



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA:

“DISTORSIÓN ARMÓNICA PRODUCIDA POR VARIADORES DE FRECUENCIA PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE ..INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”

Trabajo de graduación

Previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

AUTOR: Egdo. Darwin Abraham López Ati

AMBATO - ECUADOR

2013

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, bajo el tema “DISTORSIÓN ARMÓNICA PRODUCIDA POR VARIADORES DE FRECUENCIA PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”, desarrollado por el estudiante, López Ati Darwin Abraham egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal Examinador designado por el Consejo Directivo de esta Facultad.

EL TUTOR




Ing. Susana Valencia

AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO

Declaro que los criterios expresados en la investigación denominada “DISTORSIÓN ARMÓNICA PRODUCIDA POR VARIADORES DE FRECUENCIA PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”, así como también las ideas, análisis, conclusiones y propuesta son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de la presente investigación de grado.

EL AUTOR



.....
Egdo. López Atí Darwin Abraham
C.I. 180436955-9

Agradecimientos

A la Universidad Técnica de Ambato y sus docentes por todos sus conocimientos impartidos.

A la Ing. Susana Valencia, docente, tutor y amiga.

A todos los ingenieros que durante el estudio estuvieron presentes con su conocimiento y apoyo.

A los ayudantes del laboratorio por su colaboración en todo momento durante la realización de este proyecto

A las personas incondicionales como lo son mis padres, familiares y amigos. Si no fuera por ellos mi sueño no lo habría cumplido.

Dedicatoria

A Dios

Que ha guiado mi camino con Amor y bondad, que me ha dado el valor de la perseverancia para con inteligencia llegar a culminar mis estudios universitarios y pensar en una nueva meta de ser un profesional capacitado para contribuir en la sociedad.

A mi padre Abraham López

Buen amigo, el cual impartió valores y conocimientos en cada paso de mi vida, por enseñarme a confrontar los temores, vencerlos y alcanzar los objetivos y metas propuestas.

A mi madre Margoth Ati

Por su inigualable Amor, comprensión, sacrificio y esfuerzo, mi consejera, el apoyo cuando estuve cerca de caer y mi aliento para levantarme cuando estuve caído.

A mis hermanos, tía y abuelos

Por todo su amor, sus consejos, su ayuda, confianza, por cada palabra que me motivaron seguir adelante. Gracias.

A mi compañera de sueños y anhelos Taty por compartir mis deseos de superación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	I
AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	V
RESUMEN EJECUTIVO	XIX

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1 Tema de Investigación	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico	3
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del problema.....	4
1.2.5 Preguntas directrices.....	4
1.2.6 Delimitación.....	4
1.2.6.1 De contenido	4
1.2.6.2 Espacial	4
1.2.6.3 Temporal.....	4
1.3 Justificación de la Investigación.....	4
1.4 Objetivos.....	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1. Antecedentes Investigativos	7
2.2. Fundamentación filosófica	9

2.3	Fundamentación legal	9
2.4	Categorías Fundamentales.....	10
2.4.1	Motores eléctricos.	10
2.4.1.1	Clasificación de los motores según tipo de corriente utilizada en su alimentación.	11
2.4.1.2	Motores Asíncronos.	11
2.4.1.3	Funcionamiento del motor asíncrono	13
2.4.1.4	Constitución del motor asíncrono.....	14
2.4.1.5	Motores Asíncronos de rotor bobinado.	14
2.4.1.6	Motores Asíncronos tipo Jaula de ardilla.	15
2.4.1.7	Arranques del motor de inducción de rotor bobinado.....	16
2.4.2	Potencia.....	20
2.4.2.1	Tipos de potencia.	20
2.4.2.2	Potencia aparente (S).....	21
2.4.2.3	Potencia activa (P).....	21
2.4.2.4	Potencia reactiva (Q).....	21
2.4.3	Factor de potencia.	22
2.4.3.1	Definición factor de potencia.	22
2.4.3.2	Bajo factor de potencia.....	24
2.4.3.3	Problemas por bajo factor de potencia.....	24
2.4.3.4	Beneficios por corregir el factor de potencia.....	25
2.4.3.5	Medida de potencia y factor de potencia.	25
2.4.4	Temperatura como factor interno eléctrico que interviene en el funcionamiento del motor.....	26
2.4.5	Análisis del rendimiento.....	27
2.4.6	Variación de velocidad de motores de inducción.	29
2.4.7	Variador de frecuencia.	32
2.4.7.1	Control de velocidad de los convertidores de frecuencia.....	33
2.4.7.2	Funciones de los variadores de frecuencia.	35
2.4.7.3	Principales tipos de variadores de velocidad	36

2.4.7.4 Arranque suave del motor.	38
2.4.7.5. Control V/f.	39
2.4.7.5.1 Control Escalar.....	39
2.4.7.5.2 Control Vectorial.....	40
2.4.7.6 Procesos industriales y regulación de velocidad.	40
2.4.7.7 Beneficios de la utilización de variadores de frecuencia.	44
2.4.7.8 Factores que generan averías en variadores de frecuencia.	44
2.4.8 Consecuencias de la variación de tensión o frecuencia sobre un motor asíncrono.	46
2.4.9 Distorsión Armónica	47
2.4.9.1 Definición de armónicas.....	48
2.4.9.2 Características de la distorsión armónica.....	50
2.4.9.3 Efectos en los motores asíncronos trifásicos causados por armónicos.	51
2.4.9.4 Sobrecalentamiento y vibraciones en los motores de inducción.	51
2.4.9.5 Problemática de armónicos en suministros industriales.....	52
2.4.9.6 Efectos de los armónicos en los Variadores de frecuencia.	53
2.4.9.7 Afectaciones de los armónicos al factor de potencia.	54
2.4.9.8 Reducción de armónicas.....	56
2.4.9.9 Efectos de las armónicas	57
2.5. Hipótesis	58
2.5.1 Variables	58

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA.

3.1 Enfoque.....	59
3.2 Modalidad y Tipo de Investigación.	59
3.2.1 Modalidad.	59
3.2.2 Tipo.....	59
3.3 Población y Muestra.....	59
3.4 Operacionalización de variables.....	61

3.4.1 Variable independiente	61
3.4.2 Variable dependiente	62
3.5 Plan de recolección de información.....	63
3.6 Procesamiento y análisis de la información.....	63

CAPÍTULO IV

ÁNÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mediciones adquisición de datos.....	64
4.1 Mediciones de armónicos de corriente antes del variador de frecuencia	72
4.2 Medición de armónicos de tensión antes del variador de frecuencia.	106
4.3 Medición del factor de potencia.	111
4.4 Procedimiento para analizar una onda periódica.	112
4.5 Análisis de una onda distorsionada	114
4.6 Mediciones de armónicos de corriente después del variador de frecuencia.....	119
4.7 Medición de armónicos de tensión después del variador de frecuencia.....	149
4.8 Factor de potencia con carga de 16 kg aplicada al motor.	173
4.9 Análisis de la información.....	174
4.9.1 Armónicos de tensión antes del variador de frecuencia.	174
4.9.2 Armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.	180
4.9.3 Armónicos de tensión después del variador de frecuencia.	186
4.9.4 Armónicos de corriente después del variador de frecuencia.....	192
4.10 Verificación de la hipótesis.	198

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones	199
5.2 Recomendaciones.....	201

CAPÍTULO VI

PROPUESTA.

6.1 Datos Informativos.....	203
-----------------------------	-----

6.2 Antecedentes De La Propuesta.....	204
6.3 Justificación.....	204
6.4 Objetivos	205
6.4.1 General	205
6.4.2 Específicos	205
6.5 Análisis De Factibilidad.....	205
6.6 Selección del Filtro.....	205
6.7 Fundamentación.....	210
6.8 Metodología	241
6.9 Conclusiones de la propuesta	250
6.10 Recomendaciones.....	251
6.11 Administración.....	252
6.12 Previsión De La Evaluación	253
7. Bibliografía	254
ANEXOS	256

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 2.1: Flujo de potencia de un motor.....	10
Figura 2.2: Motor Asíncrono... ..	12
Figura 2.3: Efecto de campo giratorio sobre una espira en cortocircuito.....	12
Figura 2.4: Funcionamiento del motor Asíncrono.....	13
Figura 2.5: Estator y rotor de motor eléctrico asincrónico... ..	14
Figura 2.6: Despiece del motor de rotor bobinado.	14
Figura 2.7: Sección de motor eléctrico asíncrono Jaula ardilla... ..	15
Figura 2.8: Arranque por resistencia en el rotor... ..	16
Figura 2.9: Circuito de potencia y mando del arranque directo.....	17
Figura 2.10: Circuito de potencia y mando para el arranque estrella-triángulo... ..	18
Figura 2.11: Triángulo de potencias... ..	22
Figura 2.12: Diagramas Fasoriales... ..	23
Figura 2.13: Representación y correspondencia práctica de las potencias.	24
Figura 2.14: Factor de potencia VS Ángulo... ..	24
Figura 2.15: Medida de potencia en línea de alimentación del motor.....	26

Figura 2.16: Esquema de conexionado para la medida del factor de potencia en la línea de alimentación del motor	26
Figura 2.17: Fotografía termográfica de un motor eléctrico.....	26
Figura 2.18 Eficiencia de motores... ..	27
Figura 2.19 Naturaleza de las pérdidas en motores.....	28
Figura 2.20: Tensión Vs Frecuencia.....	30
Figura 2.21: Torque Vs Frecuencia.....	31
Figura 2.22: Potencia Vs Frecuencia.....	31
Figura 2.23: Variador de Frecuencia.....	32
Figura 2.24: Diagrama de bloques de un variador de velocidad.....	33
Figura 2.25: Esquema simplificado de un inversor de la fuente de tensión... ..	34
Figura 2.26: Esquema simplificado de un variador de velocidad PWM.....	34
Figura. 2.27 Esquema de base de un convertidor de frecuencia.....	37
Figura 2.28: Arranque suave y arranque directo.....	38
Figura 2.29: Par constante	41
Figura 2.30: Ejemplos aplicativos de par constante	41
Figura 2.31: Par creciente linealmente con la velocidad.....	42
Figura 2.32: Bomba volumétrica	42
Figura 2.33: Par creciente con el cuadrado de la velocidad.....	42
Figura 2.34: Bomba centrífuga	42
Figura 2.35: Potencia constante	43
Figura 2.36: Ejemplos de potencia constante	43
Figura 2.37: Onda fundamental de voltaje.....	48
Figura 2.38: Sistema sinusoidal trifásico.....	49
Figura 2.39: Onda Sinusoidal a Frecuencia Fundamental (60 Hz) y Armónicos: 2do (120 Hz); 3ro (180 Hz); 4to (240 Hz); y 5to (300 Hz).....	50
Figura 2.40: Aumento de la corriente rms en las pérdidas Joule en función del THDI.	52
Figura 2.41. Triángulo de potencias en régimen no sinusoidal	55
Figura 2.42: Armónica en que ocurre resonancia.....	57
Figura 4.a Esquema de la instalación del motor eléctrico trifásico con el variador de frecuencia.	65

Figura 4.b Esquema fuerza aplicada a la polea del motor.	65
Figura 4.c Polea de 3”	66
Figura 4.d Polea con recubrimiento de asbesto	66
Figura 4.e Banco de ensayos	66
Figura 4.f Dimensiones del motor eléctrico	67
Figura 4.g Curvas de comportamiento de motores eléctricos trifásicos.	68
Figura 6.6.1 Filtro pasivo.....	206
Figura 6.6.2 Reactancia trifásica.	207
Figura 6.6.3 Filtro activo.	207
Figura 6.6.4 Filtro Activo Serie.....	208
Figura 6.6.5 Filtro Activo Paralelo.	208
Figura 6.6.6 Filtro Activos Paralelo - Serie y Serie – Paralelo.....	209
Figura 6.6.7 Filtro Activo gráfico catálogo CISAR.....	209
Figura 6.6.8 Filtro Híbrido.....	210
Figura 6.7.1 Esquema instalación de la reactancia trifásica.....	212
Figura 6.8.1 Carga de 16 Kg aplicado al motor.	241
Figura 6.8.2 Variador de Frecuencia a 60 Hz	242
Figura 6.8.3 Variador de Frecuencia 2.5 KHz	242
Figura 6.8.4 Analizador de armónicos conectado en paralelo	243
Figura 6.8.5 Software Clamp on – Onda distorsionada	243
Figura 6.8.6 Análisis de armónicos en la PC Software Clamp on	244
Figura 6.8.7 Frecuencia Interna 2.5 KHz, Frecuencias de variación de velocidad 60, 40, 20 Hz	245
Figura 6.8.8 Frecuencia interna del variador de 7.5 KHZ con frecuencias de 60, 40, 20 Hz	245
Figura 6.8.9 Frecuencia Interna 2.5 KHz, Frecuencias de variación de velocidad 60, 40, 20 Hz	246
Figura 6.8.10 Frecuencia interna del variador de 7.5 KHZ con frecuencias de 60, 40, 20 Hz	246
Figura 6.8.11 Frecuencia interna del variador 10 KHZ con frecuencias de 60, 40, 20 Hz	247

Figura 6.8.12 Frecuencia interna del variador de 15 KHZ con frecuencias de 60, 40, 20 Hz.	247
Figura 6.8.13 Analizador gráfico Medición armónicos de corriente	248
Figura 6.8.14 Software Clamp on – Onda distorsionada	249

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1: Características variación de velocidad.....	29
Tabla 2.2: Formas de diálogo disponibles para variadores.....	36
Tabla 2.3: Aplicaciones de variadores de frecuencia.....	45
Tabla 3.1: Operacionalización variable independiente... ..	61
Tabla 3.2: Operacionalización variable dependiente... ..	62
Tabla 4.a Dimensiones de la polea.....	65
Tabla 4.b Especificaciones del motor eléctrico trifásico.... ..	67
Tabla 4.c Dimensiones del motor eléctrico trifásico.....	67
Tabla 4.d Especificaciones del variador de frecuencia.....	69
Tabla 4.e Especificaciones del analizador gráfico PROVA 6200.....	70
Tabla 4.f Formas de onda del motor eléctrico trifásico sin el variador de frecuencia.	71
Tabla 4.1.1 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz - 60 Hz	72
Tabla 4.1.2 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz - 60 Hz (Ensayo 2).....	73
Tabla 4.1.3 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz - 60 Hz (Ensayo 3).....	74
Tabla 4.1.4 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz - 40 Hz	75
Tabla 4.1.5 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz - 40 Hz (Ensayo 2).....	76
Tabla 4.1.6 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz - 40 Hz (Ensayo 3).....	77

Tabla 4.1.7 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz - 20 Hz	78
Tabla 4.1.8 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz - 20 Hz (Ensayo 2).....	79
Tabla 4.1.9 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 10KHz - 60 Hz	80
Tabla 4.1.10 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 10KHz - 60 Hz (Ensayo 2).....	81
Tabla 4.1.11 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 10KHz - 60 Hz (Ensayo 3).....	82
Tabla 4.1.12 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 10KHz - 40 Hz	83
Tabla 4.1.13 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 10KHz - 40 Hz (Ensayo 2).....	84
Tabla 4.1.14 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 10KHz - 40 Hz (Ensayo 3).....	85
Tabla 4.1.15 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 10KHz - 20 Hz	86
Tabla 4.1.16 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 10KHz - 20 Hz (Ensayo 2).....	87
Tabla 4.1.17 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 10KHz - 20 Hz (Ensayo 3).....	88
Tabla 4.1.18 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz - 60 Hz	89
Tabla 4.1.19 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz - 60 Hz (Ensayo 2).....	90
Tabla 4.1.20 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz - 60 Hz (Ensayo 3).....	91
Tabla 4.1.21 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz - 40 Hz.	92
Tabla 4.1.22 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz - 40 Hz (Ensayo 2).....	93

Tabla 4.1.23 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz - 40 Hz (Ensayo 3).....	94
Tabla 4.1.24 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz - 20 Hz	95
Tabla 4.1.25 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz - 20 Hz (Ensayo 2).....	96
Tabla 4.1.26 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz - 60 Hz	97
Tabla 4.1.27 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz - 60 Hz (Ensayo 2).....	98
Tabla 4.1.28 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz - 60 Hz (Ensayo 3).....	99
Tabla 4.1.29 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz - 40 Hz.	100
Tabla 4.1.30 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz - 40 Hz (Ensayo 2).....	101
Tabla 4.1.31 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz - 40 Hz (Ensayo 3).....	102
Tabla 4.1.32 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz - 20 Hz	103
Tabla 4.1.33 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz - 20 Hz (Ensayo 2).....	104
Tabla 4.1.34 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz - 20 Hz (Ensayo 3).....	105
Tabla 4.2.1 Medición armónicos de tensión antes del variador de frecuencia. Frecuencias: 15 KHz - 60 Hz. Onda no distorsionada (onda a frecuencia fundamental)	106
Tabla 4.2.2 Medición armónicos de tensión antes del variador de frecuencia. Espectros de armónicos de magnitud reducida a frecuencia del variador de 15 KHz y 60, 40, 20 Hz de frecuencia variada de la red.....	107

Tabla 4.2.3 Medición armónicos de tensión antes del variador de frecuencia. Armónicos a frecuencia del variador de 10KHz y 60,40, 20 Hz de frecuencia variada de la red	108
Tabla 4.2.4 Medición armónicos de tensión antes del variador de frecuencia. Espectros de armónicos de magnitud reducida a frecuencia del variador de 7.5 KHz y 60,40, 20 Hz de frecuencia variada de la red.....	109
Tabla 4.3.1 Medición factor de potencia en vacío a diferentes frecuencias. Potencia activa, reactiva, aparente, ángulo de fase	111
Tabla 4.4.1 Tabla Análisis de una onda distorsionada.....	112
Tabla 4.5.1 Análisis de una onda distorsionada, cálculo magnitud de un armónico de tensión.	114
Tabla 4.5.2 Análisis de una onda distorsionada, cálculo magnitud de un armónico de tensión. Amplitud en escala de 5° hasta 520° que completa un ciclo.....	115
Tabla 4.5.3 Análisis de una onda distorsionada, cálculo magnitud de un armónico de tensión. Amplitud en escala de 7.2° hasta 360° que completa un ciclo.....	116
Tabla 4.5.4 Análisis de una onda distorsionada, cálculo de S1y S2.	117
Tabla 4.6.1 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz – 60 Hz.	119
Tabla 4.6.2 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz – 60 Hz (Ensayo 2).....	120
Tabla 4.6.3 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz – 60 Hz (Ensayo 3).....	121
Tabla 4.6.4 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz – 40 Hz.	122
Tabla 4.6.5 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz – 40 Hz (ensayo 2).....	123
Tabla 4.6.6 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz – 40 Hz (Ensayo 3).....	124
Tabla 4.6.7 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz – 20 Hz	125
Tabla 4.6.8 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15KHz – 20 Hz (Ensayo 2).....	126

Tabla 4.6.9 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10KHz – 60 Hz	127
Tabla 4.6.10 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10 KHz – 60 Hz (Ensayo 2)	128
Tabla 4.6.11 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10 KHz – 40 Hz.....	129
Tabla 4.6.12 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10 KHz – 40 Hz (ensayo 2).....	130
Tabla 4.6.13 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10 KHz – 40 Hz (Ensayo 3)	131
Tabla 4.6.14 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10 KHz – 20 Hz.....	132
Tabla 4.6.15 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10 KHz – 20 Hz (Ensayo 2)	133
Tabla 4.6.16 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10 KHz – 20 Hz (Ensayo 3)	134
Tabla 4.6.17 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz – 60 Hz.....	135
Tabla 4.6.18 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz.....	136
Tabla 4.6.19 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz (Ensayo 2)	137
Tabla 4.6.20 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz (Ensayo 3)..	138
Tabla 4.6.21 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz – 20 Hz.....	139
Tabla 4.6.22 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz – 20 Hz (Ensayo 2).	140
Tabla 4.6.23 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz – 20 Hz (Ensayo 3)	141
Tabla 4.6.24 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz – 60 Hz.....	142

Tabla 4.6.25 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz – 60 Hz (Ensayo 2)	143
Tabla 4.6.26 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz – 40 Hz.....	144
Tabla 4.6.27 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz – 40 Hz (Ensayo 2)	145
Tabla 4.6.28 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz – 20 Hz.....	146
Tabla 4.6.29 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz – 20 Hz (Ensayo 2)	147
Tabla 4.6.30 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz – 20 Hz (Ensayo 3)	148
Tabla 4.7.1 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15 KHz – 60 Hz	149
Tabla 4.7.2 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, porcentaje y magnitud de 50 armónicos. Frecuencias: 15 KHz – 60 Hz.....	150
Tabla 4.7.3 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15 KHz – 40 Hz	151
Tabla 4.7.4 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos. Frecuencias: 15 KHz – 40 Hz.....	152
Tabla 4.7.5 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 15 KHz – 20 Hz	153
Tabla 4.7.6 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos. Frecuencias: 15 KHz – 20 Hz.....	154
Tabla 4.7.7 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10 KHz – 60 Hz	155
Tabla 4.7.8 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos. Frecuencias: 10 KHz – 60 Hz.....	156
Tabla 4.7.9 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10 KHz – 40 Hz	157
Tabla 4.7.10 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos. Frecuencias: 10 KHz – 40 Hz.....	158

Tabla 4.7.11 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 10 KHz – 20 Hz.	159
Tabla 4.7.12 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos. Frecuencias: 10 KHz – 20 Hz.....	160
Tabla 4.7.13 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz – 60 Hz..	161
Tabla 4.7.14 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos. Frecuencias: 7.5 KHz – 60 Hz.....	162
Tabla 4.7.15 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz..	163
Tabla 4.7.16 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos. Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz.....	164
Tabla 4.7.17 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 7.5 KHz – 20 Hz. Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz.	165
Tabla 4.7.18 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos. Frecuencias: 7.5 KHz – 20 Hz.....	166
Tabla 4.7.19 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz – 60 Hz.	167
Tabla 4.7.20 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos. Frecuencias: 2.5 KHz – 60 Hz.....	168
Tabla 4.7.21 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz – 40 Hz..	169
Tabla 4.7.22 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos. Frecuencias: 2.5 KHz – 40 Hz.....	170
Tabla 4.7.23 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia. Frecuencias: 2.5 KHz – 20 Hz... ..	171
Tabla 4.8.1 Comparación del factor de potencia en vacío y con carga.....	173
Tabla 6.6.1 Filtros pasivos: Reactancias trifásicas.....	207
Tabla 6.6.2 Precios de filtros para redes eléctricas....	209
Tabla 6.3 Factor de potencia sin carga al motor filtrando armónicos.....	236
Tabla 6.4 Factor de potencia con carga, filtrando armónicos....	236
Tabla 6.11.1 Desglose del costo de la investigación.....	252

ANEXOS256

Tabla A1. Cambios en las características normales de funcionamiento.

Tabla A2. Niveles de compatibilidad para las tensiones armónicas individuales en una red pública.

Tabla A3. Lista de los distintos factores y sus efectos.

Tabla A4. Especificaciones del analizador grafico Prova.

Tabla A6.1 Reactancias trifásicas de entrada.

Tabla A6.2 Características reactancias trifásicas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“Estudio de la distorsión armónica producida por variadores de frecuencia para mejorar el desempeño de motores eléctricos trifásicos en el Laboratorio de Automatización Industrial de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica”

Autor: López Ati Darwin Abraham.

Tutor: Ing. Susana Valencia.

RESUMEN EJECUTIVO

En lo referente a la experimentación, se efectuaron ensayos, en los cuales se varió las frecuencias del variador, en rangos de 20, 40, 60 Hz de frecuencia de la red y 2.5, 7.5, 10, 15 KHz de frecuencia interna del variador, además se realizaron ensayos con el motor eléctrico trifásico trabajando al vacío y a plena carga. En estas circunstancias se hicieron mediciones de armónicos de tensión y de corriente y mediciones del factor de potencia. Dentro de las conclusiones obtenidas, se pudo determinar que la distorsión armónica es menor al tener la frecuencia fundamental, a esta frecuencia la presencia de armónicos disminuye, los motores son diseñados para un trabajo dado, que al alterar las condiciones lo sacará de su óptimo, al tener variaciones de frecuencias, para mejorar el desempeño de motores eléctricos trifásicos y reducir la distorsión armónica se requiere de la utilización de un filtro de armónicos (Reactancia trifásica). Se realizó mediciones después de haber sido instalado el filtro obteniendo resultados favorables.

Se realizó una comparación del antes y después de ser instalado el filtro indicando la reducción de porcentajes de distorsión armónica total (THD), y el mejoramiento del factor de potencia (Fp).

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1 Tema de Investigación.

“DISTORSIÓN ARMÓNICA PRODUCIDA POR VARIADORES DE FRECUENCIA PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”

1.2 Planteamiento del problema.

1.2.1 Contextualización.

Los variadores de frecuencia ocupan un lugar muy importante en los procesos industriales, son productos que sobrepasan expectativas, el convertidor de frecuencia de la empresa ABB para HVAC es un producto que no ha sufrido fallo alguno, se ha superado las 500000 instalaciones con éxito a nivel mundial y lo galardonan en países como EE.UU e Italia. Durante más de 30 años, ABB ha vendido millones de convertidores de frecuencia en todo el mundo. En 2009, la reducción en el consumo de energía gracias a los convertidores fue de 220 TWh (220 000 000 000 kWh), equivalente al consumo medio anual de electricidad de más de 54 millones de hogares europeos y a una reducción de 180 millones de toneladas en las emisiones de CO₂.

Un estudio realizado a nivel mundial por la empresa Fluke argumenta como el variador puede ser la 'carga culpable' y tener un impacto significativo en la calidad de energía eléctrica del sistema. Explica que los variadores y los condensadores de corrección del factor de potencia no se mezclan. Los condensadores son sensibles a las corrientes armónicas de frecuencias más altas generadas por los variadores ya que su impedancia disminuye cuando la frecuencia aumenta.

La tecnología de los convertidores de frecuencia extiende el rango de velocidad de trabajo de los motores desde cero hasta valores por encima de la velocidad nominal, incrementando la productividad del proceso. Cuando la capacidad es lo suficientemente baja, el Convertidor de Frecuencia reduce la velocidad de la máquina y ahorra energía.

En Ecuador todas las industrias, incluso en el ámbito privado, existe una conciencia cada vez más extendida de que debemos ahorrar energía. Actualmente encontramos en la industria de forma habitual las siguientes circunstancias: Instalaciones sobredimensionadas, aplicaciones con motores ineficientes y equipos funcionando innecesariamente durante muchas horas. En muchos otros casos, los motores se fuerzan al trabajar en sus condiciones nominales o superiores aun cuando no es necesario para el equipo que arrastran. Un convertidor de frecuencia puede reducir el consumo de energía hasta un 60% variando la velocidad del motor. Incluso una reducción pequeña en la velocidad puede representar ahorros significativos. Un ejemplo es una bomba centrífuga o un ventilador funcionando al 80% de la velocidad consume sólo la mitad de la energía comparado con otro funcionando a plena velocidad.

En el laboratorio de Automatización Industrial de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se utiliza de una manera frecuente los variadores de frecuencia ya que se pueden realizar cualquier proceso para la industria, pero se sabe que los variadores crean problemas, porque son generadores de corrientes armónicas que conllevan a daños internos de los motores eléctricos trifásicos, provocando sobrecalentamiento, disminuyen el desempeño, además de consumir mayor energía eléctrica y reducir la energía al resto de las instalaciones y equipos, provocando que estos también puedan tener averías. Existe en el laboratorio un aula de computación dotada de varias computadoras las que pueden ser afectadas por las corrientes armónicas producidas por los variadores de frecuencia.

1.2.2 Análisis crítico.

Con el planteamiento del tema de investigación esencialmente se estudió como las corrientes y voltajes armónicas producidas por el variador de frecuencia influyen en la red eléctrica trifásica y en el desempeño del motor. Se logró con este estudio poner en claro como incrementar el desempeño de los motores eléctricos trifásicos.

Se determinó que al variar la frecuencia de la red para manipular velocidades en el motor eléctrico trifásico, este produce fenómenos eléctricos como son el factor de potencia y la distorsión armónica, los cuales fueron analizados.

El tipo de variador tiene un impacto importante en los síntomas de calidad eléctrica debido a los diversos diseños. En el de inversor de fuente de tensión los problemas con el variador suelen ser muescas asociadas a las conmutaciones. El $\cos \phi$ (ϕ) o factor de potencia de desplazamiento disminuye conforme se reduce la velocidad del variador. Los variadores generan normalmente corrientes armónicas de orden 5° y 7°. En el basado en diodos con variadores de modulación de anchos de pulso el principal problema de calidad eléctrica son los armónicos. El estudio está enfocado esencialmente en los armónicos los cuales serán reducidos y en aumentar el desempeño (factor de potencia [fp]), la investigación no trata de demostrar un aumento de eficiencia mecánica del motor, más bien se integra a lo que es la eficiencia energética.

1.2.3 Prognosis.

Al facilitar el respectivo estudio de cómo afecta la distorsión armónica al usar un motor conectado con un variador de frecuencia se observó que el motor tiene diferente comportamiento en su desempeño al variar la frecuencia. Existen combinaciones de frecuencias que generan ruido y a la vez calentamiento. Lo cual al seguir utilizándolos de esa manera llegarán a cumplir con su vida útil.

Un factor de potencia bajo comparado con otro alto, origina, para una misma potencia, una mayor demanda de corriente, lo que implica la necesidad de utilizar cables de mayor sección. La energía que se consume varía con la velocidad del motor al ser más baja la velocidad del motor mayor es la energía eléctrica, en

particular es muy alta en el arranque. Los picos de corriente pueden producir caídas de tensión y otros efectos en usuarios conectados a la misma red eléctrica.

1.2.4 Formulación del problema.

¿Cómo afecta la distorsión armónica en motores eléctricos trifásicos que utilizan variadores de frecuencia?

1.2.5 Preguntas directrices.

¿Cuáles son los fenómenos eléctricos que se producen al variar la frecuencia en un motor eléctrico trifásico?

¿Qué elementos se necesita para reducir la distorsión armónica que se produce en la red eléctrica trifásica?

¿Cuál será el método eficaz que permita mejorar el desempeño en motores eléctricos trifásicos conectados a variadores de frecuencia?

1.2.6 Delimitación.

1.2.6.1 De contenido.

Área: Ciencias Básicas Profesionalizantes de la Ingeniería.

Campo: Ing. Mecánica.

1.2.6.2 Espacial.

La investigación se realizará en la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en la Av. de Los Chasquis y Av. Los Atis, entre Río Guayllabamba y Río Payamino, específicamente en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.2.6.3 Temporal.

La investigación se realizará durante el período Febrero 2013 - Enero, 2014.

1.3 Justificación de la Investigación.

El tema de investigación es de gran importancia ya que el desarrollo de la tecnología avanza a pasos agigantados, las empresas para aumentar o reducir la

velocidad de sus motores eléctricos tienen la necesidad de contar con elementos y mecanismos netamente mecánicos los cuales tienen sus costos mayores a la tecnología que hoy se utiliza como son equipos electrónicos conocidos como variadores de frecuencia, las empresas al tener algún tipo de desperfecto en sus mecanismos sufrirán de varias pérdidas como son la para de la máquina, el tiempo que tardaría en darse el respectivo mantenimiento, y la puesta en marcha, son algunos aspectos que representan costos en la producción, con el presente estudio, ayudará a las empresas a tener una mejor visión del manejo de la tecnología, mejorar sus ganancias, estar capacitados y ser competitivos para la mejora de la productividad en nuestro país.

El interés por lo cual se ha elegido este tema de investigación es por los requerimientos que se dan a medida que la tecnología se desarrolla, el campo en la industria requiere de variaciones de velocidad para realizar sus diferentes trabajos, además que la mecánica ya no se juega sola, sino que necesita de mecanismos eléctricos o electrónicos los cuales contribuyen al avance de procesos industriales de producción.

Los beneficiados con la investigación serán aquellas empresas que realizan su producción con sistemas mecánicos como son cajas reductoras de velocidad, juegos de poleas, etc. Promoverá a que muchos empresarios tengan una perspectiva que al utilizar variadores de frecuencia optimizarán sus recursos.

Adicionalmente existe otro grupo de beneficiados como son docentes y estudiantes que se podrán apoyar en el estudio como una fuente de investigación.

El tema de investigación se justifica también, porque en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se cuenta con los instrumentos y equipos necesarios para llevar a cabo la investigación, por ejemplo se cuenta con motores eléctricos trifásicos, variadores de frecuencia, lo cual es importante ya que la realización del estudio fuera de los laboratorios de la Universidad tendría costos sumamente elevados y no sería factible la realización de la investigación.

1.4 Objetivos.

- **Objetivo General.**

- Estudiar la distorsión armónica producida por variadores de frecuencia para mejorar el desempeño en motores eléctricos trifásicos.

- **Objetivos Específicos.**

- Determinar los fenómenos eléctricos que se producen al variar la frecuencia en un motor eléctrico trifásico.
- Seleccionar que elementos se necesita para reducir la distorsión armónica en motores eléctricos trifásicos.
- Proponer un método eficaz que permita mejorar el factor de potencia en motores eléctricos trifásicos conectados a variadores de frecuencia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos.

La presente investigación se refuerza en investigaciones elaboradas con anterioridad por otros autores, a continuación se describe las conclusiones más importantes:

EDGAR BLADIMIR ALVAREZ CISNEROS, ANÁLISIS DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS POR LOS VARIADORES DE FRECUENCIA EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EN EL EQUIPO DE FONDO DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE.

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO SEDE LATACUNGA, CARRERA DE INGENIERIA DE EJECUCIÓN EN ELECTROMECAÁNICA, 2006.

Conclusiones:

- Esta tesis aplica el estudio a un proceso como es el sistema de bombeo electro sumergible, definen un tipo de variador Altivar ATV 312HO75M3 estudian su composición, estructura, funcionamiento y programación en sus diferentes aplicaciones para llevar a cabo el control de la velocidad.
- Realiza la puesta en marcha del motor asíncrono jaula de ardilla y rotor bobinado con los distintos métodos de arranque. Comprueba que el arranque con variador permite variar la velocidad del motor sobre la operación acelerando hasta velocidades mayores de la nominal así como frenándola hasta velocidades cercanas a cero.

ÁNGEL ORLANDO CÁRATE GUTIÉRREZ, ÁNGEL RODRIGO VILLACÍS SALAZAR, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO CON VARIADOR DE FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES ASINCRÓNICOS JAULA DE ARDILLA TRIFÁSICOS PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL”

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE MECÁNICA, ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO, 2011.

Conclusión:

- En esta tesis se determinó que el método más eficaz para controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia. Permite conocer a los variadores SINAMICS G110, su composición, estructura y funcionamiento, en sus diferentes etapas para llevar a cabo la variación de la frecuencia y su velocidad.

Hans-Otto Seinsch.

SESIONES TÉCNICAS DEL GRUPO VEM, CELEBRADAS EL 15.9.2004 EN WERNIGERODE.

Conclusiones:

- Evalúa cualitativamente las pérdidas adicionales debido al convertidor de frecuencia, indicando que componentes se pueden despreciar.
- Las pérdidas armónicas las considera fijas para portadoras mayores a 1,5 kHz y la conexión en triángulo no origina corrientes circulantes debido al convertidor. La inclinación de la ranura tampoco incrementa las pérdidas para este tipo de alimentación.

CHRISTIAN LEHRMANN, Frank Lienesch y Ulrich Engel

BOLETÍN SEV/VSE15/02.

Conclusión:

- Este artículo presenta la influencia de los parámetros del convertidor sobre el incremento térmico en diferentes puntos de la máquina. Los motores alimentados con convertidor de frecuencia con una mayor tensión de circuito intermedio, presentan un contenido armónico con mayor amplitud respecto a la fundamental que si se alimentase con convertidores de menor tensión de circuito intermedio.

2.2 Fundamentación filosófica.

La presente investigación se fundamentó en el paradigma crítico-propositivo, ya que las características de este paradigma permitieron ser flexibles en cuanto a consideraciones de los métodos de elaboración de la presente investigación. Además admitieron una correcta comprensión y explicación de las variables involucradas en esta investigación, el paradigma propuesto pudo plantear alternativas de solución al presente problema.

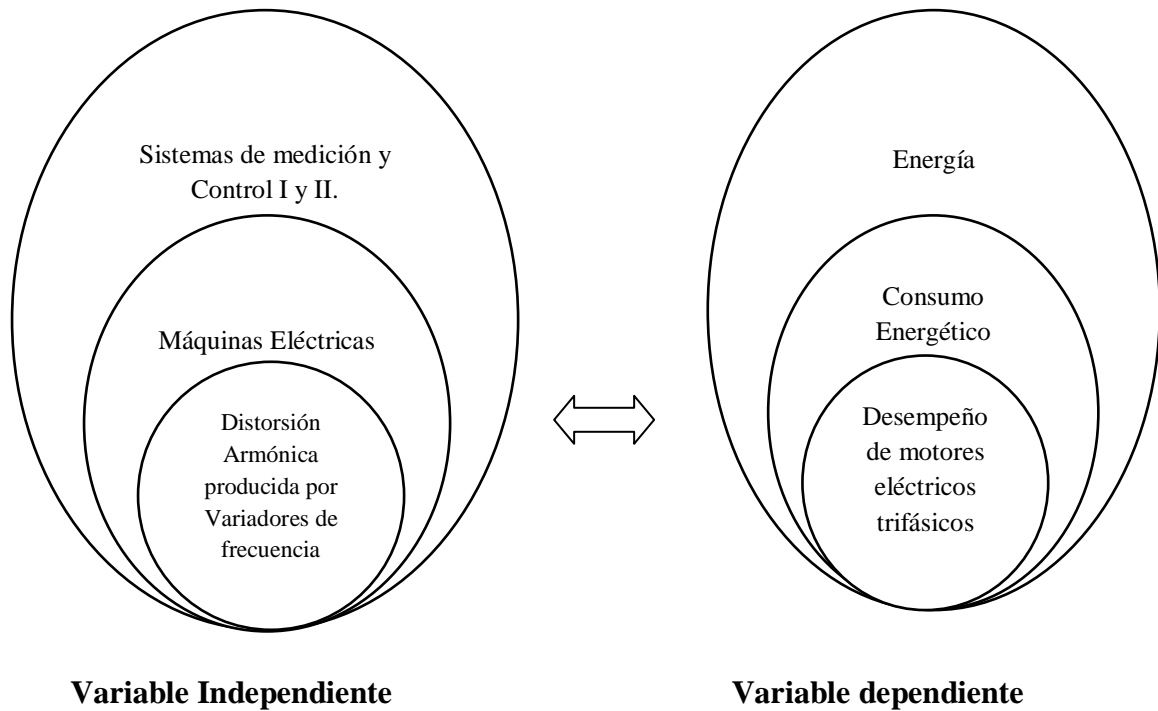
Esta investigación se enfocó en los fenómenos eléctricos producidos por variadores de frecuencia, tales como son el factor de potencia y la distorsión armónica que afectan al desempeño del motor a través de la variación de la frecuencia.

2.3 Fundamentación legal.

La normativa en la cual se sustentó el tema de investigación sobre el estudio de la distorsión armónica producida por variadores de frecuencia para mejorar el desempeño en motores eléctricos trifásicos, es la siguiente:

- NEMA MG1-1993, Rev. 4, “Motors and Generators”. “Estados Unidos” Parte 30 - Application considerations for constant speed motors used on a sinusoidal bus with harmonic content and general purpose motors used with adjustable-frequency controls or both (2006).
- IEEE Std 519-1992, “Recommended practices for harmonic control in electrical power systems”.
- Regulación CONELEC No.004/01 del Reglamento de Suministro de Servicio Eléctrico en el Ecuador.
- CFE L0000-45, Especificación Mexicana, “Perturbaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente del suministro de energía eléctrica” concerniente a la distorsión armónica permisible.
- Estándar IEC-61000-3-2, Límites de emisión de corrientes armónicas.
- IEC 60034, norma de utilización de motores de inducción.

2.4 Categorías Fundamentales.



2.4.1 Motores eléctricos.

Los motores eléctricos son aquellos que proporcionan potencia para realizar un trabajo. Las máquinas eléctricas sirven para transformar la energía mecánica en eléctrica (generadores) o, inversamente, para transformar la energía eléctrica en mecánica (motores); es decir que la máquinas eléctricas son reversibles y pueden trabajar como generador o como motor.

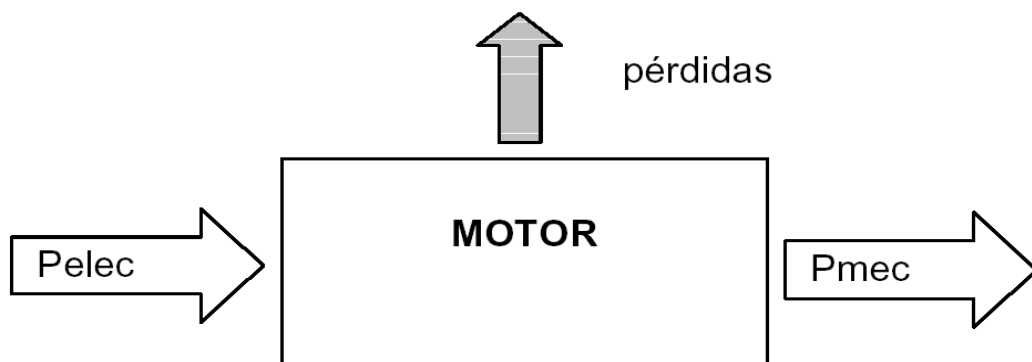


Figura 2.1: Flujo de potencia de un motor.

FUENTE: Tesis: Variación de velocidad en corriente alterna, Mazzeo Luis; Bertolotti Fernando, Facultad de Ingeniería, Carrera Ingeniería Electricista, Universidad de Buenos Aires.

Existen una variedad de tamaños y tipos de motores y el número y diversidad de aplicaciones se van desarrollando cada vez más. A nuestro alrededor existen innumerables dispositivos eléctricos que accionan las cosas.

Su aplicación es muy variada: ventiladores, bombas, máquinas modulares de alta complejidad, máquinas que funcionan con una precisión y un par de velocidad muy bajos, máquinas dinámicas sofisticadas, máquinas de gran capacidad, etc.

Todo aquello que en nuestra vida cotidiana zumba, hace crujidos o chirridos se debe a un motor eléctrico en movimiento.

2.4.1.1 Clasificación de los motores según tipo de corriente utilizada en su alimentación.

Motores de corriente continúa.

- * De excitación independiente.
- * De excitación serie.
- * De excitación o derivación.
- * De excitación compuesta.

Motores de corriente alterna.

- * Motores síncronos.
- * Motores asíncronos.
 - **Monofásicos.**
 - De bobinado auxiliar.
 - De espira en corto circuito.
 - Universal.
 - **Trifásicos.**
 - De rotor bobinado.
 - De rotor en corto circuito.

2.4.1.2 Motores Asíncronos.

Los motores asíncronos tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, corto mantenimiento y bajo coste de fabricación.

A continuación en la figura 2.2 se puede observar un motor asíncrono, la carcasa, estator y rotor.

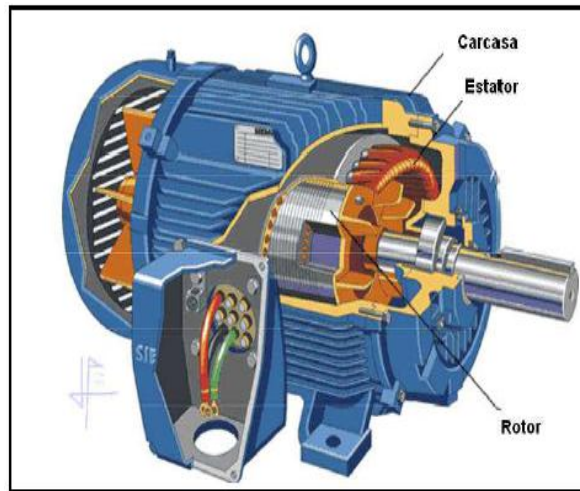


Figura 2.2: Motor Asíncrono.

FUENTE: MOTORES ELÉCTRICOS, Tecnología eléctrica, Hernández Juan Luis.

El nombre de motor asíncrono se da a aquellos cuya parte móvil gira a una velocidad distinta a la de sincronismo. Estas máquinas asíncronas tienen su fundamento en el principio de la acción de un campo magnético giratorio sobre un arrollamiento en cortocircuito.

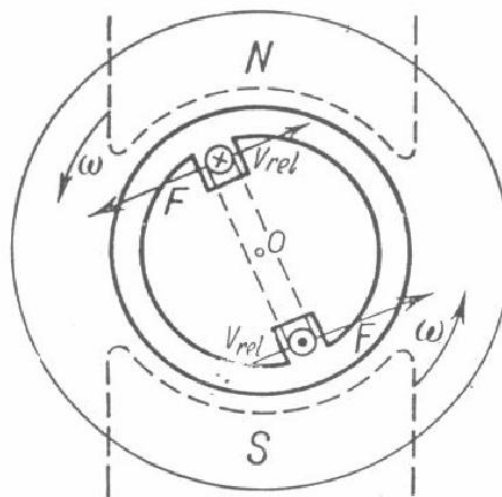


Figura 2.3: Efecto de campo giratorio sobre una espira en cortocircuito.

FUENTE: Electric Motors and Drives: Fundamentals, types and applications, second edition
Autor: Austin Hughes

2.4.1.3 Funcionamiento del motor asíncrono.

Consideremos un imán permanente NS y un disco de cobre que puedan girar libremente alrededor de un mismo eje XY. Cuando el imán, movido por un artificio cualquiera, gira, el campo magnético producido gira igualmente y barre el disco. Este disco, conductor pero no ferro magnético, es recorrido ahora por corrientes inducidas debidas a la variación de campo a la que está sometido.

