armónico (uno a la vez) que viene a ser una fuente de corriente adicional a la alimentación del sistema, desde luego la componente de 60Hz (es decir la de la fuente de voltaje introducida al principio como una fuente de corriente) desaparece cuando se efectúan los cálculos de la armónica 2 en adelante; este calculo es efectuado por la ecuación (3.9).

Desde luego lo que arroja la ecuación (3.9) es el voltaje que hay en cada nodo (en este caso se ha calculado el voltaje armónico en cada nodo) y los voltajes en los nodos extremos de cada rama son utilizados para calcular la corriente circulando en esta para cada armónica evaluada. Una vez analizados todos los contaminantes para todas las frecuencias del caso (50 armónicas en el nuestro) se tiene una matriz con número de filas igual al número de contaminantes que se ha introducido y número de columnas igual al número de armónicos que están siendo considerados, para la corriente que ha sido pedida por el usuario.

La manera en que son reconocidos los tipos de contaminantes es porque cada uno tiene asignado un código el cual será detallado en la siguiente sección.

Cuando se tiene la matriz de corriente requerida, son sumados todos los términos de la misma columna y se obtiene un vector con tantas posiciones como numero de armónicas se han considerado. Con este vector se calcula el THD correspondiente para la corriente requerida y es mostrado el diagrama de barras para esta corriente.

Luego es reconstruida esta señal utilizando la definición de la serie de Fourier.

3.5 DESCRIPCION DEL PROGRAMA Y LOS CODIGOS QUE UTILIZA.

El programa es capaz de simular un sistema monofásico o uno trifásico (des-balanceado ya que cada fase se simula independiente de las otras) que tengan las siguientes cargas:

- Computadoras.
- Lámparas 2x40 W con balastos Advanced.
- Lámparas 2x40 W con balastos Universales.
- Lámparas 3x32 W.
- Rectificador NC.
- Rectificador CC.
- Semiconvertidor.
- Controlador AC.
- Rectificador trifásico NC.

➤ Rectificador trifásico CC.

Para correr el programa debe teclearse en Matlab uno07; aparecerá la pantalla de inicio con un botón precisamente llamado “Iniciar Programa”, el cual da paso a una pantalla de selección entre las pantallas de simulación monofásica y la trifásica ilustrada en la siguiente figura:

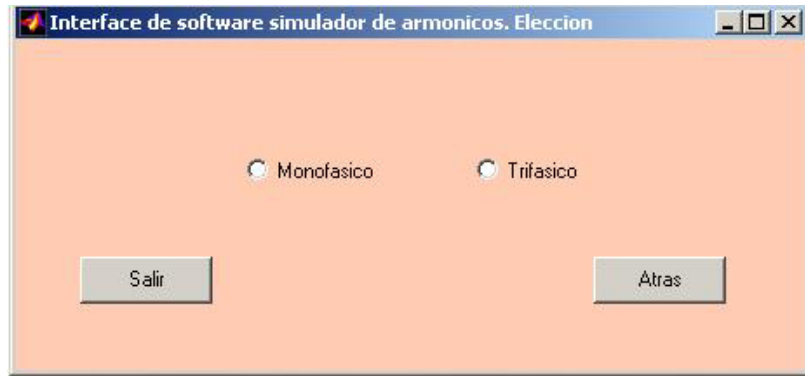


Figura 3.7. Pantalla de selección

Una vez seleccionado el sistema deseado aparecen sus respectivas pantallas, las cuales serán explicadas a continuación.

La pantalla que esta a disposición del usuario en la simulación monofásica es la siguiente:

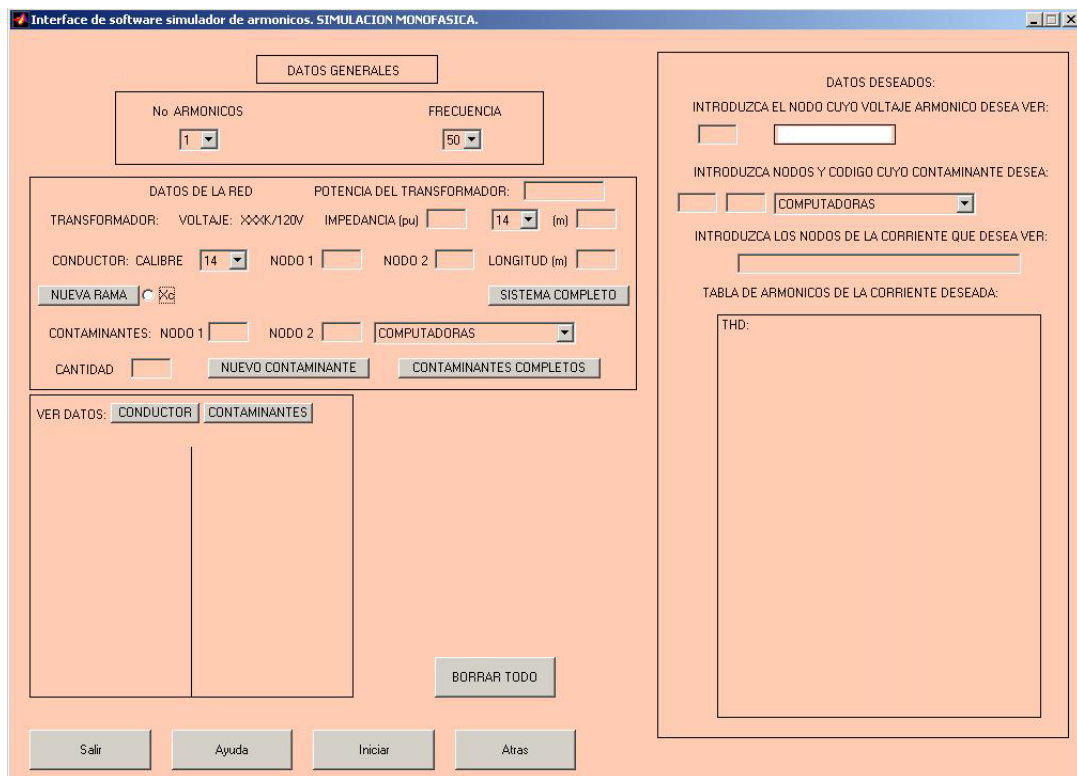


Figura 3.8. Pantalla monofásica.

El programa trabaja como máximo con 50 armónicos y puede simular la carga a 50 o 60Hz, si no es escogida la frecuencia simulada por defecto es 60Hz.

La manera de llenar las casillas se explica en la ayuda que esta a disposición en la interfaz.

Para introducir datos debe tenerse dibujado un diagrama unifilar, teniendo en cuenta que el programa trabaja con admitancias aunque para el usuario no sea evidente, pero el diagrama ha de dibujarse haciendo una conversión de fuente, es decir el transformador se simulará como una fuente de corriente en paralelo con su impedancia, (esta impedancia de transformador es sumada internamente con la impedancia del conductor que va del transformador hasta el tablero general); como en la siguiente figura:

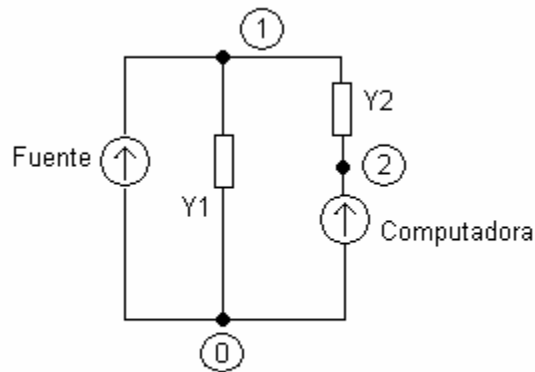


Figura 3.9 Circuito de ejemplo.

Cada vez que se introduzca un conductor y quiera introducirse otro se deberá presionar el botón “NUEVA RAMA”; es importante mencionar que se puede contar con capacitores y estos están clasificados en casos específicos y con códigos en el programa, esto se explica a continuación.

El caso de la figura 3.9 de ejemplo, es el caso uno, no existen capacitores en el sistema.

El caso 2 es el siguiente:

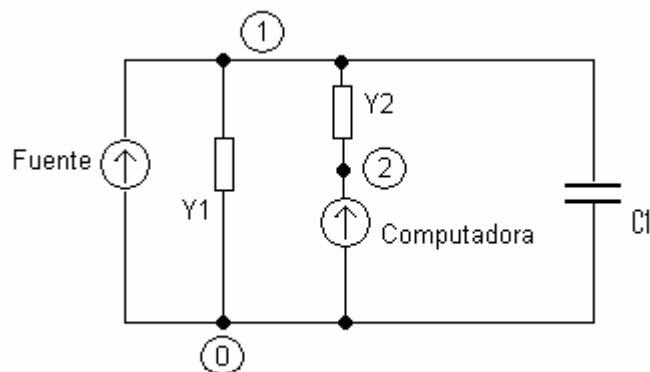


Figura 3.10 Caso 2

Aquí existe un capacitor (C1) pero no se toma en cuenta la impedancia del conductor que llega hacia el, siendo esta la configuración las admitancias de Y1 y C1 se hacen una equivalente. Cada vez que se evalúa un armónico se toma el nuevo equivalente; esto es llevado a cabo por la función llamada “combinando” que es la misma que se usa en los demás casos.

Cuando se haya terminado de introducir las ramas y los capacitores debe presionarse el botón “SISTEMA COMPLETO” para poder pasar los datos al programa principal de calculo (iniciart.m), al presionarlo aparecerá en el cuadro “VER DATOS” un botón con nombre “Xc” el cual mostrará los capacitores introducidos; es decir nodos, valor del capacitor y un código que le es asignado a este caso. El código en mención para este caso es el número 9.

Caso 3.

En este caso se toma en cuenta la impedancia del conductor al capacitor pero sigue estando en paralelo con la fuente y como hay dos admitancias en serie debe sacarse un equivalente por lo tanto para el programa el nodo entre la impedancia del conductor y la del capacitor no existe, así que los nodos para la rama correspondiente a Y3 y C1 son los mismos.

El código observado para este caso es el 8.

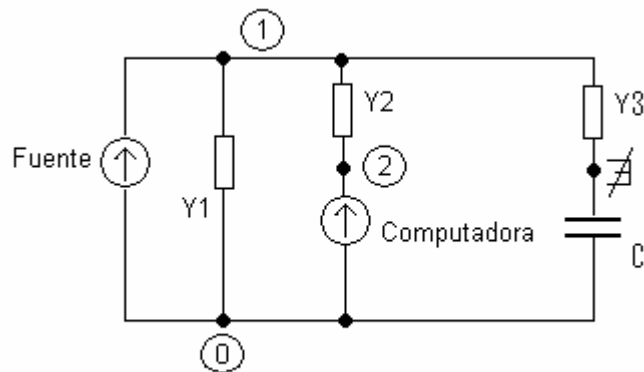


Figura 3.11 Caso 3

Caso 4.

En este caso no se toma en cuenta la impedancia del conductor al capacitor y este esta en serie con una fuente generadora de corriente armónica. Aquí si aparece un nuevo nodo y el código para este caso es el 7.

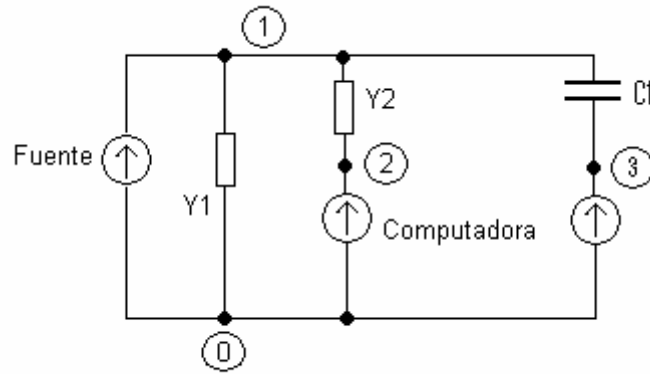


Figura 3.12 Caso 4

Caso 5.

Este es una mezcla del 3 y el 4 es decir, se toma en cuenta la impedancia del conductor y además el arreglo impedancia de conductor y capacitor esta en serie con una fuente de corriente. Nuevamente el nodo entre Y3 y C1 no existe y el código es el 6.

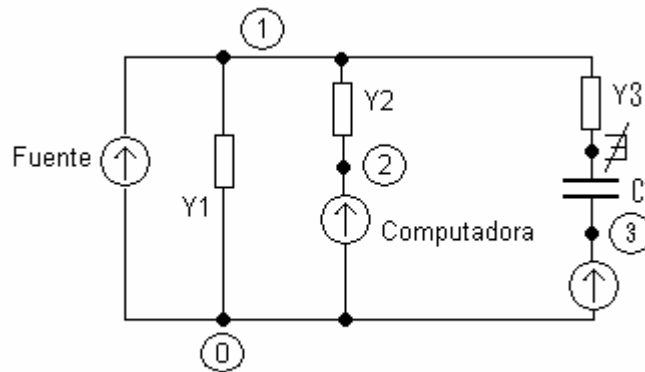


Figura 3.13 Caso 5

Cuando se ha terminado de introducir los contaminantes (es decir las fuentes de corrientes armónicas) y se presiona “CONTAMINANTES COMPLETOS”, se pueden observar los contaminantes introducidos pero nuevamente se hace uso de códigos y son los siguientes:

| Contaminantes | Código |
|---|--------|
| Computadoras. | 285 |
| Lámparas 2x40 W con balastos Advanced. | 385 |
| Lámparas 2x40 W con balastos Universales. | 485 |
| Lámparas 3x32 W. | 585 |
| Rectificador NC. | 685 |
| Rectificador CC. | 785 |
| Semiconvertidor. | 885 |
| Controlador AC. | 985 |

Rectificador trifásico NC.

1085

Rectificador trifásico CC.

1185

Todas las anotaciones anteriores son válidas para la pantalla trifásica, la cual se muestra en la siguiente figura:

Interface de software simulador de armonicos. SIMULACION TRIFASICA.