Estas corrientes inducidas en el disco crean a su vez un campo inducido. Este campo tiende a seguir al campo giratorio creado por el imán, dando un par motor suficiente para vencer el par resistente de su propio rozamiento y provocar la rotación del disco.

El sentido de rotación, indicado por la ley de Lenz, tiende a oponerse a la variación del campo magnético que ha dado origen a las corrientes. El disco es pues movido en el sentido del campo giratorio a una velocidad ligeramente inferior a la de éste deslizamiento.¹

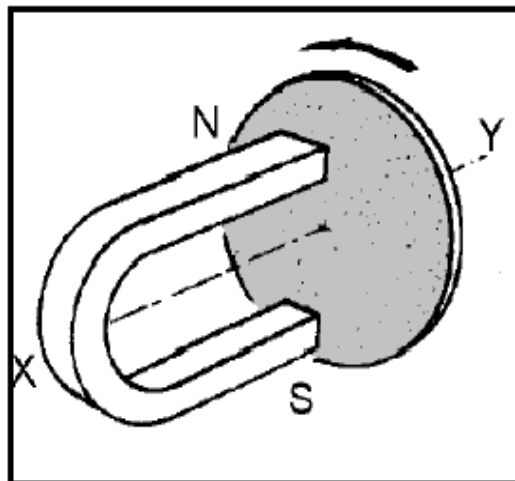


Figura 2.4: Funcionamiento del motor Asíncrono.

FUENTE: Electric Motors and Drives: Fundamentals, types and applications, second edition
Autor: Austin Hughes

¹Electric Motors and Drives: Fundamentals, types and applications, second edition
Autor: Austin Hughes
Editorial: Newnes. Butterworth - Heinemann.

2.4.1.4 Constitución del motor asíncrono.

Un motor eléctrico asíncrono está formado por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estator) y otro en la parte móvil (rotor). El circuito magnético está formado por chapas apiladas en forma de cilindro en el rotor y en forma de anillo en el estator.



Figura 2.5: Estator y rotor de motor eléctrico asíncrono.

FUENTE: Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas - Baruta - Edo. Miranda, Caracas – Venezuela, Prof. José Manuel Aller.

2.4.1.5 Motores Asíncronos de rotor bobinado.

Los devanados son similares a los del estator con el que está asociado. El número de fases del rotor no tiene que ser el mismo del estator, lo que si tiene que ser igual es el número de polos. Los devanados del rotor están conectados a anillos colectores montados sobre el mismo eje.²

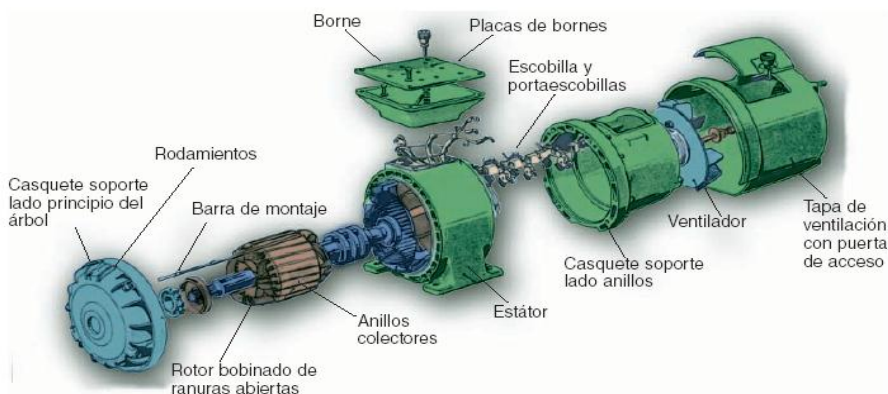


Figura 2.6: Despiece del motor de rotor bobinado.

FUENTE: Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas - Baruta - Edo. Miranda, Caracas – Venezuela, Prof. José Manuel Aller.

² Enríquez G. Generadores, Transformadores y motores eléctricos. Limusa (2004)

La gran ventaja que presentan estos motores es su par de arranque, ya que puede alcanzar hasta 2.5 veces el par nominal, mientras que la intensidad en el arranque es similar a la del par nominal.

2.4.1.6 Motores Asíncronos tipo Jaula de ardilla.

En estos motores los conductores del rotor están distribuidos igualmente por la periferia del rotor. Los extremos de estos conductores están cortocircuitados, por lo tanto no hay posibilidad de conexión del devanado del rotor con el exterior. La posición inclinada de las ranuras mejora las propiedades de arranque y disminuye los ruidos. El cilindro se introduce en el interior del anillo y, para que pueda girar libremente, hay que dotarlo de un entrehierro constante. El anillo se da por ranuras en su parte interior para que se coloque el bobinado inductor y se envuelve exteriormente por una pieza metálica con soporte denominado carcasa.

El cilindro se junta en el eje del motor y puede estar ranurado en su superficie para colocar el bobinado inducido o bien se le incorporan conductores de gran sección soldados a anillos del mismo material en los extremos del cilindro. El eje se apoya en unos rodamientos de acero para evitar rozamientos y se saca al exterior para transmitir el movimiento, y lleva acoplado un ventilador para refrigeración. Los extremos de los bobinados se sacan al exterior y se conectan a la placa de bornes.

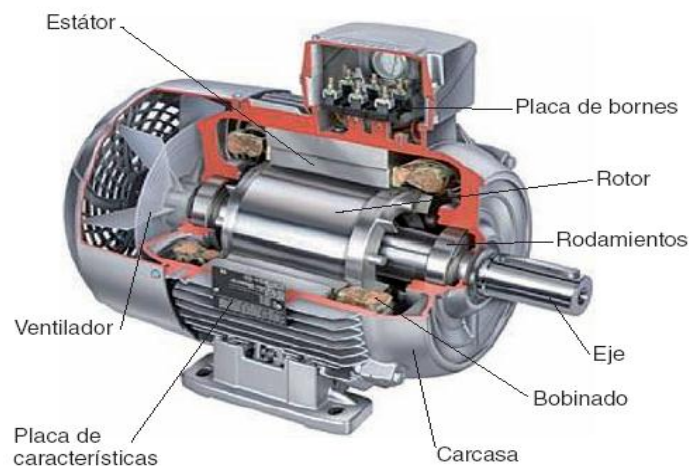


Figura 2.7: Sección de motor eléctrico asíncrono Jaula ardilla.

FUENTE: Máquinas eléctricas, Chapman Stephen J. 4ed.

2.4.1.7 Arranques del motor de inducción de rotor bobinado.

Arranque intercalando resistencia en el devanado del rotor.- Se efectúa intercalando resistencias en el rotor a través de los anillos rozantes. El incremento de resistencia del rotor permite limitar la corriente de arranque e incrementar el par de arranque. A medida que el motor alcanza velocidad se va reduciendo el valor de las resistencias externas hasta que quedan anuladas.

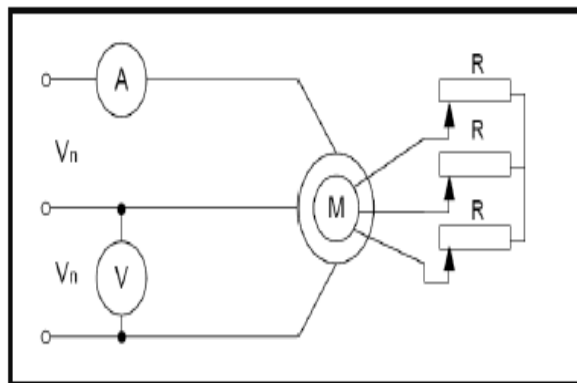


Figura 2.8: Arranque por resistencia en el rotor.

FUENTE: Introducción motores, Garrigo J.

Arranques del motor de inducción jaula de ardilla.

Los motores jaula ardilla al ser conectados absorben una gran intensidad de la red y puede, sobre todo si la sección de la línea de alimentación es insuficiente, provocar una caída de tensión susceptible que afectará a otros abonados o a otros receptores de la misma instalación.

Para evitar y limitar estos inconvenientes, la normativa exige a usar sistemas de arranque con los que se limite la corriente de arranque protegiendo así el motor y la integridad de los receptores.

Arranque Directo.

Consiste en conectar el motor directamente a la red en un único tiempo. El motor arranca con sus características naturales.

- Ventajas:
 - * Arrancador simple.
 - * Económico.

- * Par de arranque importante.
- Inconvenientes:
 - * Punta de corriente muy importante.
 - * Arranque brutal.
- Tiempos de arranque: 2 a 3 segundos.
- Aplicaciones habituales: Pequeñas máquinas aunque arranquen a plena carga.³

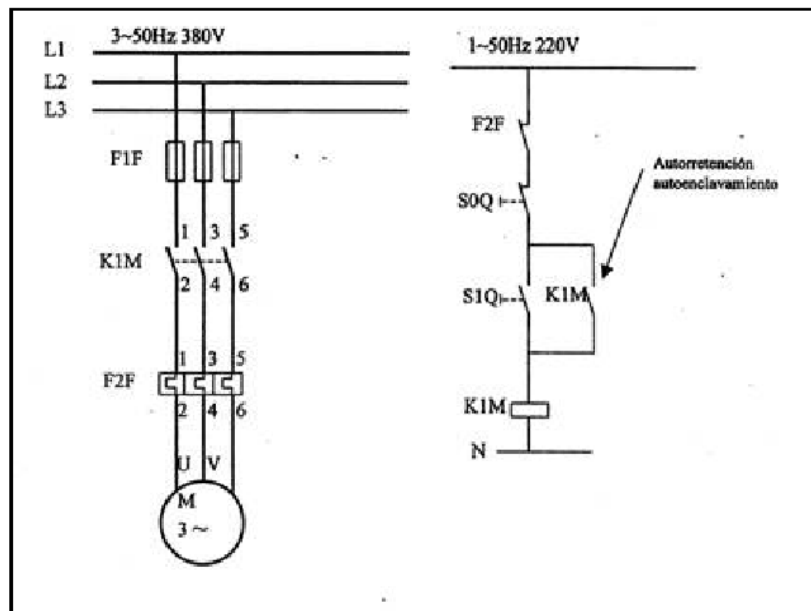


Figura 2.9: Circuito de potencia y mando del arranque directo.

FUENTE: Control Eléctrico Industrial, Ing. Jorge León Llerena.

Arranque estrella - triángulo de motores trifásicos de jaula.

Consiste en conectar las bobinas del motor primero en estrella y después en triángulo.

- Ventajas:
 - * Arrancador económico.
 - * Buena relación par/corriente.
- Inconvenientes:
 - * Par de arranque débil.
 - * Sin posibilidad de ajuste.

³ Fraile Mora, Jesús. "Máquinas eléctricas", Mc Graw Hill, 2008.

- * Corte de alimentación en el cambio de acoplamiento y fenómenos transitorios.
 - * Motor de 6 bornes.
- Tiempos de arranque: 3 a 7 segundos.
 - Aplicaciones habituales: Máquinas de arranque en vacío, ventiladores y bombas centrífugas de poca potencia. ⁵

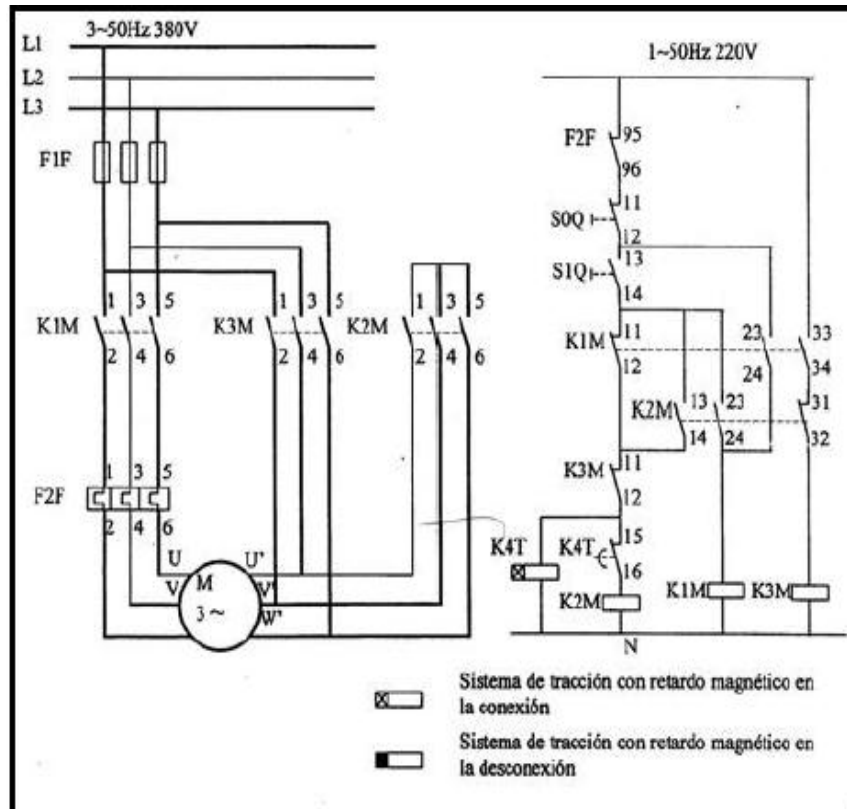


Figura 2.10: Circuito de potencia y mando para el arranque estrella-triángulo.

FUENTE: Control Eléctrico Industrial, Ing. Jorge león Llerena.

Arranque con resistencias estáticas.

Consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida mediante la inserción de resistencias en serie con los devanados. Estabilizada la velocidad, las resistencias se eliminan y el motor se acopla directamente a la red.

- Ventajas:
 - * Posibilidad de ajuste de los valores en el arranque.
 - * Sin corte de alimentación durante el arranque.

- * Fuerte reducción de las puntas de corriente transitorias.
- Inconvenientes:
 - * Débil reducción de la punta de arranque.
 - * Necesidad de resistencias voluminosas.
- Tiempos de arranque: 7 a 12 segundos.
- Aplicaciones habituales: Máquinas de elevada inercia sin problemas especiales de par ni de corriente en el arranque.

Arranque con Autotransformador.

Consiste en alimentar el motor a una tensión reducida mediante un autotransformador, que se pone fuera de servicio cuando termina el arranque.

- Ventajas:
 - * Buena relación par/corriente.
 - * Posibilidad de los ajustes de los valores en el arranque.
 - * Sin corte de alimentación en el arranque.
- Inconvenientes:
 - * Necesidad de un autotransformador costoso.
 - * Implica riesgos en redes con perturbaciones.
- Tiempos de arranque: 7 a 12 segundos.
- Aplicaciones habituales: Máquinas de elevada potencia o inercia, en casos en los que la reducción de la corriente sea un criterio importante.

Arranque con Variador de velocidad.

Se realizan basándose en tiristores que forman contactores estáticos. Se configura con un convertidor alterna/continua y un convertidor continua/alterna de velocidad variable entre 0 Hz y la frecuencia de red.

El variador de frecuencia permite la variación de velocidad total desde 0 rpm a la velocidad nominal del motor a par constante.

Permite la ausencia de sobre intensidades por transitorios.

Hace innecesario elementos de protección del motor. A velocidades bajas hay que tener en cuenta que la refrigeración del motor depende de la velocidad del fluido.

Características.

- Corriente de arranque porcentual: Regulable de 25 a 75% (potenciómetro) respecto al arranque directo.
 - Corriente de arranque: Regulable.
 - Par inicial de arranque porcentual: Regulable de 10 a 70% respecto al arranque directo.
 - Par inicial de arranque: Regulable de 0,1 a 0,7 $C_{NOMINAL}$.
 - Mando: Progresivo.
 - Ventajas:
 - * Regulable durante la puesta en servicio.
 - * Dimensiones reducidas.
 - * Adaptable a cualquier ciclo.
 - Inconvenientes:
 - * Limitación en el par y la corriente de arranque.
- Tiempos de arranque: Regulable de 1 a 60 segundos.
 - Aplicaciones habituales: Bombas, ventiladores, compresores, transportadores, grúas, envasadoras, etc.

2.4.2 Potencia.

Es la capacidad de producir energía de una máquina eléctrica, equipo o instalación por unidad de tiempo.

2.4.2.1 Tipos de potencia.

En todo circuito eléctrico, para el funcionamiento de máquinas y equipos se encuentran las siguientes potencias:

Potencia aparente.

Potencia reactiva.

Potencia activa.

2.4.2.2 Potencia aparente (S).

Es la que determina la prestación en corriente de un transformador y resulta de considerar la tensión aplicada al consumo por la corriente que éste demanda. Su unidad de medida es el volt- ampere (VA), se representa con la letra “S”. La fórmula matemática para esta potencia es:

$$S = V * I \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde:

S= Potencia aparente o total, expresada en volt- ampere [VA].

V= voltaje de la corriente [Volt].

I= Intensidad de la corriente eléctrica, [A].

2.4.2.3 Potencia activa (P).

Es la que se aprovecha como potencia útil en el eje del motor. Es la potencia realmente consumida por el usuario y por lo tanto es aquella que se paga por su utilización.

$$P = V * I * \cos\varphi \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde:

P= potencia de consumo eléctrico, en watt [W].

I= intensidad de la corriente que fluye por el circuito, en ampere [A].

$\cos\varphi$ = valor de factor de potencia.

2.4.2.4 Potencia reactiva (Q).

Es la potencia que los campos magnéticos rotantes de los motores o balastos de iluminación intercambian con la red eléctrica sin significar un consumo de potencia útil o activa.

$$Q = (S^2 - P^2)^{1/2} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

Q= valor de la carga reactiva o inductiva, en volt- ampere reactivo (VAR).

S= valor de la potencia aparente o total, expresada en volt- ampere (VA).

P = valor de la potencia activa o resistiva, expresada en watt.

El coseno de ϕ ($\cos \phi$) se lo denomina factor de potencia y este puede tomar valores entre 0 y 1.



2.4.3 Factor de potencia.

Factor interno eléctrico que interviene en el funcionamiento del motor.

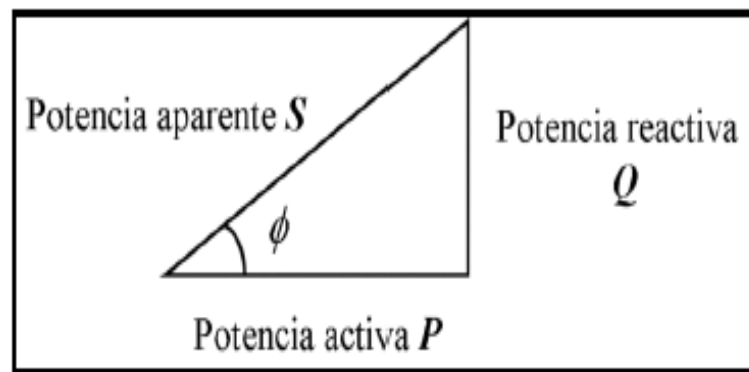


Figura 2.11: Triángulo de potencia.

FUENTE: Notas sobre electricidad, Mario A. Renzetti, 2008.

Los factores de potencia de plantas industriales generalmente son atrasados a causa de la corriente de excitación requerida por los motores de inducción, transformadores, alumbrado fluorescente, hornos de calefacción por inducción, etc.

2.4.3.1 Definición factor de potencia.

El factor de potencia muestra qué tanto por ciento de la potencia total es efectivamente utilizado para realizar trabajo. En otras palabras, el factor de potencia constituye un índice de la utilización cualitativa y cuantitativa de la energía, que se formula por el coseno del ángulo entre la potencia activa y la potencia total.

En forma general, un equipo consumidor de energía eléctrica como el motor eléctrico demanda energía activa como reactiva, por lo tanto la potencia total

demandada tiene una componente activa (que ejecuta trabajo útil) y otra componente reactiva (creación del campo magnético).⁴

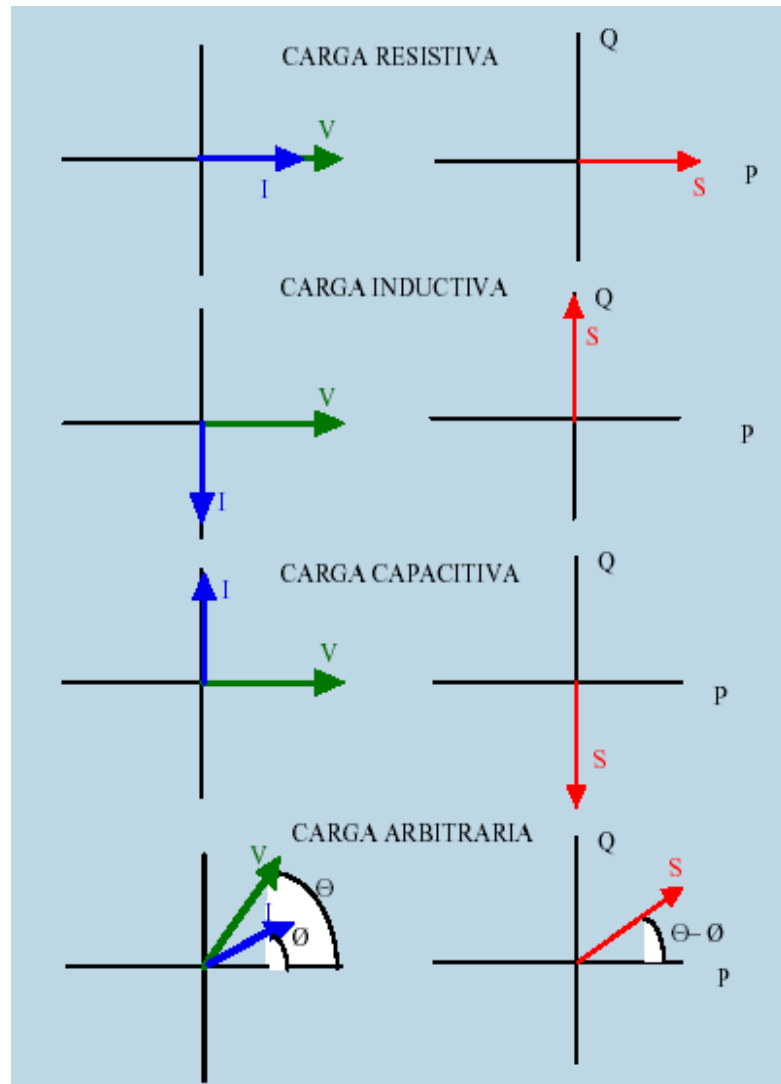


Figura 2.12: Diagramas Fasoriales.

FUENTE: División de ingeniería: Tec de Monterrey

El factor de potencia bajo tiene un resultado adverso sobre la operación del sistema. Este hecho se aplica tanto a sistemas de potencia industriales como a sistemas de potencia para servicios. Por esta razón, los contratos para muchas instalaciones tienen cláusulas de factor de potencia que penalizan a los consumidores que tengan cargas con bajo factor de potencia.

⁴ Máquinas eléctricas y sistemas de potencia, 6 ed. Wildi Theodore, México 2007.

Una manera de visualizar las componentes que intervienen en ese incremento del costo de la energía se puede mostrar haciendo referencia al triángulo de potencias.

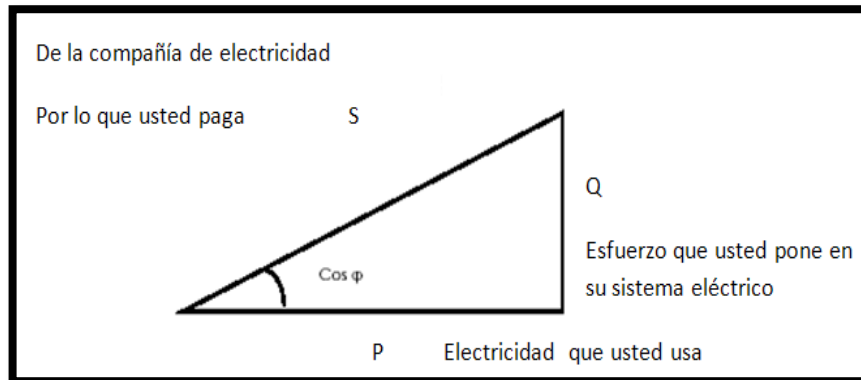


Figura 2.13: Representación y correspondencia práctica de las potencias.

FUENTE: L.I. Eguíluz M. Magaña, P.Benito y J.C. Lavandero “El factor de potencia del sistema, su relación con las pérdidas de distribución en redes distorsionadas y efectos del empleo de condensadores en la mejora del fp”. E.T.S.I.I.T. Universidad de Cantabria.

2.4.3.2 Bajo factor de potencia.

Para realizar un trabajo, las cargas eléctricas requieren de un cierto consumo de energía. Cuando este consumo en su mayoría energía reactiva, el valor del ángulo se incrementa y disminuye el factor de potencia.

ϕ	FP=Cos ϕ
0	1
30	0,866
60	0,5
90	0

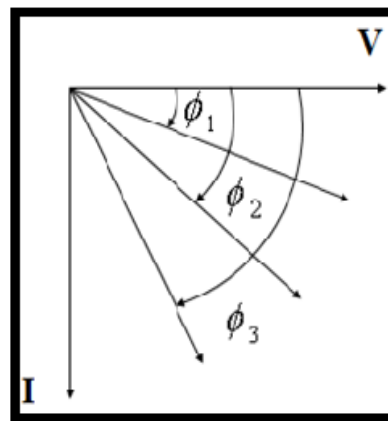


Figura 2.14: Factor de potencia VS Ángulo.

FUENTE: Máquinas eléctricas y sistemas de potencia, 6 ed. Wildi Theodore, México 2007.

2.4.3.3 Problemas por bajo factor de potencia:

- Problemas técnicos:

- * Mayor consumo de corriente.
- * Aumento de pérdidas en conductores.
- * Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- * Incremento de las caídas de voltaje.
- Problemas Económicos:
 - * Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente.
 - * Penalización de hasta un 120% del costo de la facturación.

2.4.3.4 Beneficios al corregir el factor de potencia.

- **Beneficios en los equipos:**
 - * Disminución de las pérdidas en conductores.
 - * Reducción de las caídas de tensión.
 - * Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores.
 - * Incremento de la vida útil de las instalaciones.
- **Beneficios económicos:**
 - * Reducción de los costos por facturación eléctrica.
 - * Eliminación del cargo por bajo factor de potencia.
 - * Bonificación de hasta un 2.5 % de la facturación cuando se tenga factor de potencia mayor a 0.92.

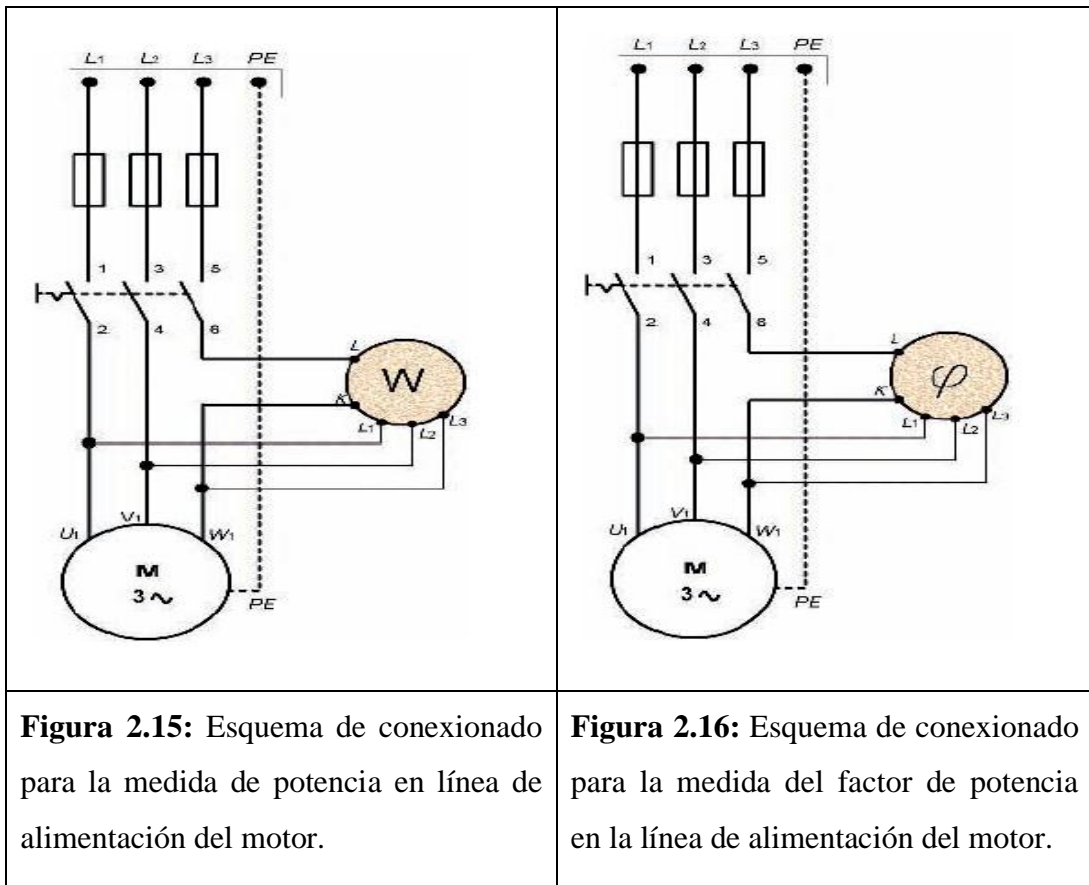
En el Ecuador según el CONELEC la penalización se recargará por bajo factor de potencia aplicado cuando este es registrado menor que 0.92.

2.4.3.5 Medida de potencia y factor de potencia.

En las instalaciones de motores eléctricos, las medidas de potencia nos ayudaran para descartar cualquier tipo de anomalía. Para realizar este procedimiento es conveniente tener en cuenta que existen vatímetros trifásicos con un solo circuito medidor o con varios circuitos medidores.

Los primeros se pueden aplicar en circuitos equilibrados mientras que los otros para circuitos no equilibrados.

También es conveniente conocer el factor de potencia de los motores por lo que se recomienda la utilización de fasímetros trifásicos.



Fuente: Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas - Baruta - Edo. Miranda, Caracas – Venezuela, Prof. José Manuel Aller.

2.4.4 Temperatura como factor interno eléctrico que interviene en el funcionamiento del motor.

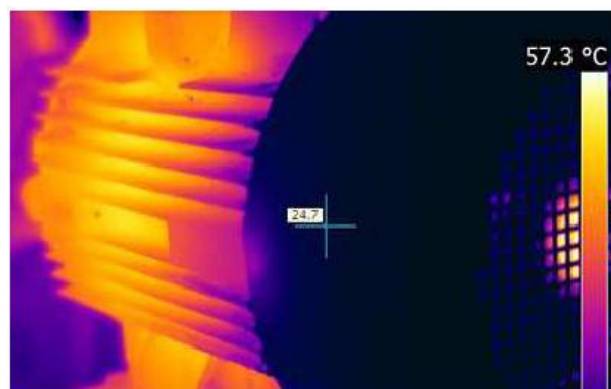


Figura 2.17: Fotografía termográfica de un motor eléctrico.

FUENTE: Termografía Infrarroja, NDT, 2011.

En los motores, como en toda máquina eléctrica, se producen pérdidas por efecto joule y otro tipo de pérdidas que se traducen en un incremento en la temperatura de la máquina sobre la temperatura ambiente. Otra fuente de calor se crea por la fricción mecánica del eje con las chumaceras de apoyo.

El aumento de temperatura por efecto de las pérdidas eléctricas está prácticamente ligado de las condiciones de servicio del motor. Bajo condiciones normales el motor puede sobrecalentarse al funcionar seguido, hasta alcanzar 40°C en algunos tipos, mientras que en otros puede alcanzar 50°C. Estas temperaturas son consideradas como normales, operando el motor a plena carga. El sistema de ventilación forzada en los motores de tipo abierto, y la radiación de la carcasa metálica en los de tipo cerrado, eliminan el exceso de calor y temperatura se mantiene así dentro de los límites fijados. Las variaciones de temperatura ambiente influyen directamente sobre la temperatura de funcionamiento del motor. La altura a la cual será sometido el motor sobre el nivel del mar influye también sobre la temperatura, pero esto se hace sentir más en los motores de tipo abierto que en los de tipo cerrado. Los materiales aislantes modernos y los nuevos métodos de construcción permiten que la temperatura del motor pueda llegar en condiciones normales de funcionamiento hasta 90°C.

2.4.5 Análisis del rendimiento

En la transformación de energía eléctrica en mecánica (que tiene lugar en un motor), una parte de la energía eléctrica tomada de la red se convierte en calor, constituyendo lo que son las pérdidas de un motor (ver figura 2.18).

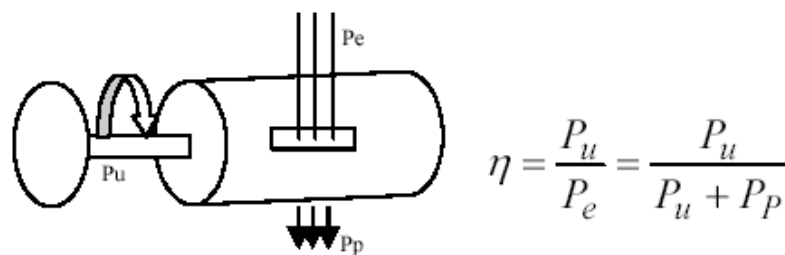


Figura 2.18 Eficiencia de motores

FUENTE: Eficiencia Energética en Motores Eléctricos, Grupo De Gestión Eficiente De Energía, KAI; Grupo De Investigación en Energías, GIEN.

Las pérdidas que se originan en todos los motores eléctricos son fundamentalmente de tres tipos:

Pérdidas eléctricas en devanados y otras partes de la maquinaria (P_{cu}). Éstas corresponden a las pérdidas por efecto Joule ($I^2.R$) y las pérdidas producidas en las escobillas (motores de C.C.).

Pérdidas producidas en los circuitos magnéticos, o pérdidas en el hierro (P_{fe}).

Pérdidas mecánicas debidas a rozamientos y ventilación (P_{mec}). También se incluye en este grupo aquellas originadas por el roce en los cojinetes, del aire y de las escobillas, así como la potencia absorbida por el ventilador.

En la figura 2.19 se representa, mediante un diagrama de Sankey, las pérdidas que se originan en un motor convencional.

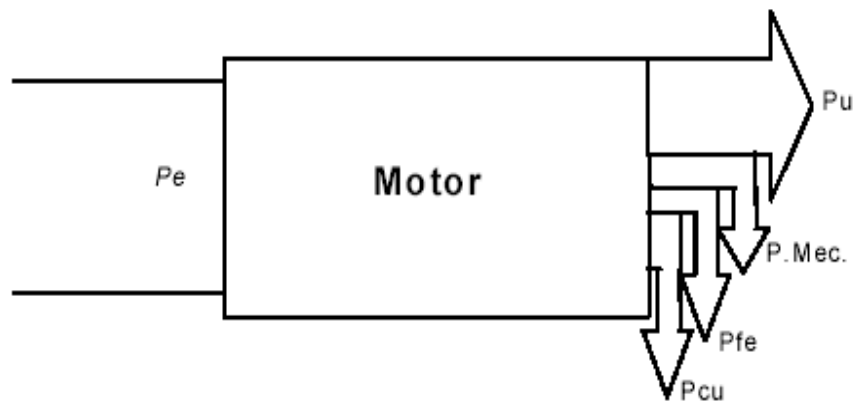


Figura 2.19 Naturaleza de las pérdidas en motores.

FUENTE: Eficiencia Energética en Motores Eléctricos, Grupo De Gestión Eficiente De Energía, KAI; Grupo De Investigación en Energías, GIEN.

El cálculo exacto de las pérdidas no es fácil de determinar, dada la gran variedad de formas constructivas y de los tipos de ventilación, sin embargo, actualmente existe un sinnúmero de tablas y programas que permiten, por comparación con motores similares, determinarlas con excelentes resultados. Es importante aclarar, que para un motor determinado, las pérdidas aumentan a medida que crece la velocidad de rotación del motor.⁵

⁵ Eficiencia Energética en Motores Eléctricos, Grupo De Gestión Eficiente De Energía, KAI; Grupo De Investigación en Energías, GIEN.

2.4.6 Variación de velocidad de motores de inducción.

La relación entre la rotación, la frecuencia de alimentación, el número de polos y el deslizamiento de un motor de inducción obedece a la siguiente ecuación:

$$n = (120 * f1 * (1 - s))/p \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Donde:

n: velocidad de rotación mecánica (rpm).

f1: frecuencia fundamental de la tensión de alimentación (Hz).

p : número de polos.

s: deslizamiento.

El análisis de la fórmula demuestra que se puede actuar en tres parámetros, con el intento de variar la velocidad de un motor de este tipo, según se verifica en la tabla abajo. La tabla 2.1 presenta las características de cada opción.

Tabla 2.1: Características variación de velocidad.

Variación de velocidad	
Parámetro de variación velocidad	Característica de aplicación
Número de polos	Variación discreta
	Sobredimensionamiento de la carcasa
Deslizamiento	Variación continua
	Pérdidas del rotor
	Rango de variación pequeña
Frecuencia de la tensión del estator	Variación continua
	¡Uso de CONVERTIDORES DE FRECUENCIA!

FUENTE: Guía Técnica - Motores de inducción alimentados por convertidores de frecuencia.

La utilización de convertidores estáticos de frecuencia actualmente comprende el método más eficiente para controlar la velocidad de los motores de inducción. Los convertidores transforman la tensión de la red, de amplitud y frecuencia constantes, en una tensión de amplitud y frecuencia variables. Con la variación de la frecuencia de la tensión de alimentación, se varía también la velocidad del campo girante y consecuentemente la velocidad mecánica de rotación de la máquina.

El par desarrollado por el motor de inducción sigue la ecuación:

$$T = K_1 * \Phi_m * I_2 \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Y su flujo de magnetización, despreciándose la caída de tensión ocasionada por la resistencia y por la reactancia de los devanados estáticos.

$$\Phi_m = K_2 * \frac{V_1}{f_1} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Donde:

T: par o conjugado disponible en la punta de eje (N.m).

Φ_m : flujo de magnetización (Wb).

I_2 : corriente rotórica (A) depende de la carga.

V_1 : tensión estática (V).

k_1 y k_2 : constantes que dependen del material y del diseño de la máquina.

Admitiéndose, que la corriente depende de la carga y que esta es constante, se nota, que variando igualmente la amplitud y la frecuencia de la tensión de alimentación, el flujo y, consecuentemente, el par permanecen constantes. El motor entonces provee un ajuste continuo de velocidad y par con relación a la carga mecánica.

Las pérdidas pueden ser minimizadas de acuerdo con las condiciones de carga, manteniéndose constante el deslizamiento de la máquina en cualquier velocidad, para la misma carga.

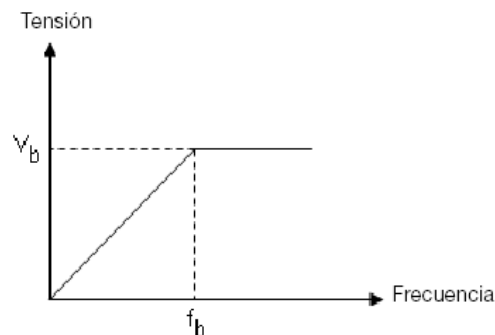


Figura 2.20: Tensión Vs Frecuencia.

FUENTE: Guía Técnica - Motores de inducción alimentados por convertidores de frecuencia.

La variación de la relación V/f es hecha linealmente hasta la frecuencia base (nominal) del motor. Arriba de esta, la tensión es máxima (igual a la nominal) y permanece constante, habiendo entonces solamente la variación de la frecuencia aplicada al devanado estatórico del motor, según representado en la figura 2.20. Arriba de la frecuencia base se caracteriza la llamada región de enflaquecimiento de campo, pues allí el flujo decrece con el aumento de la frecuencia, causando también la disminución de par.

La curva característica par por velocidad del motor accionado por convertidor de frecuencia se representa.

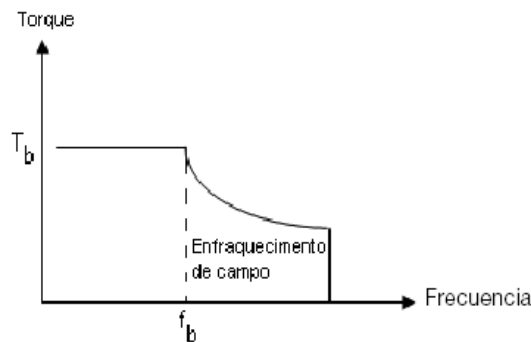


Figura 2.21: Torque Vs Frecuencia.

FUENTE: Guía Técnica - Motores de inducción alimentados por convertidores de frecuencia.

Se nota, por tanto, que el par permanece constante hasta la frecuencia base y decrece gradualmente arriba de esta. Como Potencia = Par X Rotación, la potencia útil del motor crece linealmente hasta la frecuencia base y permanece constante arriba de esta, según se puede observar abajo.

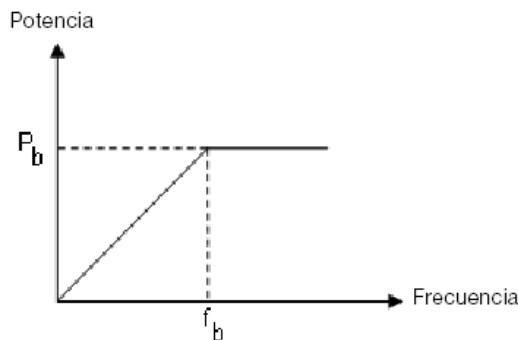


Figura 2.22: Potencia Vs Frecuencia.

FUENTE: Guía Técnica - Motores de inducción alimentados por convertidores de frecuencia.

No por acaso ha crecido significativamente el número de aplicaciones en que la variación de velocidad de motores de inducción es realizada por medio de convertidores electrónicos estáticos de frecuencia.⁶

2.4.7 Variador de frecuencia.

Al tener un motor que es una máquina donde la velocidad depende de la frecuencia, al variar ésta, se consigue modificar la velocidad. Los variadores de velocidad, también conocidos como convertidores de frecuencia, son dispositivos que se utilizan para regular procesos industriales.



Figura 2.23: Variador de Frecuencia.

FUENTE: Catalogo Omron, Variadores de frecuencia, 2011.

Son equipos que hoy en día son utilizados en múltiples aplicaciones, habiendo un gran número de fabricantes y abastecedores de los mismos. El usuario final está de acuerdo con las múltiples ventajas que estos sistemas de control le pueden dar a sus procesos. El modo de manejo puede ser manual o automático, según las necesidades del proceso, dada la enorme flexibilidad que ofrecen los reguladores de velocidad, permitiendo hallar soluciones para obtener puntos de trabajo óptimos, pudiendo ser manejados por ordenador, PLC, señales digitales o de forma manual. Algunas marcas y modelos de variadores de frecuencia ofrecen protecciones para el motor, tales como protecciones contra sobre intensidad, sobre temperatura, fallo contra desequilibrios, defectos a tierra y algunas otras maneras

⁶ Guía Técnica - Motores de inducción alimentados por convertidores de frecuencia.

de protección, además de ofrecer procesos de arranque y frenados suaves mediante rampas de aceleración y de frenado, lo que favorece al aumento de la vida del motor y las instalaciones.

2.4.7.1 Control de velocidad de los convertidores de frecuencia.

Por lo que se puede mencionar acerca de la velocidad los convertidores suelen permitir dos tipos de control:

- **Control manual de velocidad.**

La velocidad puede ser constituida o modificada manualmente (display de operador). Posibilidad de variación en el sentido de giro.

- **Control automático de velocidad.**

En este tipo de control se puede ajustar la velocidad automáticamente utilizando realimentación. Este procedimiento es ideal para su instalación en aplicaciones en las que la velocidad demandada varía de forma continua. En la figura se muestra el diagrama de bloques de un variador de velocidad.

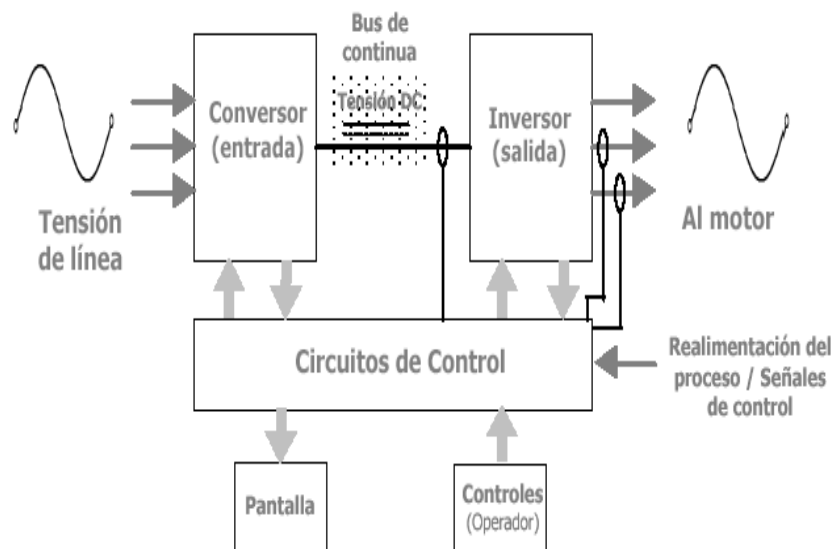


Figura 2.24: Diagrama de bloques de un variador de velocidad.

FUENTE: Fluke Ibérica - División Industrial, Nota de aplicación, “Medida en variadores de velocidad con multímetros Fluke”, J. David Rodríguez.

El convertidor de entrada transforma corriente alterna sinusoidal en CC, necesaria para los transistores de potencia, controlados electrónicamente, del inversor de salida. El enlace de continua es la fuente de potencia del inversor de salida. Los

variadores de velocidad de gran potencia tienen un gran banco de condensadores para almacenar carga eléctrica procedente de la entrada sinusoidal.

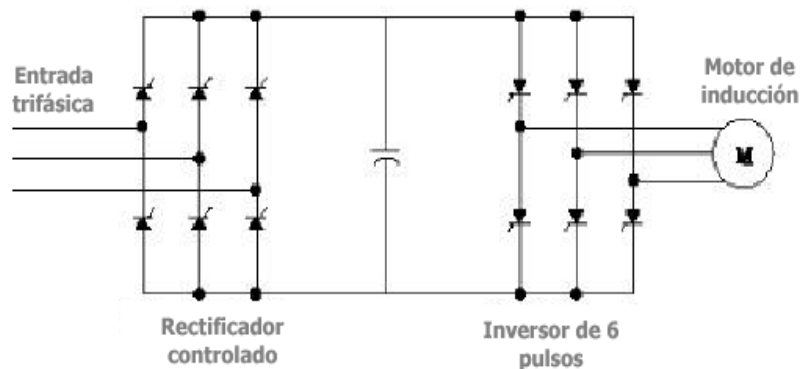


Figura 2.25: Esquema simplificado de un inversor de la fuente de tensión.

FUENTE: Fluke Ibérica - División Industrial, Nota de aplicación, “Medida en variadores de velocidad con multímetros Fluke”, J. David Rodríguez.

El inversor de salida proporciona una tensión y una frecuencia variables en CA. La tensión y la frecuencia (V/Hz) se varían a la vez para obtener un par constante de velocidad variable, o se varían en distinta proporción para obtener un par variable a distintas velocidades.

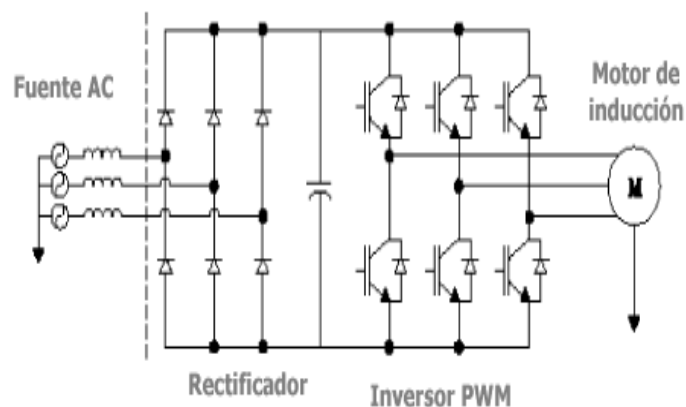


Figura 2.26: Esquema simplificado de un variador de velocidad PWM.

FUENTE: Fluke Ibérica - División Industrial, Nota de aplicación, “Medida en variadores de velocidad con multímetros Fluke”, J. David Rodríguez.

Los circuitos de control temporizan la conmutación de los circuitos de E/S y transportan comandos desde el panel de control del operador. Además monitorizan la aparición de fallos de funcionamiento y la presencia de

condiciones de funcionamiento incorrectas, informando al operador o en su caso al técnico. Si es necesario, los circuitos de control paran el variador de velocidad para proteger el motor o el inversor de salida.⁷

2.4.7.2 Funciones de los variadores de frecuencia.

Comando, ajuste y configuración.

Todo equipo de automatización requiere de distintas funciones de diálogo con el usuario, entendiendo como usuario tanto al operador que comanda manualmente o a otro sistema automatizado (PLC, red industrial, otro variador, sistema de supervisión, etc.) que dialoga a distancia.

En los variadores de frecuencia tenemos las siguientes funciones.

- **Comando.**

Son las órdenes necesarias para el funcionamiento normal tales como marcha, parada, inversión de giro, el valor de la velocidad, frenado regenerativo, etc.

- **Ajuste.**

Se refiere al cambio de las variables durante el funcionamiento del equipo como por ejemplo: la ley tensión- frecuencia, la selección del tipo de frenado, los tiempos de aceleración y desaceleración, las señales máximas y mínima de velocidad.

- **Configuración.**

Se refiere a los parámetros de funcionamiento que no deben ser cambiados, aquellos que son fijos tales como la velocidad máxima admitida, el tiempo de aceleración máximo, la forma de la ley tensión frecuencia, la tensión de la red, la selección de las funciones de bornes configurables, etc.

- **La señalización.** Permite saber el estado de las variables del equipo.

⁷ Fluke Ibérica - División Industrial, Nota de aplicación, “Medida en variadores de velocidad con multímetros Fluke”, J. David Rodríguez.

Tabla 2.2: Formas de diálogo Hombre - Máquina y Máquina – Máquina disponibles para variadores.

Forma de Diálogo	Función	Ejemplos
<i>Entradas y salidas de las cartas electrónicas</i>	Control	- Marcha/Parada - Cambio de consigna - Frecuencia de funcionamiento - Inversión de sentido de giro
<i>Panel frontal incorporado al variador</i>	Ajuste Configuración	- Velocidad máxima y mínima - Ley tensión frecuencia - Límite protección térmica - Tiempo de frenado - Tiempo de aceleración
<i>Selectores de las cartas electrónicas</i>	Configuración	- Habilitación protección térmica incorporada - Selección de tensión
<i>Terminal de programación de mano</i>	Ajuste Configuración	- Todas
<i>Soft para PC</i>	Control	
<i>Comunicación en red industrial</i>		

FUENTE: Tesis: Variación de velocidad en corriente alterna, Mazzeo Luis; Bertolotti Fernando, Facultad de Ingeniería, Carrera Ingeniería Electricista, Universidad de Buenos Aires.

Las primeras formas de diálogo se pueden encontrar en todo modelo de variador de frecuencia mientras que las tres últimas no pueden incluir en algunos modelos.⁸

2.4.7.3 Principales tipos de variadores de velocidad.

Los tipos de variadores más habituales son:

Rectificador controlado.

Es aquel que suministra corriente continua a partir de una red alterna monofásica o trifásica y controla el valor medio de la tensión.

La variación de dicha tensión se obtiene mediante la modificación del ángulo de retardo en el momento del cebado de los semiconductores de potencia.

Por lo general este tipo de variador es utilizado para la alimentación de motores de corriente continua y generalmente son de excitación separada.

⁸ Tesis: Variación de velocidad en corriente alterna, Mazzeo Luis; Bertolotti Fernando, Facultad de Ingeniería, Carrera Ingeniería Electricista, Universidad de Buenos Aires.

Convertidor de frecuencia.

Es aquel que suministra tensión alterna a partir de una red alterna monofásica o trifásica de frecuencia fija, con valor eficaz y frecuencia variables según una ley $\frac{u}{f}$ constante. Se utiliza como variador de velocidad para motores eléctricos trifásicos asíncronos tipo jaula de ardilla.

Regulador de tensión.

Es aquel que suministra corriente alterna a partir de una red alterna monofásica o trifásica, con la misma frecuencia fija que la red y controlando el valor eficaz de la tensión.

La variación de dicha tensión se obtiene mediante la modificación del ángulo de retardo en el momento del cebado de los semiconductores de potencia. Se utiliza por lo general como arrancador progresivo para motores asíncronos de jaula estándar, siempre que no requieran un par de arranque elevado.

Así mismo puede utilizarse como variador de velocidad para motores asíncronos de resistencias rotatorias o de anillos.⁹

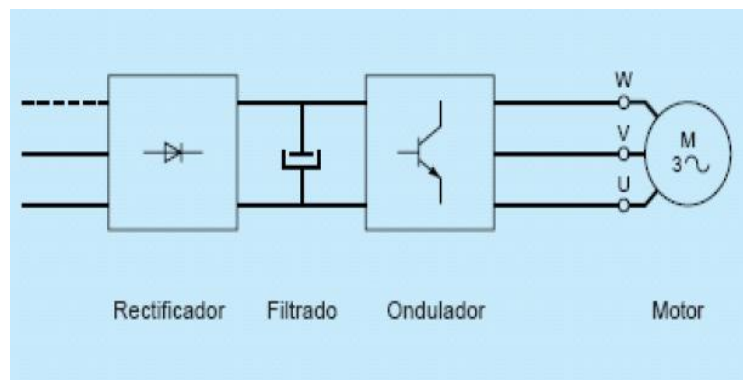


Figura. 2.27 Esquema de base de un convertidor de frecuencia.

FUENTE: I.E.S Antonio José Cavanilles Alicante, Departamento de Electricidad, Regulación de velocidad de Motores Asíncronos Trifásicos, Francisco Martí Sala.

⁹ I.E.S Antonio José Cavanilles Alicante, Departamento de Electricidad, Regulación de velocidad de Motores Asíncronos Trifásicos, Francisco Martí Sala.

2.4.7.4 Arranque suave del motor.

Los variadores de frecuencia ofrecen el método de arranque denominado “Arranque suave”.

Los variadores suministran un valor eficaz de tensión de salida que crece linealmente con el tiempo, principiando de un valor de tensión inicial nulo U_0 que tiene en cuenta la denominada compensación $I \cdot R$, hasta llegar al valor de tensión nominal U_n .

Esta rampa de tensión hace que el arranque se genere de manera progresiva. Una de las variables a ajustar en el variador, es el tiempo para este arranque.

Esta generación progresiva de tensión hace que la corriente no varíe en forma brusca como al arrancar el motor de manera directa y alcanza el valor nominal de tensión lentamente.¹⁰

A continuación en la figura 2.28 se muestran las diferencias básicas entre el arranque en línea directo (DoL), el arranque en estrella/triángulo y el arranque suave en función de la tensión (V) e intensidad del motor (I) y del par motor (M) del mismo.

n: Velocidad del motor.

t: Tiempo.

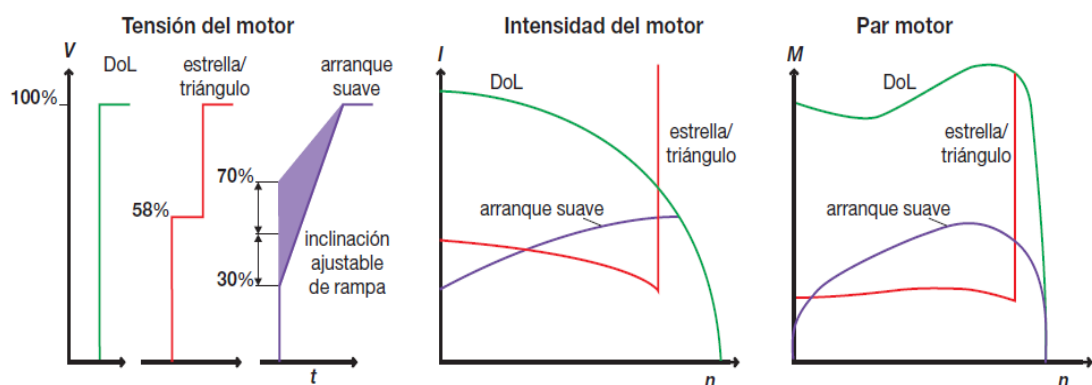


Figura 2.28: Comparación de la corriente de arranque para arranque suave y arranque directo.

FUENTE: ABB Revista, Arranque Suave del Motor, Soren Kling, 1/2002.

¹⁰ ABB Revista, Arranque Suave del Motor, Soren Kling, 1/2002.

2.4.7.5 Control V/f.

Con este método de control la tensión de alimentación evoluciona de una manera proporcional a la frecuencia.

La proporcionalidad V/f desaparece en las bajas frecuencias, además la característica de la curva de par depende también de la frecuencia del rotor y de su temperatura, por lo que el dispositivo de control del convertidor ha de incluir las correspondientes correcciones.

Algunos convertidores tienen incorporadas varias curvas ya ajustadas en su programación. Para seleccionar la curva adecuada se debe tener en cuenta las características de tensión y frecuencia del motor y la velocidad máxima a la que puede girar el rotor.

Existen dos tipos de control: Escalar y Vectorial.

2.4.7.5.1 Control Escalar.

El control escalar está basado en el concepto original del convertidor de frecuencia: impone en el motor una determinada tensión/frecuencia, visando mantener la relación V/f constante, o sea, el motor trabaja con flujo aproximadamente constante. Es aplicado cuando no hay la necesidad de respuestas rápidas a comandos de par y velocidad y es particularmente interesante cuando hay conexión de múltiples motores a un único convertidor. El control es realizado en malla abierta y la precisión de la velocidad es función del deslizamiento del motor, que varía en función de la carga, ya que la frecuencia en el estator es impuesta. Para mejorar el desempeño del motor en las bajas velocidades, algunos convertidores poseen funciones especiales como la compensación de deslizamiento (que atenúa la variación de la velocidad en función de la carga) y el boost de tensión (aumento de la relación V/f para compensar el efecto de la caída de tensión en la resistencia estática), de manera que la capacidad de par del motor sea mantenida.

El control escalar es lo más utilizado debido a su simplicidad y debido al factor de que la gran mayoría de las aplicaciones no requiere alta precisión y/o rapidez en el control de la velocidad.

2.4.7.5.2 Control Vectorial.

El control vectorial posibilita un elevado grado de precisión y rapidez en el control del par y de la velocidad del motor.

El control descompone la corriente del motor en dos vectores: uno que produce el flujo de magnetización y otro que produce par, regulando separadamente el par y el flujo.

El control vectorial puede ser realizado en malla abierta (“sensorless”) o en malla cerrada (con realimentación)

Sensor de velocidad

Requiere la instalación de un sensor de velocidad (por ejemplo, un encoder incremental) en el motor. Este tipo de control permite la mayor precisión posible en el control de la velocidad y del par, inclusive en rotación nula.

Sensorless

Más simples que el control con sensor, pero, presenta limitaciones de par principalmente en bajísimas rotaciones. En velocidades más elevadas es prácticamente tan bueno cuanto el control vectorial con realimentación.

Las principales diferencias entre los dos tipos de control son que el control escalar sólo considera las amplitudes de las grandezas eléctricas instantáneas (flujos, corrientes y tensiones), refiriéndolas al estator, y su cálculo está basado en el circuito equivalente del motor, o sea, son ecuaciones de régimen permanente.

Ya el control vectorial admite la representación de corriente continua, habiendo regulación independiente para par y flujo.

2.4.7.6 Procesos industriales y regulación de velocidad.

Para escatimar el ahorro de los variadores de velocidad se necesita conocer el proceso industrial en el que va a instalarse, no todos los procesos ahorran energía, inclusive hay procesos en que la energía no aumenta con la velocidad.

Con la finalidad de identificar puntos de ahorro en la industria, a continuación se muestran las cargas típicas que nos podemos encontrar.

En la mayoría de procesos, se tendrán combinaciones de algunos de estos tipos.

Par constante.

En la industria la mayor parte de las máquinas empleadas funcionan a par cte.

El par es independiente de la velocidad. En el arranque existe frecuentemente un sobre par inicial más elevado que el par nominal.

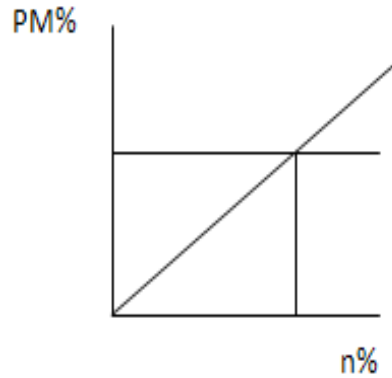


Figura 2.29: Par constante.

FUENTE: Variadores de frecuencia, Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche, México.

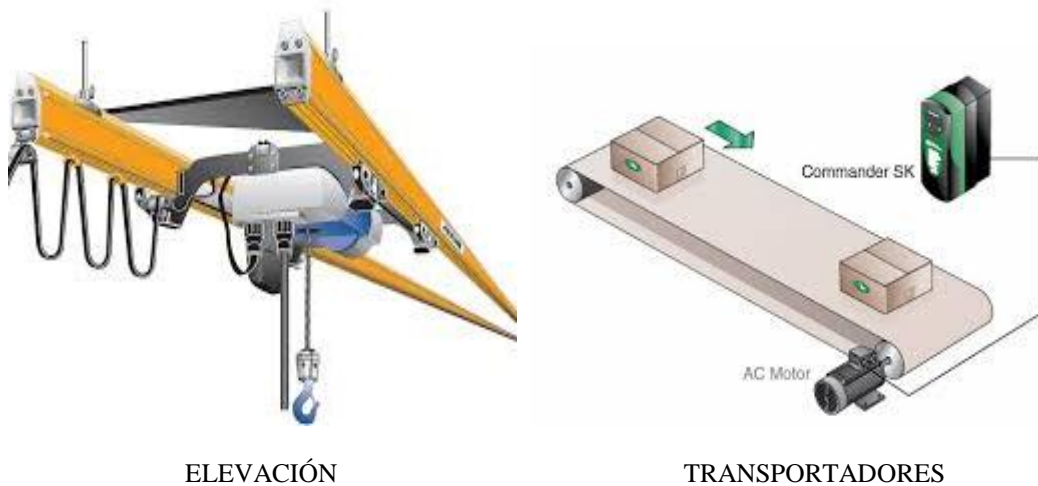


Figura 2.30: Ejemplos aplicativos de par constante.

FUENTE: Variadores de frecuencia, Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche, México.

Par creciente linealmente con la velocidad.

En estas máquinas el par varía con el cuadrado de la velocidad.

Ejemplos: Bombas volumétricas de tornillo de Arquímedes y Mezcladoras.

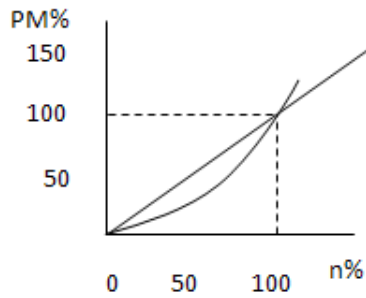


Figura 2.31: Par creciente linealmente con la velocidad.

FUENTE: Variadores de frecuencia, Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche, México.



Figura 2.32: Bomba volumétrica.

FUENTE: Variadores de frecuencia, Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche, México.

Par creciente con el cuadrado de la velocidad.

En estas máquinas el par varía con el cuadrado de la velocidad.

La potencia lo hace con el cubo de la velocidad.

Es el caso de las bombas centrífugas y los ventiladores.

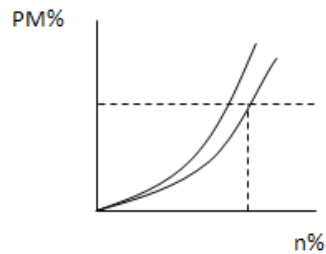


Figura 2.33: Par creciente con el cuadrado de la velocidad.

FUENTE: Variadores de frecuencia, Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche, México.

Potencia constante.

La potencia requerida es independiente de la velocidad.

Funcionamiento propio de máquinas herramientas y sistemas de arrollamiento.

Se requiere menor par y por tanto se puede utilizar un accionamiento menor.

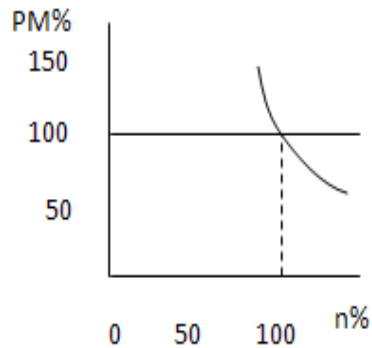


Figura 2.35: Potencia constante.

FUENTE: Variadores de frecuencia, Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche, México.



Figura 2.36: Ejemplos de potencia constante.

FUENTE: Variadores de frecuencia, Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche, México.

Como se puede comprobar, los ahorros más importantes los tendremos en las cargas de par cuadrático, donde una pequeña disminución de velocidad produce una gran disminución de potencia absorbida por el motor.¹¹

¹¹ Variadores de frecuencia, Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche, México.

2.4.7.7 Beneficios de la utilización de variadores de frecuencia.

- **Control a distancia.**

El equipamiento de los sistemas de variación de velocidad puede estar ubicado en un área conveniente dejando solo la instalación del motor en el área de procesamiento que es lo contrario de lo que sucede con los sistemas hidráulicos y mecánicos de variación de velocidad.

- **Reducción de costos.**

Arranques directos ocasionan picos de corriente, que causan daños no solamente al motor, pero también a otros equipamientos conectados al sistema eléctrico. Convertidores estáticos proporcionan arranques más suaves, reduciendo costos con mantenimiento.

- **Aumento de productividad.**

Sistemas de procesamiento industrial generalmente son sobredimensionados en la perspectiva de un incremento futuro de productividad.

- **Reducción del consumo.**

- **Minimizan las pérdidas en las instalaciones.**

2.4.7.8 Factores que generan averías en variadores de frecuencia.

La mayoría de averías ocurren en instalaciones donde las condiciones ambientales son desfavorables o tienen variaciones bruscas de tensión.

El polvo, la humedad, los ambientes corrosivos y altas temperaturas son los peores factores que influyen en un variador de frecuencia. La humedad en conjunto con el polvo puede causar daños en tarjetas electrónicas, es importante que tenga cierto grado de protección.

Al hablar de la temperatura de trabajo, es conveniente que se trabaje a 50° C como temperatura nominal. En algunos de los casos se opta por sistemas de ventilación que encarecen el coste del variador lo cual no suele ser una adecuada solución.

Tabla 2.3: Aplicaciones de variadores de frecuencia.

SECTOR	APLICACIÓN
Automoción y equipos de transporte.	Cintas transportadoras, bombas, marina.
Química y farmacéutica.	Centrífugas, agitadores, bombas, ventiladores, máquinas de llenado, Etiquetadoras.
Eléctrica y electrónica.	Cintas transportadoras, bombas de vacío, extrusoras, bobinadoras.
Alimentación y bebida.	Centrífugas, agitadores, bombas, Cintas transportadoras, máquinas de llenado, máquinas de lavado de botellas, Etiquetadoras, Secadoras, hornos, Compresores.
Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado.	Ventiladores, bombas, compresores.
Maquinaria para metal.	Serradoras, Tornos, Taladradora, Esmeriladora, Prensadora, Cortadora en movimiento, Posicionamiento, Punzones, Grúas.
Manipulación, elevación y grúas.	Cintas transportadoras, Montacargas, Alimentadores, Grúas, Elevadores.
Metalurgia y minería.	Dragadoras, cintas transportadoras, Trituradoras, Hornos, Fundidoras, Laminadoras.
Petróleo, gas y energía.	Separadores, cintas transportadoras, ventiladores, bombas.
Otras industrias.	Manipulado de tabaco.
Manipulación y embalaje.	Almacenamiento vertical, Transelevadores, empaquetadoras de film transparente.
Papel e imprenta.	Bombas, Agitadores de pulpa, bobinadoras, Lavadoras,

Continuación Tabla 2.3: Aplicaciones de variadores de frecuencia.

Plástico y caucho.	Extrusoras, estiradoras, máquinas de inyección, moldeadoras, cortadoras, bobinadoras.
Piedra, arcilla y vidrio.	Cintas transportadoras, Taladradoras, Trituradoras, Hornos, Paletizadoras.
Fibra y Textil.	Líneas de tejido para fibras, cardadoras, hiladoras, bobinadoras, tejedoras, telares, cortadoras.
Agua.	Bombas, Ventiladores, Tratamiento de aguas, Depuradoras.
Madera.	Aserraderos, Tornos, Líneas de contrachapado, Cintas transportadoras, Posicionamiento.

FUENTE: Ingenieros Asociados de Control S.L, Catálogo Danfoss, Convertidores de Frecuencia; Arranques Suaves.

2.4.8 Consecuencias de la variación de tensión o frecuencia sobre un motor asíncrono.

Aumento o disminución de la tensión.

Velocidad.

La variación de tensión no modifica la velocidad de rotación del campo giratorio inductor. Pero, en un motor con carga, un aumento de la tensión conlleva una disminución del deslizamiento y como consecuencia de la velocidad del motor. Este fenómeno está limitado por la saturación de la máquina. Por el contrario, si la tensión de alimentación disminuye, el motor pierde velocidad.

Par.

El par motor es directamente proporcional al cuadrado de la tensión. Por tanto, aumenta cuando la tensión es más elevada e inversamente disminuye considerablemente cuando baja la tensión. Si un motor se ha calculado demasiado

justo, puede no arrancar o pararse, con el riesgo de autodestrucción, si la disminución de tensión se mantiene.

Intensidad de arranque.

Varía proporcionalmente a la tensión de alimentación. Si ésta aumenta, la intensidad absorbida en el instante del arranque aumenta. Por el contrario, si la tensión disminuye, la intensidad de arranque disminuye.

Aumento o disminución de frecuencia.

Velocidad.

En un motor asíncrono, la velocidad de sincronismo es proporcional a la frecuencia.

Esta propiedad se utiliza frecuentemente para hacer funcionar a grandes velocidades los motores especialmente diseñados para una alimentación de, por ejemplo, 400 Hz, (aparatos de laboratorio o quirúrgicos, etc.).

Par.

A tensión constante el par es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia. Si ésta aumenta, el par desarrollado por el motor disminuye considerablemente. A la inversa, si la frecuencia decrece, el par crece.

Intensidad de arranque.

A tensión constante, la intensidad de arranque varía en sentido inverso a la frecuencia. En régimen permanente la intensidad es la misma. Estas variaciones de par y de corriente son generalmente molestas. En la práctica, para evitarlas, se aconseja variar la tensión de alimentación proporcionalmente a la frecuencia.

2.4.9 Distorsión Armónica.

Cuando el voltaje o la corriente de un sistema eléctrico tienen deformaciones con respecto a la forma de onda sinusoidal, se dice que la señal está distorsionada.

La distorsión puede deberse a:

Fenómenos transitorios tales como arranque de motores, conmutación de capacitores, efectos de tormentas o fallas por cortocircuito entre otras.

2.4.9.1 Definición de armónicas.

Este concepto proviene del teorema de Fourier y define que, bajo ciertas condiciones analíticas, una función periódica cualquiera puede considerarse integrada por una suma de funciones sinusoidales, incluyendo un término constante en caso de asimetría respecto al eje de las abscisas, siendo la primera armónica, denominada también señal fundamental, del mismo período y frecuencia que la función original y el resto serán funciones sinusoidales cuyas frecuencias son múltiplos de la fundamental. Estas componentes son denominadas armónicas de la función periódica original.

El Sistema Eléctrico de Potencia suministra una onda fundamental de voltaje a una frecuencia básica (en algunos países a 50 Hz, para el caso de Ecuador 60 Hz) Figura No. 2.37, la misma que es aprovechada por los diferentes equipos tanto eléctricos como electrónicos; la corriente resultante es una perfecta sinusoidal cuando la carga son dispositivos lineales (resistores, inductores y condensadores).

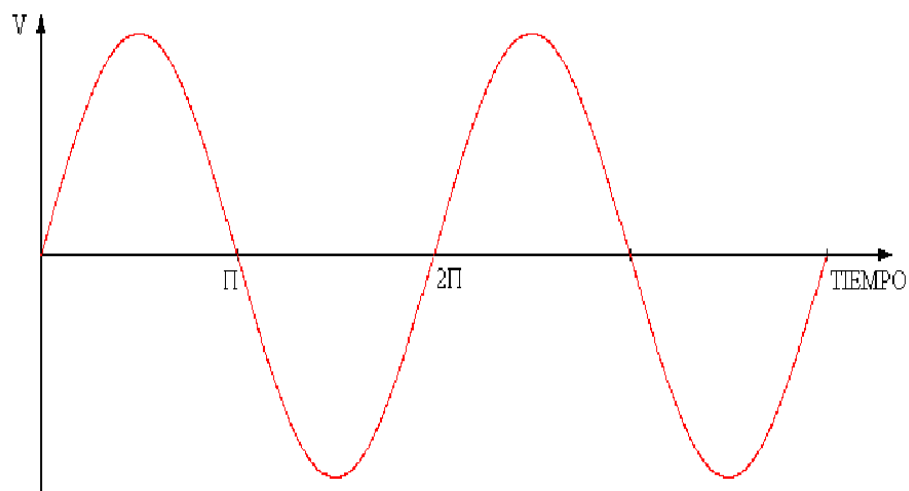


Figura 2.37: Onda fundamental de voltaje.

FUENTE: Tesis: Análisis de los efectos producidos por los variadores de frecuencia en el suministro de energía eléctrica y en el equipo de fondo del sistema de bombeo electro sumergible, Edgar Bladimir Álvarez Cisneros.

En condiciones ideales, la red trifásica debería comportarse como un conjunto de tres fuentes de tensión perfectamente sinusoidales, sin impedancia interna (por lo tanto, sin caídas de tensión), con frecuencia constante (60 Hz) y con equilibrio

perfecto de las tres fases (120° de desfase entre fase y fase) como se muestra en la Figura 2.38.¹²

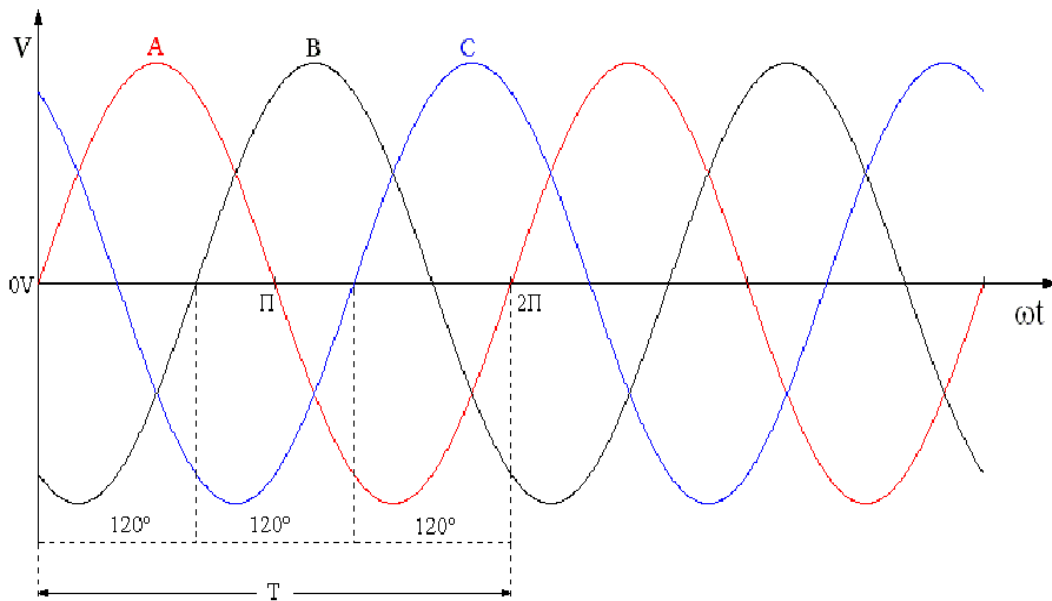


Figura 2.38: Sistema sinusoidal trifásico.

FUENTE: Tesis: Análisis de los efectos producidos por los variadores de frecuencia en el suministro de energía eléctrica y en el equipo de fondo del sistema de bombeo electro sumergible, Edgar Bladimir Álvarez Cisneros.

Debido a cargas eléctricas y principalmente a dispositivos electrónicos conectados a la red trifásica, estas formas de ondas sinusoidales son afectadas.

Las armónicas son las componentes no fundamentales de la frecuencia de una onda de energía eléctrica (a una frecuencia fundamental, 60 Hz en el caso de Ecuador), que se mezclan con ésta para dar una onda deformada, las armónicas tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, como se observa en la figura 2.37.

La distorsión de la sinusoidal fundamental, generalmente ocurre en múltiplos de la frecuencia fundamental. Así sobre un sistema de potencia de 60 Hz, la onda armónica tiene una frecuencia expresada por:

$$f_{armónicos} = h * 60 \text{ Hz} \qquad \text{Ec. (2.7)}$$

¹² Tesis: Análisis de los efectos producidos por los variadores de frecuencia en el suministro de energía eléctrica y en el equipo de fondo del sistema de bombeo electro sumergible, Escuela Superior Politécnica del Ejercito Sede Latacunga, Edgar Bladimir Álvarez Cisneros.

Donde h es el Orden de un armónico.

La figura 2.39 ilustra la onda sinusoidal a frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2do, 3ro, 4to, y 5to armónico.

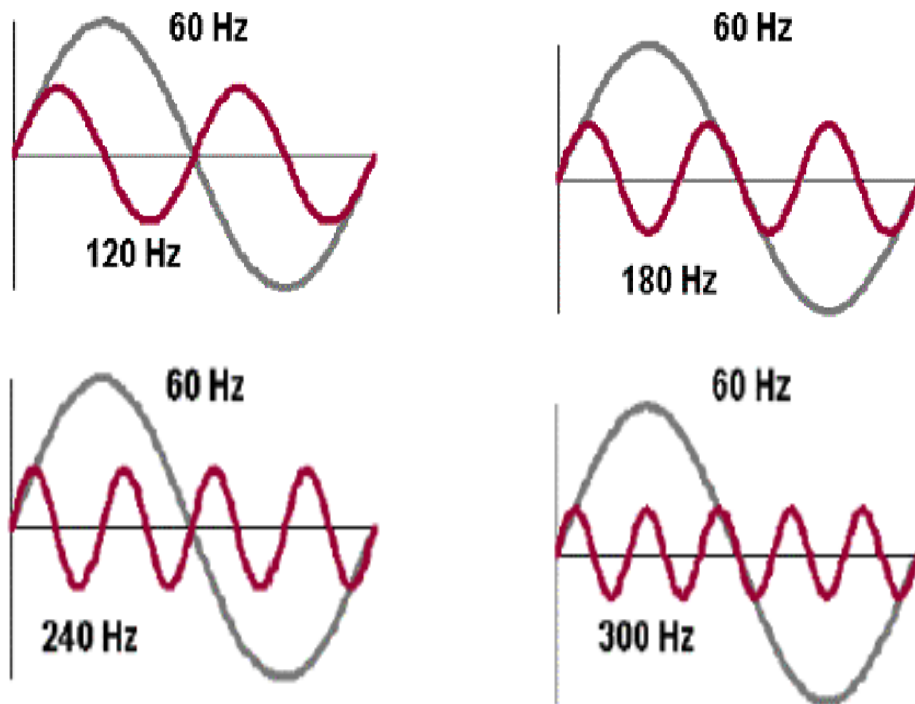


Figura 2.39: Onda Sinusoidal a Frecuencia Fundamental (60 Hz) y Armónicos:
2do (120 Hz); 3ro (180 Hz); 4to (240 Hz); y 5to (300 Hz).

FUENTE: Tesis: Análisis de los efectos producidos por los variadores de frecuencia en el suministro de energía eléctrica y en el equipo de fondo del sistema de bombeo electro sumergible, Edgar Bladimir Álvarez Cisneros.

2.4.9.2 Características de la distorsión armónica.

Una onda contaminada por componentes armónicas, es cuando la corriente o tensión en cualquier punto de un sistema eléctrico se encuentra distorsionada con relación a la onda sinusoidal fundamental.

Para que se considere como distorsión armónica las deformaciones en una señal, se deben de cumplir las siguientes condiciones:

- Que la señal tenga valores definidos dentro del intervalo, lo que implica que la energía contenida es finita.
- Que la señal sea periódica, teniendo la misma forma de onda en cada ciclo de la señal de corriente o voltaje.

- Permanente.- Cuando la distorsión armónica se presenta en cualquier instante de tiempo, es decir, que no es pasajera.

2.4.9.3 Efectos en los motores asincrónicos trifásicos causados por armónicos.

Pérdidas I^2R en el estator: por el aumento de la corriente de magnetización y por el efecto piel.

Pérdidas I^2R en el rotor: por el aumento en la resistencia efectiva del rotor debido al efecto piel.

Pérdidas del núcleo. Aumentan relativamente poco debido al aumento en las densidades de flujo pico alcanzadas.

Pérdidas adicionales. Aumentan, pero son extremadamente complejas de cuantificar y cambian en cada máquina.

2.4.9.4 Sobrecalentamiento y vibraciones en los motores de inducción.

Los motores de inducción son cargas lineales que no generan corrientes armónicas cuando se alimentan con una tensión sinusoidal pura. Pero un motor alimentado por una tensión distorsionada sufrirá un calentamiento excesivo provocado por el efecto piel o por las corrientes de Foucault, incrementado por las elevadas frecuencias de las corrientes armónicas presentes.

Además, si alguno de los armónicos es de secuencia negativa – tales como el 5° y el 11°– el campo rotatorio que generan se opone al sentido de giro del motor, reduciendo en consecuencia el par y la eficiencia del motor. Por otro lado, se generan pares pulsantes que ocasionan vibraciones mecánicas producidas por la interacción de los campos magnéticos rotatorios de los armónicos con el campo fundamental.

Como evitar el sobrecalentamiento y vibraciones

Utilizar circuitos separados, para alimentar a los equipos generadores de armónicos tales como los equipos informáticos y los variadores de velocidad, de los que alimenten cargas sensibles a los armónicos tales como los motores de inducción.

Es conveniente limitar la distorsión total armónica de la tensión a menos de un 5%.¹³

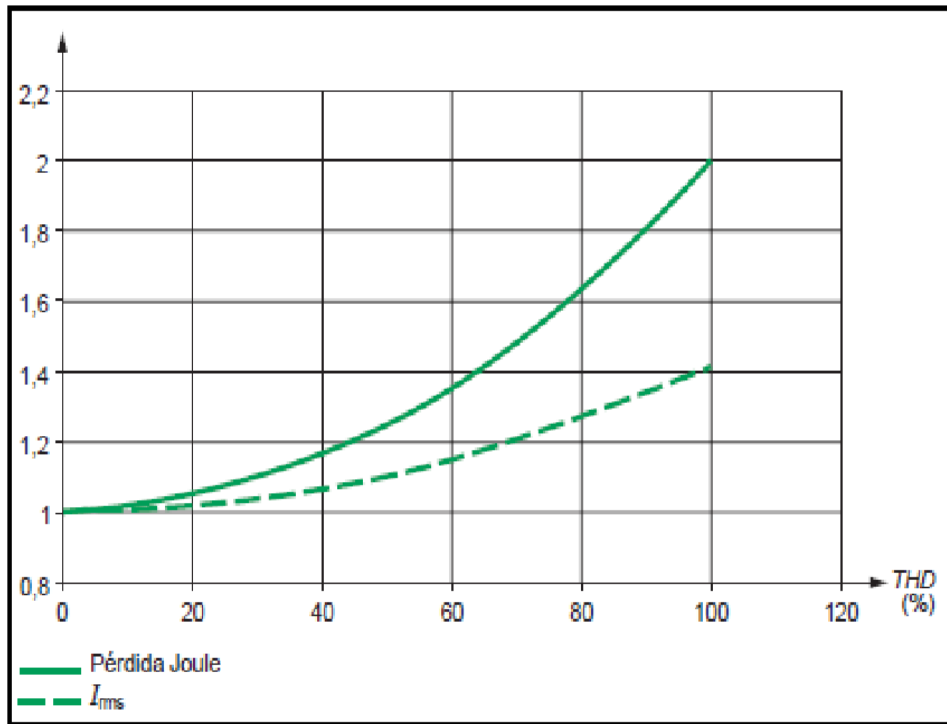


Figura 2.40: Aumento de la corriente rms en las pérdidas Joule en función del THDI.

FUENTE: Detección y filtrado de armónicos, Catálogo SCHNEIDER ELECTRIC

Dependiendo del voltaje aplicado puede haber una reducción en el par promedio de la máquina, se producen torques pulsantes por la integración de las corrientes del rotor con los campos magnéticos en el entrehierro y disminuye la eficiencia y la vida útil de la máquina.

2.4.9.5 Problemática de armónicos en suministros industriales.

Los variadores de frecuencia, al igual que todo equipo que transforma la C.A. en C.C. mediante rectificadores, generan armónicos. Alguno de estos armónicos incrementan pérdidas en motores y otros dispositivos magnéticos y, a medida que aumenta la frecuencia, disminuir la impedancia de los condensadores para la corrección del factor de potencia, produciendo sobrecalentamiento en los mismos pudiendo llegar a destruirlos.

¹³ Catálogo AE Soluciones, Los efectos de los armónicos.

Los armónicos que pueden ocasionar problemas en una instalación son los armónicos de corriente generados por los propios variadores. Los armónicos de corriente con variadores sin bobinas de choque pueden alcanzar el 86% de THD a plena carga (Distorsión Armónica Total) en corriente. Con bobinas disminuye a valores comprendidos entre el 30% y el 40% de THD a plena carga. Estos valores dependerán de los valores de inductancia de las bobinas y de la capacidad que dispongamos en el bus de continua.

2.4.9.6 Efectos de los armónicos en los Variadores de frecuencia.

Los dispositivos estáticos de energía son cargas no lineales por lo tanto la forma de onda de corriente es una sinusoidal distorsionada; debido a la impedancia interna del variador la forma de onda de alimentación resulta distorsionada.

En algunas situaciones, los variadores de frecuencia pueden auto generar armónicos afectándose ellos mismos o generar armónicos a otra fuente debido a que los variadores se encuentran conectados en paralelo con el suministro de AC.

Los convertidores existen en varios diseños y para distintas funciones. Algunas de estas formas son insensibles para armónicos. Cuando se utiliza un puente rectificador de diodos, éste rectificador normalmente no es afectado, sin embargo si diodos comparten la misma línea de alimentación (por ejemplo: diodos en serie con un filtro de alto voltaje), esos condensadores pueden sujetarse a tensiones superiores a las del diseño debido a las corrientes armónicas existentes en el sistema. Estos armónicos pueden pasar a la carga del rectificador pudiendo dañar o perturbar el lado DC del equipo.

Tanto en rectificadores controlados (utilizan SCR's) y no controlados (mediante diodos), como también en inversores se dan este tipo de anomalías. Los inversores tienen normalmente redes Snubbers, filtros de Interferencia electromagnética (EMI) y filtros de fuente de poder que están sujetas a tensiones térmicas por corrientes armónicas.

La mayoría de convertidores cuenta con varias características de fuente de voltaje AC (por ejemplo, cruce por cero cronometrada) para su control. Si la fuente de entrada de AC es severamente distorsionada por los armónicos, los convertidores pueden fallar, fallan al conmutar, o pueden generar armónicos distintos a los

conocidos, éstos llamados también como armónicos no característicos. Durante el funcionamiento normal de estos equipos, aparecen armónicos de voltaje y/o corriente en las redes, éstos se determinan mediante la ecuación.

$$h = k * p \pm 1 \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Donde:

h: es el orden armónico.

k: es cualquier número entero ≥ 1 .

p: es el número de pulsos del convertidor (en nuestro caso de 6 y 12 pulsos).

Para un convertidor de 6 pulsos, el 5to armónico es el más alto, mientras que para un convertidor de 12 pulsos, el 11vo es el armónico más alto.

Debido a la distorsión de la forma de onda, los problemas que se pueden mencionar en los componentes de un variador de frecuencia son los siguientes:

- Destrucción de condensadores por sobretensión.
- Incendio de reactores por sobre corriente.
- Falla de interruptores por variación de corriente en el tiempo (di/dt).
- Destrucción de cables.
- Interferencias en los sistemas de comunicación.

La magnitud de los costos por la operación de estos tipos de equipos electrónicos con tensiones y corrientes distorsionadas, puede percibirse considerando lo siguiente:

- Una elevación de sólo 10 °C de la temperatura máxima del aislamiento de un conductor reduce a la mitad su vida útil.
- Un aumento del 10% de la tensión máxima del dieléctrico de un condensador reduce a la mitad su vida útil.

2.4.9.7 Afectaciones de los armónicos al factor de potencia.

En los puntos 2.4.2 y 2.4.3 se vio la representación gráfica de las potencias aparente, activa y reactiva mediante un triángulo de potencias. De forma análoga, las potencias en sistemas con armónicos pueden representarse gráficamente mediante varios triángulos relacionados por las ecuaciones. La representación

gráfica conjunta de todos ellos da lugar a un tetraedro de potencias que se ha representado en la figura 2.41.

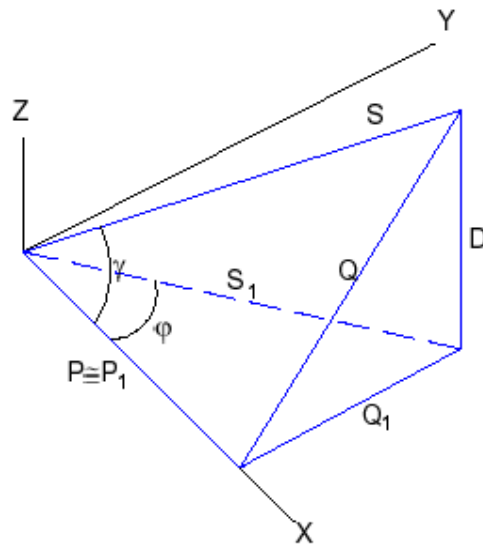


Figura 2.41. Triángulo de potencias en régimen no sinusoidal.

FUENTE: Automatización, Productividad y Calidad S.A. de C.V, Distorsión Armónica, Ing. Eugenio Téllez Ramírez.

Donde:

D: Potencia de Distorsión.

De la figura 2.41 se distingue cuatro triángulos:

El de potencias fundamentales, P1, Q1, S1.

$$S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad \text{Ec. (2.9)}$$

El de potencias fluctuantes, Q1, D, Q

$$Q^2 = Q_1^2 + D^2 \quad \text{Ec. (2.10)}$$

El de potencias totales, S, P, Q.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad \text{Ec. (2.11)}$$

El de potencias aparentes, S, S1, D.

$$S^2 = S_1^2 + D^2 \quad \text{Ec. (2.12)}$$

En circuitos con armónicos se seguirá llamando factor de potencia (FP) a la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente total (S). Obsérvese que

cuando existen corrientes armónicas el FP ya no coincide con el coseno del ángulo que forman las componentes fundamentales.