DATOS GENERALES: VOLTAJE: 120V No ARMONICOS: 1 FRECUENCIA: 50

DATOS DE RED. FASE A:
TRANSFORMADOR A: kVA: IMPEDANCIA (pu) CABLE Y LON TG. 14 (m)
CONDUCTOR: CALIBRE 14 NODO 1 NODO 2 LONGITUD (m)
NUEVA RAMA Xc SISTEMA COMPLETO
CONTAMINANTES: NODO 1 NODO 2 COMPUTADORAS
CANTIDAD NUEVO CONTAMINANTE CONTAMINANTES COMPLETOS

DATOS DE RED. FASE B:
TRANSFORMADOR B: kVA: IMPEDANCIA (pu) CABLE Y LON TG. 14 (m)
CONDUCTOR: CALIBRE 14 NODO 1 NODO 2 LONGITUD (m)
NUEVA RAMA Xc SISTEMA COMPLETO
CONTAMINANTES: NODO 1 NODO 2 COMPUTADORAS
CANTIDAD NUEVO CONTAMINANTE CONTAMINANTES COMPLETOS

DATOS DE RED. FASE C:
TRANSFORMADOR C: kVA: IMPEDANCIA (pu) CABLE Y LON TG. 14 (m)
CONDUCTOR: CALIBRE 14 NODO 1 NODO 2 LONGITUD (m)
NUEVA RAMA Xc SISTEMA COMPLETO
CONTAMINANTES: NODO 1 NODO 2 COMPUTADORAS
CANTIDAD NUEVO CONTAMINANTE CONTAMINANTES COMPLETOS

DATOS DESEADOS:

NODO DE VOLTAJE ARMONICO DESEADO:
NODOS Y CODIGO CUYO CONTAMINANTE DESEA:
COMPUTADORAS
NODOS DE CORRIENTE DESEADA:
TABLA ARMONICA DE CORRIENTE DESEADA:

NODO DE VOLTAJE ARMONICO DESEADO:
NODOS Y CODIGO CUYO CONTAMINANTE DESEA:
COMPUTADORAS
NODOS DE CORRIENTE DESEADA:
TABLA ARMONICA DE CORRIENTE DESEADA:

NODO DE VOLTAJE ARMONICO DESEADO:
NODOS Y CODIGO CUYO CONTAMINANTE DESEA:
COMPUTADORAS
NODOS DE CORRIENTE DESEADA:
TABLA ARMONICA DE CORRIENTE DESEADA: YER

Salir Ayuda BORRAR TODO Iniciar Atras

Figura 3.14. Pantalla trifásica

CONCLUSIONES CAPITULO III

- Los métodos tradicionales para el análisis de sistemas de potencia como la Y_{BARRA} son de mucha utilidad y dan buenos resultados a la hora de analizar las componentes armónicas de un sistema ya que los obtenidos para las cargas en este trabajo están bastante aproximados a la realidad.
- El teorema de muestreo y la serie de Fourier son fundamentales para el desarrollo de software de simulación de armónicos.
- El THD de voltaje calculado con la Y_{BARRA} es mas bajo que el que se mide pero es consecuencia de tomar una fuente no distorsionada como alimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Paper: Matemáticas especiales 2002. Series de Fourier
Daniel H. Cortes C.
- [2] Teoría y problemas de circuitos eléctricos
Edminister, Joseph A
- [3] Señales y Sistemas
Alan V. Oppenheim
Alan S. Willsky
S. Hamid Nawab
Segunda edición
Editorial PPH
- [4] Análisis y Sistemas de Potencia
John J. Grainger
William D. Stevenson Jr
Editorial Mc Graw-Hill
- [5] Paper: Status and future directions of power system harmonic analysis 1999
Wilsun Xu
Senior member, IEEE
- [6] National Electrical code
2002 edition

CAPITULO IV

TENDENCIAS DE ARMONICOS POR SECTOR.

Introducción.

En este capítulo se presenta un breve resumen de los lugares medidos durante el desarrollo de la presente tesis, han sido agrupados en diferentes sectores. Estos resultados no son tomados como tendencias predictivas, debido a la poca cantidad de lugares en los cuales pudo efectuarse las mediciones.

4.1 Antecedentes.

Durante la elaboración de esta tesis se efectuaron mediciones en diferentes empresas, fabricas, edificios de oficinas tanto gubernamentales como privadas. La cantidad de lugares visitados es muy reducida debido a la desconfianza y reservas encontradas en los jefes de mantenimiento de muchos lugares. Las mediciones se efectuaron en:

- Sacos Sintéticos de Centro América S.A. de C.V., Carretera al Puerto de La Libertad.
- Hospital de Diagnostico de El Salvador, Paseo Gral. Escalón.
- Banco Central de Reserva de El Salvador, Centro de Gobierno.
- Ministerio de Economía, Centro de Gobierno.
- Ministerio de Hacienda, Tres Torres.
- Ministerio de Hacienda, Grandes Contribuyentes.
- INVERCALMA, Carretera a Sonsonate.
- Hospital Bloom.

Estos se han clasificado en diferentes sectores los cuales son: Industria, Gobierno, Hospitales. Estos lugares se han clasificado de acuerdo a los siguientes parámetros
Gobierno: Aquello que utilicen fondos públicos.

Industria: Aquellas que poseen y utilizan dispositivos de electrónica de potencia, es decir rectificadores, variadores de velocidad, etc.

Hospitales: Aquellas instituciones que brindan servicios de atención médica.

NOTA: El caso del Banco Central de Reserva se toma como una institución gubernamental y no como una institución financiera.

Los armónicos que se encuentren arriba del 1% se tomaran como los mas representativos de cada fase en cada lugar de medición, excepto en el sector industria en

el cual se tomaron arriba del 3% dada el alto porcentaje de la fundamental de las demás armónicas.

4.2 Tablas.

Los datos se han tabulado y se han agrupado por sector, tal y como se menciona en el apartado anterior. Se presentan los datos de cada sector, y sus respectivas graficas comparativas.

4.2.1 Sector Gobierno.

En este sector se han agrupado las siguientes instituciones:

- Banco Central de Reserva de El Salvador (BCR).
- Ministerio de Economía (M Economía).
- Ministerio de Hacienda 3 Torres (M Hacienda 3T).
- Ministerio de Hacienda Grandes Contribuyentes (M Hacienda GC).

Los valores de las armónicas hasta orden 50 para las fases A, B y C se presentan en la Tabla 4.1, estos valores son un promedio de periodos de mediciones realizadas en los tableros generales de los lugares visitados, estos se presentan en porcentaje de la fundamental:

Tabla 4.1. Armónicas de los tableros generales del sector gobierno.

| # DE ARMONICA | BANCO CENTRAL DE RESERVA DE EL SALVADOR | | | MINISTERIO DE ECONOMIA | | | MINISTERIO DE HACIENDA (3 TORRES) | | |
|---------------|---|----------|----------|------------------------|----------|----------|-----------------------------------|----------|----------|
| | %fnd CHA | %fnd CHB | %fnd CHC | %fnd CHA | %fnd CHB | %fnd CHC | %fnd CHA | %fnd CHB | %fnd CHC |
| IFND | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| IH02 | 0.39 | 0.38 | 0.51 | 0.67 | 1.39 | 0.92 | 1.97 | 2.42 | 2.34 |
| IH03 | 4.14 | 3.58 | 3.28 | 2.53 | 7.84 | 4.67 | 32.75 | 27.62 | 22.08 |
| IH04 | 0.29 | 0.34 | 0.56 | 0.40 | 0.72 | 0.81 | 1.36 | 1.66 | 1.55 |
| IH05 | 4.82 | 3.11 | 5.74 | 6.61 | 6.74 | 5.62 | 16.80 | 19.22 | 27.28 |
| IH06 | 0.17 | 0.17 | 0.39 | 0.27 | 0.55 | 0.64 | 0.85 | 1.23 | 1.37 |
| IH07 | 2.23 | 2.45 | 3.29 | 2.44 | 2.97 | 2.38 | 8.86 | 9.61 | 12.71 |
| IH08 | 0.23 | 0.19 | 0.48 | 0.29 | 0.61 | 1.00 | 0.58 | 1.02 | 1.13 |
| IH09 | 0.46 | 0.62 | 0.82 | 0.43 | 0.80 | 1.00 | 4.01 | 5.11 | 8.63 |
| IH10 | 0.26 | 0.27 | 0.48 | 0.19 | 0.43 | 0.66 | 0.49 | 0.58 | 0.91 |
| IH11 | 3.02 | 3.60 | 3.37 | 0.41 | 0.71 | 0.99 | 2.37 | 2.05 | 3.09 |
| IH12 | 0.38 | 0.33 | 0.55 | 0.21 | 0.40 | 0.75 | 0.39 | 0.48 | 0.94 |
| IH13 | 2.73 | 2.76 | 3.00 | 0.39 | 0.73 | 0.82 | 1.49 | 2.17 | 3.58 |
| IH14 | 0.33 | 0.31 | 0.58 | 0.17 | 0.32 | 0.63 | 0.41 | 0.55 | 1.12 |
| IH15 | 0.59 | 0.79 | 1.06 | 0.22 | 0.29 | 0.68 | 1.16 | 1.17 | 2.63 |
| IH16 | 0.44 | 0.45 | 0.66 | 0.17 | 0.26 | 0.61 | 0.35 | 0.48 | 1.01 |
| IH17 | 4.69 | 4.98 | 6.43 | 0.18 | 0.28 | 0.54 | 1.01 | 1.35 | 1.94 |
| IH18 | 0.57 | 0.49 | 0.72 | 0.16 | 0.31 | 0.63 | 0.40 | 0.40 | 0.90 |
| IH19 | 0.95 | 1.08 | 1.11 | 0.18 | 0.28 | 0.57 | 0.61 | 1.25 | 2.03 |
| IH20 | 0.20 | 0.20 | 0.37 | 0.12 | 0.19 | 0.45 | 0.34 | 0.35 | 0.87 |
| IH21 | 0.38 | 0.36 | 0.40 | 0.13 | 0.21 | 0.45 | 0.69 | 1.11 | 1.92 |
| IH22 | 0.14 | 0.15 | 0.36 | 0.17 | 0.26 | 0.55 | 0.26 | 0.32 | 0.94 |
| IH23 | 0.29 | 0.32 | 0.60 | 0.17 | 0.30 | 0.55 | 0.42 | 0.78 | 1.65 |
| IH24 | 0.13 | 0.14 | 0.38 | 0.15 | 0.26 | 0.54 | 0.23 | 0.24 | 0.83 |
| IH25 | 0.28 | 0.29 | 0.47 | 0.15 | 0.27 | 0.57 | 0.34 | 0.54 | 1.85 |
| IH26 | 0.11 | 0.12 | 0.39 | 0.16 | 0.27 | 0.60 | 0.28 | 0.26 | 1.12 |
| IH27 | 0.11 | 0.11 | 0.34 | 0.14 | 0.26 | 0.52 | 0.29 | 0.38 | 1.34 |
| IH28 | 0.12 | 0.14 | 0.43 | 0.17 | 0.27 | 0.58 | 0.19 | 0.33 | 1.46 |
| IH29 | 0.13 | 0.14 | 0.44 | 0.17 | 0.27 | 0.63 | 0.21 | 0.39 | 1.11 |
| IH30 | 0.09 | 0.09 | 0.32 | 0.14 | 0.23 | 0.57 | 0.14 | 0.26 | 1.07 |
| IH31 | 0.13 | 0.13 | 0.31 | 0.15 | 0.25 | 0.59 | 0.15 | 0.35 | 0.99 |
| IH32 | 0.09 | 0.09 | 0.32 | 0.14 | 0.22 | 0.52 | 0.13 | 0.22 | 0.93 |
| IH33 | 0.10 | 0.11 | 0.41 | 0.14 | 0.23 | 0.51 | 0.16 | 0.37 | 1.20 |
| IH34 | 0.09 | 0.09 | 0.35 | 0.13 | 0.21 | 0.47 | 0.11 | 0.18 | 0.81 |
| IH35 | 0.09 | 0.09 | 0.28 | 0.13 | 0.23 | 0.55 | 0.12 | 0.29 | 0.67 |
| IH36 | 0.08 | 0.08 | 0.28 | 0.14 | 0.22 | 0.49 | 0.07 | 0.17 | 0.60 |
| IH37 | 0.09 | 0.09 | 0.30 | 0.13 | 0.22 | 0.48 | 0.11 | 0.27 | 0.87 |
| IH38 | 0.09 | 0.09 | 0.36 | 0.12 | 0.21 | 0.50 | 0.09 | 0.17 | 0.78 |
| IH39 | 0.08 | 0.08 | 0.32 | 0.13 | 0.20 | 0.46 | 0.10 | 0.23 | 0.88 |
| IH40 | 0.07 | 0.07 | 0.27 | 0.13 | 0.20 | 0.49 | 0.10 | 0.16 | 0.86 |
| IH41 | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.13 | 0.22 | 0.51 | 0.11 | 0.24 | 0.95 |
| IH42 | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.13 | 0.18 | 0.46 | 0.08 | 0.14 | 0.77 |
| IH43 | 0.09 | 0.09 | 0.33 | 0.14 | 0.23 | 0.56 | 0.12 | 0.21 | 0.93 |
| IH44 | 0.08 | 0.08 | 0.29 | 0.13 | 0.21 | 0.52 | 0.10 | 0.16 | 0.77 |
| IH45 | 0.07 | 0.07 | 0.24 | 0.12 | 0.17 | 0.45 | 0.09 | 0.19 | 0.74 |
| IH46 | 0.07 | 0.06 | 0.22 | 0.11 | 0.18 | 0.41 | 0.08 | 0.12 | 0.71 |
| IH47 | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.13 | 0.19 | 0.46 | 0.07 | 0.13 | 0.73 |
| IH48 | 0.08 | 0.08 | 0.28 | 0.12 | 0.18 | 0.41 | 0.07 | 0.12 | 0.67 |

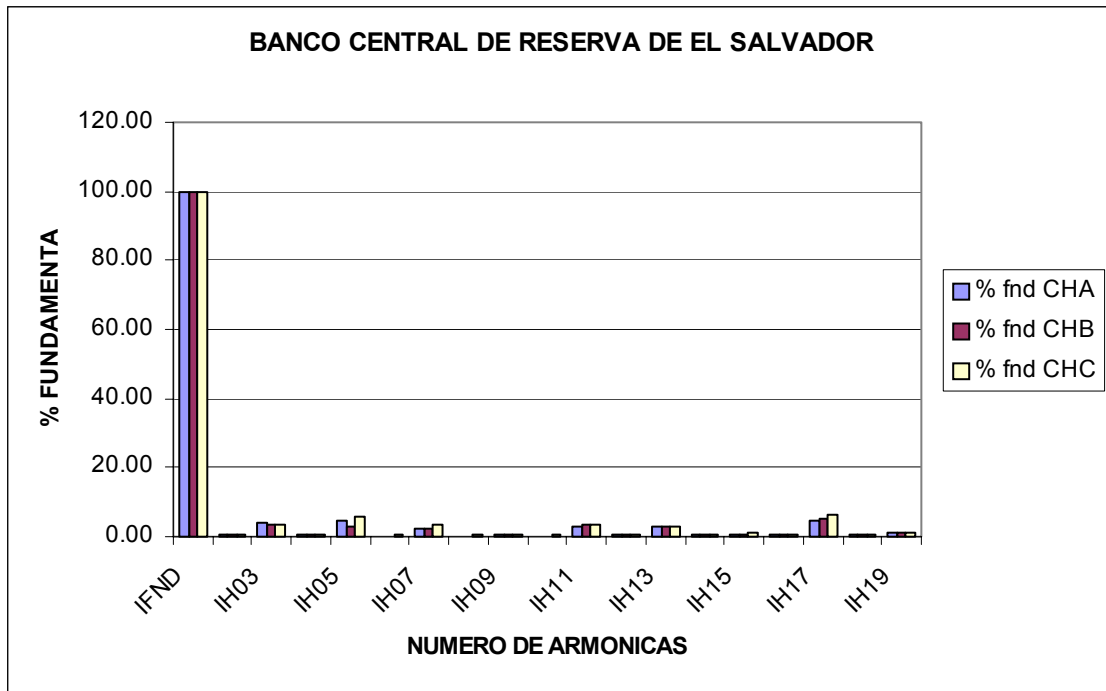


Figura 4.1. Grafica de barras hasta el armónico 20, del BCR.