Las relaciones en este caso son las siguientes:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2 + D^2}} = \text{COS}\varphi \quad \text{Ec. (2.13)}$$

$$\text{COS}\varphi = \frac{P}{S_1} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \quad \text{Ec. (2.14)}$$

Al comparar las ecuaciones se observa que el factor de potencia total es siempre menor que el $\cos \varphi$ o factor de potencia de la componente fundamental. El significado de esto es que para transmitir la misma potencia activa en vatios, en un circuito con armónicos, necesitamos dimensionar la instalación para una potencia aparente (en KVA) mayor.¹⁴

2.4.9.8 Reducción de armónicas.

En las plantas industriales se busca operar a factores de potencia superiores a 0.90 para evitar la penalización por este concepto e incluso es conveniente alcanzar valores cercanos a la unidad, que típicamente se ubican en un factor de potencia de 0.97, para lo cual se instalan capacitores que pueden provocar resonancias paralelas en el rango de la 3ª y 16ª armónica.

En una red en la que la proporción de cargas no lineales con relación a la carga total es superior a 10%, no se deben instalar capacitores ya que la distorsión armónica se incrementará provocando problemas en los equipos. Incluso ha sucedido que usuarios que solo tienen cargas lineales, experimentan fallas en sus capacitores y distorsión en voltaje debido a la importación de las armónicas de otros usuarios que se alimentan de la misma red de alta tensión.

¹⁴ Automatización, Productividad y Calidad S.A. de C.V, Distorsión Armónica, Ing. Eugenio Téllez Ramírez.

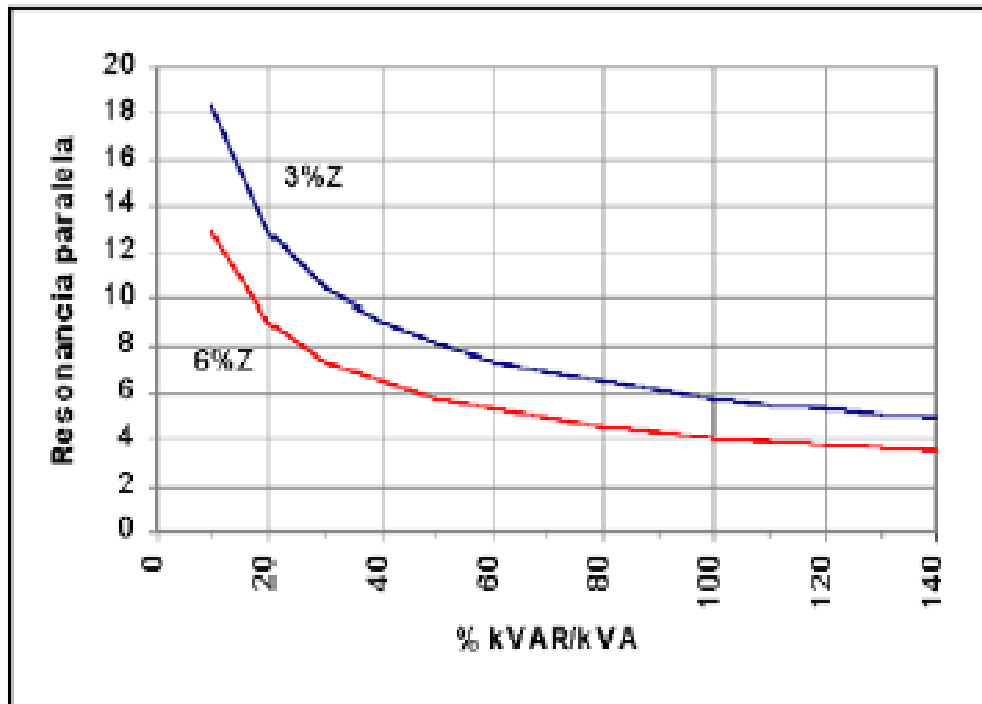


Figura 2.42: Armónica en que ocurre la resonancia paralela en función de la relación kVAR capacitores / kVA transformador para voltajes secundarios de 480V e impedancia del transformador de 3% y 6%.

FUENTE: Automatización, Productividad y Calidad S.A. de C.V, Distorsión Armónica, Ing. Eugenio Téllez Ramírez.

2.4.9.9 Efectos de las armónicas.

Las corrientes armónicas generadas por cargas no lineales, están desfasadas noventa grados con respecto al voltaje que las produce, fluyendo una potencia distorsionante de la fuente a la red eléctrica y viceversa, que solo es consumida como pérdidas por efecto Joule que se transforman en calor, de forma equivalente a la potencia reactiva fundamental relacionada al factor de potencia de desplazamiento.

Algunos de los efectos nocivos producidos por el flujo de corrientes armónicas son:

- Aumento en las pérdidas por efecto Joule.
- Sobrecalentamiento en motores, generadores, transformadores y cables, reduciendo su vida.
- Reducción del factor de potencia.

- Vibración en motores y generadores.
- Falla de bancos de capacitores.
- Falla de transformadores.
- Mayor consumo de energía reactiva de las redes de C.F.E.
- Efectos de resonancia que amplifican los problemas mencionados anteriormente y pueden provocar incidentes eléctricos, mal funcionamiento y fallos destructivos de equipos de potencia y control.
- Problemas de funcionamiento en dispositivos electrónicos sensibles.
- Interferencias en sistemas de telecomunicaciones.
- Problemas en la eficiencia y disminución de la vida de motores.

Los efectos dependerán de la proporción que exista entre la carga no lineal y la carga total del sistema, asociado a que se debe mantener la distorsión dentro de los límites establecidos por las normas.

2.5. Hipótesis

Reducir la distorsión armónica producida por variadores de frecuencia mejorará el desempeño de los motores eléctricos trifásicos.

2.5.1 Variables.

Variable Independiente: Reducir la distorsión armónica producida por variadores de frecuencia.

Variable dependiente: Desempeño de los motores eléctricos trifásicos.

Término de relación: Mejorará.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA.

3.1 Enfoque.

El presente tema de investigación asumió un enfoque cuantitativo, ya que se tomaron datos del variador de frecuencia, a diferentes velocidades se determinó datos de factor de potencia y a la vez se analizó la distorsión armónica.

3.2 Modalidad y Tipo de Investigación.

3.2.1 Modalidad.

La investigación abarcó diferentes modalidades entre las que están la de campo ya que se obtuvo información en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

Además una modalidad bibliográfica ya que se basó en información que se encontró en diferentes libros, revistas, documentos, catálogos, etc, relacionados con el tema de investigación.

Modalidad histórica ya que se basó en investigaciones realizadas por otros autores con anterioridad.

3.2.2 Tipo.

La investigación fue de tipo exploratoria ya que se realizó una indagación previa para obtener un primer conocimiento de la situación del tema de investigación después fue profundizada con bases establecidas.

La investigación fue de tipo descriptiva ya que se dedicó a la descripción de los fenómenos que se encuentran en el tema, y se asentó en las bases de un conocimiento científico.

Explicativa por que se justificó la hipótesis planteada y se dio una solución mediante el planteamiento de una propuesta.

3.3 Población y Muestra.

La Población o Universo sobre la cual se estableció la investigación fue constituida por las diferentes mediciones que se tomaron.

Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó la fórmula cuando no se puede establecer la población:

$$n = \frac{z^2 * \sigma^2}{E^2}$$

n = tamaño de la muestra.

σ^2 = varianza.

z = coeficiente de confianza.

E = límite aceptable de error muestral.

z = 90% (1.645) según tabla.

$$\sigma^2 = p*q = (0.5) (0.5) = (0.5)^2$$

En donde:

p = probabilidad de éxito = 0.5

q = probabilidad de fracaso = 0.5

$$n = \frac{z^2 * \sigma^2}{E^2}$$

E = el error estimado será de un 9%.

$$n = \frac{1.645^2 * 0.5^2}{0.09^2}$$

n = 84 mediciones

La muestra fue de un total de 84 mediciones.

3.4 Operacionalización de variables

3.4.1 Variable independiente.

Tabla 3.1. Distorsión armónica producida por variadores de frecuencia.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
La distorsión armónica son ondas contaminadas, del voltaje o la corriente de un sistema eléctrico que tienen deformaciones con respecto a la forma de onda sinusoidal.	Armónicas	Forma de onda.	¿Cómo se altera la forma de onda al tener armónicos en la red?	Experimental, /Medidor de potencia. Bibliográfica/libros.
		Orden armónico.	¿Cuáles son los armónicos que producen daños o efectos en la red?	Experimental, /Medidor de potencia. Bibliográfica/libros.
		Distorsión armónica.	¿Cómo se reducirá la distorsión armónica?	Experimental, /Medidor de potencia.
El voltaje es una magnitud física, con la cual podemos medir la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.	Voltaje (Voltios).	Deformación de voltaje.	¿Qué efectos trae la deformación de voltaje?	Experimental / Medidor de potencia.
Intensidad es la cantidad de corriente que pasa por un conductor en un determinado tiempo.	Intensidad (Amperios).	Deformación de corriente.	¿Qué efectos trae la deformación de corriente?	Experimental, /Medidor de potencia. Bibliográfica/libros.

Fuente: Darwin Abraham López Ati

3.4.2 Variable dependiente

V.D.: Mejorar el desempeño de los motores eléctricos trifásicos.

Tabla 3.2. Operacionalización de la variable dependiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>Motores eléctricos trifásicos asíncronos.- son máquinas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes.</p> <p>La energía mecánica es la parte de la física que estudia el equilibrio y el movimiento de los cuerpos sometidos a la acción de fuerzas.</p> <p>La energía eléctrica es causada por movimientos de cargas eléctricas.</p>	Eficiencia.	1 Torque.	¿De qué manera varía el torque del motor?	Experimental, /Medidor de potencia. Bibliográfica/libros.
		2 Potencia de entrada.	¿Cuál es la potencia de entrada?	Experimental, /Medidor de potencia. Bibliográfica/libros.
		3 Potencia de salida.	¿En que varía la potencia de salida?	Experimental, /Medidor de potencia. Bibliográfica/libros.
	Velocidad neta.	1 Número de polos.	¿En que afectará el número de polos?	Observación / cuaderno de apuntes
		2 Frecuencia de la red.	¿Qué frecuencia se tiene en la red?	Experimental, /Medidor de potencia. Bibliográfica/libros.
	Desempeño.	Bajo FP. < 0.92	¿Qué produce un bajo factor de potencia?	Experimental, /Medidor de potencia. Bibliográfica/libros.
		Adecuado FP. 0.92		
		Alto FP. > 0.92		

Fuente: Darwin Abraham López Ati

3.5 Plan de recolección de información.

Se empleó la siguiente técnica de recolección de la información:

Observación de laboratorio, estructurada, directa, indirecta e individual, por tratarse de una investigación de carácter técnica. Las herramientas de apoyo utilizadas fueron, catálogos, internet y material bibliográfico referente al tema de investigación.

3.6 Procesamiento y análisis de la información

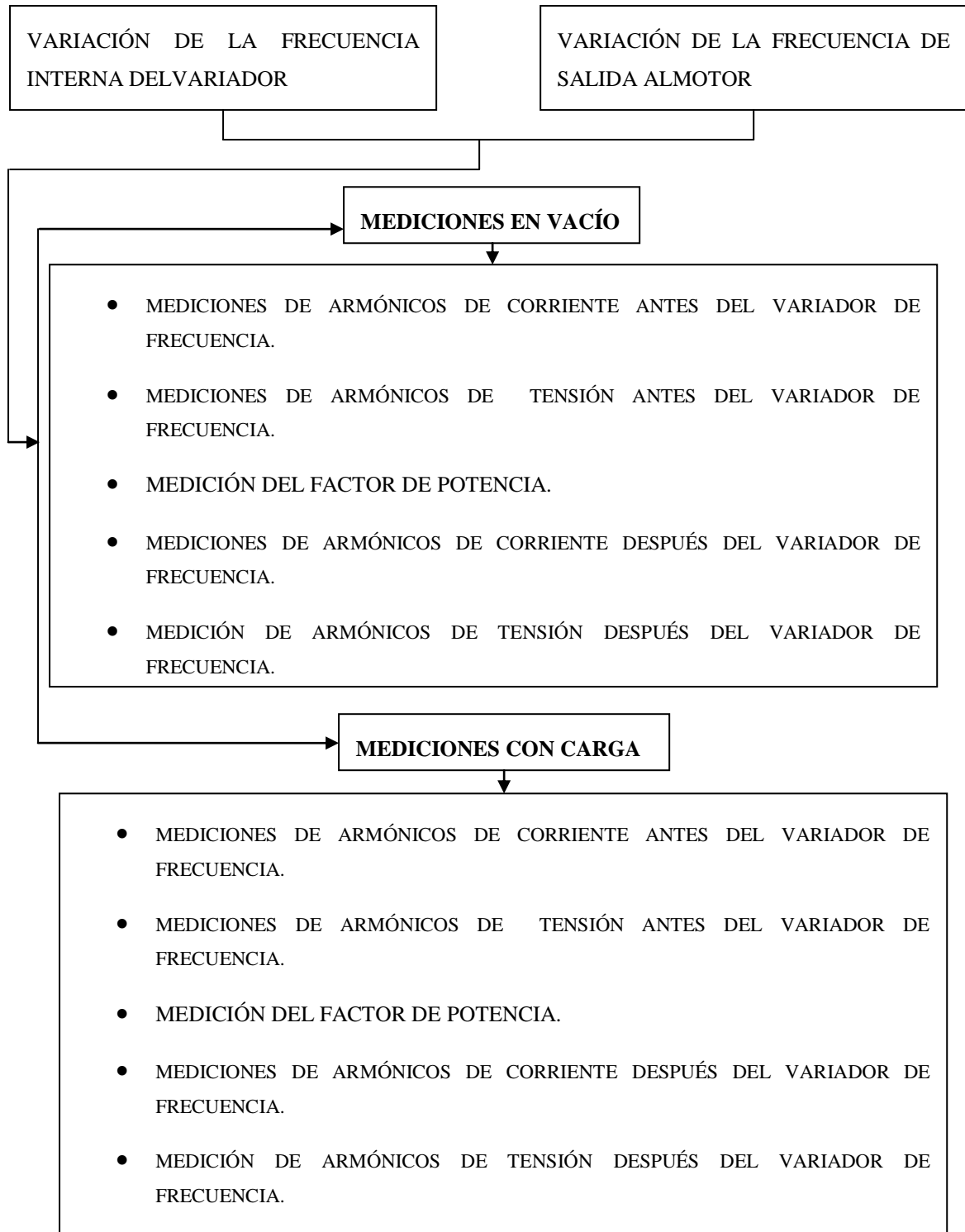
Para el correcto procesamiento de la información se siguieron varios lineamientos entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

- Se revisó críticamente la información recogida es decir, se escogió la información clara, concisa y necesaria.
- Se obtuvo datos de factor de potencia y se visualizó ondas armónicas a diferentes velocidades.
- Se analizó e interpretó los resultados obtenidos en el estudio.
- Se analizó la hipótesis en relación con los resultados obtenidos para verificarla o rechazarla.

CAPITULO IV

ÁNÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el análisis e interpretación de resultados se seguirá el procedimiento siguiente:



Para el análisis de la investigación se llevó a la práctica el siguiente esquema.

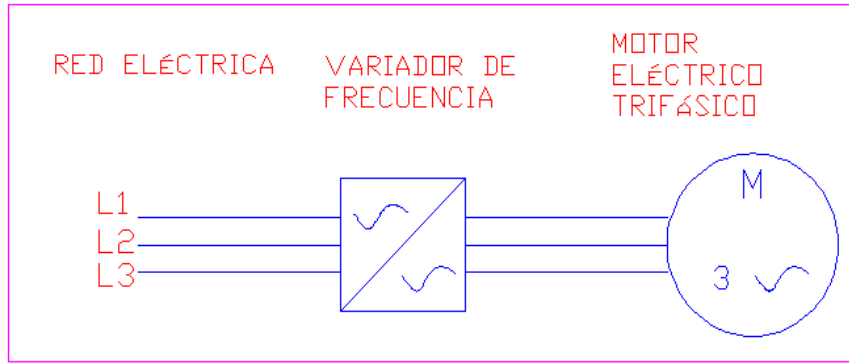


Figura 4.a. Esquema instalación del motor eléctrico trifásico con el variador de frecuencia.

Fuente: Egdo: López A. Darwin A.

Para estabilizar los elementos que se muestran en el esquema se construyó una mesa de trabajo para poder realizar los ensayos, para colocar carga en el motor se utilizó un freno aplicado a la polea del motor como se muestra en la figura 4.b.

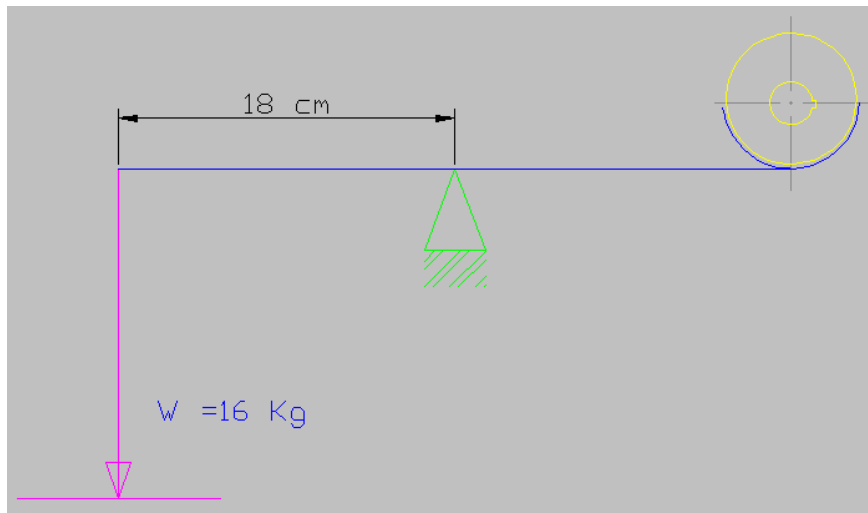


Figura 4.b. Esquema fuerza aplicada a la polea del motor.

Fuente: Egdo: López A. Darwin A.

Para la construcción de este freno se lo hizo con tubo cuadrado de 1" por 2 mm y 36 cm de longitud, se realizó un empotramiento a la mitad de la longitud del tubo.

En él un extremo se colocaron 4 pesos cada uno de 4 Kg, en el otro por medio de soldadura se añadió una platina con forma de semiluna para que sea esa superficie la que roce con la polea del motor eléctrico.

Las especificaciones de la polea se muestran a continuación:

Tabla 4.a. Dimensiones de la polea.

Polea	
Especificaciones: Dimensiones en pulgadas	
Diámetro	3
Espesor	2

Fuente: Egdo: López A Darwin A.

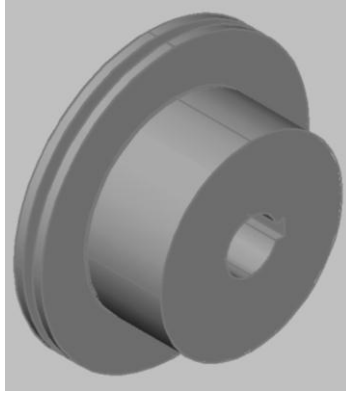
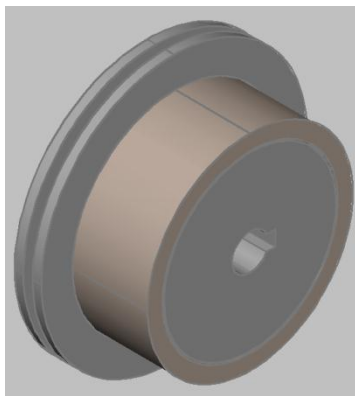


Figura 4.c. Polea de 3".

Fuente: Egdo: López A Darwin A.

Para frenar al motor se realizó un recubrimiento de asbesto en la superficie de la polea.



Se modificó la polea con una capa de asbesto para que pueda resistir la velocidad del motor, no se utilizó caucho ya que la velocidad de rotación de la polea a frecuencias elevadas es alta, este material se calentó llegando a quemarse.

Figura 4.d. Polea con recubrimiento de asbesto.

Fuente: Egdo: López A Darwin A.

En la siguiente fotografía se puede apreciar lo descrito.

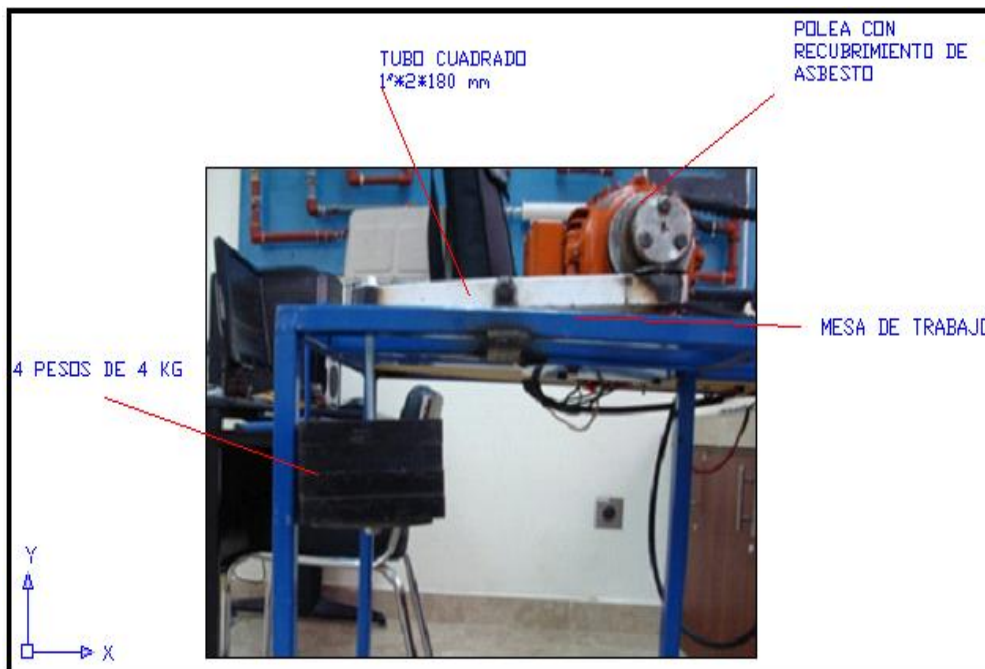


Figura 4.e. Banco de ensayos.

Fuente: Egdo: López A Darwin A.

DESCRIPCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO.

En la tabla 4.b. se da a conocer los datos que se encontró en la placa del motor.

Tabla 4.b. Especificaciones del motor eléctrico trifásico.

Motor Weg		
Potencia	3 HP	90S
Velocidad	3460 rpm	TEFC
Tensión	220/380 V	
FP	0.8	
		B

Fuente: Egdo: López A Darwin A. (Datos tomados de la placa del motor)

Clase B (límite de temperatura, o sea, por la mayor temperatura que el material o el sistema de aislamiento puede soportar continuamente sin que sea afectada su vida útil.)

Límite = 130 °C.

TEFC = no a prueba de explosión, en la parte inferior se acumula la humedad localizada.

90 S Para este tipo de motor se tiene sus dimensiones que se muestra en la tabla 4.c. subrayado de color rojo.

Tabla 4.c. Dimensiones del motor eléctrico trifásico.

IEC NEMA	H D	A 2E	B 2F	C BA	K H	∅ D ∅ U	E N-W
63	63	100	80	40	7	11j6	23
71	72	112	90	45	7	14j6	30
80	80	125	100	50	10	19j6	40
90 S	90	140	100	56	10	24j6	50
143 T	88,9	139,7	101,6	57,15	8,7	22,2	57,15
90 L	90	140	125	56	10	24j6	50
145 T	88,9	139,7	127	57,15	8,7	22,2	57,15
100L	100	160	140	63	12	28j6	60

Fuente: Catálogo WEG, Guía de especificación de motores eléctricos 11/2012.

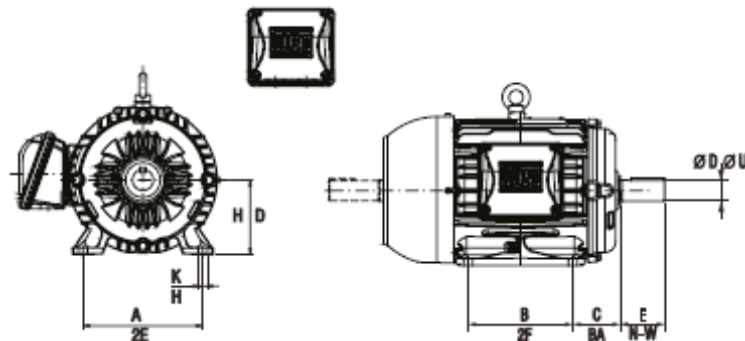


Figura 4.f: Dimensiones del motor eléctrico.

Fuente: Catálogo WEG, Guía de especificación de motores eléctricos 11/2012.

COMPARATIVO DE EFICIENCIA.

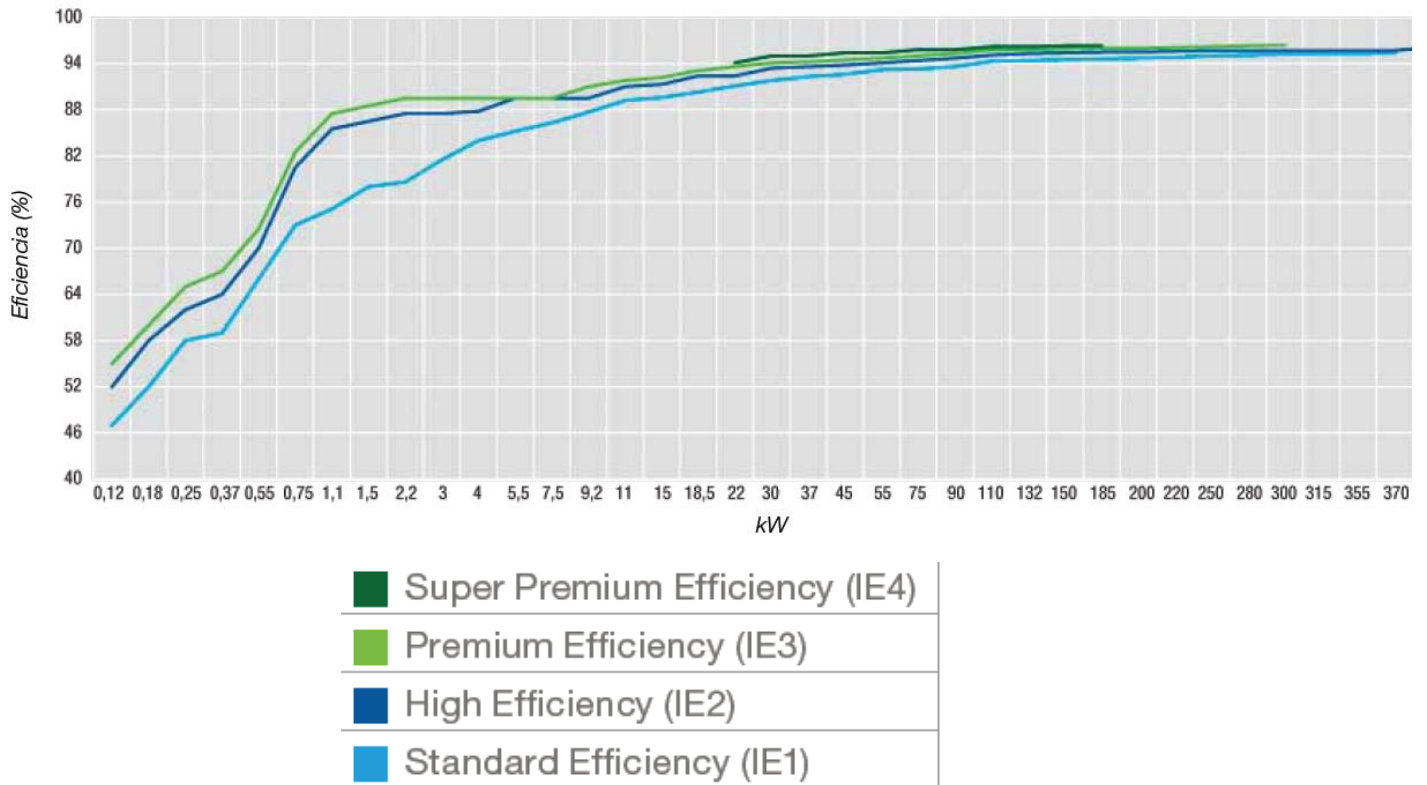


Figura 4.g: Curvas de comportamiento de motores eléctricos trifásicos. .

Fuente: Catálogo WEG, Guía de especificación de motores eléctricos 11/2012.

El motor se lo ha considerado como de eficiencia estándar, se los llaman así por su tiempo de uso (15 años), se ha conseguido por su funcionalidad y precio sin considerar la eficiencia que pueda proporcionar. Se puede observar cuatro curvas de diferentes clases de motores en la figura 4.g.

Los motores de alta eficiencia son perfeccionados en sus procesos constructivos con materiales que disminuyen pérdidas.

VARIADOR DE FRECUENCIA.

Tabla 4.d. Especificaciones del variador de frecuencia.

Inverter Model 3G3XV-□□□□□-E		3-phase	A2001	A2002	A2004	A2007	A2015	A2022	A2037
		Single-phase	AB001	AB002	AB004	AB007	AB015	AB022	AB037
Max. applicable motor output Hp (kW) (see note 1)			0.13 (0.1)	0.25 (0.2)	0.5 (0.4)	1 (0.75)	2 (1.5)	3 (2.2)	5 (3.7)
Output characteristics	Inverter capacity (kVA)		0.3	0.6	1.1	1.9	2.5	4.2	6.7
	Rated output current (A)		0.8	1.5	3	5	6.5	11	17.5
	Max. output voltage	3-phase, 200 to 230 V (proportional to input voltage)							
	Max. output frequency	400 Hz (available with constant setting)							
Power supply	Rated input voltage and frequency	3-phase: 200 to 230 V, 50/60 Hz Single-phase: 200 to 240 V, 50/60 Hz							
	Allowable voltage fluctuation	±10%							
	Allowable frequency fluctuation	±5%							
Control characteristics	Control method	Sine wave PWM							
	Frequency control range	0.1 to 400 Hz							
	Frequency accuracy	Digital command: 0.01% +14° to 104°F, -10° to 40°C Analog command: 0.1% 77°±18°F, 25°±10°C							
	Frequency resolution	Digital Operator reference: 0.1 Hz. Analog reference: 0.06 Hz/60 Hz							
	Output frequency resolution	0.1 Hz							
	Overload capacity	150% rated output current for one minute							
	Frequency setting signal	0 to 10 VDC (20 kΩ), 4-20 mA (250 Ω)							
	Accel/decel time	0.1 to 600 sec (accel/decel time setting independently)							
	Braking torque	Approx. 20% (up to 150% possible with optional braking resistor externally mounted)							
	V/f characteristic	Possible to set any program of V/f pattern							
	Stall prevention level	Effective by current limiting at start and during running.							
Protective functions	Instantaneous overcurrent	Motor coasts to a stop at approx. 200% rated current.							
	Overload	Motor coasts to stop in 60 sec. at 150% rated output current							
	Ground fault	Provided by electronic circuit.							
	Motor overload protection	Electronic thermal overload relay							
	Overvoltage	Motor coasts to stop if main circuit DC voltage exceeds 410 V							
	Undervoltage	Motor coasts to a stop if the main circuit DC voltage of a 3-phase Model drops to 210 V or below and that of a Single-phase Model drops to 170 V or below.							
	Momentary power loss	Immediately stops if 15 ms or more momentary power loss. Resumes operating after a power loss period of approximately 2 s if the input is 1.5 kW or more and approximately 1 s if the input is 0.75 kW or less in a certain mode.							
	Cooling fin overheat	Protected by thermoswitch (only for forced cooling method)							
Power charge indication	CHARGE indicator stays ON until main circuit DC voltage drops below 50 V.								

Fuente: Manual OMROM 3G3XV- INVERTER - E.



ANALIZADOR GRÁFICO

Tabla 4.e. Especificaciones del analizador gráfico PROVA 6200.

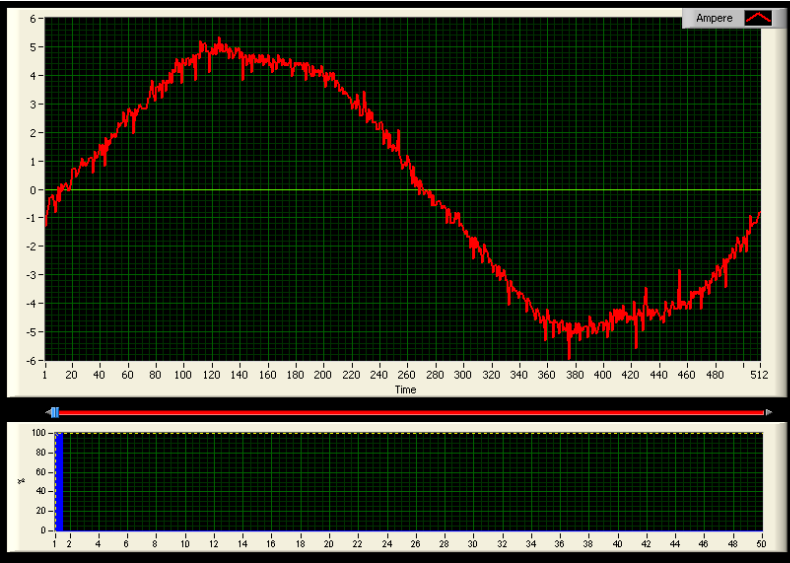
<p>Voltaje hasta 600 V</p> <p>Factor de potencia PF 0 hasta 1.0</p> <p>Forma De Onda Continúa</p> <p>Potencia Activa AC [KW]</p>
<p>Potencia Aparente AC (VA, desde 0.000VA hasta 9999 KVA)</p>
<p>Potencia Reactiva AC (VAR, desde 0.000 VAR hasta 9999 KVAR)</p> <p>Rango (0 hasta 1500A) Resolución Precisión de las lecturas</p> <p>Precisión en porcentaje es la misma ($\pm 2\%$).</p>
<p>Armónicos de la Tensión AC en Porcentaje</p> <p>(1 hasta 50, tensión mínima a 50 o 60 Hz > AC 80V. Si la tensión es 0 a 50 o 60 Hz, todo el porcentaje (%) es 0.)</p> <p>Rango Resolución Precisión</p> <p>1 – 20th 0.1% $\pm 2\%$</p> <p>21 – 50th 0.1% 4% de la lectura $\pm 2.0\%$</p>
<p>Armónicos de la Tensión AC en Magnitud</p> <p>(1 hasta 50, tensión mínima a 50 o 60 Hz > AC 80V)</p> <p>Rango Resolución Precisión</p> <p>1 – 20th 0.1V $\pm 2\% \pm 0.5V$</p> <p>21 – 50th 0.1V 4% de la lectura $\pm 0.5V$</p>
<p>Armónicos de la Corriente AC en Magnitud (1 hasta 50, corriente mínima a 50 o 60 Hz > 20A)</p> <p>Armónicos de corriente AC en porcentaje.</p> <p>(1 hasta 50, corriente mínima a 50 o 60 Hz > 20A)</p>
<p>Distorsión Armónica total THD en porcentaje.</p>

Fuente: Manual Analizador gráfico PROVA 6200.

Tabla 4.f. Formas de onda del motor eléctrico trifásico sin el variador de frecuencia.

 <div style="display: inline-block; text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> </div> 	
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Instrumento: Analizador de Potencia PROVA	
Software: CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer	
Fecha de ejecución: 26/06/2013	Supervisado por: Ing. Susana Valencia
Ensayo N° 1	RESULTADO:

THD de Corriente a 60 Hz de la red eléctrica.



RMS
3,500. A

Peak
5,949. A

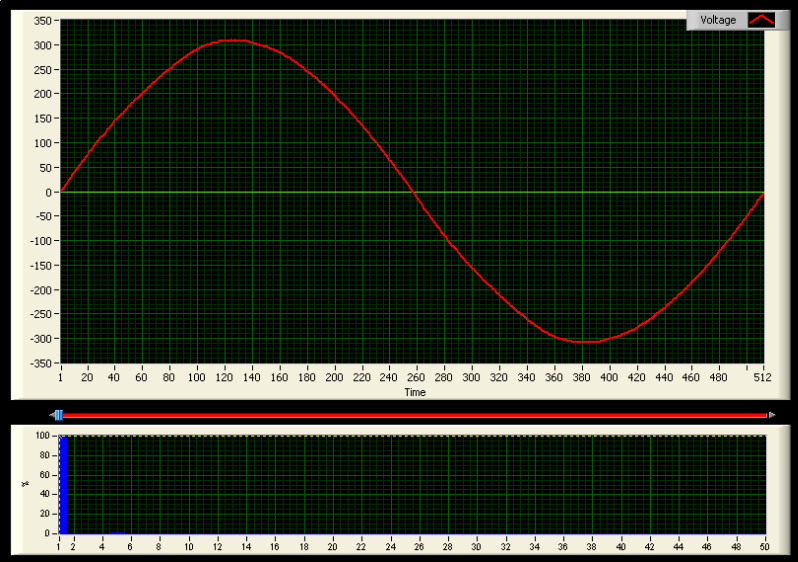
THD
0,0 %

Harmonics
1

Magnitude
3,500. A

Percentage
100,0 %

THD de Tensión a 60 Hz de la red.



RMS
217,2. v

Peak
308,7. v

THD
0,8 %




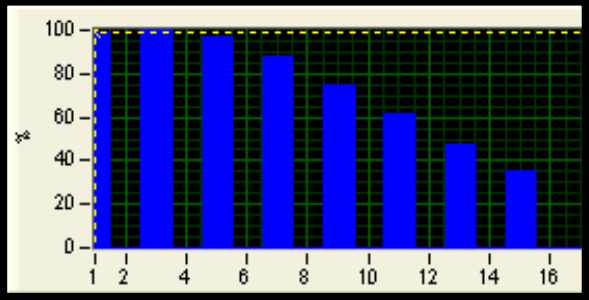
Harmonics
1

Magnitude
217,2. v

Percentage
100,0 %




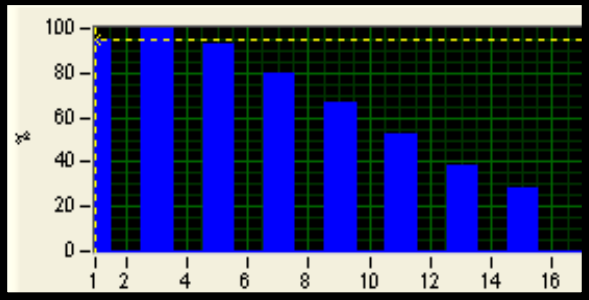
Fuente: Egdo: López A Darwin A.

4.1 Medición Armónicos De Corriente Antes Del Variador De Frecuencia.
Tabla 4.1.1 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																											
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:				Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																									
Instrumento:				Analizador de Potencia PROVA																									
Software:				CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																									
Fecha de ejecución:		26/06/2013		Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																							
Frecuencia interna del variador: 15KHz				Frecuencia de salida al motor: 60Hz																									
Ensayo N° 1				RESULTADO:																									
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
3.3 A	13.78 A	188.6 %	1	1.511 A	99.0%																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.527</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.481</td> <td>97</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.342</td> <td>87.9</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.141</td> <td>74.8</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.944</td> <td>61.8</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.727</td> <td>47.6</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.546</td> <td>35.8</td> </tr> </tbody> </table>		Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.527	100	5	1.481	97	7	1.342	87.9	9	1.141	74.8	11	0.944	61.8	13	0.727	47.6	15	0.546	35.8	
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.527	100																											
5	1.481	97																											
7	1.342	87.9																											
9	1.141	74.8																											
11	0.944	61.8																											
13	0.727	47.6																											
15	0.546	35.8																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$			$Cd = \frac{\sqrt{1.527^2 + 1.481^2 + 1.342^2 + 1.141^2 + 0.944^2 + 0.727^2 + 0.546^2}}{3.3} * 100\%$																										
			$Cd = 92.64\%$																										




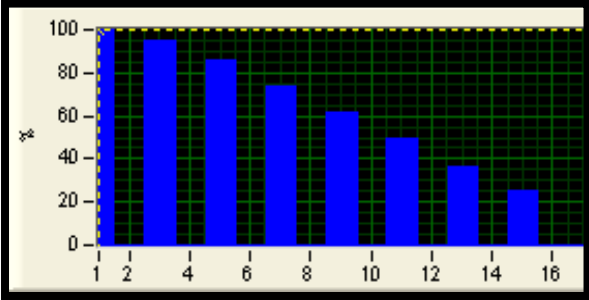
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.2 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 15KHz - 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 15KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz																										
Ensayo N° 2			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
3.9 A	15.80 A	180.8 %	1	1.874 A	95.4 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>1.965</td><td>100</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.817</td><td>92.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.569</td><td>79.8</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.301</td><td>66.2</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.022</td><td>52</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.745</td><td>37.9</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.546</td><td>27.8</td></tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.965	100	5	1.817	92.5	7	1.569	79.8	9	1.301	66.2	11	1.022	52	13	0.745	37.9	15	0.546	27.8
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.965	100																											
5	1.817	92.5																											
7	1.569	79.8																											
9	1.301	66.2																											
11	1.022	52																											
13	0.745	37.9																											
15	0.546	27.8																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.965^2 + 1.817^2 + 1.569^2 + 1.301^2 + 1.022^2 + 0.745^2 + 0.546^2}}{3.9} * 100\%$																											
		$Cd = 93.21\%$																											

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.3 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 15KHz - 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 15KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz																										
Ensayo N° 3			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
4.6 A	19.25 A	161.8 %	1	2.338 A	100.0 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>2.231</td> <td>95.4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2.007</td> <td>85.9</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.724</td> <td>73.8</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.452</td> <td>62.1</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>1.151</td> <td>49.3</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.844</td> <td>36.1</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.592</td> <td>25.3</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	2.231	95.4	5	2.007	85.9	7	1.724	73.8	9	1.452	62.1	11	1.151	49.3	13	0.844	36.1	15	0.592	25.3
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	2.231	95.4																											
5	2.007	85.9																											
7	1.724	73.8																											
9	1.452	62.1																											
11	1.151	49.3																											
13	0.844	36.1																											
15	0.592	25.3																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{2.231^2 + 2.007^2 + 1.724^2 + 1.452^2 + 1.151^2 + 0.844^2 + 0.592^2}}{4.6} * 100\%$ <p>$Cd = 88.23\%$</p>																											

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.4 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 15KHz - 40 Hz.

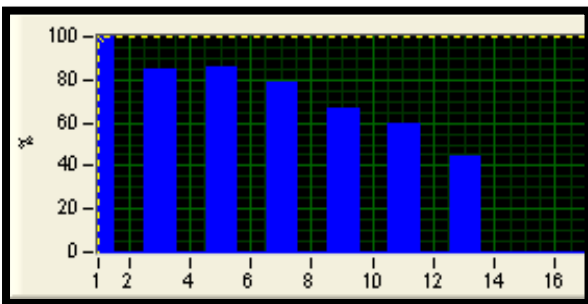


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:	26/06/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia		
Frecuencia interna del variador: 15 KHz		Frecuencia de salida al motor: 40Hz			
Ensayo N° 1		RESULTADO:			
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
2.7 A	11.61 A	163.5 %	1	1.388 A	100.0 %



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.176	84.7
5	1.191	85.8
7	1.099	79.2
9	0.929	66.9
11	0.822	59.2
13	0.619	44.6
15	x	x

$$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$$

$$Cd = \frac{\sqrt{1.176^2 + 1.191^2 + 1.099^2 + 0.929^2 + 0.822^2 + 0.619^2}}{2.7} * 100\%$$

$Cd = 90.2\%$

Fuente: Egdo. López Darwin.

Tabla 4.1.5 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 15KHz - 40 Hz.

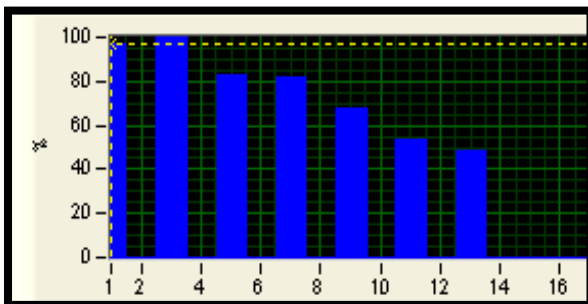


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:	26/06/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia		
Frecuencia interna del variador: 15 KHz		Frecuencia de salida al motor: 40Hz			
Ensayo N° 2		RESULTADO:			
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
2.8 A	12.24 A	175.8 %	1	1.363 A	97.0 %



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.404	100
5	1.163	82.8
7	1.156	82.3
9	0.955	68
11	0.748	53.3
13	0.688	49
15	x	x




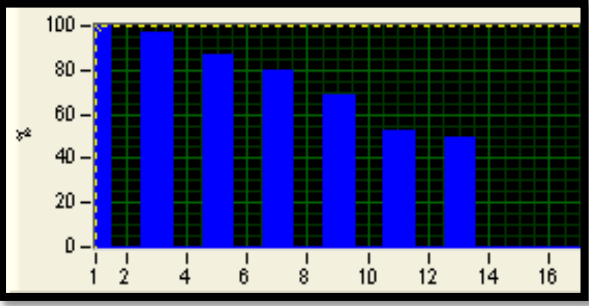
$$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$$

$$Cd = \frac{\sqrt{1.404^2 + 1.163^2 + 1.156^2 + 0.955^2 + 0.748^2 + 0.688^2}}{2.8} * 100\%$$

$$Cd = 91.79\%$$




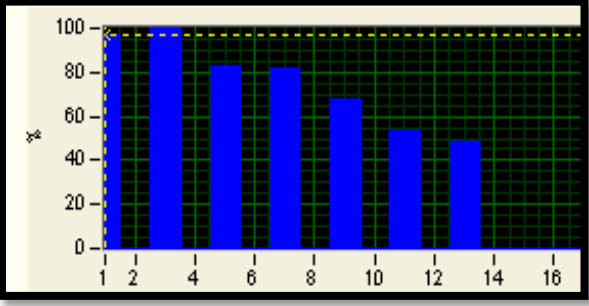
Fuente: Egdo. López Darwin.