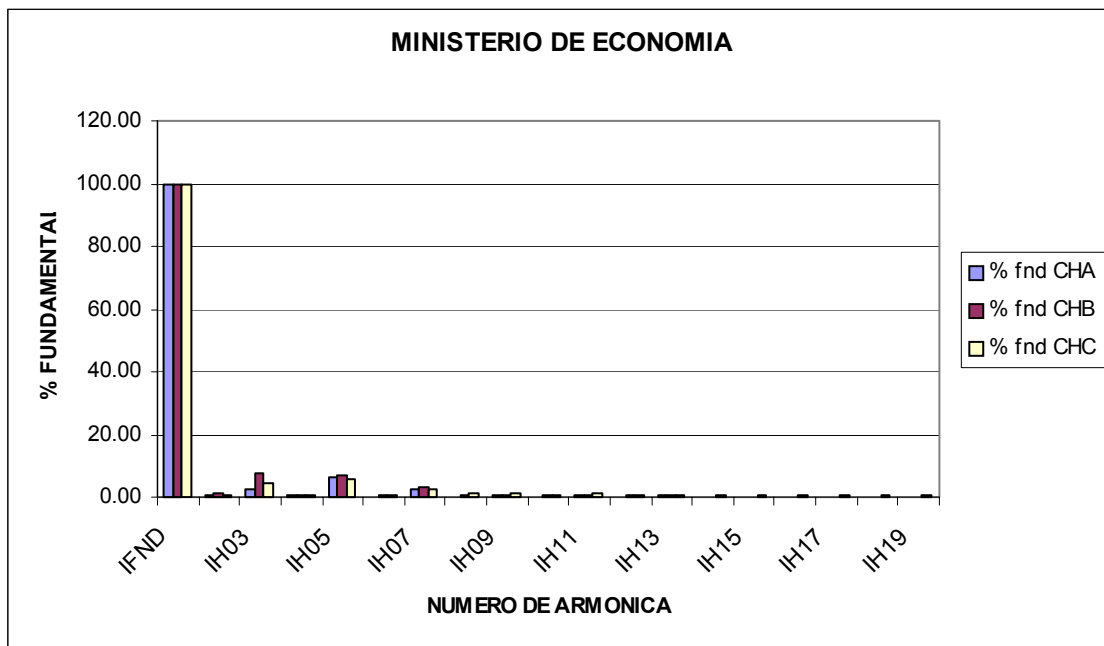


Figura 4.2. Gráfico de barras hasta armónica 20 del Ministerio de Economía.

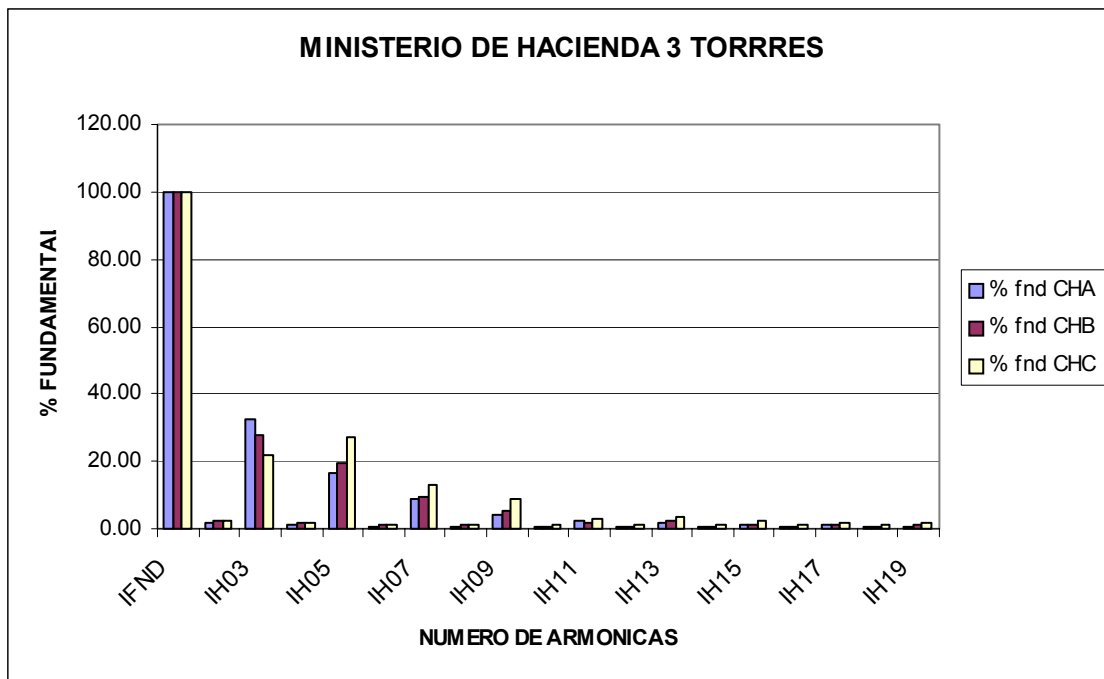


Figura 4.3. Gráfico de barras hasta armónica 20 de Ministerio de Hacienda “3 Torres”.

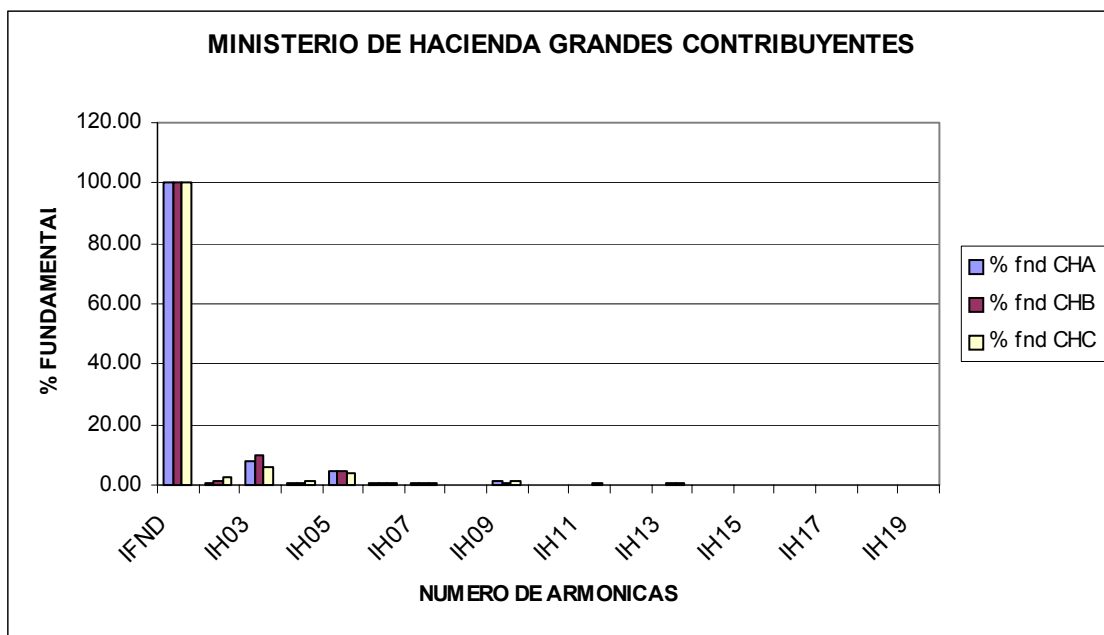


Figura 4.4. Gráfico de barras hasta armónica 20 de Ministerio de Hacienda “Gdes. Contribuyentes”.

En las figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 se muestran los gráficos de barras correspondientes a cada uno de los lugares medidos hasta la armónica 20. Estos datos han sido separados en sus respectivas armónicas pares e impares de la fase A y se presentan en la Tabla 4.2, en estas se observa que los porcentajes de la fundamental con mayor amplitud son las armónicas impares.

Tabla 4.2. Armónicas impares y pares fase A, Sector Gobierno.

| ARMONICAS IMPARES | | | | | ARMONICAS PARES | | | | |
|-------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| # DE ARMONICA | BCR % FND CHA | M ECONOMIA % FND CHA | M HACIENDA (3T) % FND CHA | M HACIENDA (GC) % FND CHA | # DE ARMONICA | BCR % FND CHA | M ECONOMIA % FND CHA | M HACIENDA (3T) % FND CHA | M HACIENDA (GC) % FND CHA |
| IFND | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | IH02 | 0.39 | 0.67 | 1.97 | 0.78 |
| IH03 | 4.14 | 2.53 | 32.75 | 8.04 | IH04 | 0.29 | 0.40 | 1.36 | 0.55 |
| IH05 | 4.82 | 6.61 | 16.80 | 4.53 | IH06 | 0.17 | 0.27 | 0.85 | 0.37 |
| IH07 | 2.23 | 2.44 | 8.86 | 0.76 | IH08 | 0.23 | 0.29 | 0.58 | 0.16 |
| IH09 | 0.46 | 0.43 | 4.01 | 1.12 | IH10 | 0.26 | 0.19 | 0.49 | 0.12 |
| IH11 | 3.02 | 0.41 | 2.37 | 0.29 | IH12 | 0.38 | 0.21 | 0.39 | 0.10 |
| IH13 | 2.73 | 0.39 | 1.49 | 0.27 | IH14 | 0.33 | 0.17 | 0.41 | 0.07 |
| IH15 | 0.59 | 0.22 | 1.16 | 0.26 | IH16 | 0.44 | 0.17 | 0.35 | 0.06 |
| IH17 | 4.69 | 0.18 | 1.01 | 0.10 | IH18 | 0.57 | 0.16 | 0.40 | 0.05 |
| IH19 | 0.95 | 0.18 | 0.61 | 0.08 | IH20 | 0.20 | 0.12 | 0.34 | 0.05 |
| IH21 | 0.38 | 0.13 | 0.69 | 0.10 | IH22 | 0.14 | 0.17 | 0.26 | 0.08 |
| IH23 | 0.29 | 0.17 | 0.42 | 0.14 | IH24 | 0.13 | 0.15 | 0.23 | 0.17 |
| IH25 | 0.28 | 0.15 | 0.34 | 0.09 | IH26 | 0.11 | 0.16 | 0.28 | 0.07 |
| IH27 | 0.11 | 0.14 | 0.29 | 0.12 | IH28 | 0.12 | 0.17 | 0.19 | 0.19 |
| IH29 | 0.13 | 0.17 | 0.21 | 0.08 | IH30 | 0.09 | 0.14 | 0.14 | 0.06 |
| IH31 | 0.13 | 0.15 | 0.15 | 0.04 | IH32 | 0.09 | 0.14 | 0.13 | 0.03 |
| IH33 | 0.10 | 0.14 | 0.16 | 0.03 | IH34 | 0.09 | 0.13 | 0.11 | 0.04 |
| IH35 | 0.09 | 0.13 | 0.12 | 0.04 | IH36 | 0.08 | 0.14 | 0.07 | 0.03 |
| IH37 | 0.09 | 0.13 | 0.11 | 0.03 | IH38 | 0.09 | 0.12 | 0.09 | 0.03 |
| IH39 | 0.08 | 0.13 | 0.10 | 0.03 | IH40 | 0.07 | 0.13 | 0.10 | 0.04 |
| IH41 | 0.07 | 0.13 | 0.11 | 0.03 | IH42 | 0.07 | 0.13 | 0.08 | 0.03 |
| IH43 | 0.09 | 0.14 | 0.12 | 0.03 | IH44 | 0.08 | 0.13 | 0.10 | 0.02 |
| IH45 | 0.07 | 0.12 | 0.09 | 0.03 | IH46 | 0.07 | 0.11 | 0.08 | 0.03 |
| IH47 | 0.07 | 0.13 | 0.07 | 0.03 | IH48 | 0.08 | 0.12 | 0.07 | 0.03 |
| IH49 | 0.07 | 0.10 | 0.07 | 0.03 | IH50 | 0.07 | 0.11 | 0.05 | 0.03 |

Tabla 4.3. Armónicas impares y pares fase B, Sector Gobierno.