Tabla 4.1.6 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 15KHz - 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 15 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz																										
Ensayo N° 3			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
2.9 A	12.57 A	170.1 %	1	1.444 A	100.0 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.400</td> <td>97</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.253</td> <td>86.8</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.148</td> <td>79.5</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.999</td> <td>69.2</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.766</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.714</td> <td>49.4</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.400	97	5	1.253	86.8	7	1.148	79.5	9	0.999	69.2	11	0.766	53	13	0.714	49.4	15	x	x
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.400	97																											
5	1.253	86.8																											
7	1.148	79.5																											
9	0.999	69.2																											
11	0.766	53																											
13	0.714	49.4																											
15	x	x																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.400^2 + 1.253^2 + 1.148^2 + 0.999^2 + 0.766^2 + 0.714^2}}{2.9} * 100\%$ $Cd = 90.86\%$																											




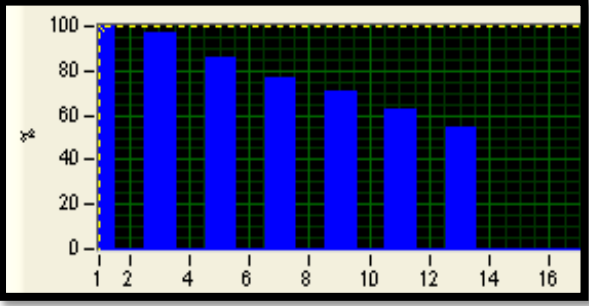
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.7 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 15KHz - 20 Hz

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																												
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																												
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																									
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																									
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																									
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																							
Frecuencia interna del variador: 15 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz																									
Ensayo N° 1			RESULTADO:																									
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																							
2.0 A	10.0 A	172.2 %	1	1.019 A	97.0 %																							
																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.404</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.163</td> <td>82.8</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.156</td> <td>82.3</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.955</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.748</td> <td>53.3</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.688</td> <td>49</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.404	100	5	1.163	82.8	7	1.156	82.3	9	0.955	68	11	0.748	53.3	13	0.688	49	15	x	x	
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																										
3	1.404	100																										
5	1.163	82.8																										
7	1.156	82.3																										
9	0.955	68																										
11	0.748	53.3																										
13	0.688	49																										
15	x	x																										
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.404^2 + 1.163^2 + 1.156^2 + 0.955^2 + 0.748^2 + 0.688^2}}{2.8} * 100\%$ $Cd = 91.79\%$																										



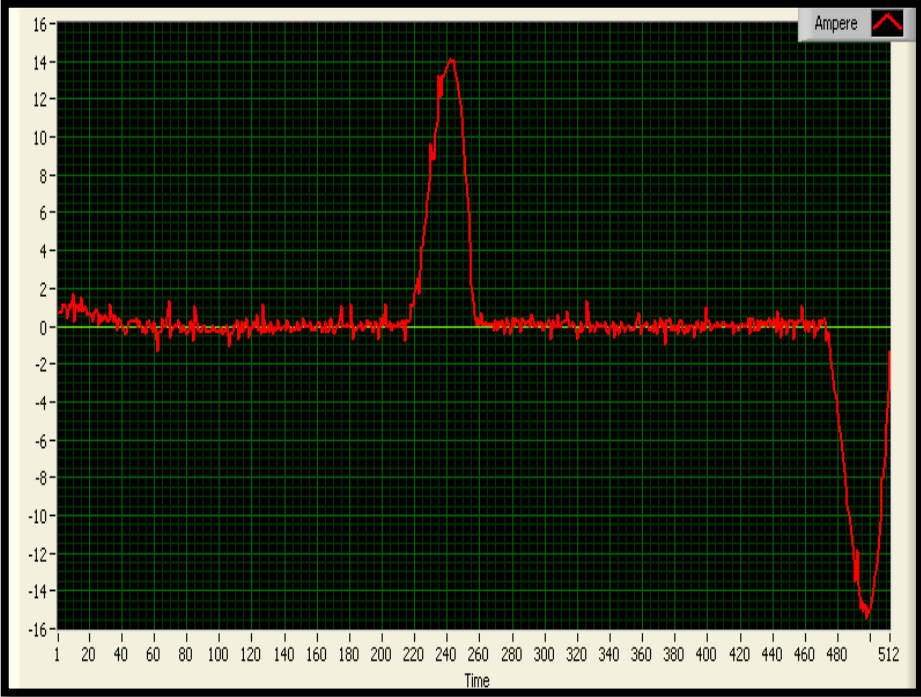
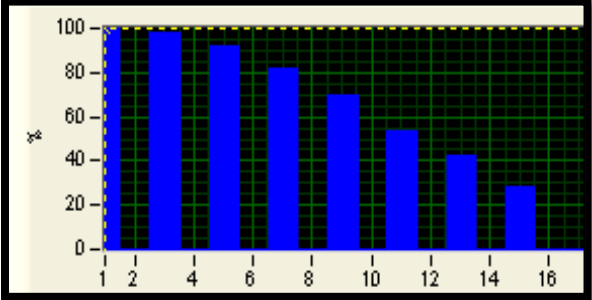
Fuente: Egdo. López Darwin.

Tabla 4.1.8 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 15KHz - 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																											
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																											
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																								
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																								
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																								
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																						
Frecuencia interna del variador: 15 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz																								
Ensayo N° 2			RESULTADO:																								
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																						
2.1 A	9.952 A	173.3 %	1	1.022 A	100.0 %																						
																											
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0.986</td> <td>96.5</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.878</td> <td>85.9</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.789</td> <td>77.2</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.724</td> <td>70.8</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.640</td> <td>62.6</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.56</td> <td>54.7</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	0.986	96.5	5	0.878	85.9	7	0.789	77.2	9	0.724	70.8	11	0.640	62.6	13	0.56	54.7	15	x	x
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																									
3	0.986	96.5																									
5	0.878	85.9																									
7	0.789	77.2																									
9	0.724	70.8																									
11	0.640	62.6																									
13	0.56	54.7																									
15	x	x																									
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{0.986^2 + 0.878^2 + 0.789^2 + 0.724^2 + 0.640^2 + 0.56^2}}{2.1} * 100\%$																									
		$Cd = 90.51\%$																									




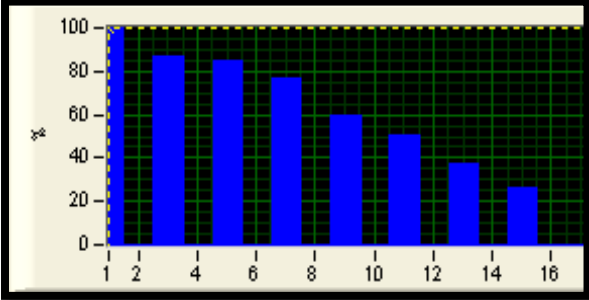
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.9 Medición armónicas de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 10KHz - 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz																										
Ensayo N° 1			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
3.9 A	15.48 A	174.6 %	1	1.913 A	100%																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>1.866</td><td>97.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.765</td><td>92.3</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.572</td><td>82.2</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.331</td><td>69.6</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.025</td><td>53.6</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.804</td><td>42</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.548</td><td>28.7</td></tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.866	97.5	5	1.765	92.3	7	1.572	82.2	9	1.331	69.6	11	1.025	53.6	13	0.804	42	15	0.548	28.7		
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.866	97.5																											
5	1.765	92.3																											
7	1.572	82.2																											
9	1.331	69.6																											
11	1.025	53.6																											
13	0.804	42																											
15	0.548	28.7																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.866^2 + 1.765^2 + 1.572^2 + 1.331^2 + 1.025^2 + 0.804^2 + 0.548^2}}{3.9} * 100\%$																											
		$Cd = 91.87\%$																											




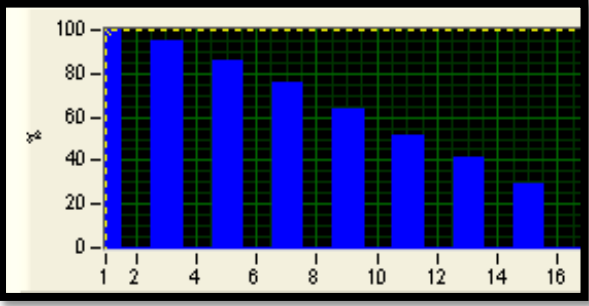
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.10 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 10KHz - 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz																										
Ensayo N° 2			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
4.1 A	16.17 A	157.9 %	1	2.178 A	100%																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.884</td> <td>86.5</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.846</td> <td>84.8</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.666</td> <td>76.5</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.307</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>1.093</td> <td>50.2</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.804</td> <td>36.9</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.570</td> <td>26.2</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.884	86.5	5	1.846	84.8	7	1.666	76.5	9	1.307	60	11	1.093	50.2	13	0.804	36.9	15	0.570	26.2
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.884	86.5																											
5	1.846	84.8																											
7	1.666	76.5																											
9	1.307	60																											
11	1.093	50.2																											
13	0.804	36.9																											
15	0.570	26.2																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.884^2 + 1.846^2 + 1.666^2 + 1.307^2 + 1.093^2 + 0.804^2 + 0.570^2}}{4.1} * 100\%$																											
		$Cd = 89.97\%$																											



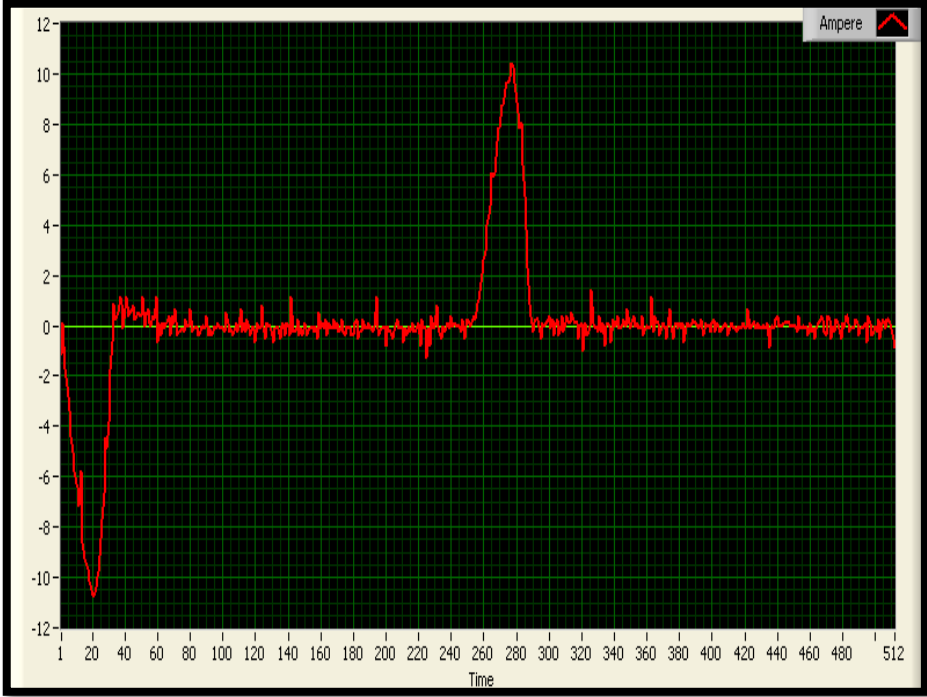
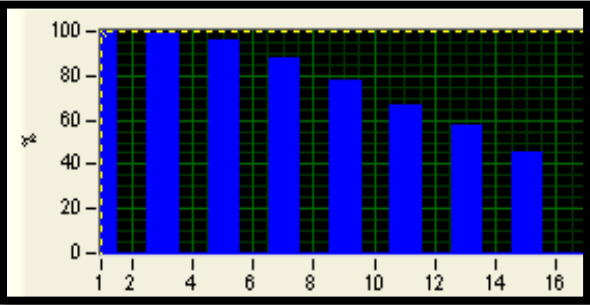
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.11 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 10KHz-60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																												
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																												
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																									
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																									
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																									
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																							
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz																									
Ensayo N° 3			RESULTADO:																									
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																							
4.4 A	18.15 A	165.6 %	1	2.236 A	100 %																							
																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>2.125</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.928</td> <td>86.3</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.702</td> <td>76.1</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.429</td> <td>63.9</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>1.153</td> <td>51.6</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.915</td> <td>40.9</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.663</td> <td>29.6</td> </tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	2.125	95	5	1.928	86.3	7	1.702	76.1	9	1.429	63.9	11	1.153	51.6	13	0.915	40.9	15	0.663	29.6	
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																										
3	2.125	95																										
5	1.928	86.3																										
7	1.702	76.1																										
9	1.429	63.9																										
11	1.153	51.6																										
13	0.915	40.9																										
15	0.663	29.6																										
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{2.125^2 + 1.928^2 + 1.702^2 + 1.429^2 + 1.153^2 + 0.915^2 + 0.663^2}}{4.4} * 100\%$																										
		$Cd = 90.28 \%$																										

Fuente: Egdo. López A. Darwin A..

Tabla 4.1.12 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 10KHz - 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz																										
Ensayo N° 1			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
2.5 A	10.78 A	192.1 %	1	1.135 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.119</td> <td>98.6</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.085</td> <td>95.6</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.999</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.886</td> <td>78</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.758</td> <td>66.8</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.651</td> <td>57.3</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.516</td> <td>45.5</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.119	98.6	5	1.085	95.6	7	0.999	88	9	0.886	78	11	0.758	66.8	13	0.651	57.3	15	0.516	45.5
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.119	98.6																											
5	1.085	95.6																											
7	0.999	88																											
9	0.886	78																											
11	0.758	66.8																											
13	0.651	57.3																											
15	0.516	45.5																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.119^2 + 1.085^2 + 0.999^2 + 0.886^2 + 0.758^2 + 0.651^2 + 0.516^2}}{2.5} * 100\%$ <p>$Cd = 93.61\%$</p>																											

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.13 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 10KHz - 40 Hz.

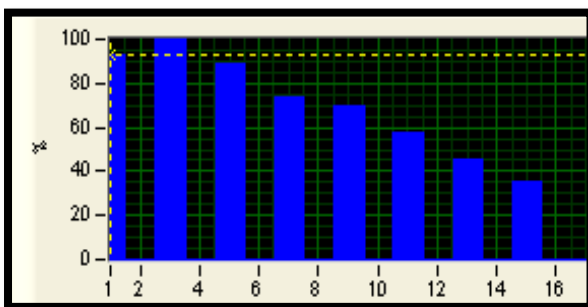


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:	26/06/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia		
Frecuencia interna del variador: 10 KHz		Frecuencia de salida al motor: 40Hz			
Ensayo N° 2		RESULTADO:			
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
2.8 A	11.88 A	187.8 %	1	1.305 A	92.6 %



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.409	100
5	1.256	89.1
7	1.040	73.8
9	0.983	69.8
11	0.806	57.2
13	0.635	45
15	0.500	35.5




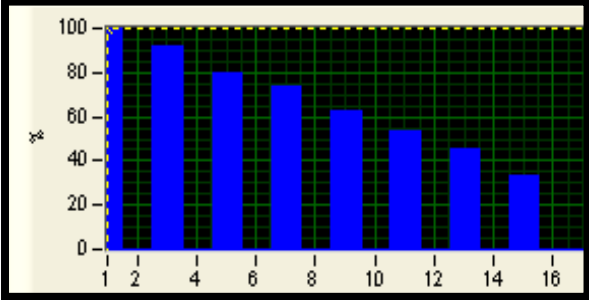
$$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$$

$$Cd = \frac{\sqrt{1.409^2 + 1.256^2 + 1.040^2 + 0.983^2 + 0.806^2 + 0.635^2 + 0.500^2}}{2.8} * 100\%$$

$Cd = 93.9\%$



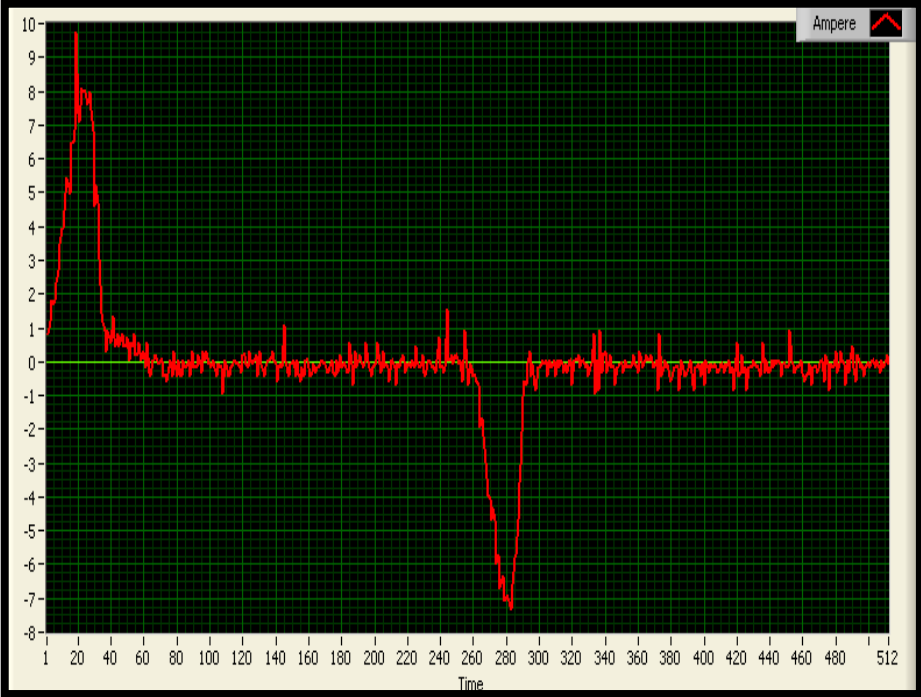
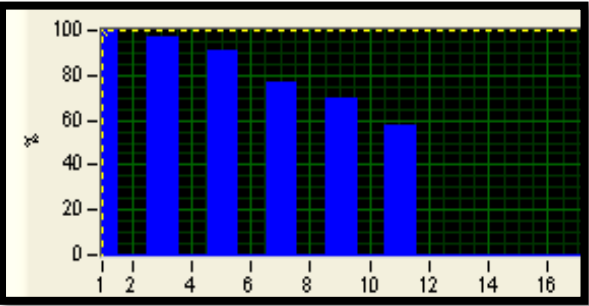
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.14 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 10KHz - 40 Hz.

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz																										
Ensayo N° 3			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
3.0 A	11.94 A	162.1 %	1	1.549 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.429</td> <td>92.2</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.239</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.135</td> <td>73.3</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.972</td> <td>62.7</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.822</td> <td>53.1</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.709</td> <td>45.7</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.520</td> <td>33.6</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.429	92.2	5	1.239	80	7	1.135	73.3	9	0.972	62.7	11	0.822	53.1	13	0.709	45.7	15	0.520	33.6
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.429	92.2																											
5	1.239	80																											
7	1.135	73.3																											
9	0.972	62.7																											
11	0.822	53.1																											
13	0.709	45.7																											
15	0.520	33.6																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.429^2 + 1.239^2 + 1.135^2 + 0.972^2 + 0.822^2 + 0.709^2 + 0.520^2}}{3.0} * 100\%$ <p>$Cd = 89.80\%$</p>																											




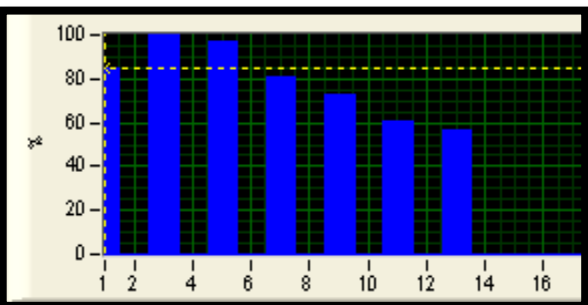
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.15 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 10KHz - 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz																										
Ensayo N° 1			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
1.9 A	9.725 A	166.1 %	1	0.957 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0.926</td> <td>96.8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.869</td> <td>90.7</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.739</td> <td>77.2</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.672</td> <td>70.2</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.548</td> <td>57.2</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	0.926	96.8	5	0.869	90.7	7	0.739	77.2	9	0.672	70.2	11	0.548	57.2	13	x	x	15	x	x		
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	0.926	96.8																											
5	0.869	90.7																											
7	0.739	77.2																											
9	0.672	70.2																											
11	0.548	57.2																											
13	x	x																											
15	x	x																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{0.926^2 + 0.869^2 + 0.739^2 + 0.672^2 + 0.548^2}}{3.0} * 100\%$ $Cd = 56.76\%$																											




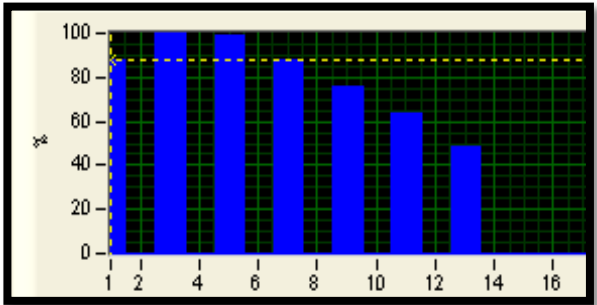
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.16 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 10KHz - 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz																										
Ensayo N° 2			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
2.0 A	8.792 A	214.5 %	1	0.808 A	84.9 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0.952</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.919</td> <td>96.6</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.771</td> <td>81.1</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.696</td> <td>73.1</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.577</td> <td>60.7</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.538</td> <td>56.6</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>X</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	0.952	100	5	0.919	96.6	7	0.771	81.1	9	0.696	73.1	11	0.577	60.7	13	0.538	56.6	15	X	x
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	0.952	100																											
5	0.919	96.6																											
7	0.771	81.1																											
9	0.696	73.1																											
11	0.577	60.7																											
13	0.538	56.6																											
15	X	x																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{0.952^2 + 0.919^2 + 0.771^2 + 0.696^2 + 0.577^2 + 0.538^2}}{2.0} * 100\%$ <p>$Cd = 92.9\%$</p>																											

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.17 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 10KHz - 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz																										
Ensayo N° 3			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
2.3 A	9.757 A	211.1 %	1	0.948 A	87.9 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.078</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.068</td> <td>99.1</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.947</td> <td>87.8</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.814</td> <td>75.5</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.688</td> <td>63.8</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.520</td> <td>48.2</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.078	100	5	1.068	99.1	7	0.947	87.8	9	0.814	75.5	11	0.688	63.8	13	0.520	48.2	15	x	x
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.078	100																											
5	1.068	99.1																											
7	0.947	87.8																											
9	0.814	75.5																											
11	0.688	63.8																											
13	0.520	48.2																											
15	x	x																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.078^2 + 1.068^2 + 0.947^2 + 0.814^2 + 0.688^2 + 0.520^2}}{2.3} * 100\%$ $Cd = 93.31\%$																											

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.18 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 7.5 KHz - 60 Hz.

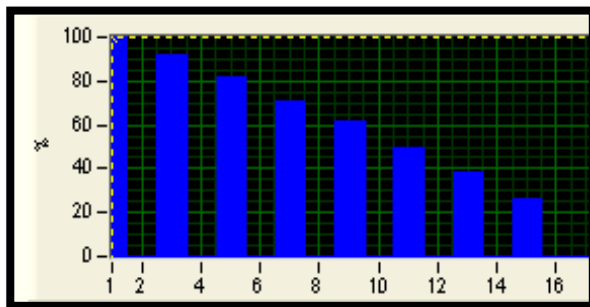
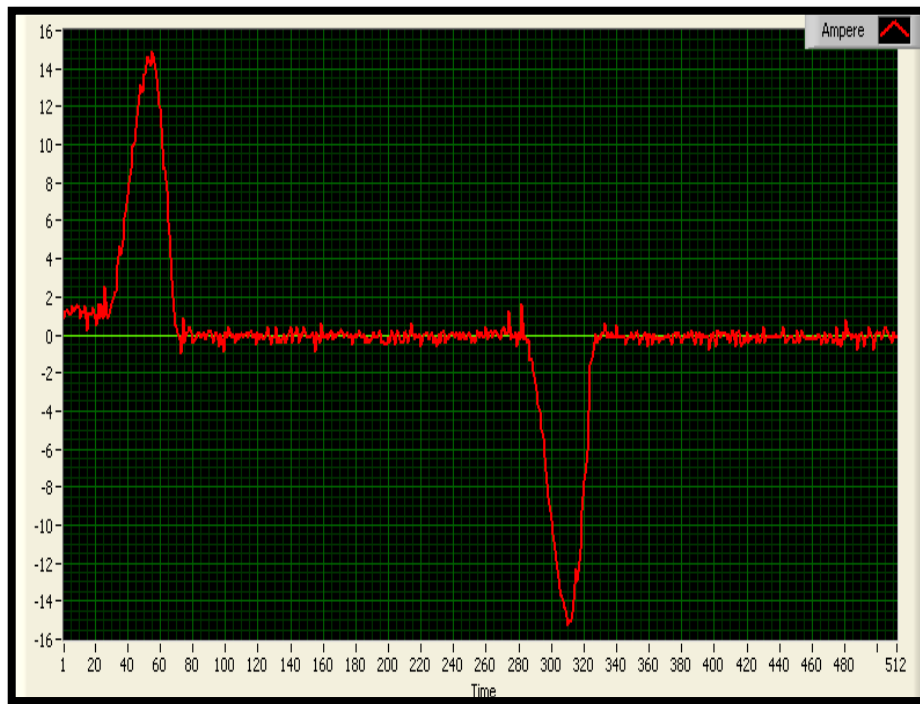


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz		Frecuencia de salida al motor: 60Hz			
Ensayo N° 1		RESULTADO:			
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
3.9 A	15.23 A	157.6 %	1	2.059 A	100 %



Orden armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.902	92.4
5	1.688	82
7	1.455	70.6
9	1.259	61.2
11	1.022	49.6
13	0.792	38.5
15	0.540	26.2




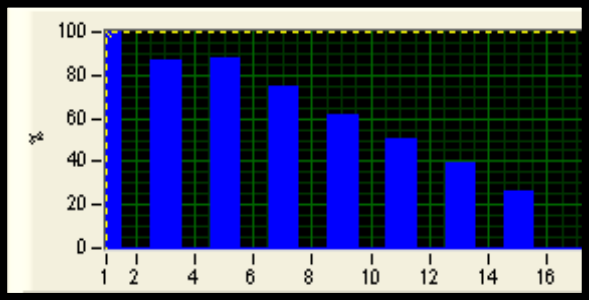
$$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$$

$$Cd = \frac{\sqrt{1.902^2 + 1.688^2 + 1.455^2 + 1.259^2 + 1.022^2 + 0.792^2 + 0.540^2}}{3.9} * 100\%$$

$Cd = 89.31\%$



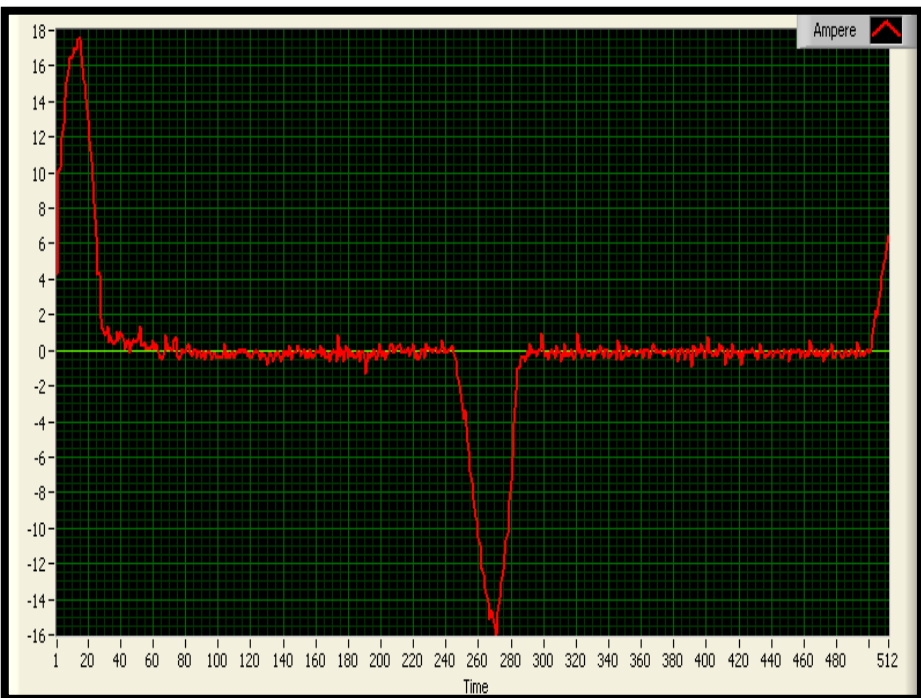
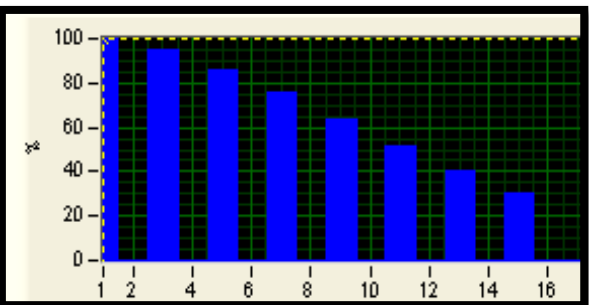
Fuente: Egdo. López A Darwin A.

Tabla 4.1.19 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 7.5 KHz - 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz																										
Ensayo N° 2			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
4.0 A	16.66 A	159.9 %	1	2.091 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>1.821</td><td>87.1</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.831</td><td>87.6</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.56</td><td>74.6</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.298</td><td>62.1</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.052</td><td>50.3</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.818</td><td>39.1</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.559</td><td>26.7</td></tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.821	87.1	5	1.831	87.6	7	1.56	74.6	9	1.298	62.1	11	1.052	50.3	13	0.818	39.1	15	0.559	26.7
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.821	87.1																											
5	1.831	87.6																											
7	1.56	74.6																											
9	1.298	62.1																											
11	1.052	50.3																											
13	0.818	39.1																											
15	0.559	26.7																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.821^2 + 1.831^2 + 1.56^2 + 1.298^2 + 1.052^2 + 0.818^2 + 0.559^2}}{4.0} * 100\%$																											
		$Cd = 89.71\%$																											



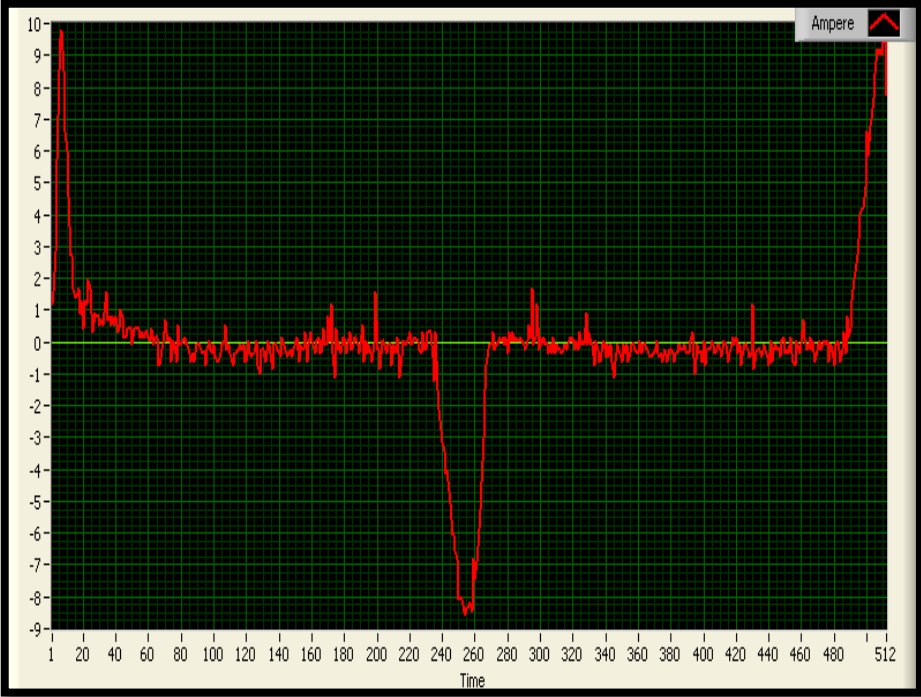
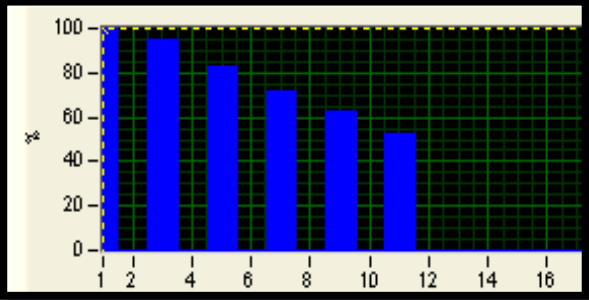
Fuente: Egdo. López A Darwin A.

Tabla 4.1.20 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 7.5 KHz - 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz																										
Ensayo N° 3			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
4.2 A	17.52 A	165.1 %	1	2.156 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>2.049</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.849</td> <td>85.8</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.637</td> <td>75.9</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.376</td> <td>63.8</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>1.109</td> <td>51.5</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.869</td> <td>40.3</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.646</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	2.049	95	5	1.849	85.8	7	1.637	75.9	9	1.376	63.8	11	1.109	51.5	13	0.869	40.3	15	0.646	30
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	2.049	95																											
5	1.849	85.8																											
7	1.637	75.9																											
9	1.376	63.8																											
11	1.109	51.5																											
13	0.869	40.3																											
15	0.646	30																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{2.049^2 + 1.849^2 + 1.637^2 + 1.376^2 + 1.109^2 + 0.869^2 + 0.646^2}}{4.2} * 100\%$ $Cd = 90.95\%$																											



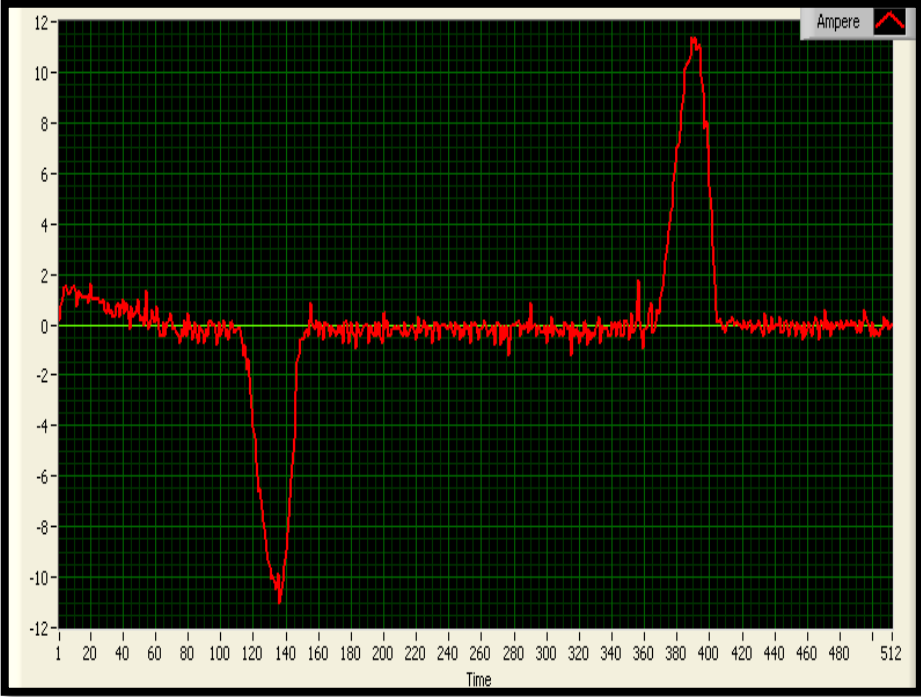
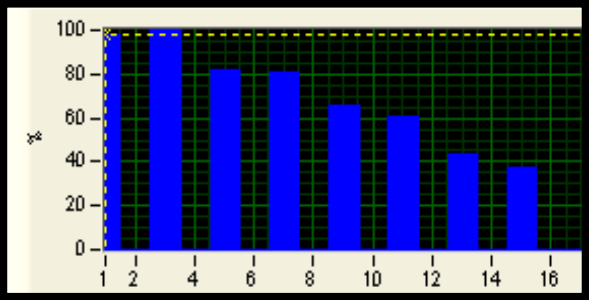
Fuente: Egdo. López A Darwin A.

Tabla 4.1.21 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 7.5 KHz - 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz																										
Ensayo N° 1			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
2.3 A	9.787 A	154.9 %	1	1.182 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.117</td> <td>94.5</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.98</td> <td>82.9</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.846</td> <td>71.6</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.745</td> <td>63.1</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.616</td> <td>52.1</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.117	94.5	5	0.98	82.9	7	0.846	71.6	9	0.745	63.1	11	0.616	52.1	13	x	x	15	x	x
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.117	94.5																											
5	0.98	82.9																											
7	0.846	71.6																											
9	0.745	63.1																											
11	0.616	52.1																											
13	x	x																											
15	x	x																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.117^2 + 0.98^2 + 0.846^2 + 0.745^2 + 0.616^2}}{2.3} * 100\%$ $Cd = 85.40 \%$																											



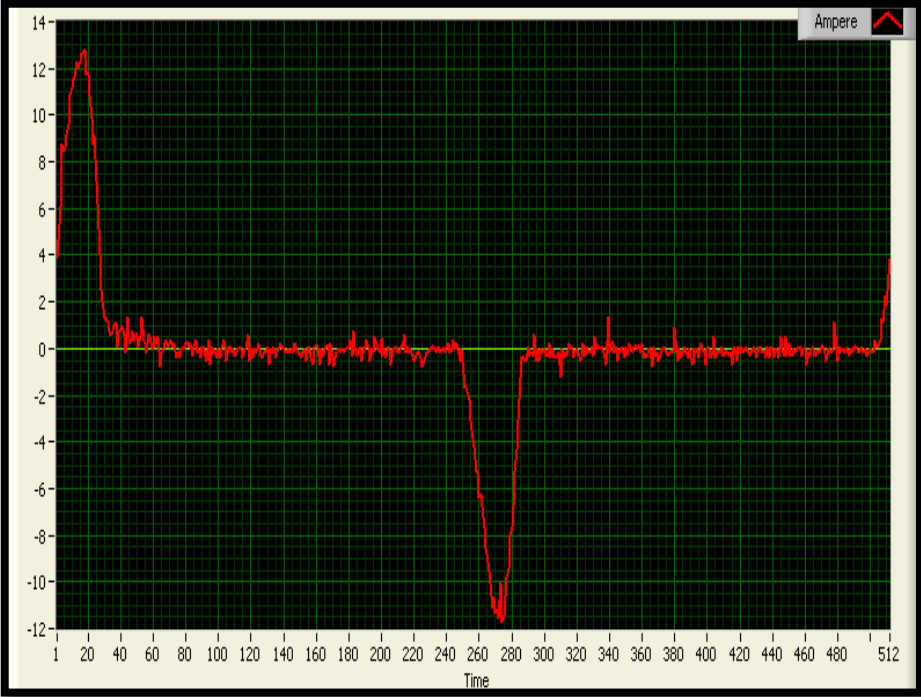
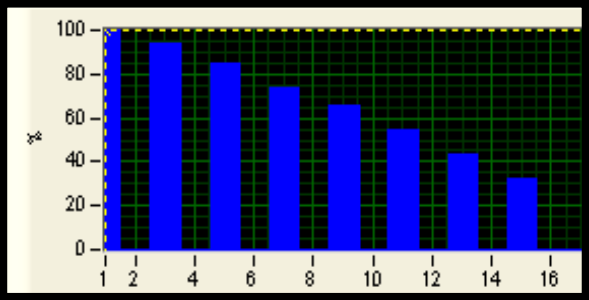
Fuente: Egdo. López A Darwin A.

Tabla 4.1.22 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 7.5 KHz - 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz																										
Ensayo N° 2			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
2.8 A	11.40 A	177.2 %	1	1.349 A	97.5 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.384</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.128</td> <td>81.5</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.113</td> <td>80.4</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.906</td> <td>65.5</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.838</td> <td>60.6</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.603</td> <td>43.5</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.517</td> <td>37.4</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.384	100	5	1.128	81.5	7	1.113	80.4	9	0.906	65.5	11	0.838	60.6	13	0.603	43.5	15	0.517	37.4
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.384	100																											
5	1.128	81.5																											
7	1.113	80.4																											
9	0.906	65.5																											
11	0.838	60.6																											
13	0.603	43.5																											
15	0.517	37.4																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.384^2 + 1.128^2 + 1.113^2 + 0.906^2 + 0.838^2 + 0.603^2 + 0.517^2}}{2.8} * 100\%$ <p>$Cd = 91.61 \%$</p>																											




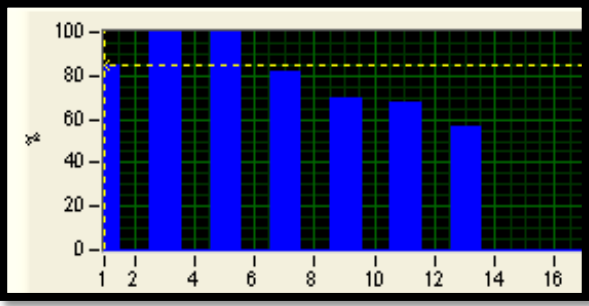
Fuente: Egdo. López A Darwin A.

Tabla 4.1.23 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 7.5 KHz - 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																												
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																												
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																									
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																									
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																									
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																							
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz																									
Ensayo N° 3			RESULTADO:																									
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																							
3.1 A	12.77 A	166.2 %	1	1.582 A	100 %																							
																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.494</td> <td>94.4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.344</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.166</td> <td>73.7</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.032</td> <td>65.2</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.87</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.686</td> <td>43.4</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.518</td> <td>32.7</td> </tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.494	94.4	5	1.344	85	7	1.166	73.7	9	1.032	65.2	11	0.87	55	13	0.686	43.4	15	0.518	32.7	
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																										
3	1.494	94.4																										
5	1.344	85																										
7	1.166	73.7																										
9	1.032	65.2																										
11	0.87	55																										
13	0.686	43.4																										
15	0.518	32.7																										
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.494^2 + 1.344^2 + 1.166^2 + 1.032^2 + 0.87^2 + 0.686^2 + 0.518^2}}{3.1} * 100\%$																										
		$Cd = 90.35 \%$																										




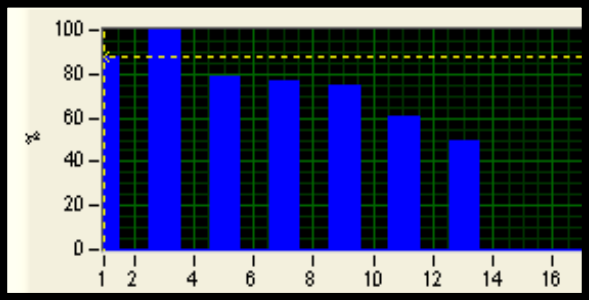
Fuente: Egdo. López A Darwin A.