| ARMONICAS IMPARES | | | | | ARMONICAS PARES | | | | |
|-------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| # DE ARMONICA | BCR % FND CHB | M ECONOMIA % FND CHB | M HACIENDA (3T) % FND CHB | M HACIENDA (GC) % FND CHB | # DE ARMONICA | BCR % FND CHB | M ECONOMIA % FND CHB | M HACIENDA (3T) % FND CHB | M HACIENDA (GC) % FND CHB |
| IFND | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | IH02 | 0.38 | 1.39 | 2.42 | 1.10 |
| IH03 | 3.58 | 7.84 | 27.62 | 9.90 | IH04 | 0.34 | 0.72 | 1.66 | 0.62 |
| IH05 | 3.11 | 6.74 | 19.22 | 4.71 | IH06 | 0.17 | 0.55 | 1.23 | 0.38 |
| IH07 | 2.45 | 2.97 | 9.61 | 0.67 | IH08 | 0.19 | 0.61 | 1.02 | 0.21 |
| IH09 | 0.62 | 0.80 | 5.11 | 0.97 | IH10 | 0.27 | 0.43 | 0.58 | 0.16 |
| IH11 | 3.60 | 0.71 | 2.05 | 0.20 | IH12 | 0.33 | 0.40 | 0.48 | 0.13 |
| IH13 | 2.76 | 0.73 | 2.17 | 0.33 | IH14 | 0.31 | 0.32 | 0.55 | 0.10 |
| IH15 | 0.79 | 0.29 | 1.17 | 0.27 | IH16 | 0.45 | 0.26 | 0.48 | 0.08 |
| IH17 | 4.98 | 0.28 | 1.35 | 0.18 | IH18 | 0.49 | 0.31 | 0.40 | 0.07 |
| IH19 | 1.08 | 0.28 | 1.25 | 0.11 | IH20 | 0.20 | 0.19 | 0.35 | 0.07 |
| IH21 | 0.36 | 0.21 | 1.11 | 0.10 | IH22 | 0.15 | 0.26 | 0.32 | 0.07 |
| IH23 | 0.32 | 0.30 | 0.78 | 0.11 | IH24 | 0.14 | 0.26 | 0.24 | 0.12 |
| IH25 | 0.29 | 0.27 | 0.54 | 0.09 | IH26 | 0.12 | 0.27 | 0.26 | 0.07 |
| IH27 | 0.11 | 0.26 | 0.38 | 0.09 | IH28 | 0.14 | 0.27 | 0.33 | 0.12 |
| IH29 | 0.14 | 0.27 | 0.39 | 0.07 | IH30 | 0.09 | 0.23 | 0.26 | 0.06 |
| IH31 | 0.13 | 0.25 | 0.35 | 0.05 | IH32 | 0.09 | 0.22 | 0.22 | 0.05 |
| IH33 | 0.11 | 0.23 | 0.37 | 0.05 | IH34 | 0.09 | 0.21 | 0.18 | 0.04 |
| IH35 | 0.09 | 0.23 | 0.29 | 0.04 | IH36 | 0.08 | 0.22 | 0.17 | 0.04 |
| IH37 | 0.09 | 0.22 | 0.27 | 0.04 | IH38 | 0.09 | 0.21 | 0.17 | 0.04 |
| IH39 | 0.08 | 0.20 | 0.23 | 0.04 | IH40 | 0.07 | 0.20 | 0.16 | 0.04 |
| IH41 | 0.07 | 0.22 | 0.24 | 0.04 | IH42 | 0.07 | 0.18 | 0.14 | 0.04 |
| IH43 | 0.09 | 0.23 | 0.21 | 0.04 | IH44 | 0.08 | 0.21 | 0.16 | 0.03 |
| IH45 | 0.07 | 0.17 | 0.19 | 0.04 | IH46 | 0.06 | 0.18 | 0.12 | 0.03 |
| IH47 | 0.07 | 0.19 | 0.13 | 0.04 | IH48 | 0.08 | 0.18 | 0.12 | 0.03 |
| IH49 | 0.07 | 0.18 | 0.11 | 0.03 | IH50 | 0.06 | 0.17 | 0.08 | 0.03 |

Tabla 4.4. Armónicas impares y pares fase C, Sector Gobierno.

| ARMONICAS IMPARES | | | | | ARMONICAS PARES | | | | |
|-------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| # DE ARMONICA | BCR % FND CHC | M ECONOMIA % FND CHC | M HACIENDA (3T) % FND CHC | M HACIENDA (GC) % FND CHC | # DE ARMONICA | BCR % FND CHC | M ECONOMIA % FND CHC | M HACIENDA (3T) % FND CHC | M HACIENDA (GC) % FND CHC |
| IFND | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | IH02 | 0.51 | 0.92 | 2.34 | 2.77 |
| IH03 | 3.28 | 4.67 | 22.08 | 6.01 | IH04 | 0.56 | 0.81 | 1.55 | 1.41 |
| IH05 | 5.74 | 5.62 | 27.28 | 3.96 | IH06 | 0.39 | 0.64 | 1.37 | 0.62 |
| IH07 | 3.29 | 2.38 | 12.71 | 0.97 | IH08 | 0.48 | 1.00 | 1.13 | 0.31 |
| IH09 | 0.82 | 1.00 | 8.63 | 0.99 | IH10 | 0.48 | 0.66 | 0.91 | 0.28 |
| IH11 | 3.37 | 0.99 | 3.09 | 0.37 | IH12 | 0.55 | 0.75 | 0.94 | 0.22 |
| IH13 | 3.00 | 0.82 | 3.58 | 0.40 | IH14 | 0.58 | 0.63 | 1.12 | 0.18 |
| IH15 | 1.06 | 0.68 | 2.63 | 0.30 | IH16 | 0.66 | 0.61 | 1.01 | 0.15 |
| IH17 | 6.43 | 0.54 | 1.94 | 0.23 | IH18 | 0.72 | 0.63 | 0.90 | 0.13 |
| IH19 | 1.11 | 0.57 | 2.03 | 0.20 | IH20 | 0.37 | 0.45 | 0.87 | 0.12 |
| IH21 | 0.40 | 0.45 | 1.92 | 0.15 | IH22 | 0.36 | 0.55 | 0.94 | 0.15 |
| IH23 | 0.60 | 0.55 | 1.65 | 0.18 | IH24 | 0.38 | 0.54 | 0.83 | 0.20 |
| IH25 | 0.47 | 0.57 | 1.85 | 0.14 | IH26 | 0.39 | 0.60 | 1.12 | 0.12 |
| IH27 | 0.34 | 0.52 | 1.34 | 0.15 | IH28 | 0.43 | 0.58 | 1.46 | 0.20 |
| IH29 | 0.44 | 0.63 | 1.11 | 0.12 | IH30 | 0.32 | 0.57 | 1.07 | 0.10 |
| IH31 | 0.31 | 0.59 | 0.99 | 0.10 | IH32 | 0.32 | 0.52 | 0.93 | 0.10 |
| IH33 | 0.41 | 0.51 | 1.20 | 0.10 | IH34 | 0.35 | 0.47 | 0.81 | 0.09 |
| IH35 | 0.28 | 0.55 | 0.67 | 0.09 | IH36 | 0.28 | 0.49 | 0.60 | 0.07 |
| IH37 | 0.30 | 0.48 | 0.87 | 0.09 | IH38 | 0.36 | 0.50 | 0.78 | 0.07 |
| IH39 | 0.32 | 0.46 | 0.88 | 0.09 | IH40 | 0.27 | 0.49 | 0.86 | 0.08 |
| IH41 | 0.25 | 0.51 | 0.95 | 0.08 | IH42 | 0.25 | 0.46 | 0.77 | 0.07 |
| IH43 | 0.33 | 0.56 | 0.93 | 0.09 | IH44 | 0.29 | 0.52 | 0.77 | 0.08 |
| IH45 | 0.24 | 0.45 | 0.74 | 0.09 | IH46 | 0.22 | 0.41 | 0.71 | 0.07 |
| IH47 | 0.25 | 0.46 | 0.73 | 0.07 | IH48 | 0.28 | 0.41 | 0.67 | 0.07 |
| IH49 | 0.24 | 0.39 | 0.57 | 0.07 | IH50 | 0.21 | 0.40 | 0.57 | 0.06 |

En la tabla 4.4 se observan los armónicos pares e impares correspondiente a la fase C del sector gobierno.

Ya que se consideran los armonios impares como los mas representativos se graficaron cada una de las fases por separado para realizar un mejor comparación los gráficos obtenidos se presentan a continuación.

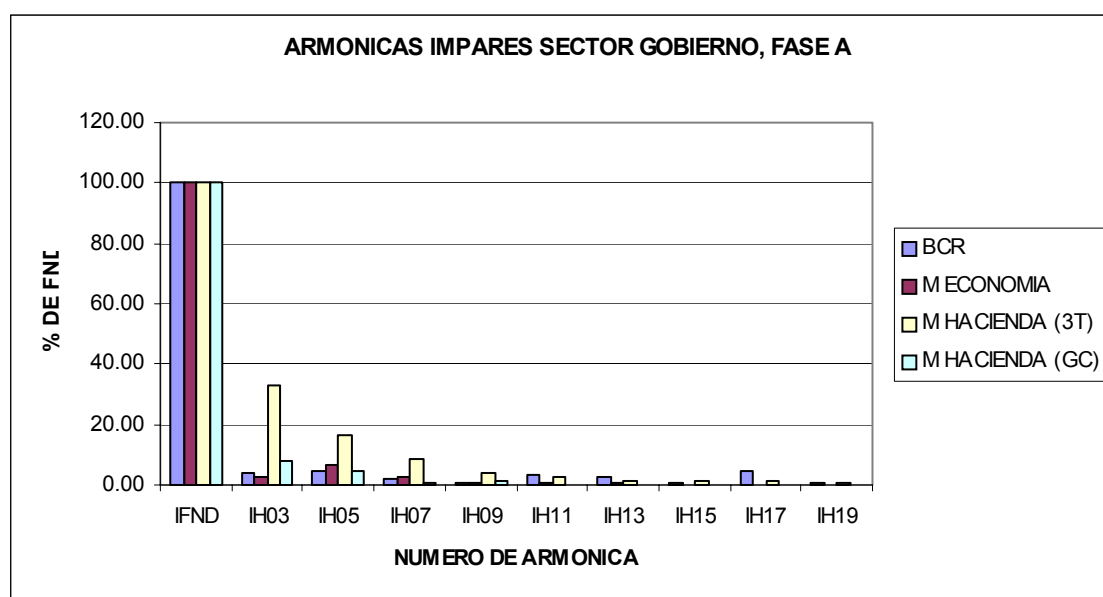


Figura 4.5. Armónicas impares de la fase A, correspondiente al sector gobierno.

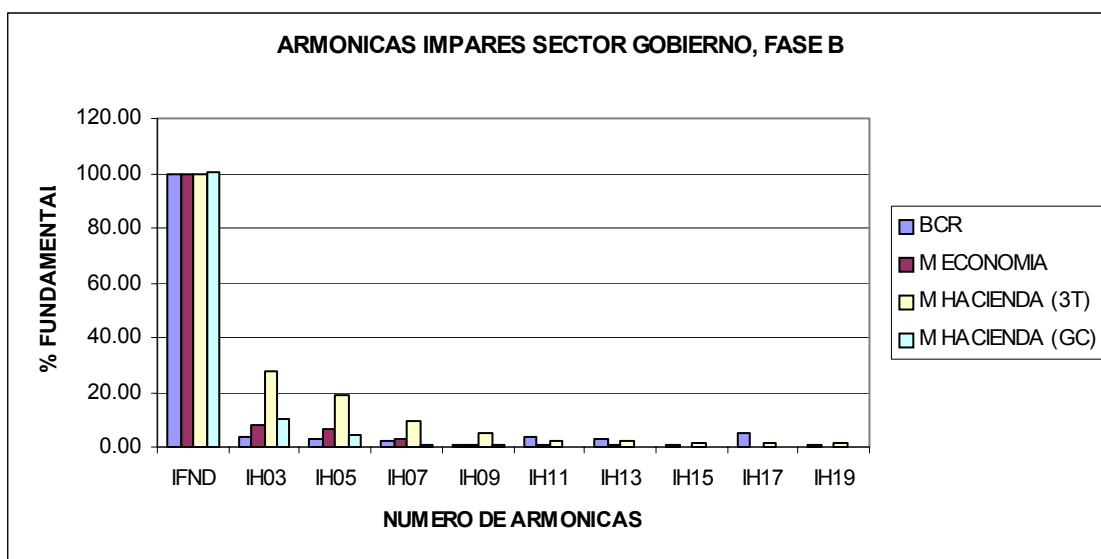


Figura 4.6. Armónicas impares de la fase B, correspondiente al sector gobierno.

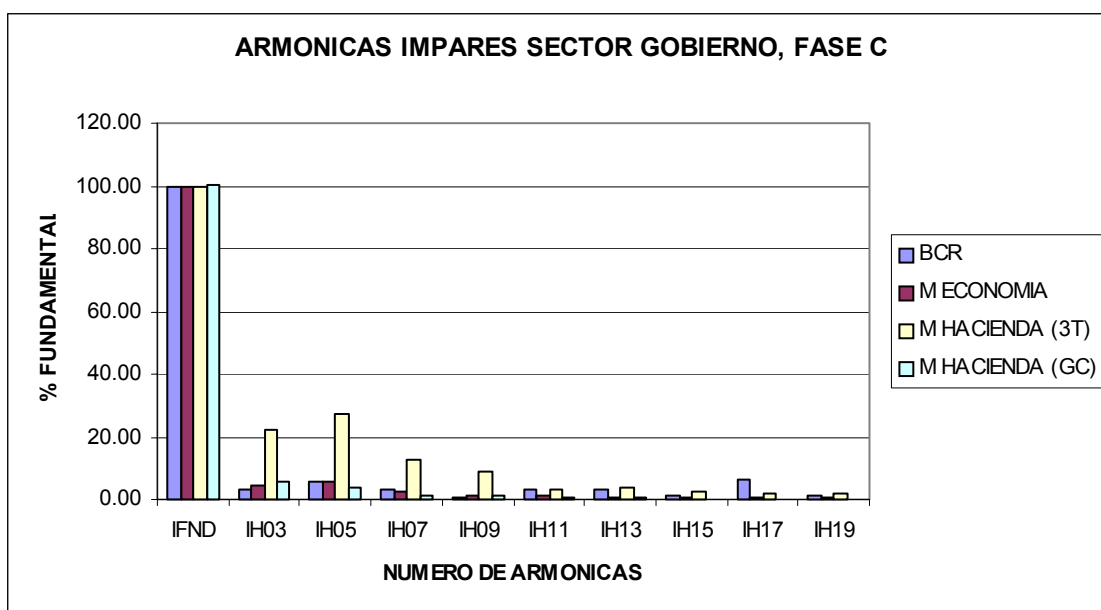


Figura 4.7. Armónicas impares de la fase C, correspondiente al sector gobierno.

De estas gráficas se observa los armónicas mas predominantes las cuales se resumen en la tabla 4.5, 4.6 y 4.7 que corresponden a la fase A, B y C respectivamente.