Tabla 4.1.24 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 7.5 KHz - 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																											
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																											
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																								
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																								
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																								
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																						
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz																								
Ensayo N° 1			RESULTADO:																								
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																						
1.9 A	8.479 A	217.6 %	1	0.792 A	84.8 %																						
																											
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0.934</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.931</td> <td>99.6</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.76</td> <td>81.4</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.653</td> <td>69.9</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.633</td> <td>67.8</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.524</td> <td>56.1</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	0.934	100	5	0.931	99.6	7	0.76	81.4	9	0.653	69.9	11	0.633	67.8	13	0.524	56.1	15	x	x
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																									
3	0.934	100																									
5	0.931	99.6																									
7	0.76	81.4																									
9	0.653	69.9																									
11	0.633	67.8																									
13	0.524	56.1																									
15	x	x																									
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{0.934^2 + 0.931^2 + 0.76^2 + 0.653^2 + 0.633^2 + 0.524^2}}{1.9} * 100\%$ $Cd = 97.31\%$																									



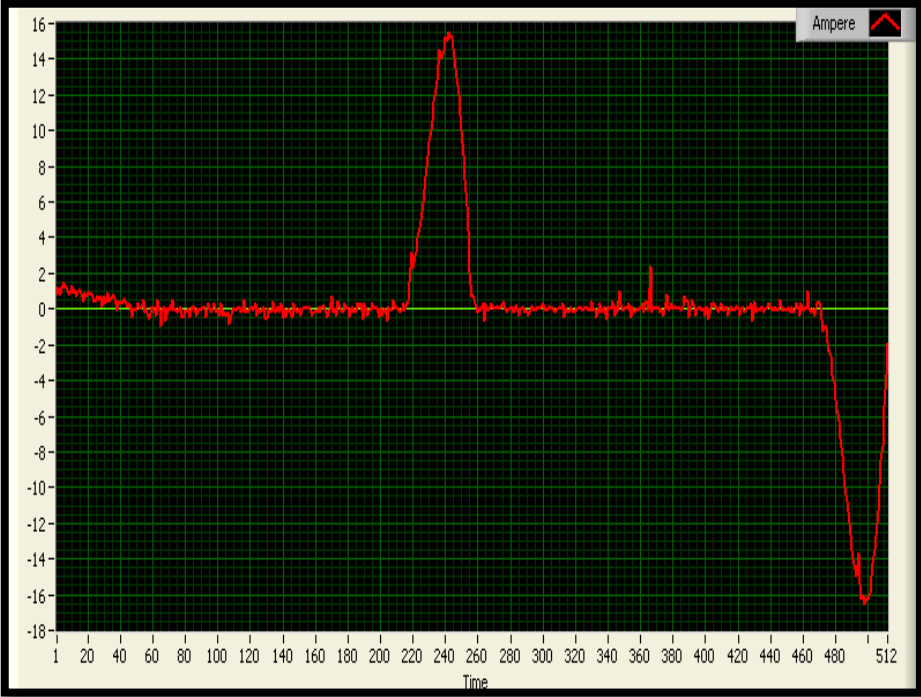
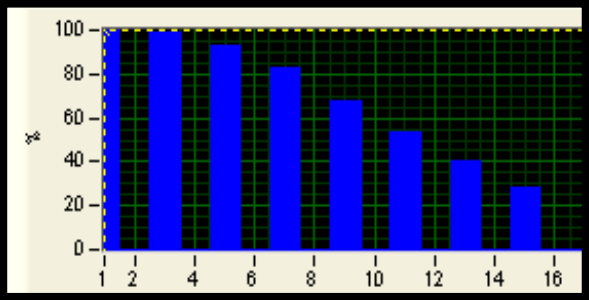
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.25 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 7.5 KHz - 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz																										
Ensayo N° 2			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
2.0 A	8.765 A	194.1 %	1	0.897 A	88.3 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.015</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.797</td> <td>78.5</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.782</td> <td>77</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.758</td> <td>74.6</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.618</td> <td>60.9</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.504</td> <td>49.7</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.015	100	5	0.797	78.5	7	0.782	77	9	0.758	74.6	11	0.618	60.9	13	0.504	49.7	15	x	x
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.015	100																											
5	0.797	78.5																											
7	0.782	77																											
9	0.758	74.6																											
11	0.618	60.9																											
13	0.504	49.7																											
15	x	x																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.015^2 + 0.797^2 + 0.782^2 + 0.758^2 + 0.618^2 + 0.504^2}}{2.0} * 100\%$ $Cd = 93.37 \%$																											




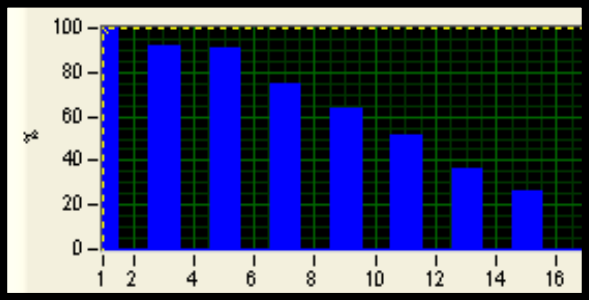
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.26 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 2.5 KHz - 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																												
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																												
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																									
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																									
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																									
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																							
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz																									
Ensayo N° 1			RESULTADO:																									
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																							
4.2 A	16.57 A	174.4 %	1	2.061 A	100 %																							
																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>2.036</td> <td>98.8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.911</td> <td>92.7</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.697</td> <td>82.3</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.401</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>1.097</td> <td>53.2</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.828</td> <td>40.2</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.585</td> <td>28.4</td> </tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	2.036	98.8	5	1.911	92.7	7	1.697	82.3	9	1.401	68	11	1.097	53.2	13	0.828	40.2	15	0.585	28.4	
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																										
3	2.036	98.8																										
5	1.911	92.7																										
7	1.697	82.3																										
9	1.401	68																										
11	1.097	53.2																										
13	0.828	40.2																										
15	0.585	28.4																										
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{2.036^2 + 1.911^2 + 1.697^2 + 1.401^2 + 1.097^2 + 0.828^2 + 0.585^2}}{4.2} * 100\%$																										
		$Cd = 91.82 \%$																										



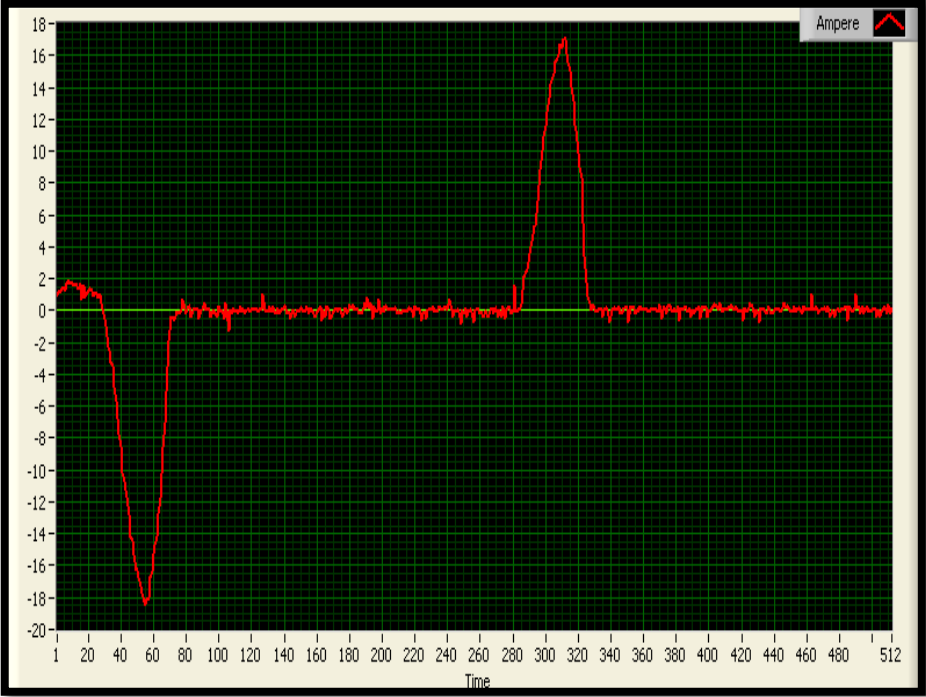
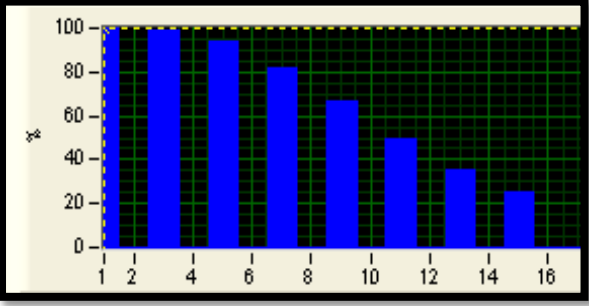
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.27 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 2.5 KHz - 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																												
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																												
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																									
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																									
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																									
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																							
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz																									
Ensayo N° 2			RESULTADO:																									
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																							
4.4 A	16.80 A	163.8 %	1	2.264 A	100 %																							
																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>2.075</td> <td>91.7</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2.056</td> <td>90.8</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.691</td> <td>74.7</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.435</td> <td>63.4</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>1.159</td> <td>51.2</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.829</td> <td>36.6</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.595</td> <td>26.3</td> </tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	2.075	91.7	5	2.056	90.8	7	1.691	74.7	9	1.435	63.4	11	1.159	51.2	13	0.829	36.6	15	0.595	26.3	
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																										
3	2.075	91.7																										
5	2.056	90.8																										
7	1.691	74.7																										
9	1.435	63.4																										
11	1.159	51.2																										
13	0.829	36.6																										
15	0.595	26.3																										
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{2.075^2 + 2.056^2 + 1.691^2 + 1.435^2 + 1.159^2 + 0.829^2 + 0.595^2}}{4.4} * 100\%$																										
		Cd = 90.44 %																										



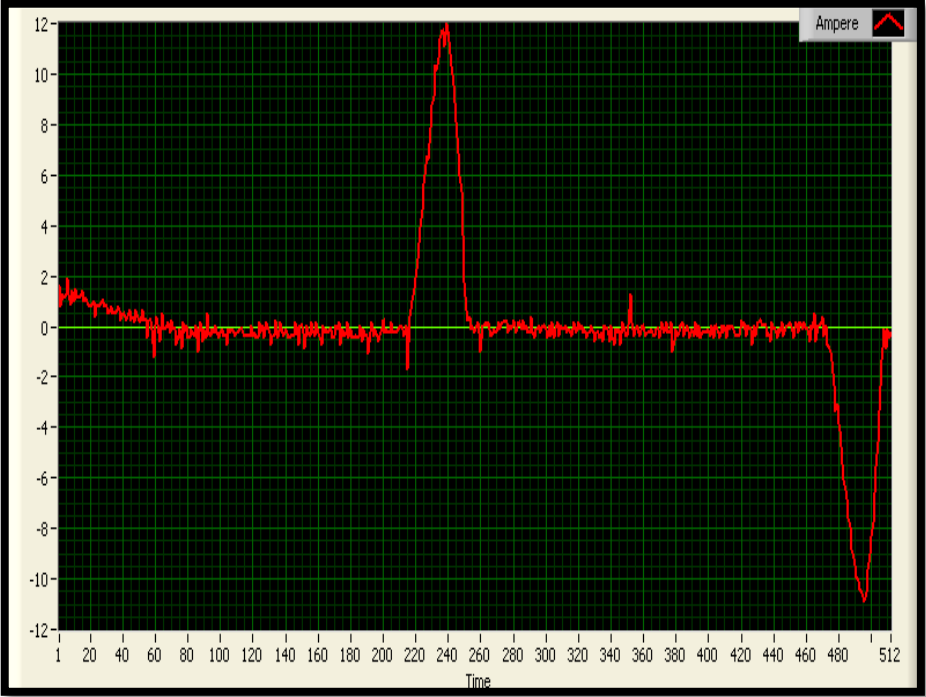
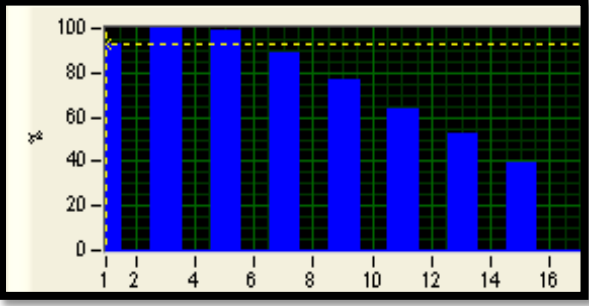
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.28 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 2.5 KHz - 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																												
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																												
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																									
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																									
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																									
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																							
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz																									
Ensayo N° 3			RESULTADO:																									
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																							
4.7 A	18.50 A	171.6 %	1	2.323 A	100 %																							
																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>2.291</td> <td>98.7</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2.179</td> <td>93.8</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.898</td> <td>81.7</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.545</td> <td>66.5</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>1.142</td> <td>49.2</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.811</td> <td>34.9</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.582</td> <td>25.1</td> </tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	2.291	98.7	5	2.179	93.8	7	1.898	81.7	9	1.545	66.5	11	1.142	49.2	13	0.811	34.9	15	0.582	25.1	
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																										
3	2.291	98.7																										
5	2.179	93.8																										
7	1.898	81.7																										
9	1.545	66.5																										
11	1.142	49.2																										
13	0.811	34.9																										
15	0.582	25.1																										
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{2.291^2 + 2.179^2 + 1.898^2 + 1.545^2 + 1.142^2 + 0.811^2 + 0.582^2}}{4.7} * 100\%$																										
		Cd = 90.99 %																										




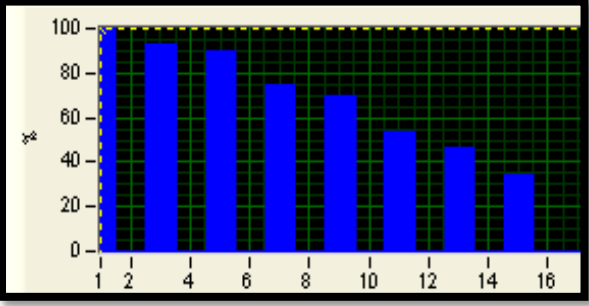
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.29 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 2.5 KHz - 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																												
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																												
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																									
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																									
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																									
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																							
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz																									
Ensayo N° 1			RESULTADO:																									
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																							
2.8 A	11.96 A	205.7 %	1	1.233 A	92.9 %																							
																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.327</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.320</td> <td>99.4</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.178</td> <td>88.8</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.019</td> <td>76.8</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.849</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.696</td> <td>52.5</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.516</td> <td>38.9</td> </tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.327	100	5	1.320	99.4	7	1.178	88.8	9	1.019	76.8	11	0.849	64	13	0.696	52.5	15	0.516	38.9	
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																										
3	1.327	100																										
5	1.320	99.4																										
7	1.178	88.8																										
9	1.019	76.8																										
11	0.849	64																										
13	0.696	52.5																										
15	0.516	38.9																										
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.327^2 + 1.320^2 + 1.178^2 + 1.019^2 + 0.849^2 + 0.696^2 + 0.516^2}}{2.8} * 100\%$ $Cd = 97.16 \%$																										




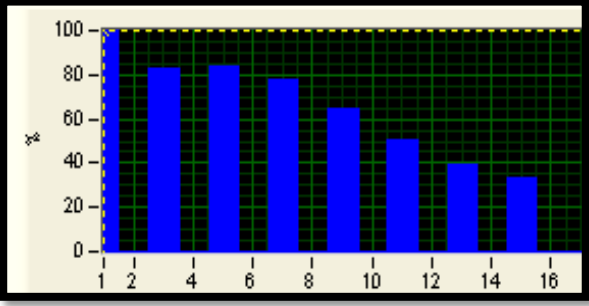
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.30 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 2.5 KHz - 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz																										
Ensayo N° 2			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
3.0 A	13.03 A	170.4 %	1	1.480 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.379</td> <td>93.2</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.324</td> <td>89.5</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.113</td> <td>75.2</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.034</td> <td>69.9</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.799</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.68</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.507</td> <td>34.3</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.379	93.2	5	1.324	89.5	7	1.113	75.2	9	1.034	69.9	11	0.799	54	13	0.68	46	15	0.507	34.3
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.379	93.2																											
5	1.324	89.5																											
7	1.113	75.2																											
9	1.034	69.9																											
11	0.799	54																											
13	0.68	46																											
15	0.507	34.3																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.379^2 + 1.324^2 + 1.113^2 + 1.034^2 + 0.799^2 + 0.68^2 + 0.507^2}}{3.0} * 100\%$																											
		$Cd = 90.19 \%$																											




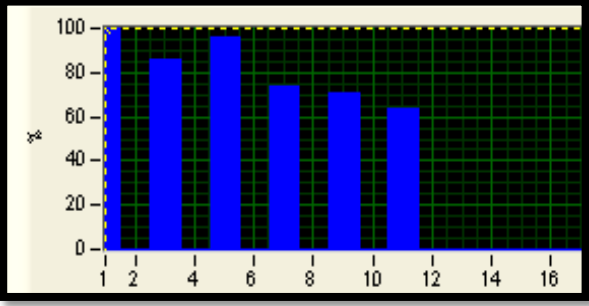
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.31 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 2.5 KHz - 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz																										
Ensayo N° 3			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
3.1 A	12.93 A	159.7 %	1	1.615 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.338</td> <td>82.8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.357</td> <td>84</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.255</td> <td>77.7</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.048</td> <td>64.9</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.815</td> <td>50.4</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.638</td> <td>39.5</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.533</td> <td>33</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.338	82.8	5	1.357	84	7	1.255	77.7	9	1.048	64.9	11	0.815	50.4	13	0.638	39.5	15	0.533	33
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.338	82.8																											
5	1.357	84																											
7	1.255	77.7																											
9	1.048	64.9																											
11	0.815	50.4																											
13	0.638	39.5																											
15	0.533	33																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.338^2 + 1.357^2 + 1.255^2 + 1.048^2 + 0.815^2 + 0.638^2 + 0.533^2}}{3.1} * 100\%$																											
		$Cd = 89.28 \%$																											




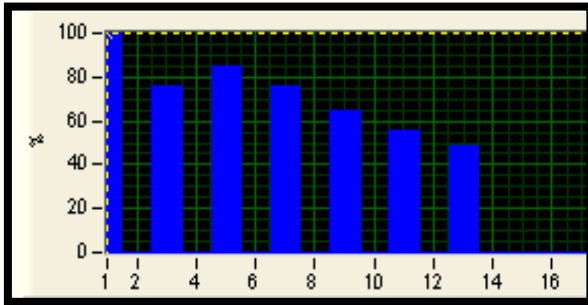
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.32 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 2.5 KHz - 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz																										
Ensayo N° 1			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
2.0 A	8.892 A	164.6 %	1	1.006 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0.864</td> <td>85.9</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.969</td> <td>96.3</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.742</td> <td>73.8</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.716</td> <td>71.1</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.639</td> <td>63.5</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	0.864	85.9	5	0.969	96.3	7	0.742	73.8	9	0.716	71.1	11	0.639	63.5	13	x	x	15	x	x
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	0.864	85.9																											
5	0.969	96.3																											
7	0.742	73.8																											
9	0.716	71.1																											
11	0.639	63.5																											
13	x	x																											
15	x	x																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{0.864^2 + 0.969^2 + 0.742^2 + 0.716^2 + 0.639^2}}{2.0} * 100\%$ $Cd = 88.84 \%$																											



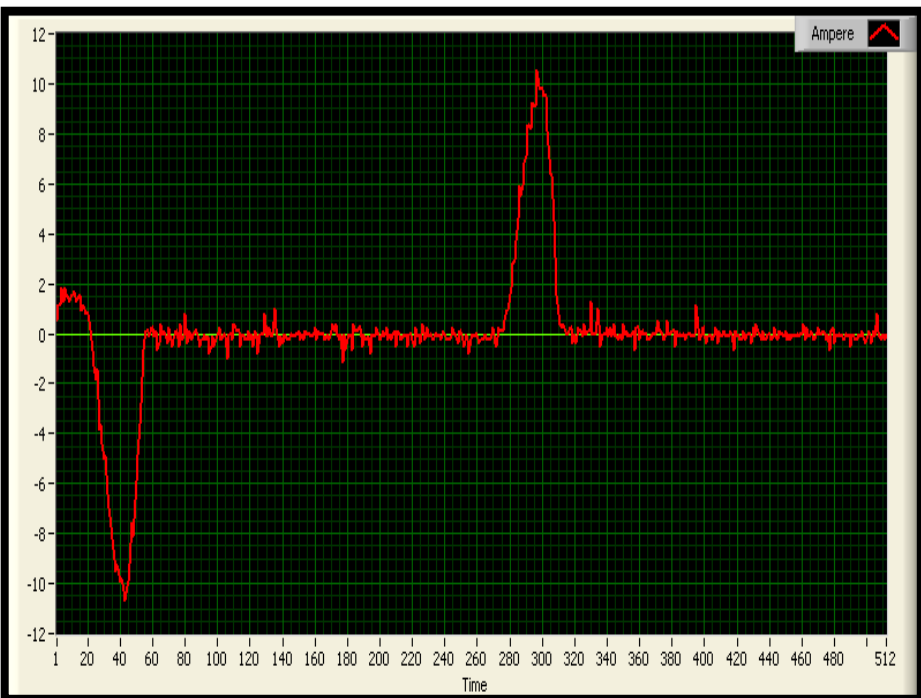
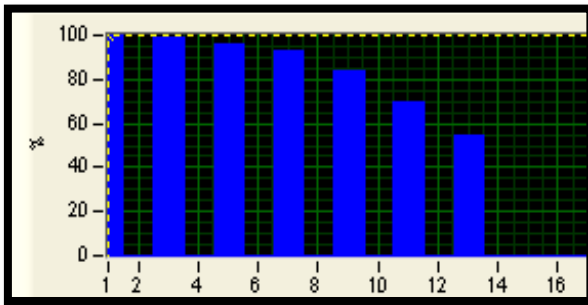
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.33 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 2.5 KHz - 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz																										
Ensayo N° 2			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
2.3 A	10.13 A	157.4 %	1	1.211 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0.915</td> <td>75.6</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.032</td> <td>85.2</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.922</td> <td>76.2</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.787</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.678</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.59</td> <td>48.7</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	0.915	75.6	5	1.032	85.2	7	0.922	76.2	9	0.787	65	11	0.678	56	13	0.59	48.7	15	x	x
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	0.915	75.6																											
5	1.032	85.2																											
7	0.922	76.2																											
9	0.787	65																											
11	0.678	56																											
13	0.59	48.7																											
15	x	x																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{0.915^2 + 1.032^2 + 0.922^2 + 0.787^2 + 0.678^2 + 0.59^2}}{2.3} * 100\%$																											
		Cd = 88.89 %																											

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.1.34 Medición armónicos de corriente antes del variador de frecuencia.
Frecuencias: 2.5 KHz - 20 Hz.



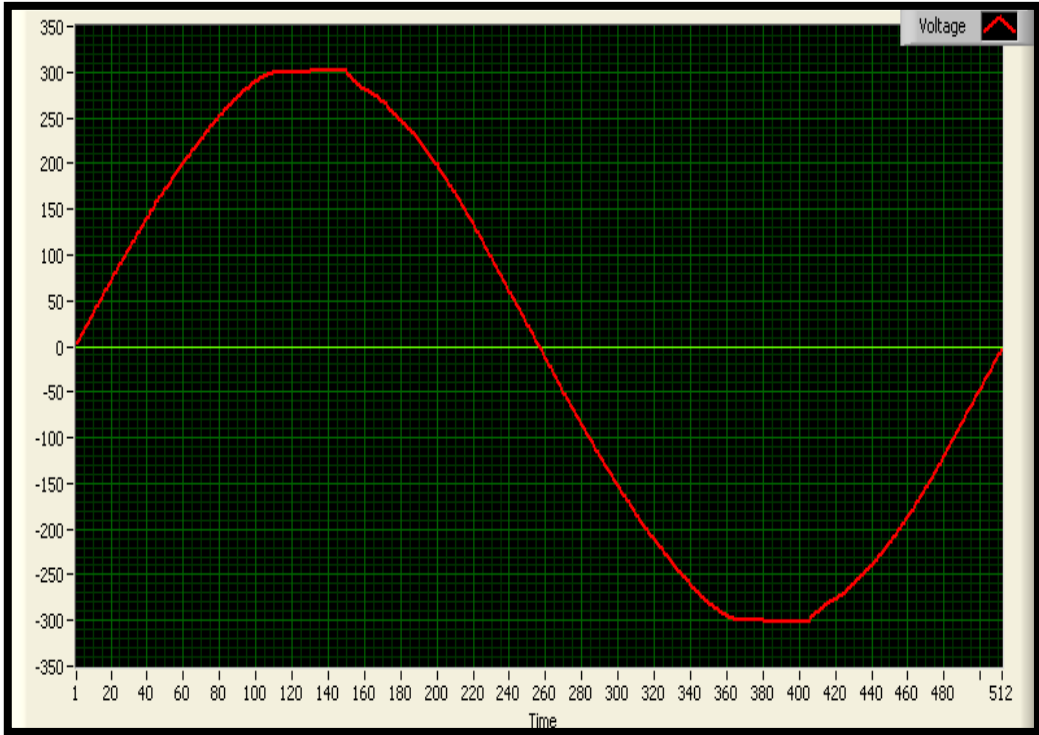
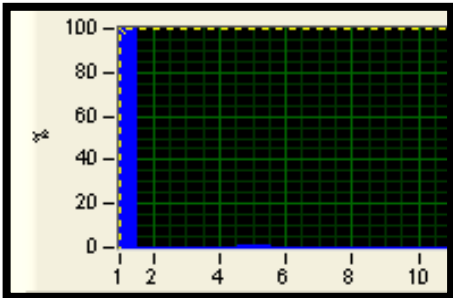
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 																													
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE																													
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM																										
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA																										
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer																										
Fecha de ejecución:		26/06/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia																								
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz																										
Ensayo N° 3			RESULTADO:																										
RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE																								
2.5 A	10.66 A	192.6 %	1	1.117 A	100 %																								
																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>1.104</td> <td>98.8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1.077</td> <td>96.4</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.043</td> <td>93.4</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.936</td> <td>83.8</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.782</td> <td>70.1</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.609</td> <td>54.6</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>x</td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>			Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.104	98.8	5	1.077	96.4	7	1.043	93.4	9	0.936	83.8	11	0.782	70.1	13	0.609	54.6	15	x	X
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																											
3	1.104	98.8																											
5	1.077	96.4																											
7	1.043	93.4																											
9	0.936	83.8																											
11	0.782	70.1																											
13	0.609	54.6																											
15	x	X																											
$Cd = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_{rms}} * 100\%$		$Cd = \frac{\sqrt{1.104^2 + 1.077^2 + 1.043^2 + 0.936^2 + 0.782^2 + 0.609^2}}{2.5} * 100\%$																											
		Cd = 92.3%																											

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

4.2 Medición Armónicos de Tensión Antes del Variador de Frecuencia.



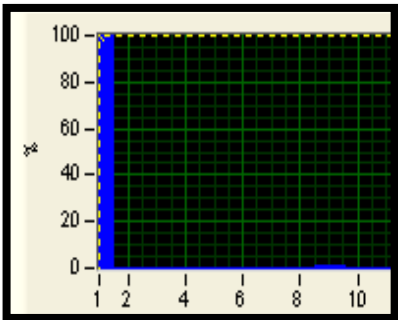
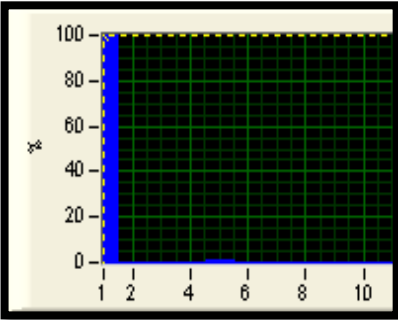
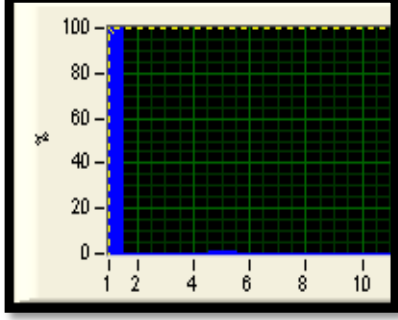
Tabla 4.2.1 Medición armónicos de tensión antes del variador de frecuencia.

Frecuencias: 15 KHz - 60 Hz. Onda no distorsionada (onda a frecuencia fundamental).

 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 				
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN				
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA		
SOFTWARE:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:	03/07/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia	
RESULTADO:				
				
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]
15	60	215.9	302.3	0.5
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]
		1	215.4	100
		3	x	x
		5	1.112	0.5
		7	x	x
		9	x	x
		11	x	x
		13	x	x
		15	x	x



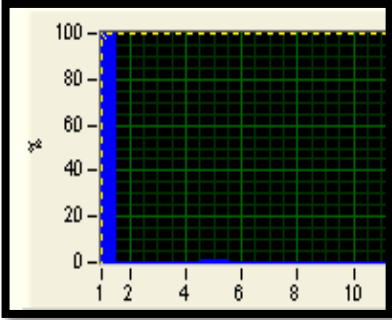
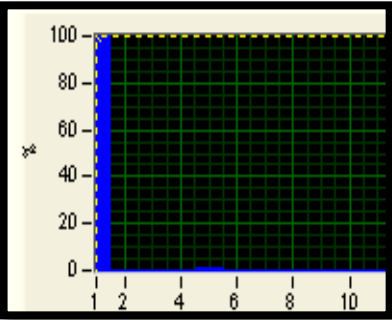
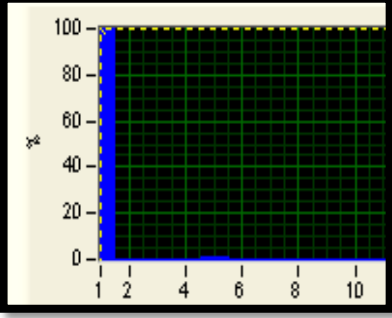
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.2.2 Medición armónicos de tensión antes del variador de frecuencia.
Espectros de armónicos de magnitud reducida a frecuencia del variador de 15 KHz y 60, 40, 20 Hz de frecuencia variada de la red.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN				
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA		
SOFTWARE:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:	03/07/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia	
RESULTADO:				
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]
15	60	215.9	301.9	0.5
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]
		1	215.9	100
		3	x	x
		5	x	x
		7	x	x
		9	1.113	0.5
		11	x	x
		13	x	x
		15	x	x
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]
15	40	215.9	302.8	0.5
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]
		1	215.7	100
		3	x	x
		5	1.117	0.5
		7	x	x
		9	x	x
		11	x	x
		13	x	x
		15	x	x
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]
15	20	216.2	304.1	0.5
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]
		1	216.2	100
		3	x	x
		5	1.204	0.6
		7	x	x
		9	x	x
		11	x	x
		13	x	x
		15	x	x



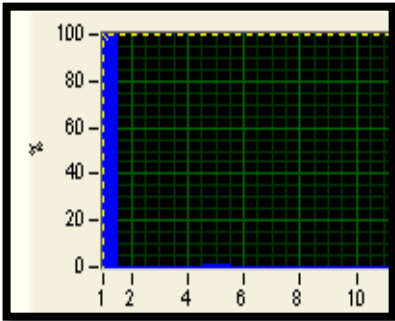
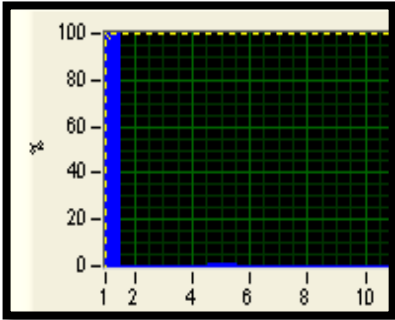
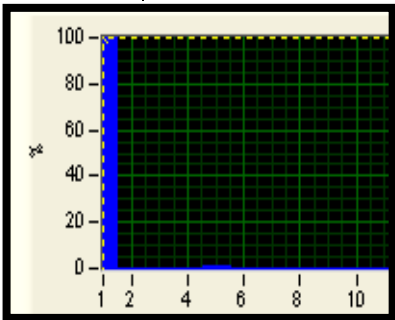
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.2.3 Medición armónicos de tensión antes del variador de frecuencia.
Espectros de armónicos de magnitud reducida a frecuencia del variador de 10KHz y 60,40, 20 Hz de frecuencia variada de la red.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
		MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN			
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
SOFTWARE:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		03/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
RESULTADO:					
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]	
10	60	215.7	301.9	0.5	
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]	
		1	215.6	100	
		3	x	x	
		5	1.161	0.5	
		7	x	x	
		9	x	x	
		11	x	x	
		13	x	x	
		15	x	x	
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]	
10	40	215.7	302.7	0.5	
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]	
		1	215.6	100	
		3	x	x	
		5	1.118	0.5	
		7	x	x	
		9	x	x	
		11	x	x	
		13	x	x	
		15	x	x	
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]	
10	20	216.3	303.6	0.5	
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]	
		1	216.2	100	
		3	x	x	
		5	1.16	0.5	
		7	x	x	
		9	x	x	
		11	x	x	
		13	x	x	
		15	x	x	



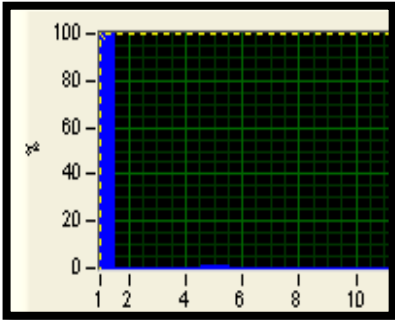
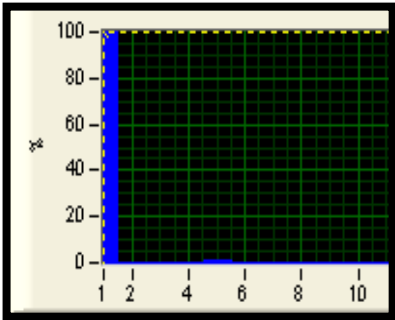
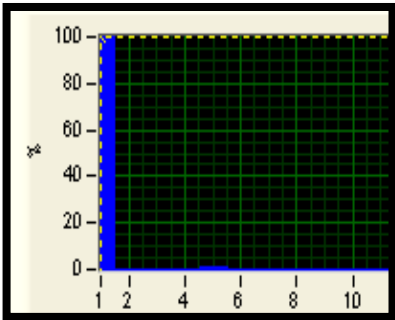
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.2.4 Medición armónicos de tensión antes del variador de frecuencia.
Espectros de armónicos de magnitud reducida a frecuencia del variador de 7.5 KHz y 60,40, 20 Hz de frecuencia variada de la red.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
		MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN			
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
SOFTWARE:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		03/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
RESULTADO:					
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]	
7.5	60	216.4	302.6	0.5	
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]	
		1	216.4	100	
		3	x	x	
		5	1.182	0.5	
		7	x	x	
		9	x	x	
		11	x	x	
		13	x	x	
		15	x	x	
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]	
7.5	40	216	302.6	0.6	
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]	
		1	216	100	
		3	x	x	
		5	1.287	0.6	
		7	x	x	
		9	x	x	
		11	x	x	
		13	x	x	
		15	x	x	
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]	
7.5	20	216.1	303	0.5	
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]	
		1	215.9	100	
		3	x	x	
		5	1.194	0.6	
		7	x	x	
		9	x	x	
		11	x	x	
		13	x	x	
		15	x	x	

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.2.5 Medición armónicos de tensión antes del variador de frecuencia.
Espectros de armónicos de magnitud reducida a frecuencia del variador de 2.5 KHz y 60,40, 20 Hz de frecuencia variada de la red.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
		MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN			
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
SOFTWARE:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		03/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
RESULTADO:					
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]	
2.5	60	216.4	302.8	0.5	
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]	
		1	216.2	100	
		3	x	x	
		5	1.220	0.6	
		7	x	x	
		9	x	x	
		11	x	x	
		13	x	x	
		15	x	x	
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]	
2.5	40	216.5	303.4	0.5	
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]	
		1	216.4	100	
		3	x	x	
		5	1.197	0.6	
		7	x	x	
		9	x	x	
		11	x	x	
		13	x	x	
		15	x	x	
F I [KHz]	F E [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]	
2.5	20	216.4	303.6	0.6	
		Orden armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]	
		1	216.3	100	
		3	x	x	
		5	1.296	0.6	
		7	x	x	
		9	x	x	
		11	x	x	
		13	x	x	
		15	x	x	

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.3 Medición factor de potencia en vacío a diferentes frecuencias.
Potencia activa, reactiva, aparente, ángulo de fase.

EFICIENCIA SIN CARGA APLICADA AL MOTOR Y SIN FILTRADO DE ARMÓNICOS						
FRECUENCIA INTERNA DEL VARIADOR [KHz]	FRECUENCIA DE SALIDA AL MOTOR [Hz]	P. APARENTE (S)[KVA]	P. ACTIVA (P)[KW]	P. REACTIVA (Q)[KVAR]	FACTOR DE POTENCIA (FP)	EFICIENCIA (η) [%]
15	60	5,93	4,99	3,203	0,841	15,85
	40	3,648	1,907	3,11	0,522	47,72
	20	1371	212,5	1355	0,154	84,50
10	60	3,484	2,569	2,353	0,737	26,26
	40	2,881	0,5911	2,82	0,205	79,48
	20	1058	185,6	1041	0,175	82,46
7,5	60	2,608	1,673	2,001	0,641	35,85
	40	1,75	0,5137	1,673	0,293	70,65
	20	999,4	240,3	970	0,24	75,96
2,5	60	1,617	0,8561	1,372	0,529	47,06
	40	1044	402,5	963,1	0,385	61,45
	20	745,2	100,2	738,4	0,134	86,55

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Explicación:

En la tabla se puede observar cómo se va realizando variaciones de la frecuencia interna del variador y de la frecuencia de salida al motor, se aprecia los valores de las potencias activa, reactiva y aparente, el factor de potencia. Se realizaron las mediciones sin aplicar carga en el motor eléctrico y se calculó la eficiencia energética.

4.4 PROCEDIMIENTO PARA ANALIZAR UNA ONDA PERIÓDICA.

Las mediciones antes realizadas fueron tomadas de un analizador gráfico de calidad de potencia PROVA 6200, es un instrumento especial para la determinación de armónicos, a continuación veremos un método mediante el cual podemos descomponer cualquier onda distorsionada en sus componentes armónicos. El procedimiento está basado en el análisis de la serie de Fourier.

- 1) Al tener una onda distorsionada deseamos analizar un armónico (H), el de interés.

Por ejemplo, si es el 5º armónico, $H=5$; si es el fundamental $H=1$.

- 2) Multiplicar el orden armónico H por 10. El número $10 \cdot H$ es el número mínimo de lecturas requerido por ciclo para que la precisión sea de $\pm 5\%$.

Por ejemplo para el de orden 5 armónico, $10 H = 10 \cdot 5 = 50$ lecturas

- 3) Un ciclo comprende de 360° , este dividimos para $10 \cdot H$ es el intervalo aproximado entre lecturas (D).

$D = 360^\circ / 10H$. Para el armónico de orden 5, $D = 7.2$.

1	2	3	4
θ	A	$A \text{ sen } H \theta$	$A \text{ cos } H \theta$
0	x	X	x
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
x	x	X	x
x	x	X	x
	Suma S_0	Suma S_1	Suma S_2
	$A_0 = S_0 D / 360$	$X = S_1 D / 180$	$Y = S_2 D / 360$

Tabla 4.4.1 Tabla para el análisis de una onda distorsionada.

- 4) Se realiza una tabla de 4 columnas como la mostrada anteriormente. En la columna [1] encabezada por el símbolo θ , se escribe los ángulos desde cero hasta 360° separados por intervalos de D grados. Como $D = 7.2^\circ$, la columna enlistara los números desde 0, 7.2, 14.4, 21.6,...hasta 360° . Representan los ángulos de la onda distorsionada durante el ciclo.
- 5) Seleccione un punto de inicio en la onda distorsionada, no es necesario un punto que pase por cero.

- 6) En la columna [2] encabezada por el símbolo A se coloca los valores de amplitud de la onda distorsionada correspondiente a los ángulos enlistados en la columna [1].
- 7) En la columna [3] encabezada por el símbolo A sen (Hθ), se calcula el producto de A * sen (Hθ) para cada fila.
- 8) En la columna [4] encabezada por el símbolo A cos (Hθ), se calcula el producto de A * cos (Hθ), para cada fila.
- 9) Posteriormente se calcula la suma S₁ de los valores en la columna [3], excluyendo el valor correspondiente a θ = 360°. Luego el valor de X de acuerdo a la ecuación:

$$X = S_1 * D / 180 \quad \text{Ec. 4.1}$$

- 10) Sumamos los valores en la columna [4] para obtener S₂, sin agregar el valor de θ = 360°. Se calcula el valor de Y con la ecuación:

$$Y = S_2 * D / 180 \quad \text{Ec. 4.2}$$

- 11) La amplitud A_H del componente armónico que se desea está dada por:

$$A_H = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad \text{Ec. 4.3}$$



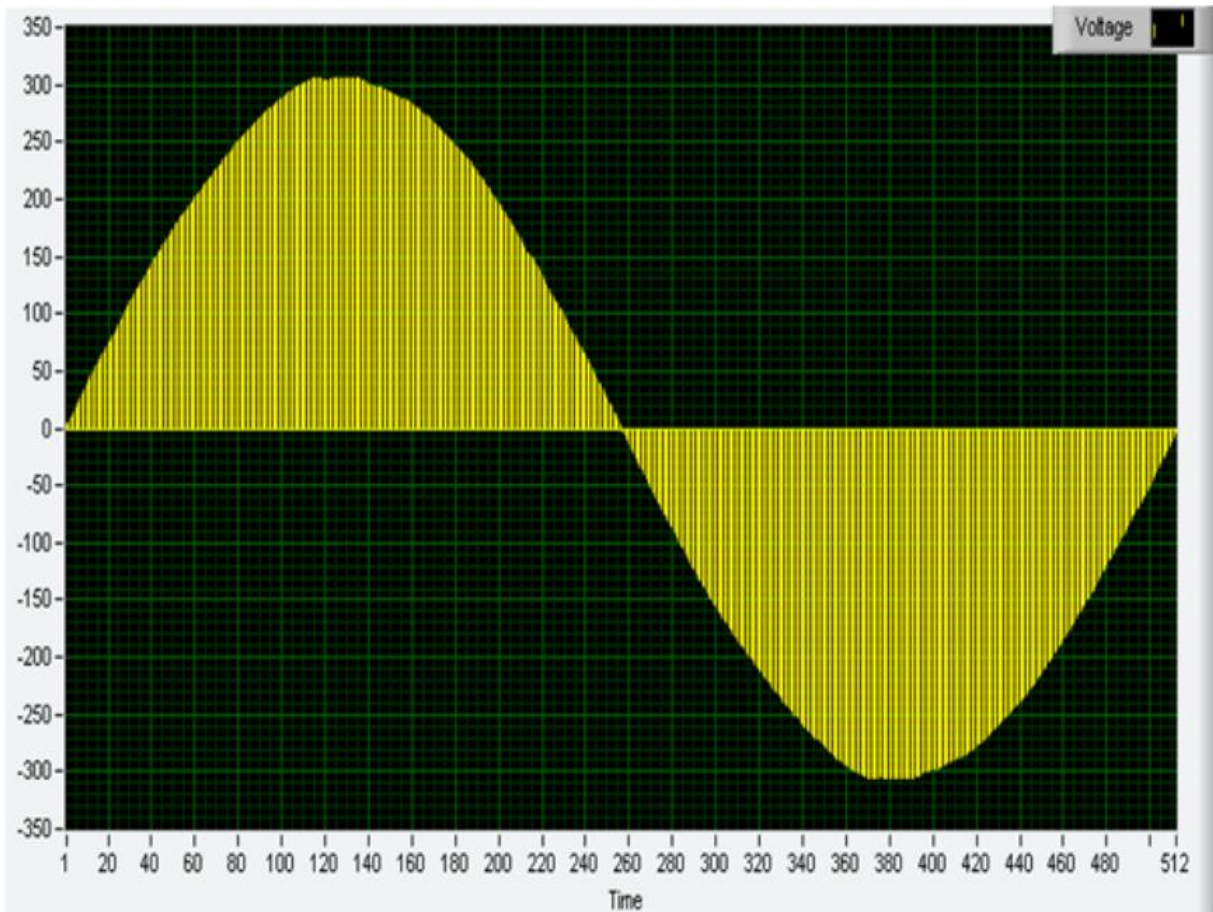
- 12) La posición angular α del armónico con respecto al punto de inicio (θ = 0°) está dada por:

$$\alpha = \arctan Y/X \quad \text{Ec. 4.4}$$

Si el valor de X es negativo, se suma 180° al ángulo.



4.5 ANÁLISIS DE UNA ONDA DISTORSIONADA.

Tabla 4.5.1 Análisis de una onda distorsionada, cálculo de la magnitud de un armónico de tensión.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 							
CÁLCULO ARMÓNICO DE TENSIÓN							
Centro de Estudio y Análisis:				Laboratorio de Automatización Industrial - FICM			
Instrumento:				Analizador de Potencia PROVA			
SOFTWARE:				CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:		16/07/2013		Supervisado por:		Ing. Susana Valencia	
RESULTADO:							
Procedimiento para analizar un onda periódica.							
							
FI [KHz]	FE [Hz]	RMS [V]	Peak [V]	THD [%]	Orden armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
15	60	215.8	305.6	0.6	1	215.8	100
ARMÓNICO A CALCULAR H = 5					5	1.294	0.6

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.



Tabla 4.5.2 Análisis de una onda distorsionada, cálculo de la magnitud de un armónico de tensión. Amplitud en escala de 5° hasta 520° que completa un ciclo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 									
PROCEDIMIENTO PARA ANALIZAR UNA ONDA PERIÓDICA.									
Centro de Estudio y Análisis:					Laboratorio de Automatización Industrial - FICM				
Instrumento:					Analizador de Potencia PROVA				
SOFTWARE:					CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer				
Fecha de ejecución:			16/07/2013		Supervisado por:			Ing. Susana Valencia	
RESULTADO:									
De la grafica anterior se obtienen los datos de amplitud en escala de 5° hasta 520° que completa un ciclo.									
Grados	Amplitud	Grados	Amplitud	Grados	Amplitud	Grados	Amplitud	Grados	Amplitud
0,00	0,00	105,00	297,00	210,00	165,00	315,00	-200,00	420,00	-275,00
5,00	20,00	110,00	301,00	215,00	150,00	320,00	-210,00	425,00	-270,00
10,00	40,00	115,00	306,00	220,00	130,00	325,00	-220,00	430,00	-260,00
15,00	60,00	120,00	303,00	225,00	110,00	330,00	-235,00	435,00	-250,00
20,00	73,00	125,00	306,00	230,00	100,00	335,00	-250,00	440,00	-240,00
25,00	90,00	130,00	306,00	235,00	80,00	340,00	-260,00	445,00	-230,00
30,00	110,00	135,00	306,00	240,00	60,00	345,00	-270,00	450,00	-215,00
35,00	125,00	140,00	300,00	245,00	40,00	350,00	-280,00	455,00	-200,00
40,00	143,00	145,00	299,00	250,00	25,00	355,00	-290,00	460,00	-185,00
45,00	160,00	150,00	295,00	255,00	10,00	360,00	-295,00	465,00	-170,00
50,00	173,00	155,00	289,00	260,00	-15,00	365,00	-300,00	470,00	-150,00
55,00	190,00	160,00	280,00	265,00	-35,00	370,00	-306,00	475,00	-140,00
60,00	200,00	165,00	275,00	270,00	-50,00	375,00	-306,00	480,00	-120,00
65,00	215,00	170,00	265,00	275,00	-70,00	380,00	-306,00	485,00	-100,00
70,00	225,00	175,00	255,00	280,00	-90,00	385,00	-306,00	490,00	-90,00
75,00	240,00	180,00	245,00	285,00	-105,00	390,00	-306,00	495,00	-70,00
80,00	250,00	185,00	235,00	290,00	-120,00	395,00	-300,00	500,00	-50,00
85,00	260,00	190,00	223,00	295,00	-140,00	400,00	-299,00	505,00	-30,00
90,00	270,00	195,00	210,00	300,00	-160,00	405,00	-295,00	510,00	-10,00
95,00	280,00	200,00	195,00	305,00	-170,00	410,00	-290,00	515,00	5,00
100,00	290,00	205,00	180,00	310,00	-180,00	415,00	-280,00	520,00	0,00

Fuente: Egdo. López A. Darwin A

Explicación: Los valores que se representan en la tabla son las amplitudes por cada 5 grados que se presentan en un ciclo de 520 grados tomados del analizador grafico de potencia PROVA 6200.