Tabla 4.5. Orden de armónicas predominantes impares por lugar fase A.

| INSTITUCIONES GUBERNAMENTALES FASE A | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| NOMBRE | ARMONICAS PREDOMINANTES (IMPARES) | | | | | | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| BCR | X | X | X | | X | X | | X | |
| M ECONOMIA | X | X | X | | | | | | |
| M HACIENDA 3T | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| M HACIENDA GC | X | X | | X | | | | | |

Tabla 4.6. Orden de armónicas predominantes impares por lugar fase B.

| INSTITUCIONES GUBERNAMENTALES FASE B | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| NOMBRE | ARMONICAS PREDOMINANTES (IMPARES) | | | | | | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| BCR | X | X | X | | X | X | | X | X |
| M ECONOMIA | X | X | X | | | | | | |
| M HACIENDA 3T | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| M HACIENDA GC | X | X | | | | | | | |

Tabla 4.7. Orden de armónicas predominantes impares por lugar fase C.

| INSTITUCIONES GUBERNAMENTALES FASE C | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| NOMBRE | ARMONICAS PREDOMINANTES (IMPARES) | | | | | | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| BCR | X | X | X | | X | X | X | X | X |
| M ECONOMIA | X | X | X | X | | | | | |
| M HACIENDA 3T | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| M HACIENDA GC | X | X | | | | | | | |

Los resultados nos muestran que las armónicas para todas las fases se obtienen casi los mismos resultados por lo tanto se pueden concluir que para el sector gobierno las armónicas predominantes son la 3 y la 5 esto se muestra en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Orden de armónicas que predominan por fase y por lugar, sector gobierno.

| INSTITUCIONES GUBERNAMENTALES | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|
| NOMBRE | FASES | | |
| | FASE A | FASE B | FASE C |
| BCR | 3, 5 | 3, 5 | 3, 5 |
| M ECONOMIA | 3, 5 | 3, 5 | 3, 5 |
| M HACIENDA 3T | 3, 5 | 3, 5 | 3, 5 |
| M HACIENDA GC | 3, 5 | 3, 5 | 3, 5 |

Se puede concluir que las armónicas 3 y 5 son las que se repiten en las tres fases.

4.2.2 Sector hospitales.

En el sector de hospitales se encuentran las siguientes instituciones:

- Hospital de Diagnostico.
- Hospital Bloom.

Los datos correspondientes se resumen en la tabla 4.9 en la cual se presenta hasta la armónica 50, y en la figura 4.8 y 4.9 se encuentran los respectivos gráficos de barras hasta la armónica de orden 15.

Tabla 4.9. Tabla de armónicas sector hospitalares.

| # DE ARMONICA | HOSPITAL BLOOM | | | HOSPITAL DE DIAGNOSTICO | | |
|---------------|----------------|-----------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|
| | % fnd CHA | % fnd CHB | % fnd CHC | % fnd CHA | % fnd CHB | % fnd CHC |
| IFND | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| IH02 | 0.79 | 0.61 | 0.65 | 8.61 | 9.03 | 9.39 |
| IH03 | 5.04 | 8.52 | 6.66 | 12.33 | 12.56 | 13.88 |
| IH04 | 0.17 | 0.13 | 0.17 | 11.78 | 13.00 | 13.43 |
| IH05 | 8.16 | 5.51 | 5.32 | 9.09 | 9.10 | 9.23 |
| IH06 | 0.14 | 0.09 | 0.11 | 2.76 | 2.93 | 3.11 |
| IH07 | 3.39 | 2.37 | 2.60 | 6.97 | 6.84 | 7.21 |
| IH08 | 0.13 | 0.08 | 0.12 | 2.17 | 2.20 | 2.43 |
| IH09 | 1.11 | 1.06 | 0.42 | 2.13 | 2.26 | 2.38 |
| IH10 | 0.13 | 0.08 | 0.12 | 2.16 | 2.30 | 2.42 |
| IH11 | 2.81 | 2.00 | 1.55 | 7.28 | 7.58 | 7.58 |
| IH12 | 0.13 | 0.09 | 0.11 | 2.17 | 2.24 | 2.32 |
| IH13 | 1.89 | 1.22 | 1.27 | 5.41 | 5.52 | 5.30 |
| IH14 | 0.16 | 0.13 | 0.15 | 1.95 | 2.14 | 2.18 |
| IH15 | 0.95 | 0.52 | 0.53 | 1.64 | 1.84 | 1.85 |
| IH16 | 0.23 | 0.17 | 0.15 | 1.65 | 1.78 | 1.82 |
| IH17 | 2.16 | 1.80 | 1.14 | 3.97 | 3.88 | 4.00 |
| IH18 | 0.10 | 0.09 | 0.19 | 1.37 | 1.46 | 1.45 |
| IH19 | 0.66 | 0.64 | 0.67 | 1.47 | 1.47 | 1.52 |
| IH20 | 0.08 | 0.06 | 0.11 | 1.05 | 1.11 | 1.14 |
| IH21 | 0.16 | 0.13 | 0.16 | 0.96 | 1.05 | 1.06 |
| IH22 | 0.06 | 0.05 | 0.12 | 0.94 | 1.02 | 1.04 |
| IH23 | 0.47 | 0.31 | 0.33 | 1.68 | 1.70 | 1.71 |
| IH24 | 0.06 | 0.04 | 0.10 | 0.90 | 0.97 | 0.98 |
| IH25 | 0.21 | 0.22 | 0.26 | 1.11 | 1.18 | 1.20 |
| IH26 | 0.04 | 0.03 | 0.07 | 0.67 | 0.73 | 0.77 |
| IH27 | 0.06 | 0.05 | 0.08 | 0.63 | 0.70 | 0.75 |
| IH28 | 0.04 | 0.03 | 0.07 | 0.61 | 0.66 | 0.71 |
| IH29 | 0.11 | 0.08 | 0.10 | 0.86 | 0.91 | 0.92 |
| IH30 | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 0.56 | 0.62 | 0.64 |
| IH31 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.81 | 0.85 | 0.90 |
| IH32 | 0.03 | 0.02 | 0.07 | 0.45 | 0.47 | 0.52 |
| IH33 | 0.04 | 0.03 | 0.09 | 0.41 | 0.45 | 0.48 |
| IH34 | 0.03 | 0.02 | 0.08 | 0.43 | 0.45 | 0.49 |
| IH35 | 0.05 | 0.04 | 0.08 | 0.58 | 0.60 | 0.61 |
| IH36 | 0.03 | 0.03 | 0.09 | 0.39 | 0.40 | 0.43 |
| IH37 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.53 | 0.55 | 0.58 |
| IH38 | 0.03 | 0.02 | 0.08 | 0.32 | 0.34 | 0.38 |
| IH39 | 0.04 | 0.03 | 0.09 | 0.31 | 0.32 | 0.36 |
| IH40 | 0.04 | 0.03 | 0.10 | 0.33 | 0.35 | 0.37 |
| IH41 | 0.04 | 0.04 | 0.11 | 0.42 | 0.42 | 0.43 |
| IH42 | 0.03 | 0.02 | 0.08 | 0.33 | 0.36 | 0.37 |
| IH43 | 0.03 | 0.03 | 0.08 | 0.45 | 0.47 | 0.47 |
| IH44 | 0.03 | 0.02 | 0.07 | 0.28 | 0.29 | 0.32 |
| IH45 | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.27 | 0.29 | 0.31 |
| IH46 | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.29 | 0.29 | 0.32 |
| IH47 | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.35 | 0.34 | 0.35 |
| IH48 | 0.03 | 0.02 | 0.07 | 0.28 | 0.29 | 0.31 |
| IH49 | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.34 | 0.37 | 0.38 |

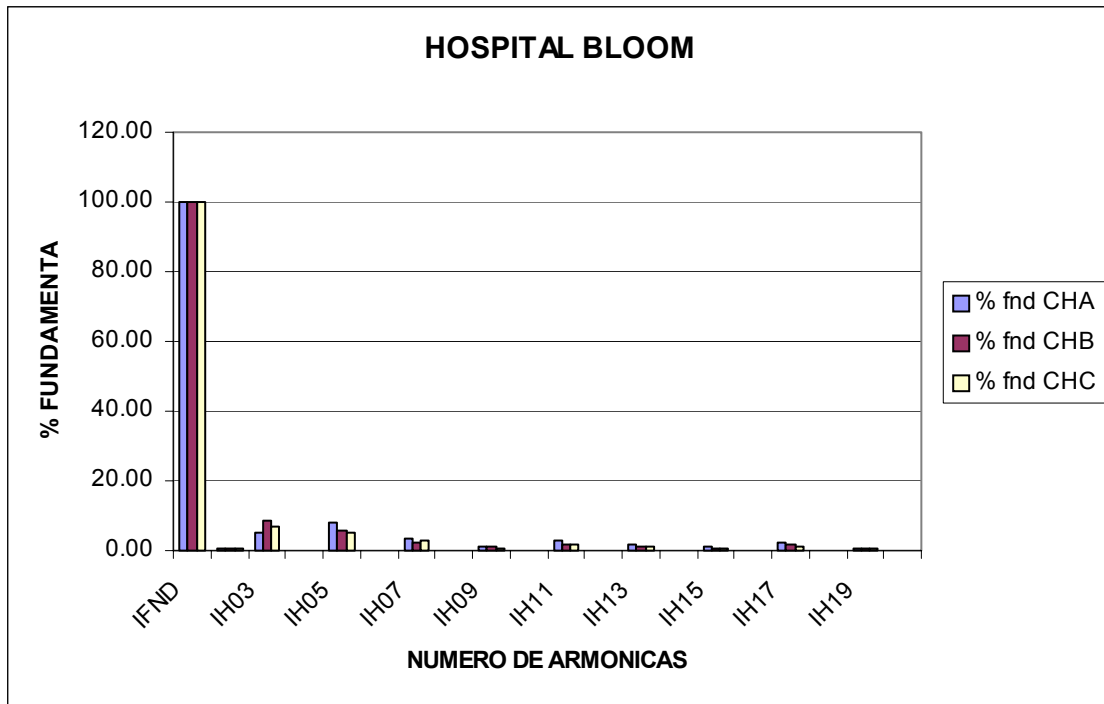


Figura 4.8. Armónicas Hospital Bloom.

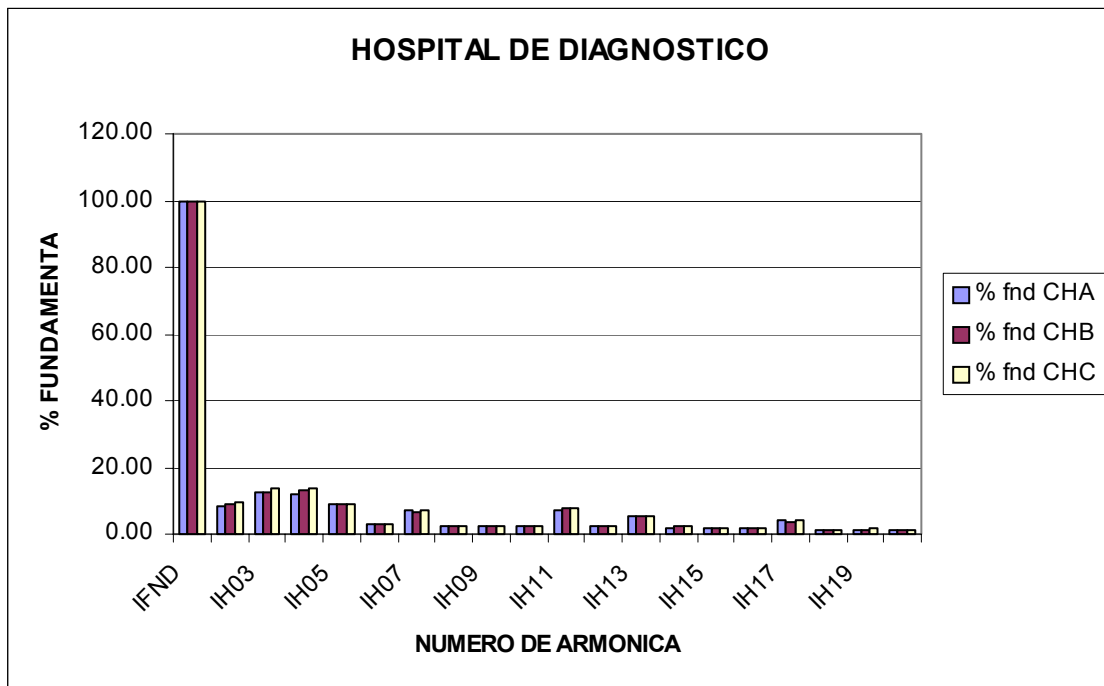


Figura 4.9. Armónicas Hospital de Diagnostico.

Estas mediciones se han separado en pares e impares y por fases esto se ha graficado para observar el comportamiento de ambos lugares. Las tablas y sus respectivos gráficos se muestran a continuación.

Tabla 4.10. Armónicas pares e impares fase A, sector hospitales.

| ARMONICAS IMPARES | | |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|
| # DE ARMONICA | H. BLOOM % FND CHA | H. DIAGNOSTICO % FND CHA |
| IFND | 100.00 | 100.00 |
| IH03 | 5.04 | 12.33 |
| IH05 | 8.16 | 9.09 |
| IH07 | 3.39 | 6.97 |
| IH09 | 1.11 | 2.13 |
| IH11 | 2.81 | 7.28 |
| IH13 | 1.89 | 5.41 |
| IH15 | 0.95 | 1.64 |
| IH17 | 2.16 | 3.97 |
| IH19 | 0.66 | 1.47 |
| IH21 | 0.16 | 0.96 |
| IH23 | 0.47 | 1.68 |
| IH25 | 0.21 | 1.11 |
| IH27 | 0.06 | 0.63 |
| IH29 | 0.11 | 0.86 |
| IH31 | 0.07 | 0.81 |
| IH33 | 0.04 | 0.41 |
| IH35 | 0.05 | 0.58 |
| IH37 | 0.04 | 0.53 |
| IH39 | 0.04 | 0.31 |
| IH41 | 0.04 | 0.42 |
| IH43 | 0.03 | 0.45 |
| IH45 | 0.03 | 0.27 |
| IH47 | 0.03 | 0.35 |
| IH49 | 0.03 | 0.34 |

| ARMONICAS PARES | | |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
| # DE ARMONICA | H. BLOOM % FND CHA | H. DIAGNOSTICO % FND CHA |
| IH02 | 0.79 | 8.61 |
| IH04 | 0.17 | 11.78 |
| IH06 | 0.14 | 2.76 |
| IH08 | 0.13 | 2.17 |
| IH10 | 0.13 | 2.16 |
| IH12 | 0.13 | 2.17 |
| IH14 | 0.16 | 1.95 |
| IH16 | 0.23 | 1.65 |
| IH18 | 0.10 | 1.37 |
| IH20 | 0.08 | 1.05 |
| IH22 | 0.06 | 0.94 |
| IH24 | 0.06 | 0.90 |
| IH26 | 0.04 | 0.67 |
| IH28 | 0.04 | 0.61 |
| IH30 | 0.03 | 0.56 |
| IH32 | 0.03 | 0.45 |
| IH34 | 0.03 | 0.43 |
| IH36 | 0.03 | 0.39 |
| IH38 | 0.03 | 0.32 |
| IH40 | 0.04 | 0.33 |
| IH42 | 0.03 | 0.33 |
| IH44 | 0.03 | 0.28 |
| IH46 | 0.03 | 0.29 |
| IH48 | 0.03 | 0.28 |
| IH50 | 0.03 | 0.24 |

Tabla 4.11. Armónicas pares e impares fase B, sector hospitales.

| ARMONICAS IMPARES | | |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|
| # DE ARMONICA | H. BLOOM % FND CHB | H. DIAGNOSTICO % FND CHB |
| IFND | 100.00 | 100.00 |
| IH03 | 8.52 | 12.56 |
| IH05 | 5.51 | 9.10 |
| IH07 | 2.37 | 6.84 |
| IH09 | 1.06 | 2.26 |
| IH11 | 2.00 | 7.58 |
| IH13 | 1.22 | 5.52 |
| IH15 | 0.52 | 1.84 |
| IH17 | 1.80 | 3.88 |
| IH19 | 0.64 | 1.47 |
| IH21 | 0.13 | 1.05 |
| IH23 | 0.31 | 1.70 |
| IH25 | 0.22 | 1.18 |
| IH27 | 0.05 | 0.70 |
| IH29 | 0.08 | 0.91 |
| IH31 | 0.06 | 0.85 |
| IH33 | 0.03 | 0.45 |
| IH35 | 0.04 | 0.60 |
| IH37 | 0.04 | 0.55 |
| IH39 | 0.03 | 0.32 |
| IH41 | 0.04 | 0.42 |
| IH43 | 0.03 | 0.47 |
| IH45 | 0.02 | 0.29 |
| IH47 | 0.02 | 0.34 |
| IH49 | 0.02 | 0.37 |

| ARMONICAS PARES | | |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
| # DE ARMONICA | H. BLOOM % FND CHB | H. DIAGNOSTICO % FND CHB |
| IH02 | 0.61 | 9.03 |
| IH04 | 0.13 | 13.00 |
| IH06 | 0.09 | 2.93 |
| IH08 | 0.08 | 2.20 |
| IH10 | 0.08 | 2.30 |
| IH12 | 0.09 | 2.24 |
| IH14 | 0.13 | 2.14 |
| IH16 | 0.17 | 1.78 |
| IH18 | 0.09 | 1.46 |
| IH20 | 0.06 | 1.11 |
| IH22 | 0.05 | 1.02 |
| IH24 | 0.04 | 0.97 |
| IH26 | 0.03 | 0.73 |
| IH28 | 0.03 | 0.66 |
| IH30 | 0.03 | 0.62 |
| IH32 | 0.02 | 0.47 |
| IH34 | 0.02 | 0.45 |
| IH36 | 0.03 | 0.40 |
| IH38 | 0.02 | 0.34 |
| IH40 | 0.03 | 0.35 |
| IH42 | 0.02 | 0.36 |
| IH44 | 0.02 | 0.29 |
| IH46 | 0.02 | 0.29 |
| IH48 | 0.02 | 0.29 |
| IH50 | 0.02 | 0.26 |

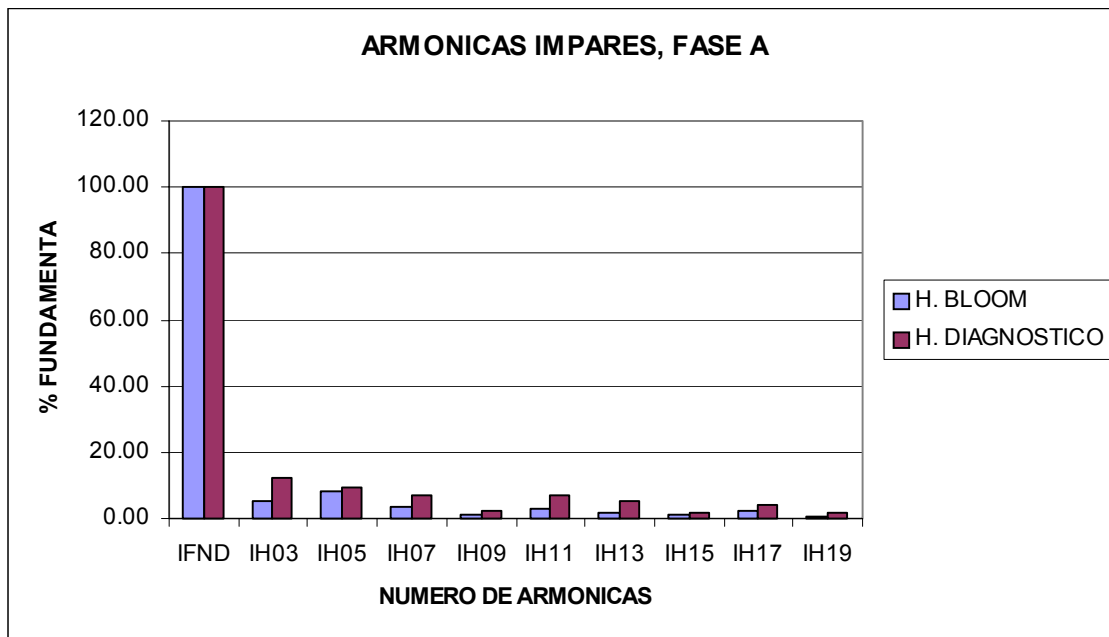


Figura 4.10. Armónicas impares fase A, sector hospitales.

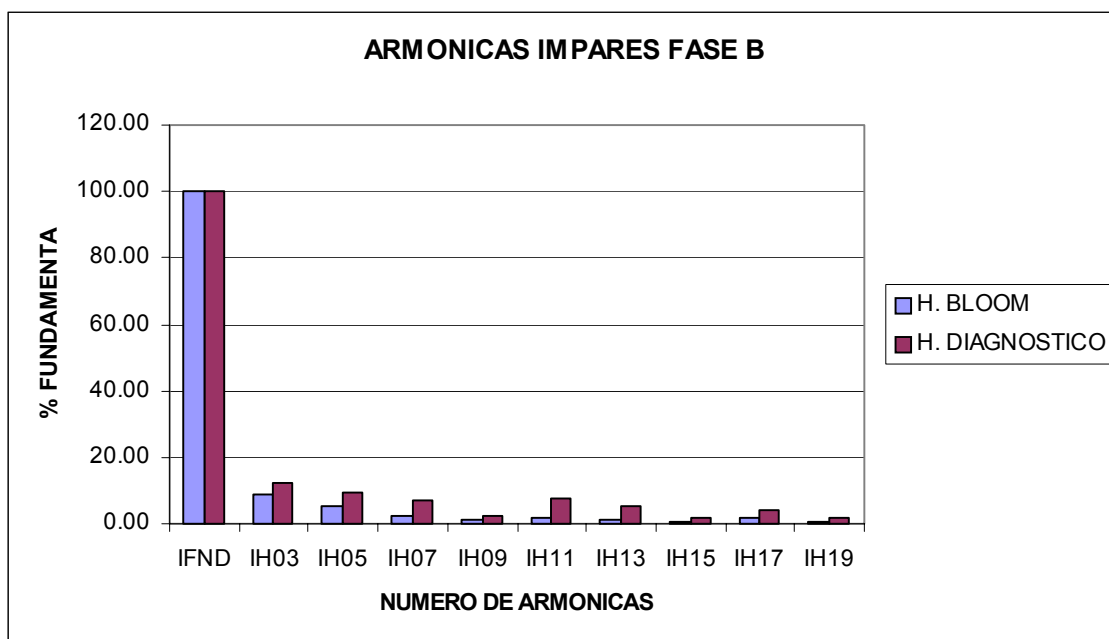


Figura 4.11. Armónicas impares fase B, sector hospitales.

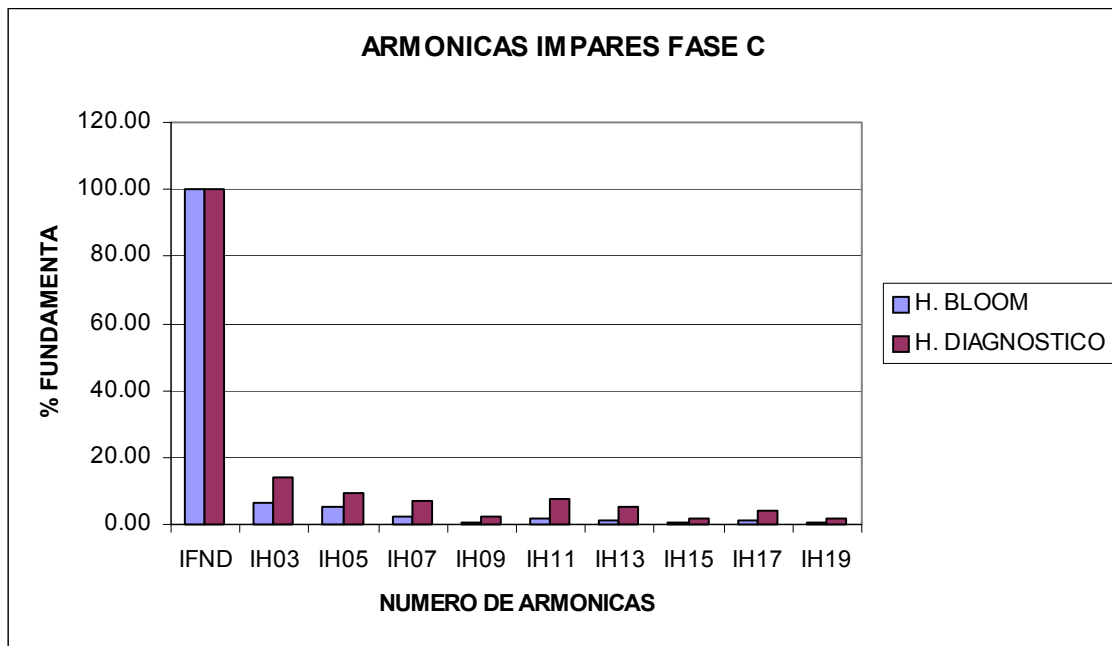


Figura 4.12. Armónicas impares fase C, sector hospitales.

De estos datos se observa que los datos mas predominantes son los de menor orden en las tablas 4.12, 4.13 y 4.14 se muestran los armónicos de mayor magnitud por fase.

| HOSPITALES FASE A | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| | ARMONICAS PREDOMINANTES (IMPARES) | | | | | | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| H. BLOOM | X | X | X | X | X | X | | X | |
| H. DIAGNOSTICO | X | X | X | X | X | X | X | X | |

Tabla 4.12. Cuadro de armónicas predominantes fase A.

Tabla 4.13. Cuadro de armónicas predominantes fase B.

| HOSPITALES FASE B | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| | ARMONICAS PREDOMINANTES (IMPARES) | | | | | | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| H. BLOOM | X | X | X | X | X | X | | X | |
| H. DIAGNOSTICO | X | X | X | X | X | X | X | X | |

Tabla 4.14. Cuadro de armónicas predominantes fase C.

| HOSPITALES FASE C | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| | ARMONICAS PREDOMINANTES (IMPARES) | | | | | | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| H. BLOOM | X | X | X | | X | X | | X | |
| H. DIAGNOSTICO | X | X | X | X | X | X | X | X | |

Los resultados nos muestran que las armónicas para todas las fases se obtienen casi los mismos resultados por lo tanto se pueden concluir que para el sector hospitales las armónicas predominantes son las que se muestran en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15. Armónicas de mayor magnitud impares de sector hospitales.

| HOSPITALES | | | |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| NOMBRE | FASES | | |
| | FASE A | FASE B | FASE C |
| BLOOM | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 17 | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 17 | 3, 5, 7, 11, 13, 17 |
| DIAGNOSTICO | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 |

4.2.3 Sector industria.

En el sector industria se visitaron dos lugares los cuales son:

- Sacos Sintéticos de Centro América, S.A. de C.V. (SASICASA).
- IVERCALMA.

En ambas industrias la mayoría de equipos que poseen son variadores de velocidad, los resultados de las mediciones se resumen en la Tabla 4.16, y los gráficos se correspondientes a cada lugar se muestran en las figuras 4.13 y 4.14.