Tabla 4.5.3 Análisis de una onda distorsionada, cálculo de la magnitud de un armónico de tensión. Amplitud en escala de 7.2° hasta 360° que completa un ciclo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 									
PROCEDIMIENTO PARA ANALIZAR UNA ONDA PERIÓDICA.									
Centro de Estudio y Análisis:					Laboratorio de Automatización Industrial - FICM				
Fecha de ejecución:			16/07/2013		Supervisado por:			Ing. Susana Valencia	
RESULTADO:									
El armónico de interés es el 5° por lo tanto, $H = 5$, para garantizar una precisión de orden de $\pm 5\%$, multiplicamos por 10.									
$10 H = 10 * 5 = 50$			Número mínimo de lecturas por ciclo.						
$D = 360/10H = 360/50 = 7.2$			Intervalo de grados, representan los ángulos de la onda distorsionada durante el ciclo.						
Grados	Amplitud	Grados	Amplitud	Grados	Amplitud	Grados	Amplitud	Grados	Amplitud
0	0	72	295,6	144	171	216	-188	288	-279
7,2	41,6	79,2	305,4	151,2	136,4	223,2	-214,8	295,2	-267,2
14,4	75,72	86,4	305,88	158,4	102,4	230,4	-243,4	302,4	-246,4
21,6	113,6	93,6	305,76	165,6	63,2	237,6	-266,4	309,6	-223,4
28,8	148,44	100,8	298,52	172,8	26,2	244,8	-287,2	316,8	-192,2
36	179,8	108	287,2	180	-15	252	-299	324	-158
43,2	207,2	115,2	272,2	187,2	-51,6	259,2	-306	331,2	-126,4
50,4	233,4	122,4	251,4	194,4	-92,4	266,4	-306	338,4	-92,4
57,6	256,4	129,6	229,72	201,6	-124,8	273,6	-299,96	345,6	-53,2
64,8	277,2	136,8	202,2	208,8	-163,2	280,8	-294,4	352,8	-11,6
								360	0

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Explicación: Se ha simplificado el número de datos, el programa Clamp-on toma el ciclo en un total de 520°, la tabla muestra un número reducido de datos en un ciclo de 360°.

Tabla 4.5.4 Análisis de una onda distorsionada, cálculo de S1y S2.

ANÁLISIS ARMÓNICO				
θ	A	θ H	A SEN θH	A COS θ H
0,00	0	0,00	0	0,00
7,2	41,6	0,628	24,452	33,655
14,4	75,72	1,257	72,014	23,399
21,6	113,6	1,885	108,040	-35,105
28,8	148,44	2,513	87,250	-120,091
36	179,8	3,142	-0,001	-179,800
43,2	207,2	3,770	-121,791	-167,627
50,4	233,4	4,398	-221,977	-72,122
57,6	256,4	5,027	-243,850	79,235
64,8	277,2	5,655	-162,931	224,262
72	295,6	6,283	0,004	295,600
79,2	305,4	6,912	179,514	247,071
86,4	305,88	7,540	290,911	94,517
93,6	305,76	8,168	290,793	-94,491
100,8	298,52	8,796	175,461	-241,511
108	287,2	9,425	-0,006	-287,200
115,2	272,2	10,053	-160,000	-220,211
122,4	251,4	10,681	-239,098	-77,681
129,6	229,72	11,310	-218,475	70,993
136,8	202,2	11,938	-118,846	163,587
144	171	12,566	0,005	171,000
151,2	136,4	13,195	80,177	110,347
158,4	102,4	13,823	97,389	31,640
165,6	63,2	14,451	60,106	-19,532
172,8	26,2	15,080	15,399	-21,197
180	-15	15,708	0,001	15,000
187,2	-51,6	16,336	30,331	41,744
194,4	-92,4	16,965	87,879	28,550
201,6	-124,8	17,593	118,690	-38,570
208,8	-163,2	18,221	95,921	-132,036
216	-188	18,850	-0,008	-188,000
223,2	-214,8	19,478	-126,264	-173,771
230,4	-243,4	20,106	-231,491	-75,204
237,6	-266,4	20,735	-253,357	82,334
244,8	-287,2	21,363	-168,800	232,358
252	-299	21,991	0,015	299,000
259,2	-306	22,620	179,875	247,550
266,4	-306	23,248	291,028	94,543
273,6	-299,96	23,876	285,274	-92,709
280,8	-294,4	24,504	173,030	-238,185
288	-279	25,133	-0,016	-279,000
295,2	-267,2	25,761	-157,069	-216,160
302,4	-246,4	26,389	-234,345	-76,127
309,6	-223,4	27,018	-212,462	69,048
316,8	-192,2	27,646	-112,962	155,500
324	-158	28,274	0,010	158,000
331,2	-126,4	28,903	74,303	102,255
338,4	-92,4	29,531	87,880	28,547
345,6	-53,2	30,159	50,595	-16,443
352,8	-11,6	30,788	6,818	-9,385
360	0	31,416	0,000	0,000
Suma			S1= -20.58	S2= 27.57

Fuente: Ego. López A. Darwin A.

Explicación: La tabla 4.5.4 muestra los valores de la sumatoria de $(A \text{ SEN } \theta H)$, $(A \text{ COS } \theta H)$; S_1 y S_2 respectivamente, que son los necesarios para el cálculo de la amplitud del armónico 5° el cual nos interesa.

Calculamos el valor de X de acuerdo con la ecuación 4.1:

$$X = S_1 D / 180$$

$$X = -20.58 * 7 / 180$$

$$X = -0.8$$

Calculamos el valor de Y de acuerdo con la ecuación 4.2:

$$Y = S_2 D / 180$$

$$Y = 27.57 * 7 / 180$$

$$Y = 1.1$$

La amplitud según la ecuación 4.3:

$$A_H = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$A_H = \sqrt{-0.8^2 + 1.072^2}$$



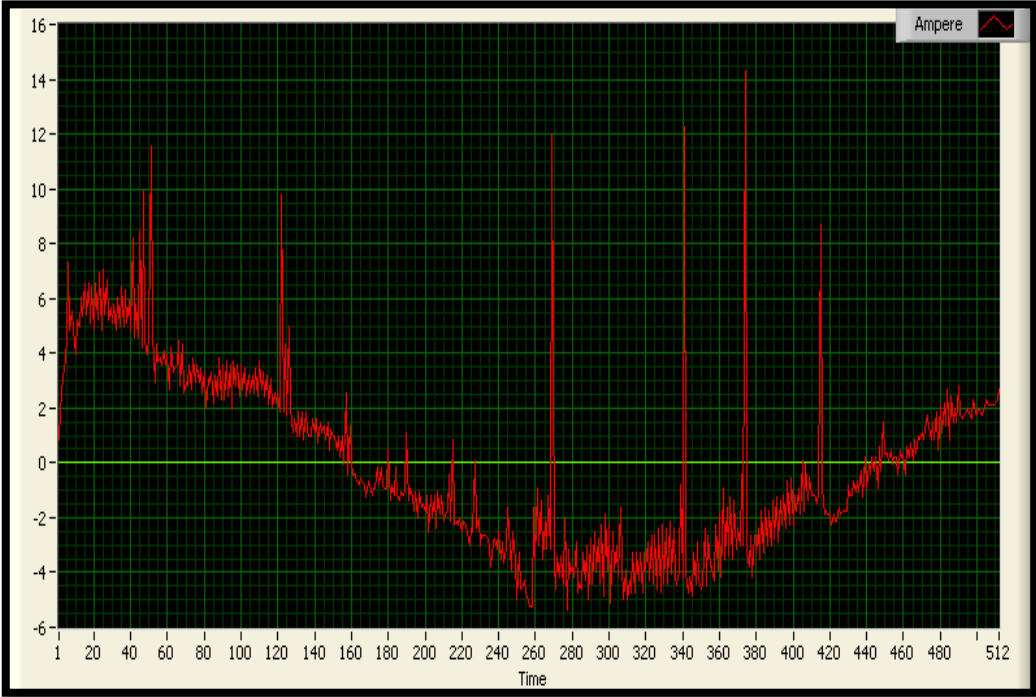
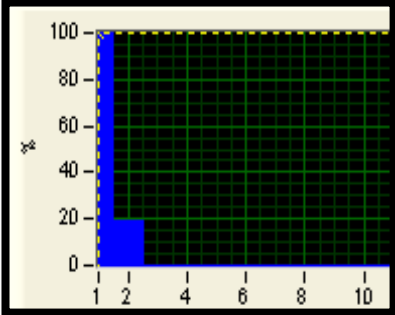
$$A_H = 1.337 \text{ Amplitud quinto armónico.}$$

Se puede observar que el método manual permite analizar una onda periódica, este método se facilitó utilizando una hoja de cálculo electrónica que permitió obtener los resultados de una manera más rápida, mediante el programa Clamp-on el valor fue de 1.294 el cálculo basado en el análisis de la serie de Fourier es de 1.337. Esta diferencia es por precisión, al leer las coordenadas de la onda periódica de la gráfica.

4.6 Medición De Armónicos De Corriente Después Del Variador De Frecuencia.

Tabla 4.6.1 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



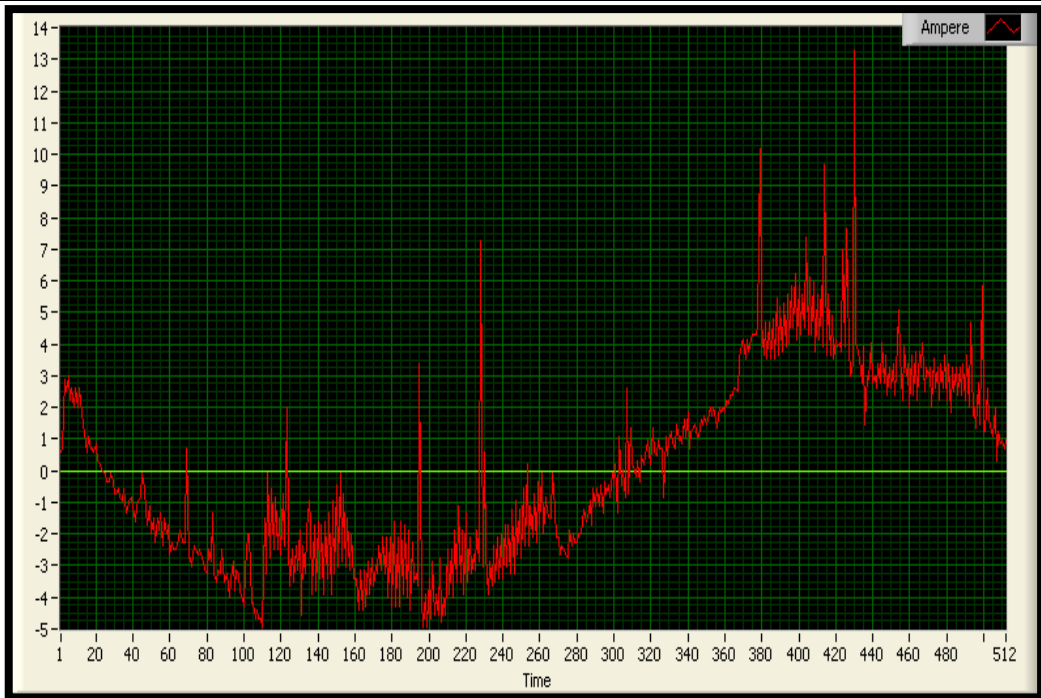
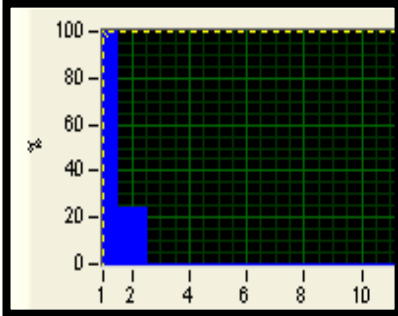
Frecuencias: 15KHz – 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 15 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz		
Ensayo N° 1			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.3	14.27	17.9	1	2.876	100
			2	0.552	19.2

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.2 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



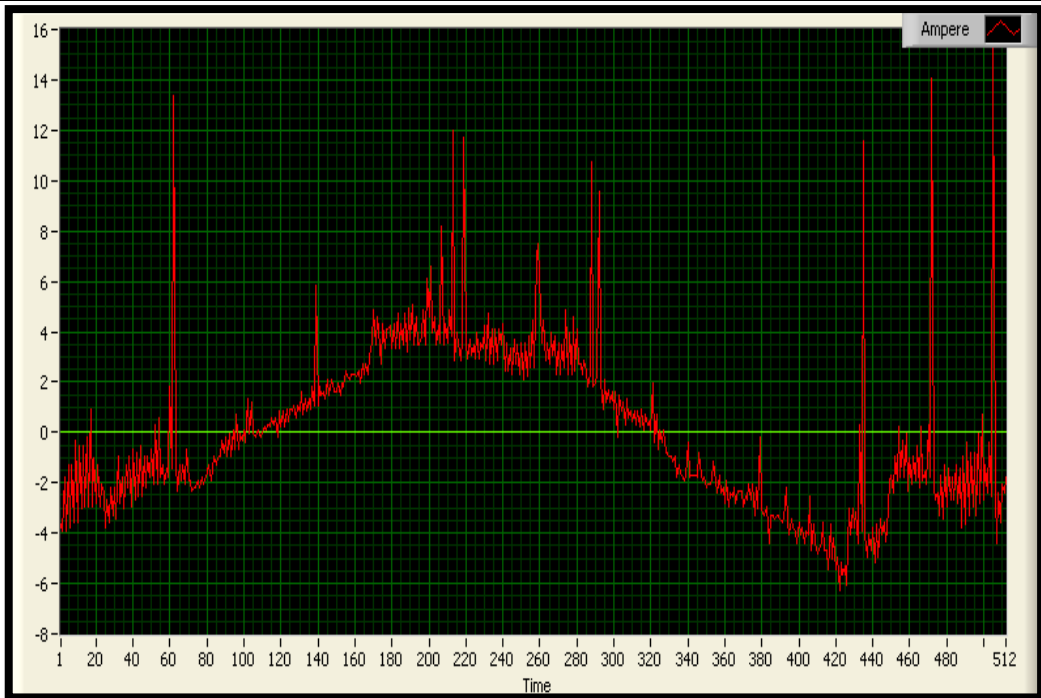
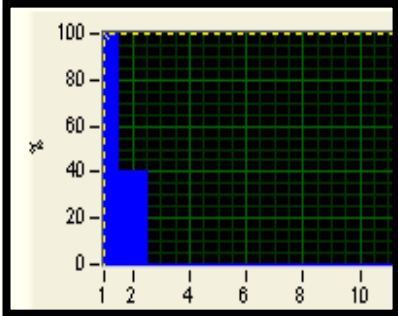
Frecuencias: 15KHz – 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 15 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz		
Ensayo N° 2			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.0	13.26	23.0	1	2.675	100
			2	0.66	24.7

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.3 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



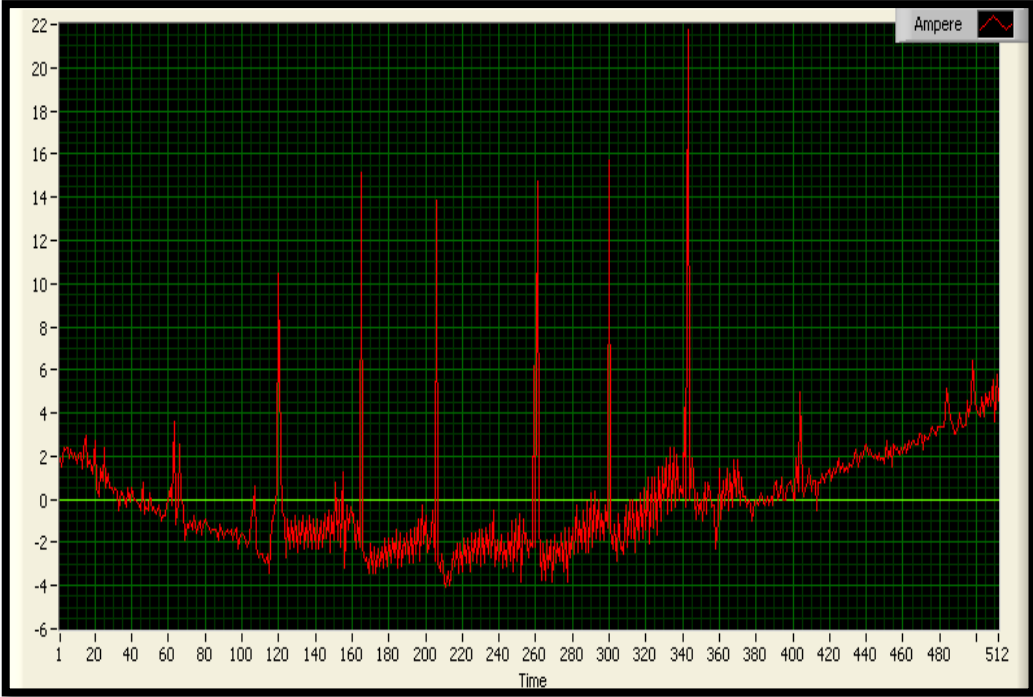
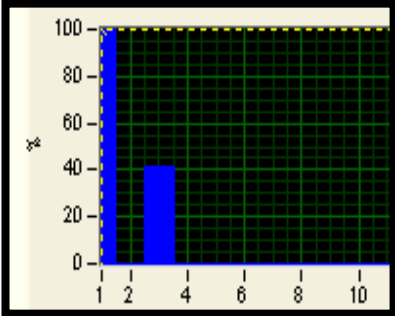
Frecuencias: 15KHz – 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 15 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz		
Ensayo N° 3			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.2	15.47	37.9	1	2.505	100
			2	1.02	40.7

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.4 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



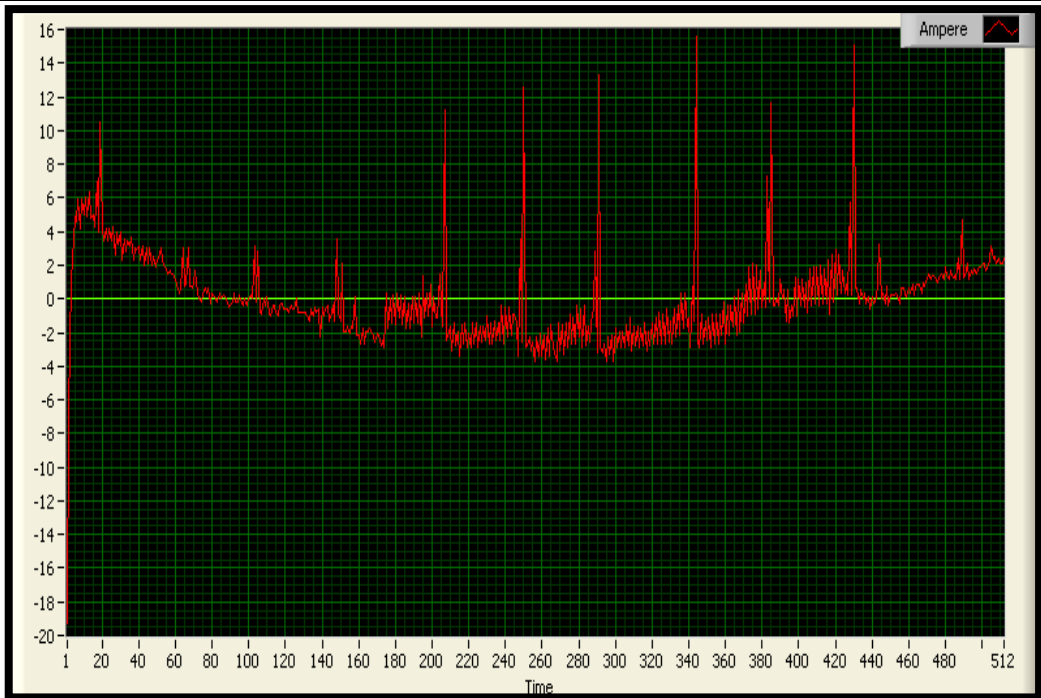
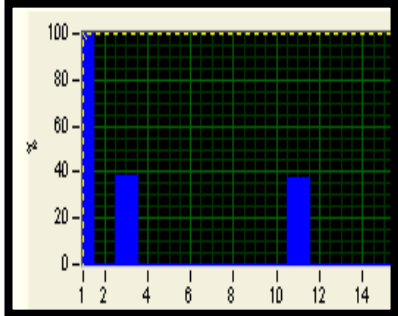
Frecuencias: 15KHz – 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 15 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz		
Ensayo N° 1			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.7	21.76	38.6	1	1.606	100
			3	0.665	41.4

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.5 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



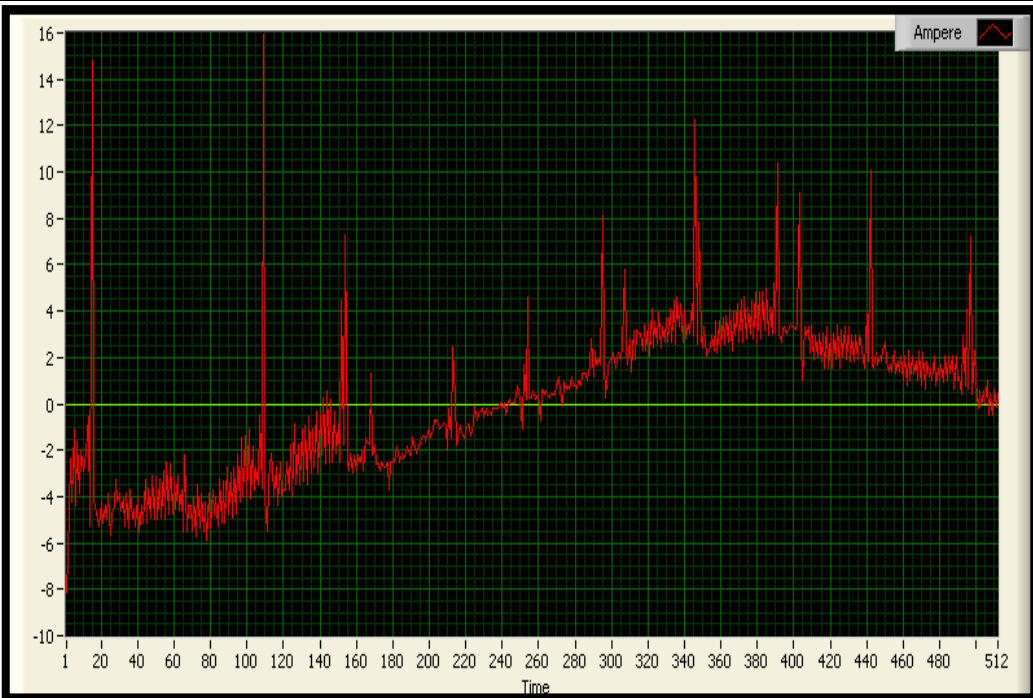
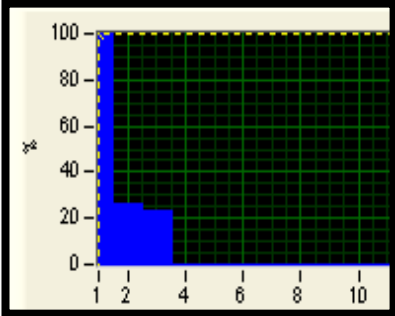
Frecuencias: 15KHz – 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Automatización Industrial - FICM				
Instrumento:	Analizador de Potencia PROVA				
Software:	CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer				
Fecha de ejecución:	22/07/2013				
Supervisado por:	Ing. Susana Valencia				
Frecuencia interna del variador: 15 KHz	Frecuencia de salida al motor: 40Hz				
Ensayo N° 2	RESULTADO:				
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.7	19.28	49.6	1	1.496	100
			3	0.568	38.0
			11	0.557	37.2

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.6 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



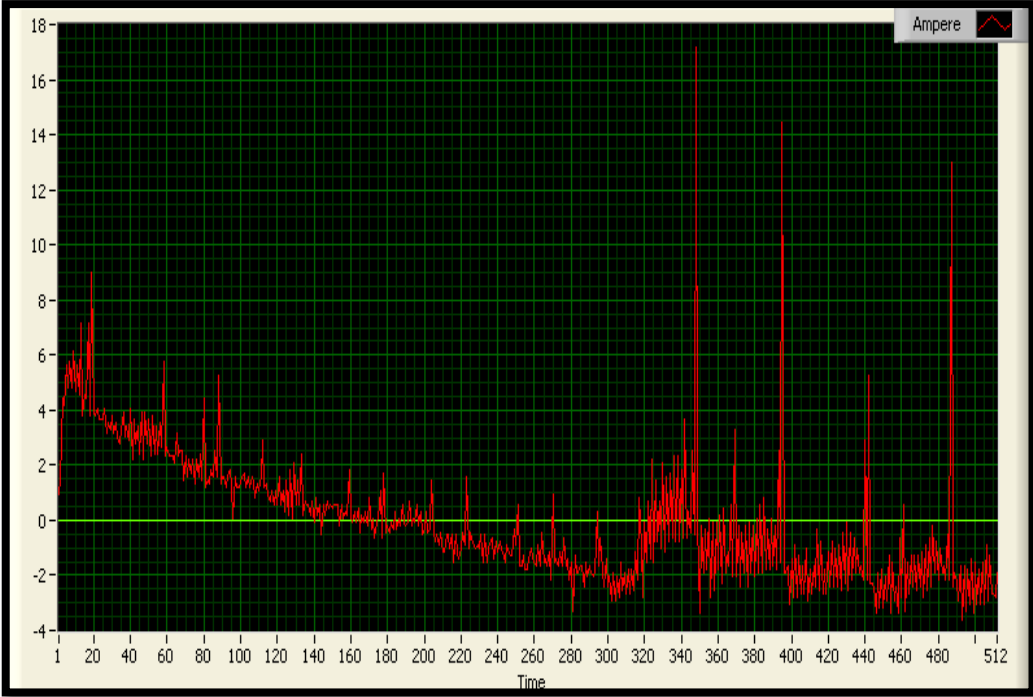
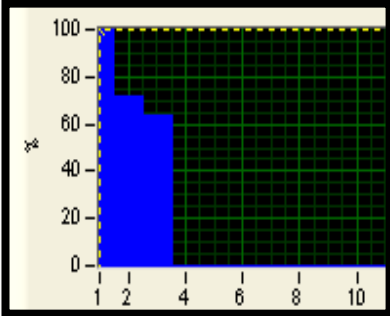
Frecuencias: 15KHz – 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 15 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz		
Ensayo N° 3			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.2	15.91	33.0	1	2.575	100
			2	0.688	26.7
			3	0.598	23.2

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.7 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



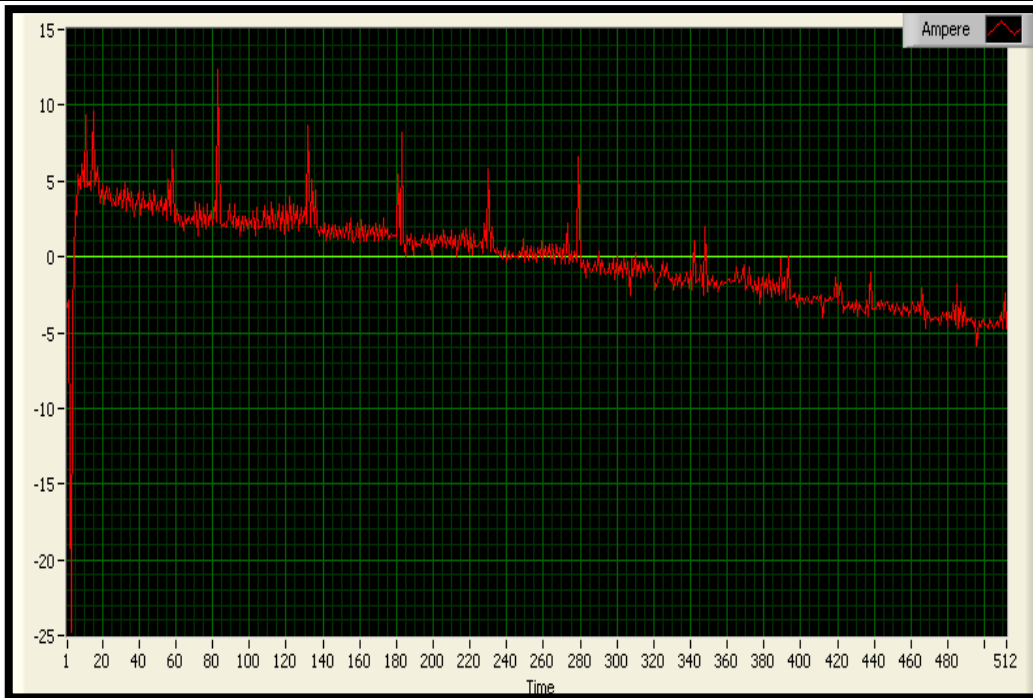
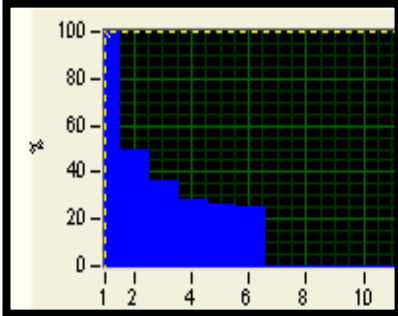
Frecuencias: 15KHz – 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 15 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz		
Ensayo N° 1			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.4	17.19	89.5	1	1.265	100
			2	0.908	71.8
			3	0.806	63.7

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.8 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



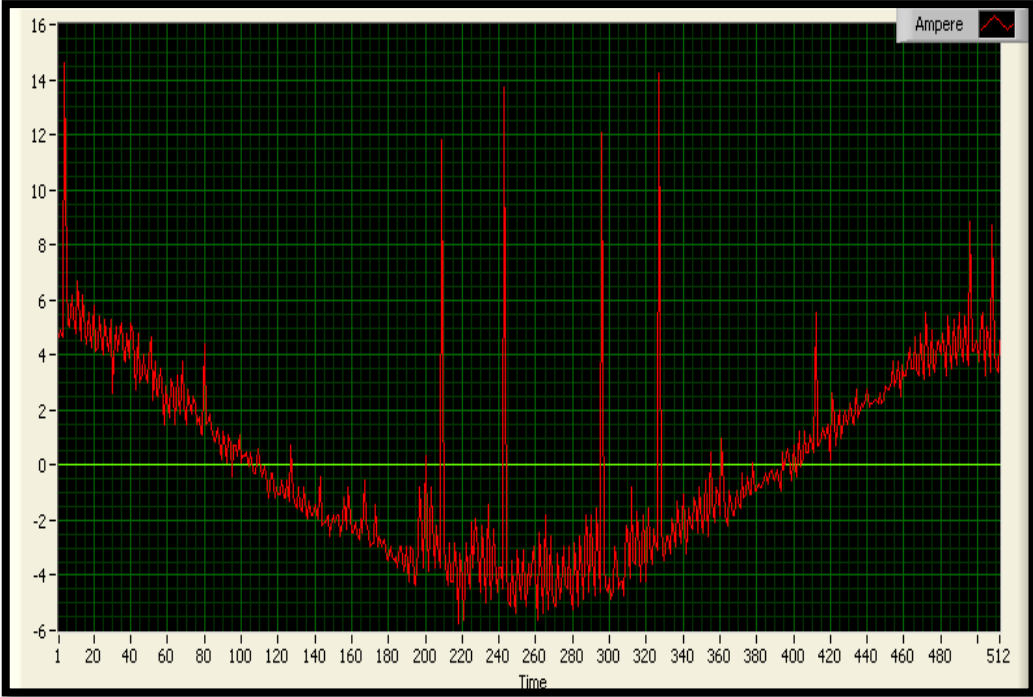
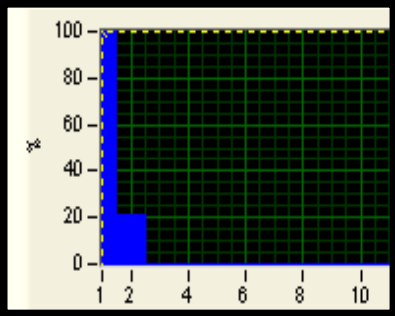
Frecuencias: 15KHz – 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Automatización Industrial - FICM				
Instrumento:	Analizador de Potencia PROVA				
Software:	CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer				
Fecha de ejecución:	22/07/2013				
Supervisado por:	Ing. Susana Valencia				
Frecuencia interna del variador: 15 KHz	Frecuencia de salida al motor: 20Hz				
Ensayo N° 2	RESULTADO:				
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.0	24.82	71.4	1	2.062	100
			2	1.024	49.6
			3	0.749	36.3
			4	0.577	28.0
			5	0.531	25.8
			6	0.522	25.3

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.9 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



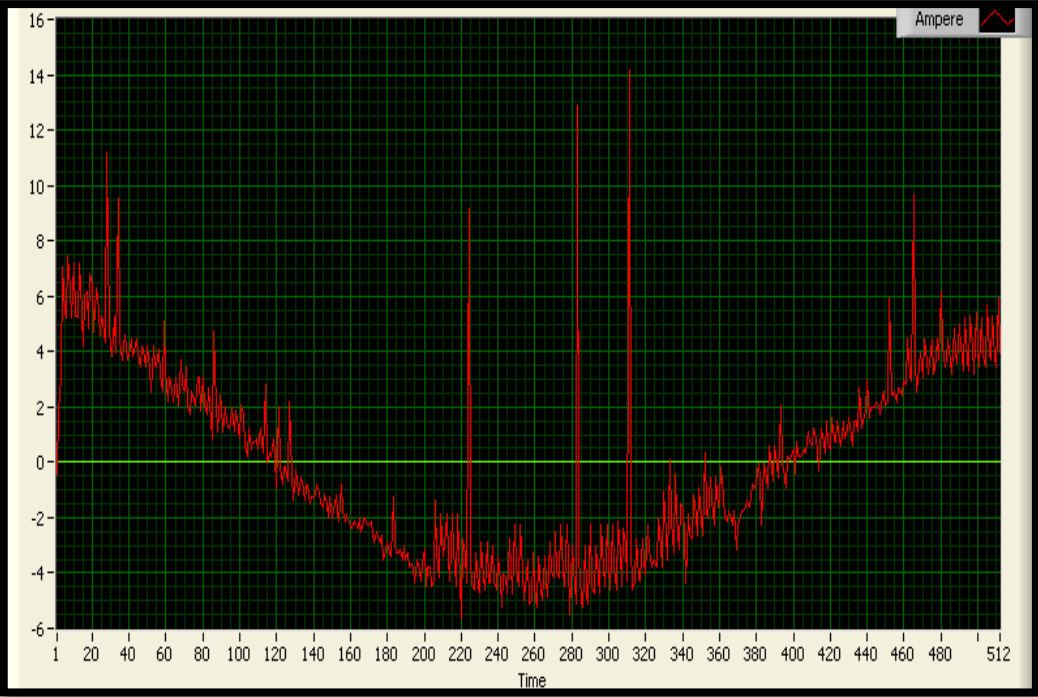
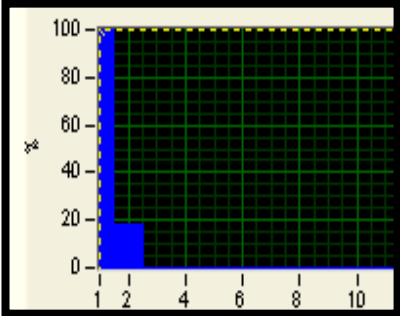
Frecuencias: 10KHz – 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz		
Ensayo N° 1			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.4	14.62	19.8	1	2.926	100
			2	0.62	21.2

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.10 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.

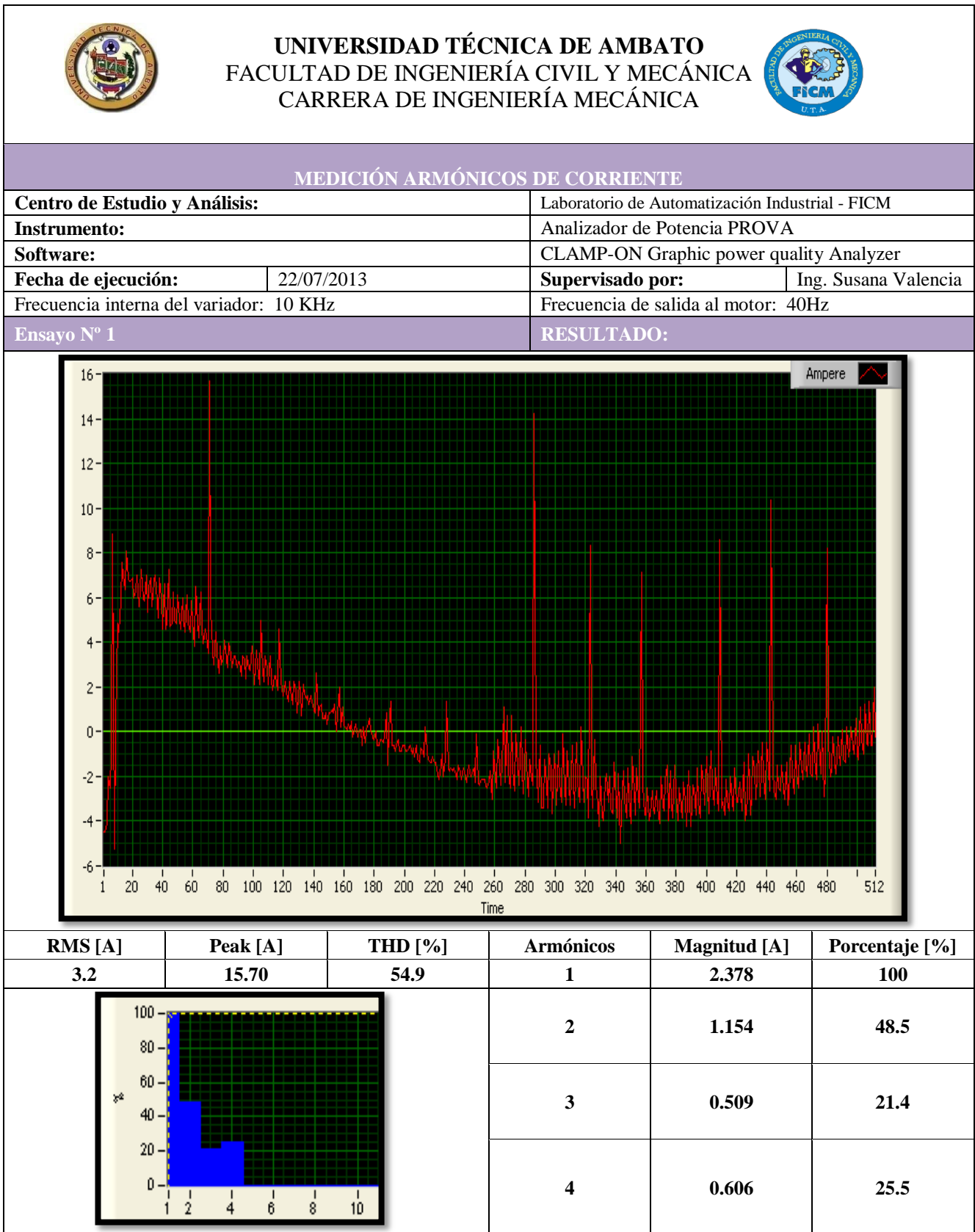
Frecuencias: 10 KHz – 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz		
Ensayo N° 2			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.4	14.14	17.3	1	3.086	100
			2	0.571	18.5

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.11 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.

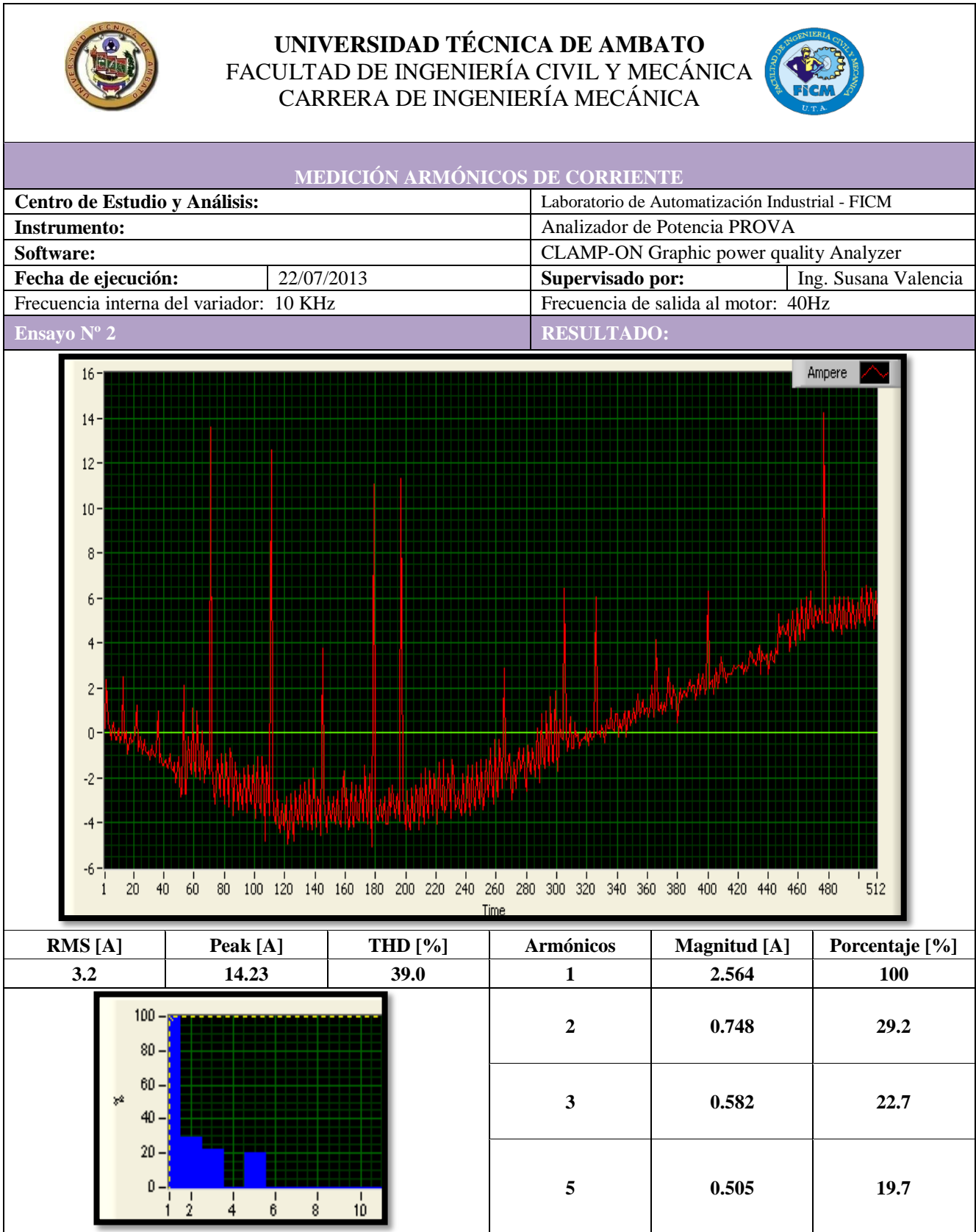
Frecuencias: 10 KHz – 40 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.12 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



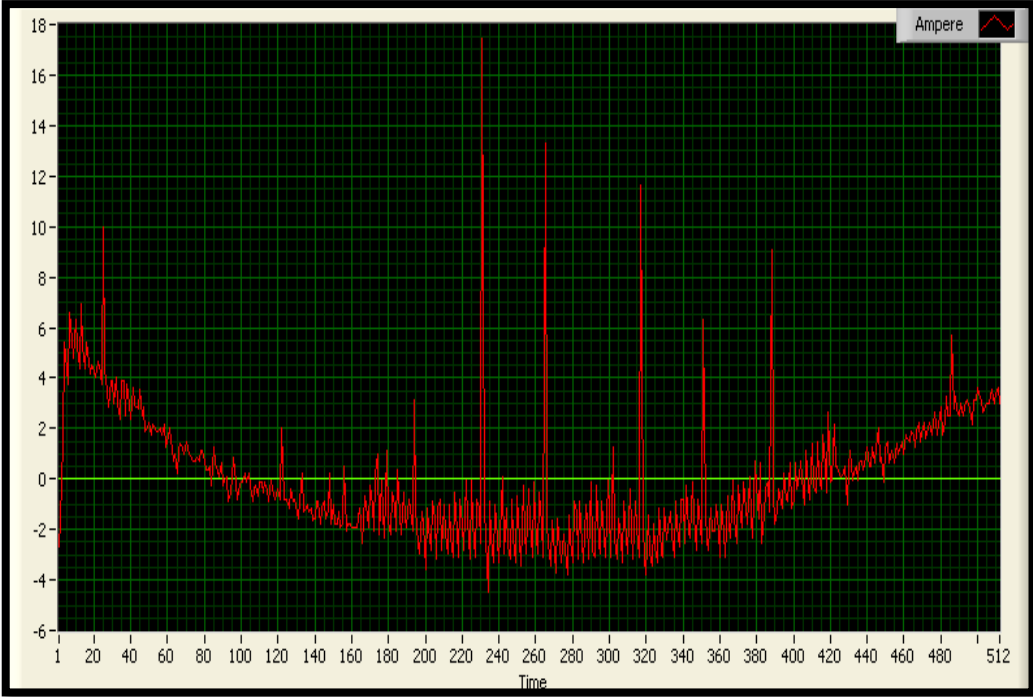
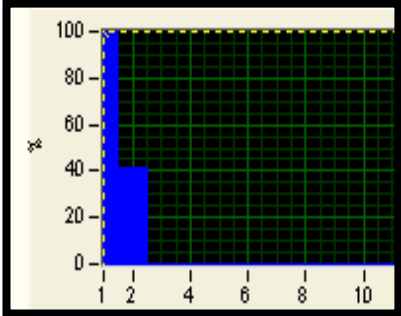
Frecuencias: 10 KHz – 40 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.13 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.