Tabla 4.16. Armónicas de los tableros generales sector Industria.

| # DE ARMONICA | INVERCALMA | | | SACOS SINTETICOS | | |
|---------------|------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|
| | % fnd CHA | % fnd CHB | % fnd CHC | % fnd CHA | % fnd CHB | % fnd CHC |
| IFND | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| IH02 | 1.13 | 0.95 | 2.91 | 1.84 | 2.38 | 2.23 |
| IH03 | 1.37 | 1.03 | 3.13 | 2.06 | 5.28 | 3.66 |
| IH04 | 2.27 | 1.19 | 3.11 | 1.04 | 1.75 | 1.91 |
| IH05 | 52.96 | 17.07 | 31.10 | 13.87 | 14.16 | 14.07 |
| IH06 | 2.71 | 2.43 | 3.00 | 1.38 | 1.53 | 1.89 |
| IH07 | 17.55 | 14.06 | 3.51 | 5.91 | 6.30 | 6.93 |
| IH08 | 2.00 | 1.45 | 3.19 | 1.87 | 1.76 | 2.35 |
| IH09 | 1.33 | 1.12 | 3.07 | 2.14 | 2.77 | 2.48 |
| IH10 | 1.07 | 0.99 | 3.05 | 1.11 | 1.26 | 1.73 |
| IH11 | 8.40 | 1.23 | 3.26 | 4.20 | 4.39 | 4.02 |
| IH12 | 1.02 | 0.95 | 3.14 | 0.75 | 1.12 | 1.15 |
| IH13 | 1.68 | 1.24 | 3.26 | 1.08 | 1.62 | 1.55 |
| IH14 | 0.92 | 0.92 | 2.99 | 0.52 | 0.78 | 1.01 |
| IH15 | 0.93 | 0.89 | 2.97 | 0.57 | 0.85 | 1.08 |
| IH16 | 1.17 | 1.01 | 2.92 | 0.42 | 0.62 | 1.10 |
| IH17 | 6.94 | 2.92 | 3.55 | 0.60 | 0.85 | 1.14 |
| IH18 | 0.97 | 0.89 | 3.02 | 0.31 | 0.52 | 1.02 |
| IH19 | 1.54 | 1.08 | 3.33 | 0.39 | 0.65 | 0.92 |
| IH20 | 0.81 | 0.89 | 2.99 | 0.27 | 0.45 | 0.96 |
| IH21 | 0.86 | 0.91 | 3.09 | 0.30 | 0.46 | 0.92 |
| IH22 | 0.98 | 0.96 | 3.00 | 0.27 | 0.42 | 0.88 |
| IH23 | 3.78 | 1.73 | 3.01 | 0.26 | 0.43 | 0.91 |
| IH24 | 0.95 | 0.91 | 2.96 | 0.22 | 0.37 | 1.03 |
| IH25 | 1.13 | 0.94 | 3.05 | 0.26 | 0.41 | 0.80 |
| IH26 | 0.83 | 0.97 | 3.26 | 0.22 | 0.39 | 0.92 |
| IH27 | 0.80 | 0.90 | 3.14 | 0.28 | 0.38 | 0.91 |
| IH28 | 0.80 | 0.89 | 3.11 | 0.24 | 0.33 | 0.86 |
| IH29 | 0.84 | 0.91 | 3.15 | 0.23 | 0.35 | 0.80 |
| IH30 | 0.80 | 0.90 | 3.10 | 0.23 | 0.36 | 0.79 |
| IH31 | 0.79 | 0.90 | 3.10 | 0.22 | 0.32 | 0.90 |
| IH32 | 0.78 | 0.90 | 2.96 | 0.23 | 0.33 | 0.80 |
| IH33 | 0.75 | 0.86 | 2.92 | 0.23 | 0.33 | 0.87 |
| IH34 | 0.77 | 0.87 | 3.10 | 0.24 | 0.31 | 0.86 |
| IH35 | 0.83 | 0.91 | 3.11 | 0.23 | 0.34 | 0.81 |
| IH36 | 0.78 | 0.85 | 2.97 | 0.21 | 0.35 | 0.82 |
| IH37 | 0.78 | 0.88 | 2.96 | 0.21 | 0.33 | 0.94 |
| IH38 | 0.78 | 0.85 | 2.85 | 0.23 | 0.35 | 0.84 |
| IH39 | 0.74 | 0.86 | 3.06 | 0.22 | 0.31 | 0.89 |
| IH40 | 0.78 | 0.87 | 2.94 | 0.20 | 0.31 | 0.86 |
| IH41 | 0.85 | 0.88 | 2.97 | 0.20 | 0.29 | 0.82 |
| IH42 | 0.76 | 0.85 | 2.85 | 0.19 | 0.26 | 0.85 |
| IH43 | 0.74 | 0.84 | 2.81 | 0.19 | 0.28 | 0.94 |
| IH44 | 0.71 | 0.83 | 2.80 | 0.20 | 0.32 | 0.80 |
| IH45 | 0.74 | 0.84 | 2.86 | 0.20 | 0.29 | 0.84 |
| IH46 | 0.73 | 0.84 | 2.85 | 0.20 | 0.33 | 0.88 |
| IH47 | 0.81 | 0.84 | 2.73 | 0.19 | 0.34 | 0.87 |
| IH48 | 0.75 | 0.82 | 3.00 | 0.23 | 0.31 | 0.88 |
| IH49 | 0.77 | 0.84 | 2.82 | 0.19 | 0.28 | 0.85 |

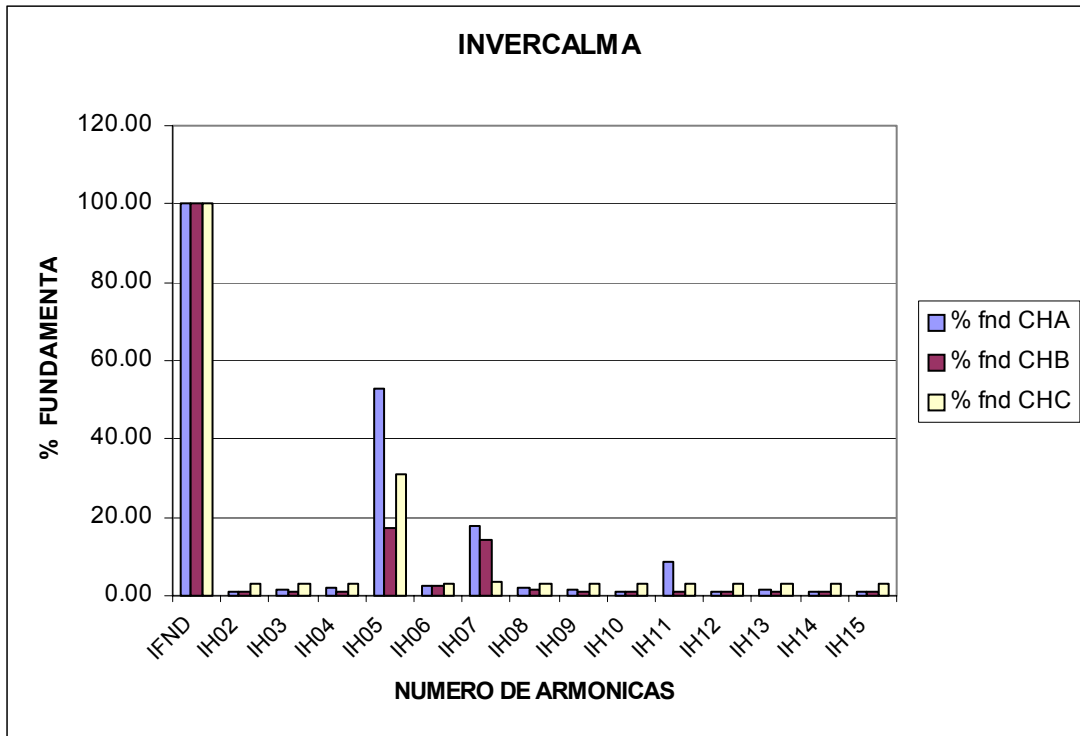


Figura 4.13. Grafica de barras de INVERCALMA.

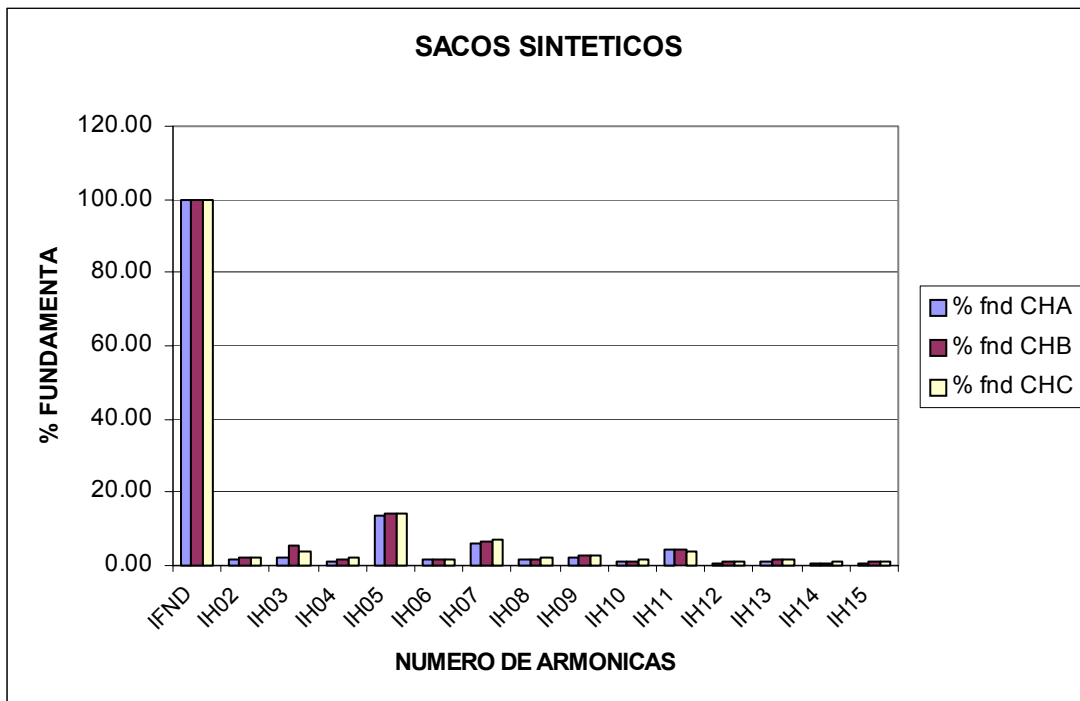


Figura 4.14. Grafica de barras de Sacos Sintéticos de Centro América.

Estos valores han sido separados por fase y a su vez en pares e impares, los cuales se resumen en las tablas 4.17, 4.18 y 4.19 , figuras 4.15, 4.16 y 4.17 para las fases A, B y C respectivamente.

Tabla 4.17. Armónicas pares e impares fase A, sector industria.

| ARMONICAS IMPARES | | | ARMONICAS PARES | | |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| # DE ARMONICA | INVERCALMA % FND CHA | SASICASA % FND CHA | # DE ARMONICA | INVERCALMA % FND CHA | SASICASA % FND CHA |
| IFND | 100.00 | 100.00 | IH02 | 1.13 | 1.84 |
| IH03 | 1.37 | 2.06 | IH04 | 2.27 | 1.04 |
| IH05 | 52.96 | 13.87 | IH06 | 2.71 | 1.38 |
| IH07 | 17.55 | 5.91 | IH08 | 2.00 | 1.87 |
| IH09 | 1.33 | 2.14 | IH10 | 1.07 | 1.11 |
| IH11 | 8.40 | 4.20 | IH12 | 1.02 | 0.75 |
| IH13 | 1.68 | 1.08 | IH14 | 0.92 | 0.52 |
| IH15 | 0.93 | 0.57 | IH16 | 1.17 | 0.42 |
| IH17 | 6.94 | 0.60 | IH18 | 0.97 | 0.31 |
| IH19 | 1.54 | 0.39 | IH20 | 0.81 | 0.27 |
| IH21 | 0.86 | 0.30 | IH22 | 0.98 | 0.27 |
| IH23 | 3.78 | 0.26 | IH24 | 0.95 | 0.22 |
| IH25 | 1.13 | 0.26 | IH26 | 0.83 | 0.22 |
| IH27 | 0.80 | 0.28 | IH28 | 0.80 | 0.24 |
| IH29 | 0.84 | 0.23 | IH30 | 0.80 | 0.23 |
| IH31 | 0.79 | 0.22 | IH32 | 0.78 | 0.23 |
| IH33 | 0.75 | 0.23 | IH34 | 0.77 | 0.24 |
| IH35 | 0.83 | 0.23 | IH36 | 0.78 | 0.21 |
| IH37 | 0.78 | 0.21 | IH38 | 0.78 | 0.23 |
| IH39 | 0.74 | 0.22 | IH40 | 0.78 | 0.20 |
| IH41 | 0.85 | 0.20 | IH42 | 0.76 | 0.19 |
| IH43 | 0.74 | 0.19 | IH44 | 0.71 | 0.20 |
| IH45 | 0.74 | 0.20 | IH46 | 0.73 | 0.20 |
| IH47 | 0.81 | 0.19 | IH48 | 0.75 | 0.23 |
| IH49 | 0.77 | 0.19 | IH50 | 0.76 | 0.18 |

Tabla 4.18. Armónicas pares e impares fase B, sector industria.

| ARMONICAS IMPARES | | | ARMONICAS PARES | | |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| # DE ARMONICA | INVERCALMA % FND CHB | SASICASA % FND CHB | # DE ARMONICA | INVERCALMA % FND CHB | SASICASA % FND CHB |
| IFND | 100.00 | 100.00 | IH02 | 0.95 | 2.38 |
| IH03 | 1.03 | 5.28 | IH04 | 1.19 | 1.75 |
| IH05 | 17.07 | 14.16 | IH06 | 2.43 | 1.53 |
| IH07 | 14.06 | 6.30 | IH08 | 1.45 | 1.76 |
| IH09 | 1.12 | 2.77 | IH10 | 0.99 | 1.26 |
| IH11 | 1.23 | 4.39 | IH12 | 0.95 | 1.12 |
| IH13 | 1.24 | 1.62 | IH14 | 0.92 | 0.78 |
| IH15 | 0.89 | 0.85 | IH16 | 1.01 | 0.62 |
| IH17 | 2.92 | 0.85 | IH18 | 0.89 | 0.52 |
| IH19 | 1.08 | 0.65 | IH20 | 0.89 | 0.45 |
| IH21 | 0.91 | 0.46 | IH22 | 0.96 | 0.42 |
| IH23 | 1.73 | 0.43 | IH24 | 0.91 | 0.37 |
| IH25 | 0.94 | 0.41 | IH26 | 0.97 | 0.39 |
| IH27 | 0.90 | 0.38 | IH28 | 0.89 | 0.33 |
| IH29 | 0.91 | 0.35 | IH30 | 0.90 | 0.36 |
| IH31 | 0.90 | 0.32 | IH32 | 0.90 | 0.33 |
| IH33 | 0.86 | 0.33 | IH34 | 0.87 | 0.31 |
| IH35 | 0.91 | 0.34 | IH36 | 0.85 | 0.35 |
| IH37 | 0.88 | 0.33 | IH38 | 0.85 | 0.35 |
| IH39 | 0.86 | 0.31 | IH40 | 0.87 | 0.31 |
| IH41 | 0.88 | 0.29 | IH42 | 0.85 | 0.26 |
| IH43 | 0.84 | 0.28 | IH44 | 0.83 | 0.32 |
| IH45 | 0.84 | 0.29 | IH46 | 0.84 | 0.33 |
| IH47 | 0.84 | 0.34 | IH48 | 0.82 | 0.31 |
| IH49 | 0.84 | 0.28 | IH50 | 0.83 | 0.30 |

Tabla 4.19. Armónicas pares e impares fase B, sector industria.

| ARMONICAS IMPARES | | | ARMONICAS PARES | | |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| # DE ARMONICA | INVERCALMA % FND CHC | SASICASA % FND CHC | # DE ARMONICA | INVERCALMA % FND CHC | SASICASA % FND CHC |
| IFND | 100.00 | 100.00 | IH02 | 2.91 | 2.23 |
| IH03 | 3.13 | 3.66 | IH04 | 3.11 | 1.91 |
| IH05 | 31.10 | 14.07 | IH06 | 3.00 | 1.89 |
| IH07 | 3.51 | 6.93 | IH08 | 3.19 | 2.35 |
| IH09 | 3.07 | 2.48 | IH10 | 3.05 | 1.73 |
| IH11 | 3.26 | 4.02 | IH12 | 3.14 | 1.15 |
| IH13 | 3.26 | 1.55 | IH14 | 2.99 | 1.01 |
| IH15 | 2.97 | 1.08 | IH16 | 2.92 | 1.10 |
| IH17 | 3.55 | 1.14 | IH18 | 3.02 | 1.02 |
| IH19 | 3.33 | 0.92 | IH20 | 2.99 | 0.96 |
| IH21 | 3.09 | 0.92 | IH22 | 3.00 | 0.88 |
| IH23 | 3.01 | 0.91 | IH24 | 2.96 | 1.03 |
| IH25 | 3.05 | 0.80 | IH26 | 3.26 | 0.92 |
| IH27 | 3.14 | 0.91 | IH28 | 3.11 | 0.86 |
| IH29 | 3.15 | 0.80 | IH30 | 3.10 | 0.79 |
| IH31 | 3.10 | 0.90 | IH32 | 2.96 | 0.80 |
| IH33 | 2.92 | 0.87 | IH34 | 3.10 | 0.86 |
| IH35 | 3.11 | 0.81 | IH36 | 2.97 | 0.82 |
| IH37 | 2.96 | 0.94 | IH38 | 2.85 | 0.84 |
| IH39 | 3.06 | 0.89 | IH40 | 2.94 | 0.86 |
| IH41 | 2.97 | 0.82 | IH42 | 2.85 | 0.85 |
| IH43 | 2.81 | 0.94 | IH44 | 2.80 | 0.80 |
| IH45 | 2.86 | 0.84 | IH46 | 2.85 | 0.88 |
| IH47 | 2.73 | 0.87 | IH48 | 3.00 | 0.88 |
| IH49 | 2.82 | 0.85 | IH50 | 2.83 | 0.78 |

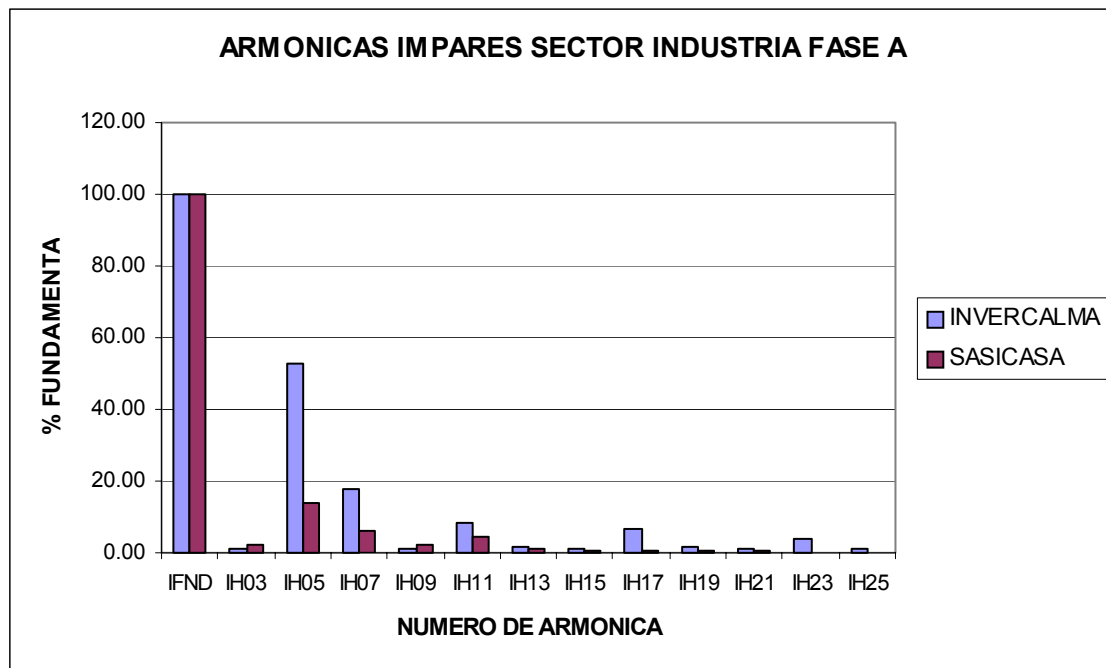


Figura 4.15. Armónicas impares fase A, sector industria.

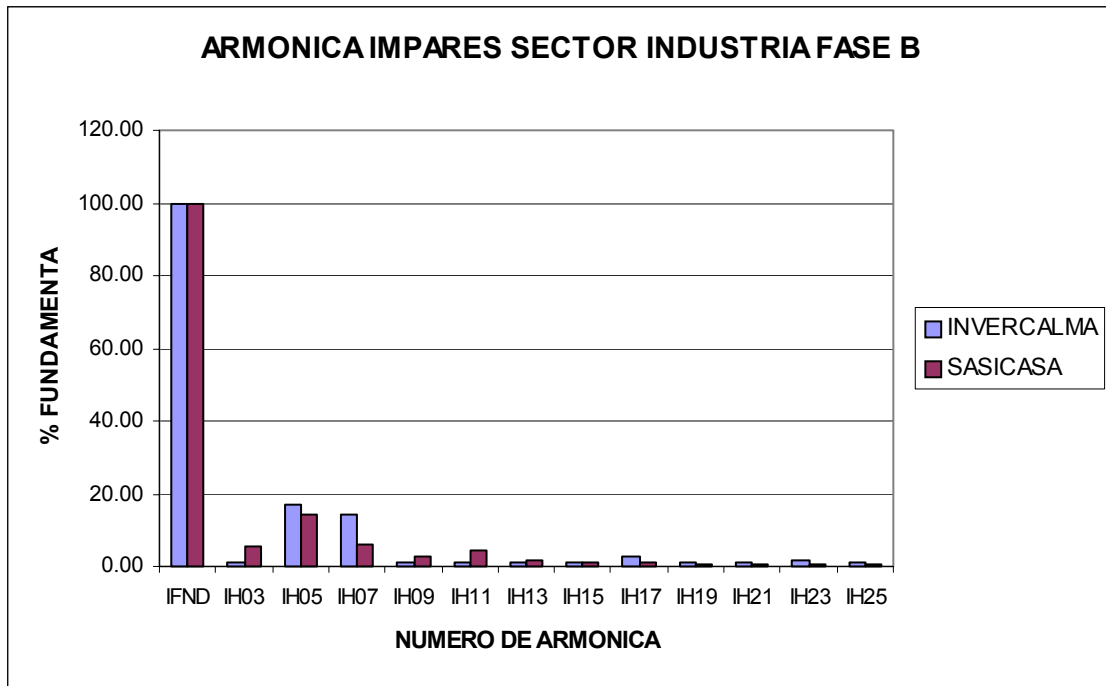


Figura 4.16. Armónicas impares fase B, sector industria.

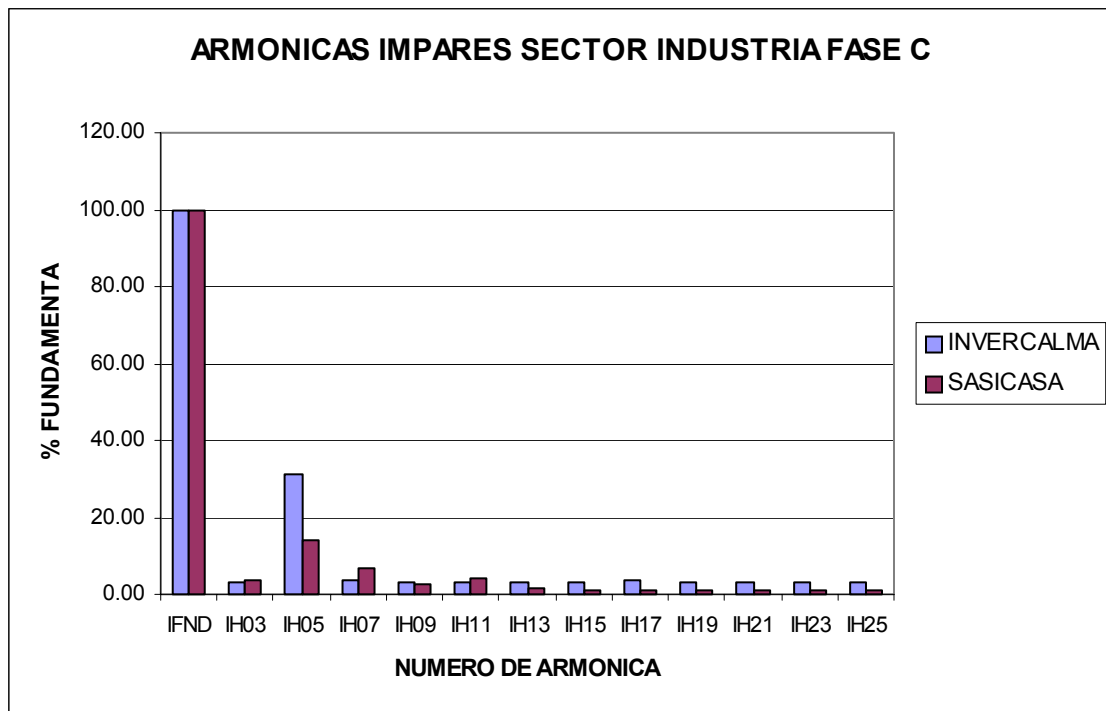


Figura 4.17. Armónicas impares fase C, sector industria.

De estos datos se observa que el comportamiento armónico de ambos lugares es similar esto se resume en las tablas 4.20, 4.21 y 4.22 para las fases A, B y C respectivamente.

Tabla 4.20. Armónicas predominantes fase A.

| INDUSTRIA FASE A | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| | ARMONICAS PREDOMINANTES (IMPARES) | | | | | | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| INVERCALMA | | X | X | | X | X | | X | X |
| SASICASA | X | X | X | X | X | | | | |

Tabla 4.21. Armónicas predominantes fase B.

| INDUSTRIA FASE B | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| | ARMONICAS PREDOMINANTES (IMPARES) | | | | | | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| INVERCALMA | | X | X | | X | X | | X | X |
| SASICASA | X | X | X | X | X | X | | | |

Tabla 4.22. Armónicas predominantes fase C.

| INDUSTRIA FASE C | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| | ARMONICAS PREDOMINANTES (IMPARES) | | | | | | | | |
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| INVERCALMA | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| SASICASA | X | X | X | X | X | X | X | X | |

Las armónicas que se repiten en las tres fases se resumen en la tabla 4.23.

Tabla 4.23. Armónicas predominantes de cada fase sector industria.

| INDUSTRIA | | | |
|------------|----------|--------------|----------------------------|
| NOMBRE | FASES | | |
| | FASE A | FASE B | FASE C |
| INVERCALMA | 5, 7, 11 | 5, 7, 11, 13 | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 |
| SASICASA | 5, 7, 11 | 5, 7, 11, 13 | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 |

4.3 Resumen de sectores.

El comportamiento observado en cada uno de los sectores se resume en la tabla 4.24.

Tabla 4.24. Resumen de armónicas por sector.

| RESUMEN DE ARMONICAS POR SECTOR | | | |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| NOMBRE | FASES | | |
| | FASE A | FASE B | FASE C |
| GOBIERNO | 3, 5 | 3, 5 | 3, 5 |
| HOSPITALES | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 17 | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 17 | 3, 5, 7, 11, 13, 17 |
| INDUSTRIA | 5, 7, 11 | 5, 7, 11, 13 | 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 |

De esto datos podemos resaltar que la armónica de orden 5 se verá en las tres fases en los tres sectores el porcentaje en cada sector varia pero se encuentra arriba del 3%, para el sector industria las armónicas que se han encontrado en las tres fase son la 5 y la 7, esto concuerda con la teoría que indica que estas serían las que se encontrarían pues son las generadas por los rectificadores de 6 pulsos, estas son las de mayor porcentaje respecto de la fundamental.

En el caso de las mediciones realizadas en el edificio del ministerio de hacienda “3 torres” la medición fue realizada en el tablero general del transformador que maneja toda la carga de los centros de cómputo de esta institución. La medición realizada en el hospital de diagnostico corresponde a una de las acometidas de dicho lugar la cual tiene como única carga el equipo de resonancia magnética.

CONCLUSIONES.

- En el caso de las industrias medidas los datos arrojados se encuentran dentro de lo esperado, pues son representativos de los equipos propios que se utilizan para los procesos de producción de las mismas.
- Los porcentajes de armónicas mas elevados se encuentran en el sector industria siendo estos hasta un máximo del 52.96%.

CONCLUSIONES GENERALES.

- Al realizar el análisis estadístico sobre las mediciones realizadas de cargas no lineales, los indicadores estadísticos aplicados nos llevaron a la confirmación de la hipótesis planteada, la cual afirmaba que las amplitudes de los armónicos de las luminarias de 2x40 Watts, de las luminarias de 3x32 watts y de las computadoras personales variaban de forma lineal con el número de cargas conectadas. Solamente en muy pocos casos el coeficiente de correlación poblacional no fue aceptado por alguna armónica de la carga, pero a pesar de esto la gráfica y el valor del coeficiente de correlación indicaban que si existía linealidad, y en el peor de los casos la amplitud de la armónica no era significativa. De modo que la aplicación de los coeficientes de regresión es aceptable para predecir las amplitudes de las armónicas variando el número de cargas.
- Así también los indicadores antes mencionados junto con las gráficas de las tendencias nos confirmaron que los ángulos de las amplitudes de las armónicas no tienen una tendencia que pueda ser descrita por alguna función característica, es más al apoyarnos con un algoritmo de Matlab se pudo comprobar que con una variación de valor pequeño en los ángulos hacía que la señal se deformara considerablemente. De ahí que se concluyó que la mejor manera de reproducir la forma de onda ya sea de corriente o de voltaje era utilizar un conjunto de ángulos base y solamente se variarían las amplitudes de las armónicas.
- Aunque el campo de estudio para armónicos es bastante amplio y hay mucho por descubrir pueden utilizarse métodos tradicionales de análisis para observar su comportamiento.