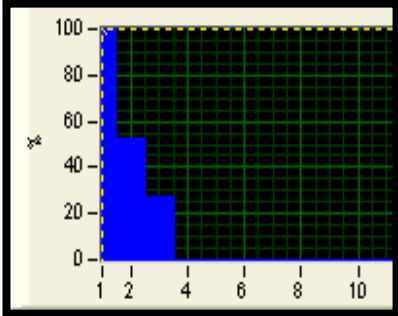
Frecuencias: 10 KHz – 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 10 KHz		Frecuencia de salida al motor: 40Hz			
Ensayo N° 3		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.5	17.43	38.8	1	1.757	100
			2	0.731	41.6

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.14 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



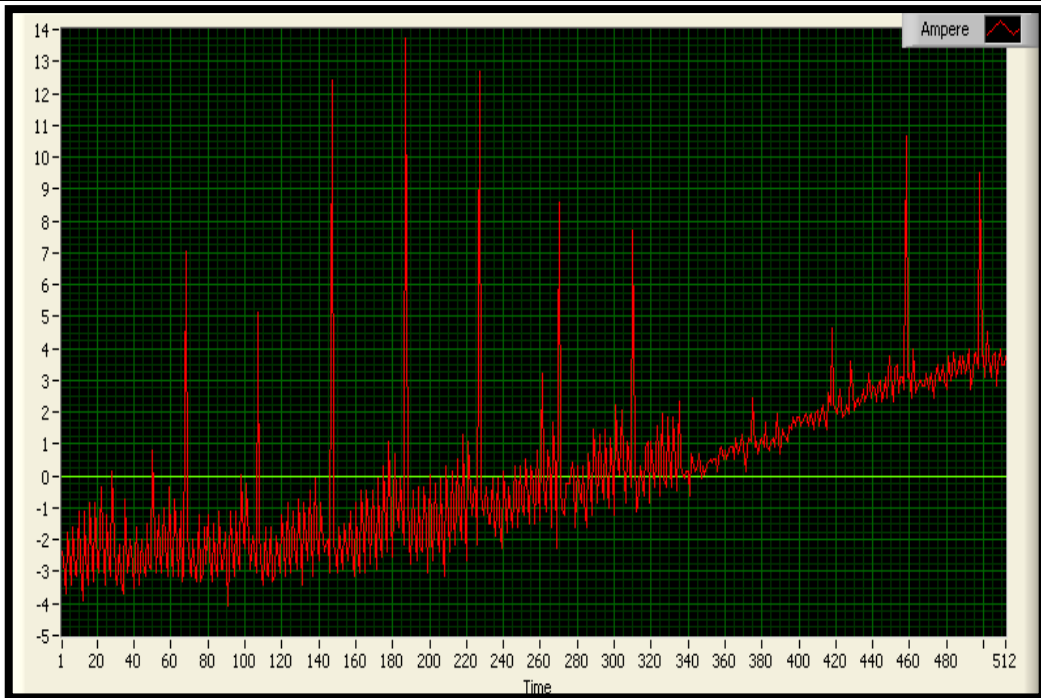
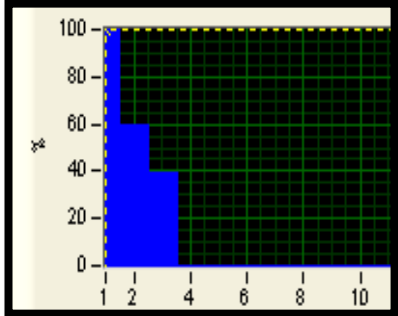
Frecuencias: 10 KHz – 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial - FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 10 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz		
Ensayo N° 1			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.3	39.58	54.8	1	2.052	100
			2	1.073	52.3
			3	0.553	26.9

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.15 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



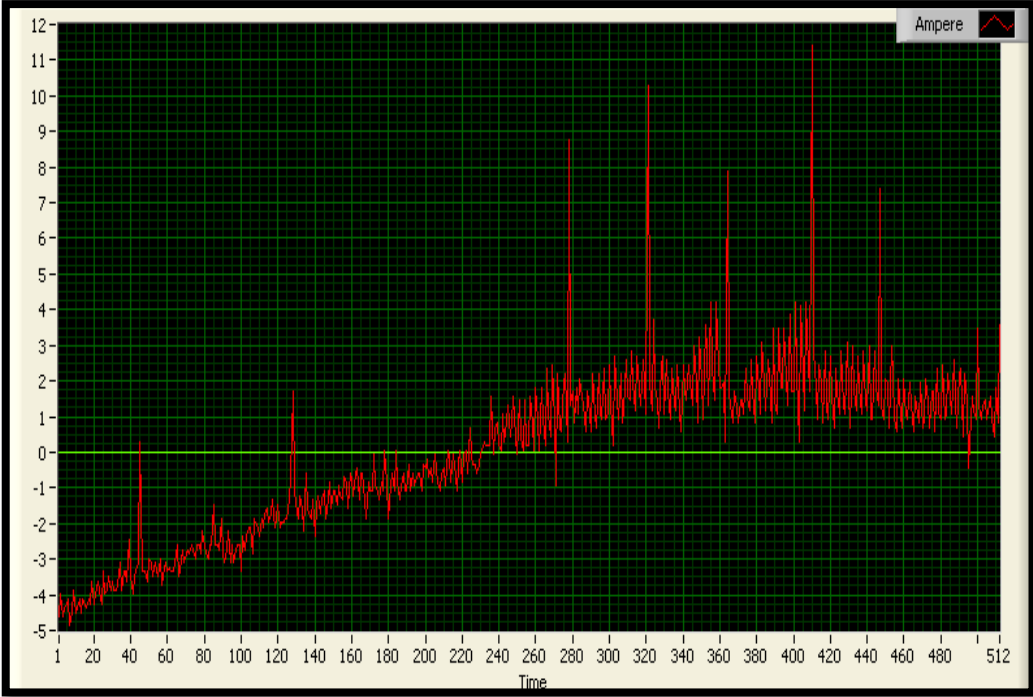
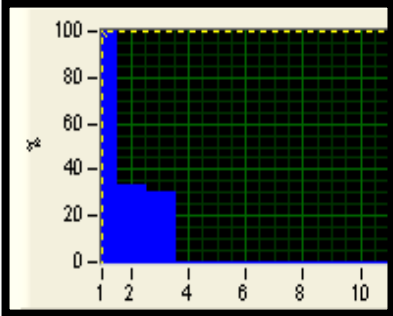
Frecuencias: 10 KHz – 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:	22/07/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia		
Frecuencia interna del variador: 10 KHz		Frecuencia de salida al motor: 20Hz			
Ensayo N° 2		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.5	13.70	66.3	1	1.517	100
			2	0.9	59.3
			3	0.594	39.2

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.16 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



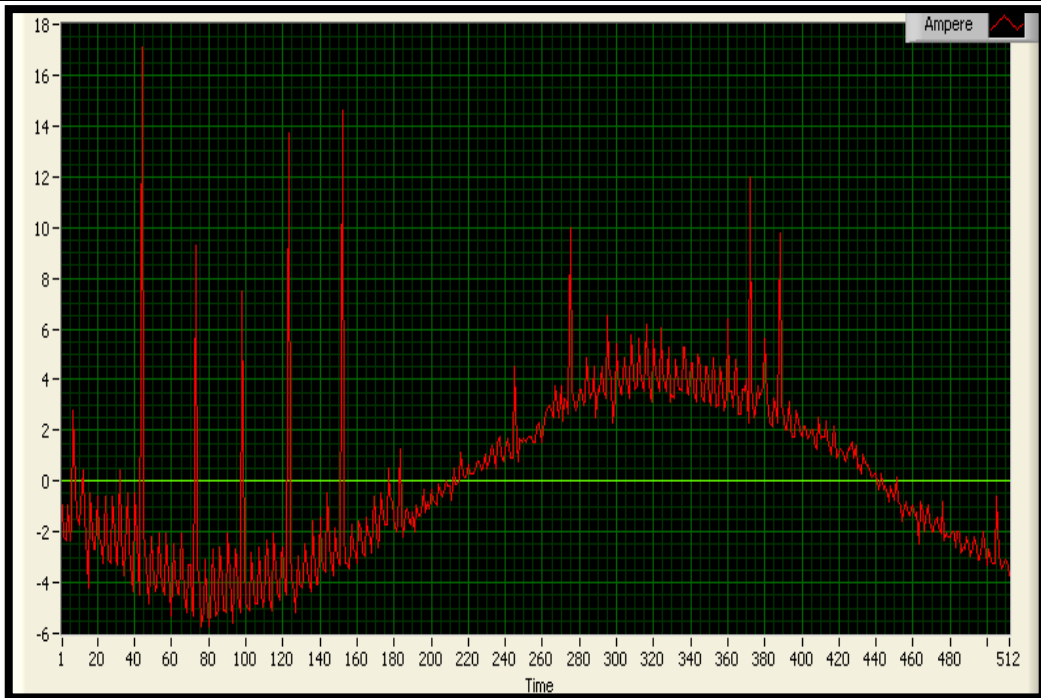
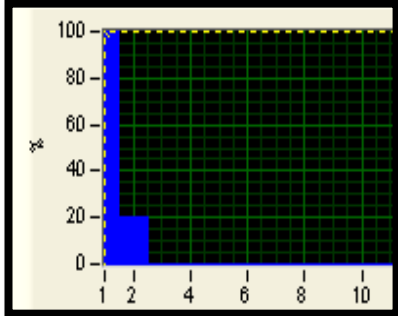
Frecuencias: 10 KHz – 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial – FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:	22/07/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia		
Frecuencia interna del variador: 10 KHz		Frecuencia de salida al motor: 20Hz			
Ensayo N° 3		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.3	11.43	41.8	1	1.880	100
			2	0.629	33.5
			3	0.562	29.9

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.17 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



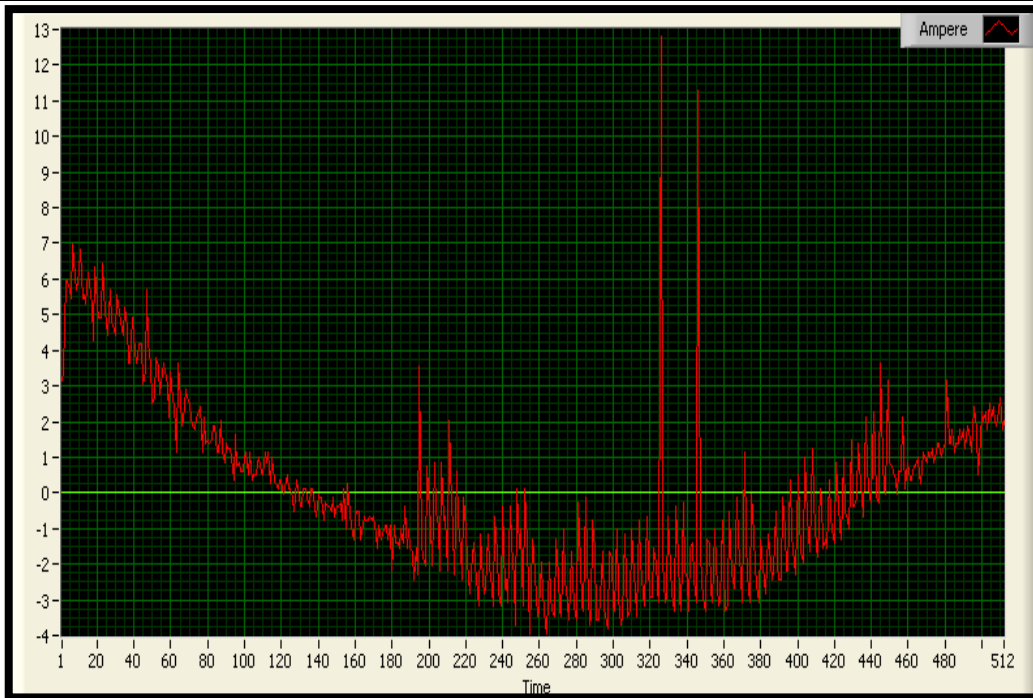
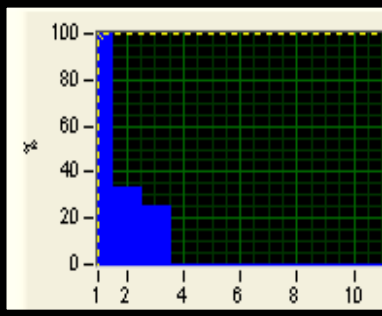
Frecuencias: 7.5 KHz – 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial – FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz		Frecuencia de salida al motor: 60Hz			
Ensayo N° 1		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.3	17.10	19.2	1	2.737	100
			2	0.564	20.6

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.18 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



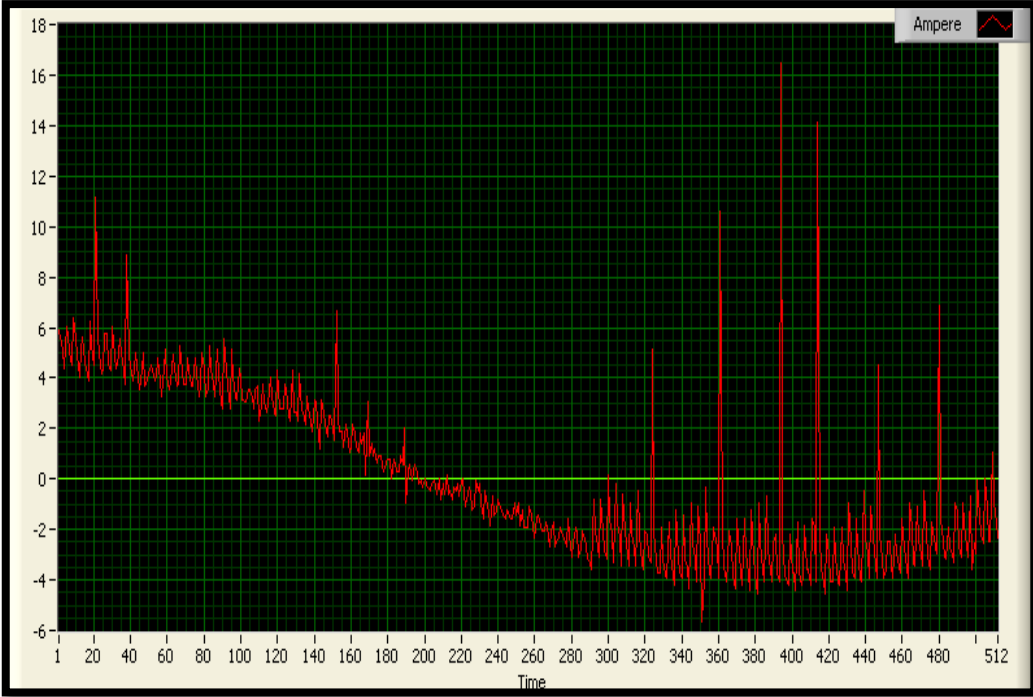
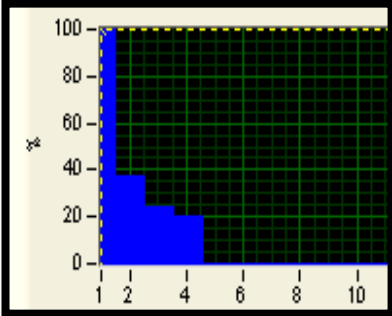
Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial – FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz		
Ensayo N° 1			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.5	12.80	38.7	1	2.041	100
			2	0.671	32.9
			3	0.518	25.4

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.19 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.




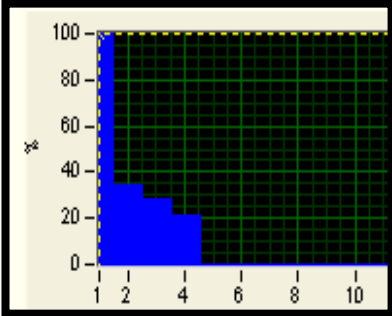
Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Automatización Industrial – FICM				
Instrumento:	Analizador de Potencia PROVA				
Software:	CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer				
Fecha de ejecución:	22/07/2013				
Supervisado por:	Ing. Susana Valencia				
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz	Frecuencia de salida al motor: 40Hz				
Ensayo N° 2	RESULTADO:				
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.3	16.47	45.3	1	2.598	100
			2	0.961	37.0
			3	0.628	24.2
			4	0.524	20.2

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.20 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



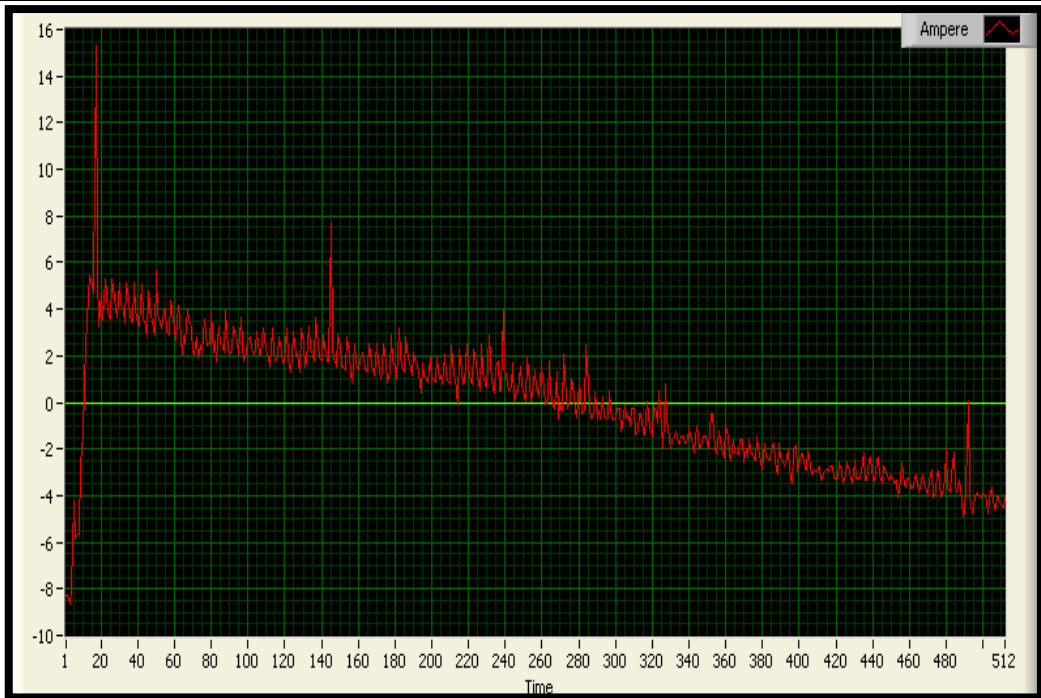
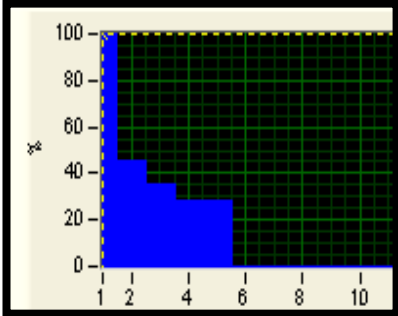
Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial – FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:	22/07/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia		
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz		Frecuencia de salida al motor: 40Hz			
Ensayo N° 3		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.6	13.29	45.9	1	3.079	100
			2	1.049	34.1
			3	0.872	28.3
			4	0.666	21.6

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.21 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.




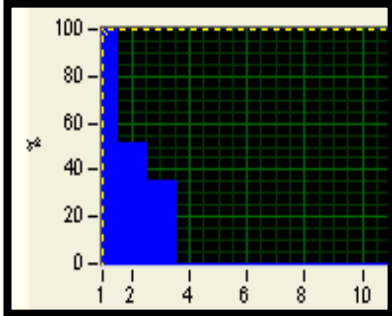
Frecuencias: 7.5 KHz – 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Automatización Industrial – FICM				
Instrumento:	Analizador de Potencia PROVA				
Software:	CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer				
Fecha de ejecución:	22/07/2013				
Supervisado por:	Ing. Susana Valencia				
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz	Frecuencia de salida al motor: 20Hz				
Ensayo N° 1	RESULTADO:				
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.8	15.33	65.2	1	2.129	100
			2	0.962	45.2
			3	0.752	35.3
			4	0.610	28.7
			5	0.598	28.1

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.22 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



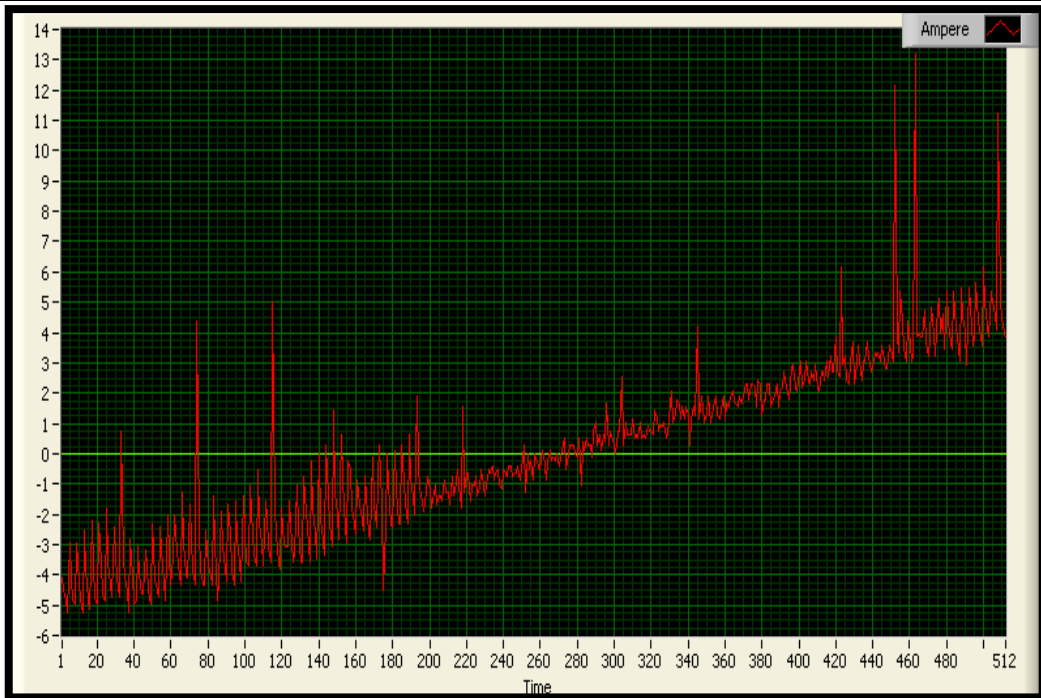
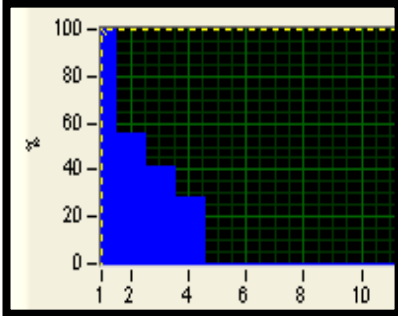
Frecuencias: 7.5 KHz – 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial – FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:	22/07/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia		
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz		Frecuencia de salida al motor: 20Hz			
Ensayo N° 2		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.9	13.38	58.5	1	1.998	100
			2	1.036	51.9
			3	0.706	35.3

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.23 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



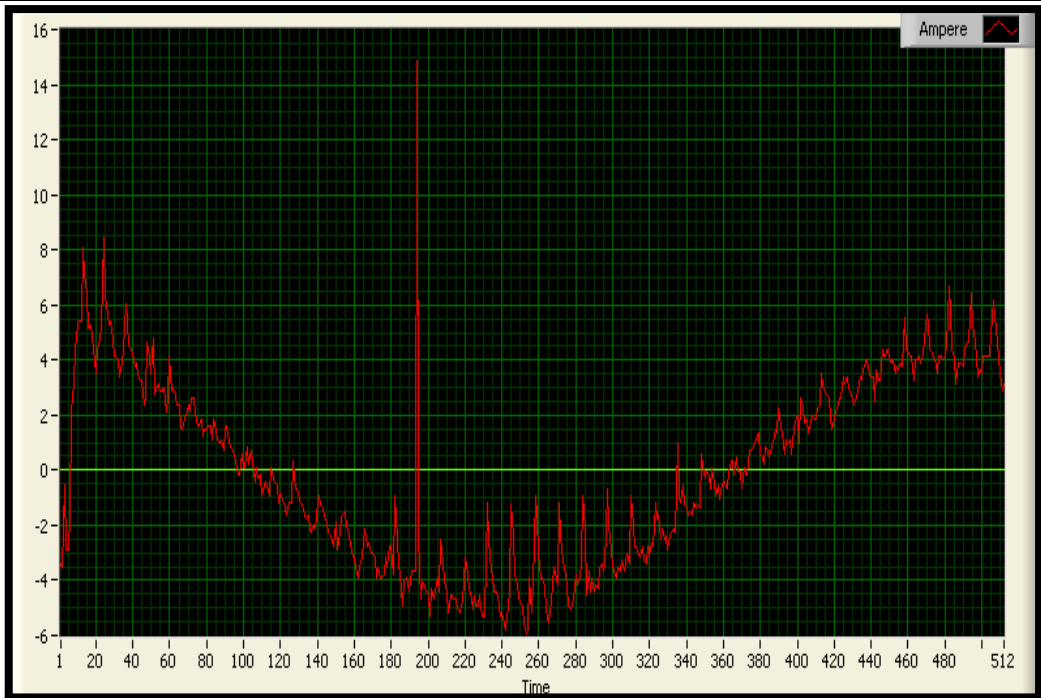
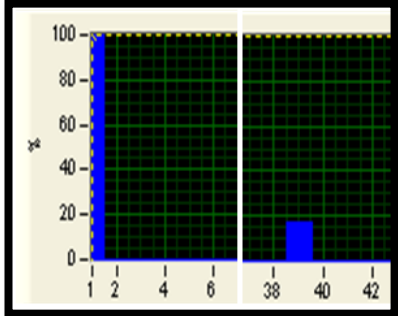
Frecuencias: 7.5 KHz – 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial – FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:	22/07/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia		
Frecuencia interna del variador: 7.5 KHz		Frecuencia de salida al motor: 20Hz			
Ensayo N° 3		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.9	13.17	69.4	1	2.075	100
			2	1.148	55.3
			3	0.850	41.0
			4	0.588	28.3

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.24 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



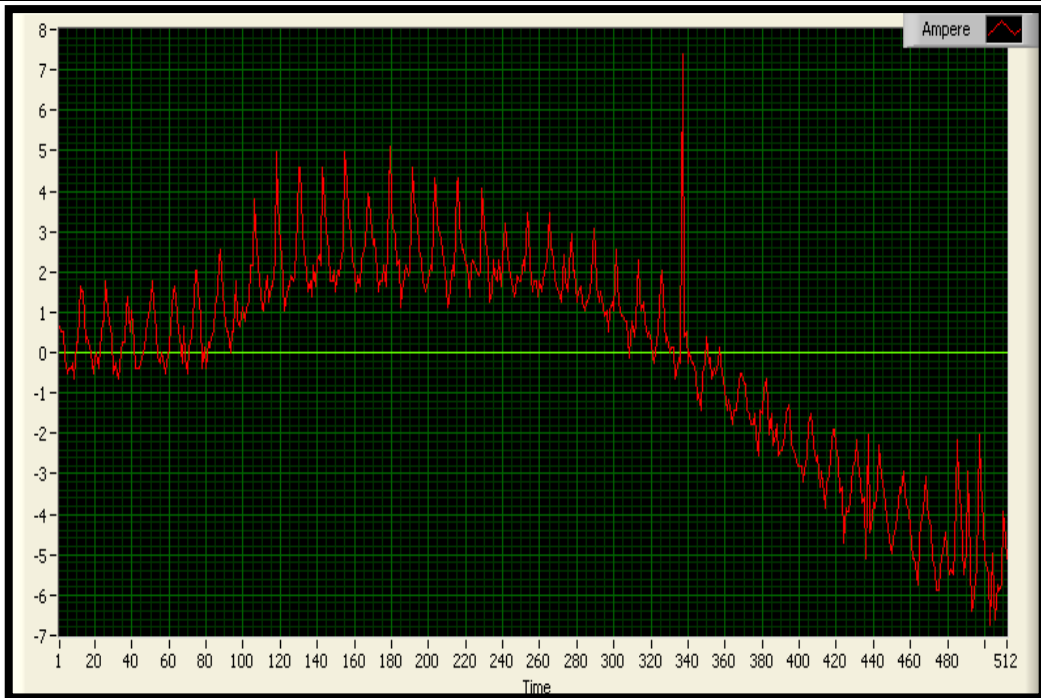
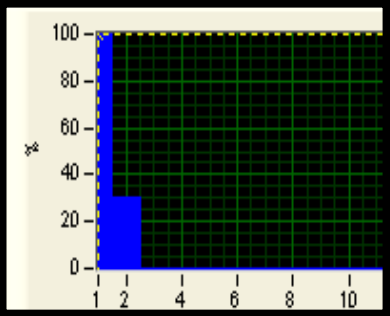
Frecuencias: 2.5 KHz – 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial – FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:		22/07/2013		Supervisado por:	
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz		Frecuencia de salida al motor: 60Hz		Ing. Susana Valencia	
Ensayo N° 1		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.4	14.86	0.0	1	3.155	100
			39	0.553	17.5

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.25 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



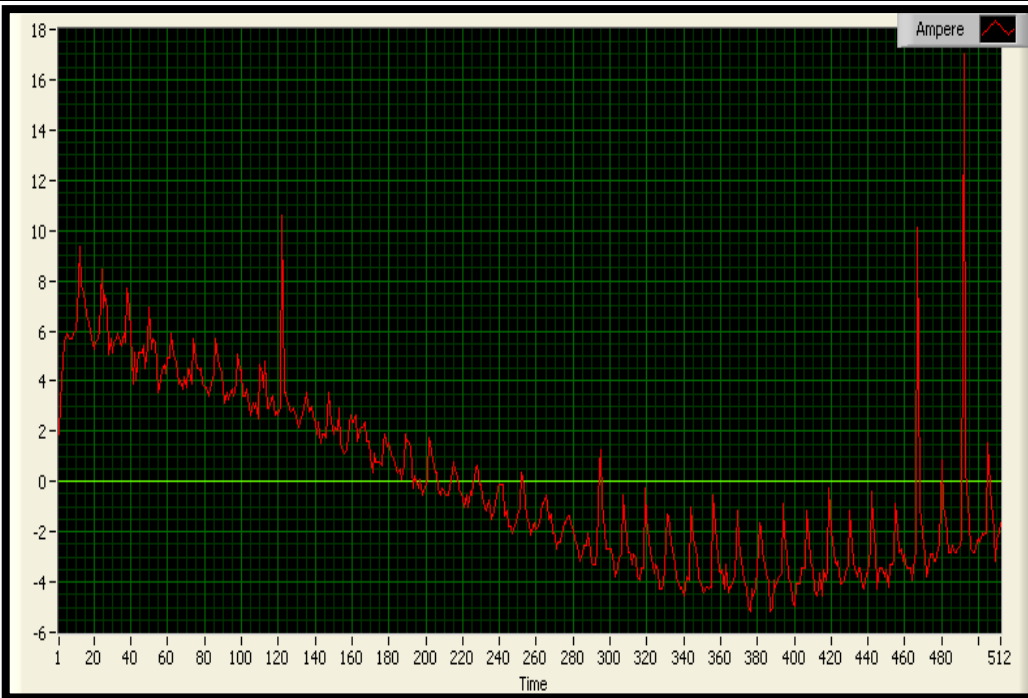
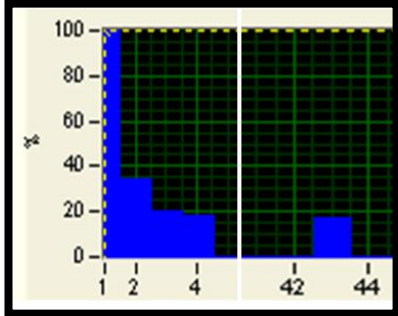
Frecuencias: 2.5 KHz – 60 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial – FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 40Hz		
Ensayo N° 1			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.6	7.393	27.8	1	2.299	100
			2	0.687	29.9

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.26 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



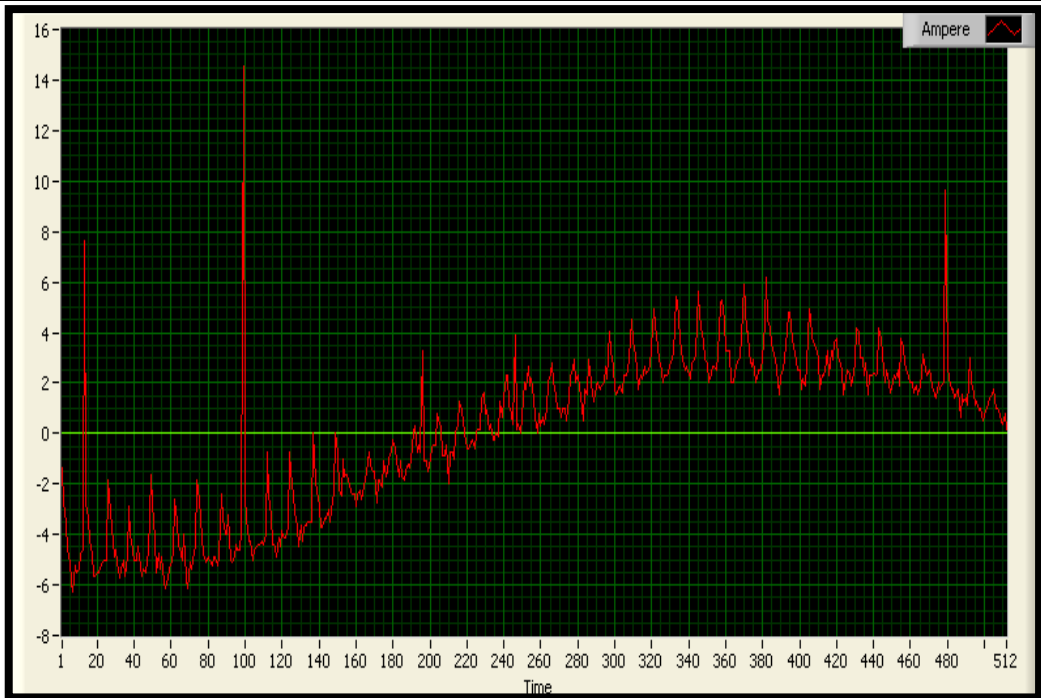
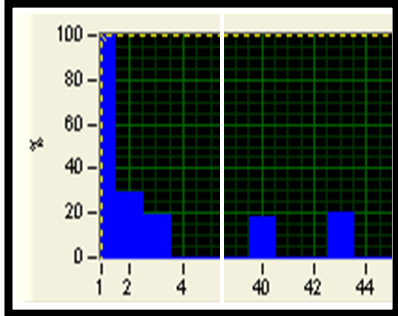
Frecuencias: 2.5 KHz – 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Automatización Industrial – FICM				
Instrumento:	Analizador de Potencia PROVA				
Software:	CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer				
Fecha de ejecución:	22/07/2013				
Supervisado por:	Ing. Susana Valencia				
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz	Frecuencia de salida al motor: 40Hz				
Ensayo N° 2	RESULTADO:				
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.5	17.03	40.6	1	2.960	100
			2	1.008	34.0
			3	0.605	20.5
			4	0.526	17.8
			43	0.502	16.9

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.27 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



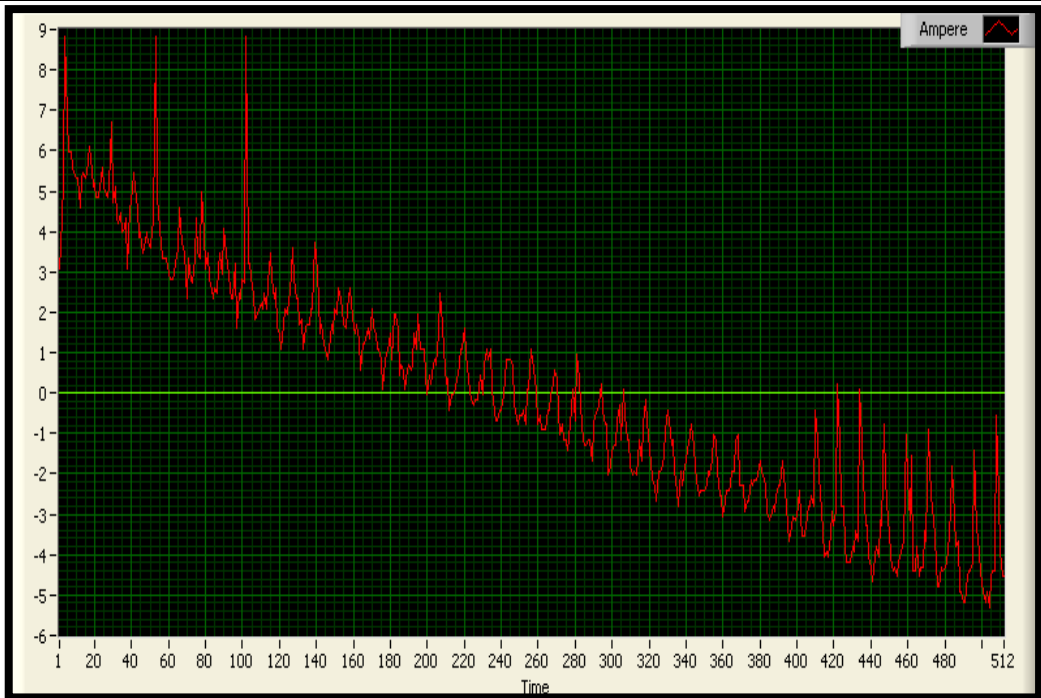
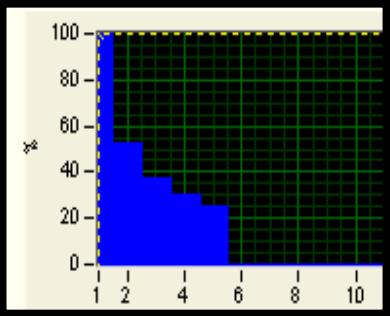
Frecuencias: 2.5 KHz – 40 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial – FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz		Frecuencia de salida al motor: 40Hz			
Ensayo N° 3		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3.2	14.56	32.4	1	2.776	100
			2	0.810	29.2
			3	0.521	18.8
			40	0.506	18.2
			43	0.552	19.9

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.28 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.




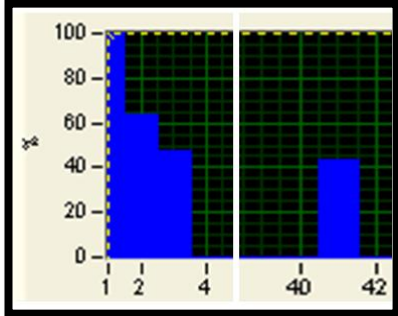
Frecuencias: 2.5 KHz – 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial – FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz		
Ensayo N° 1			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.9	8.843	70.1	1	2.213	100
			2	1.163	52.5
			3	0.821	37.1
			4	0.662	29.9
			5	0.554	25.0

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.29 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.



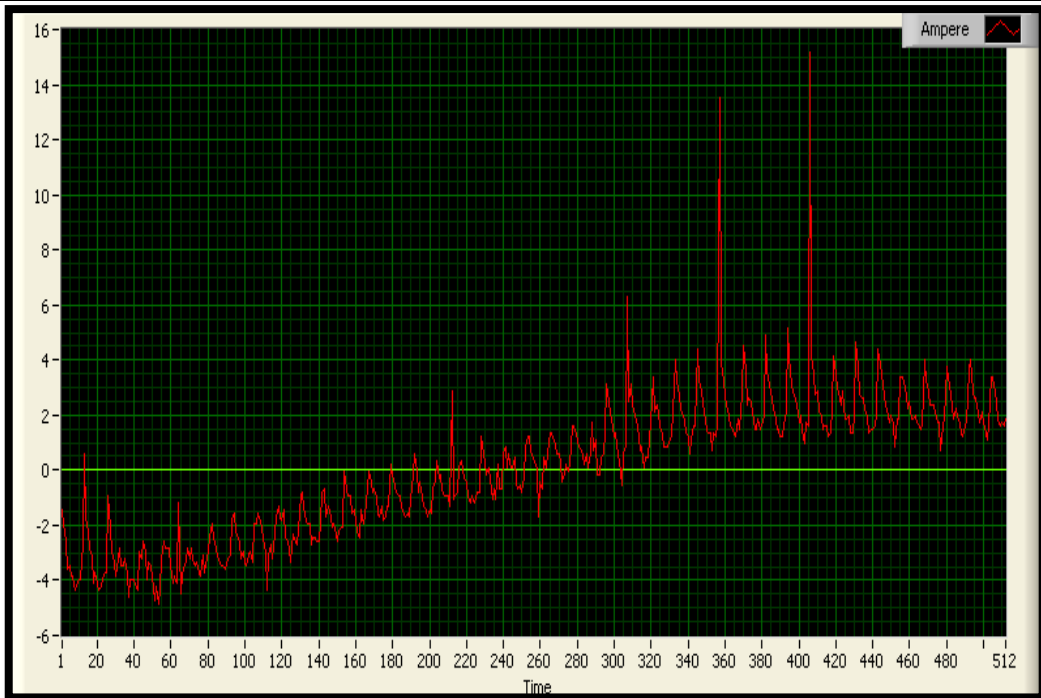
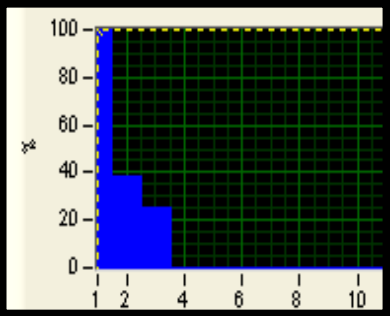
Frecuencias: 2.5 KHz – 20 Hz.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial – FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz		Frecuencia de salida al motor: 20Hz			
Ensayo N° 2		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.0	13.03	73.9	1	1.153	100
			2	0.729	63.2
			3	0.552	47.9
			41	0.504	43.7

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.6.30 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 2.5 KHz – 20 Hz.




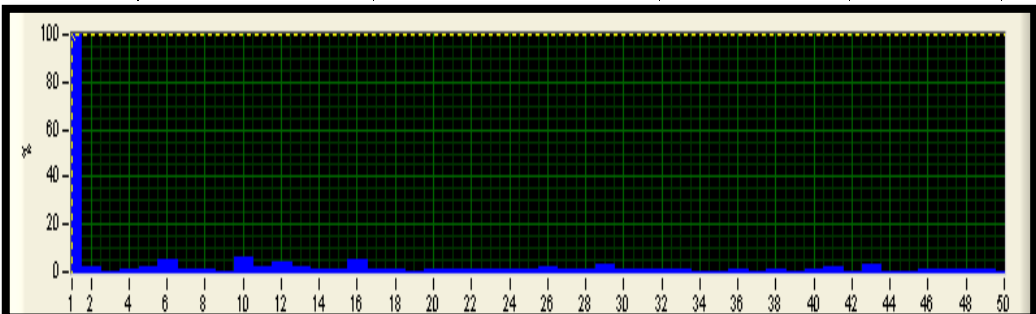
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial – FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		22/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz		
Ensayo N° 3			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2.5	15.19	43	1	2.027	100
			2	0.787	38.8
			3	0.506	25.0

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

4.7 Medición De Armónicos De Tensión Después Del Variador De Frecuencia.

Tabla 4.7.1 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 15 KHz – 60 Hz.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> </div>  </div>					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Centro de Estudio y Análisis:			Laboratorio de Automatización Industrial – FICM		
Instrumento:			Analizador de Potencia PROVA		
Software:			CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:		29/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 15 KHz			Frecuencia de salida al motor: 60Hz		
Ensayo N° 1			RESULTADO:		
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
215.2	303.5	10.8	1	202.0	100
					

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.2 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, porcentaje y magnitud de 50 armónicos.

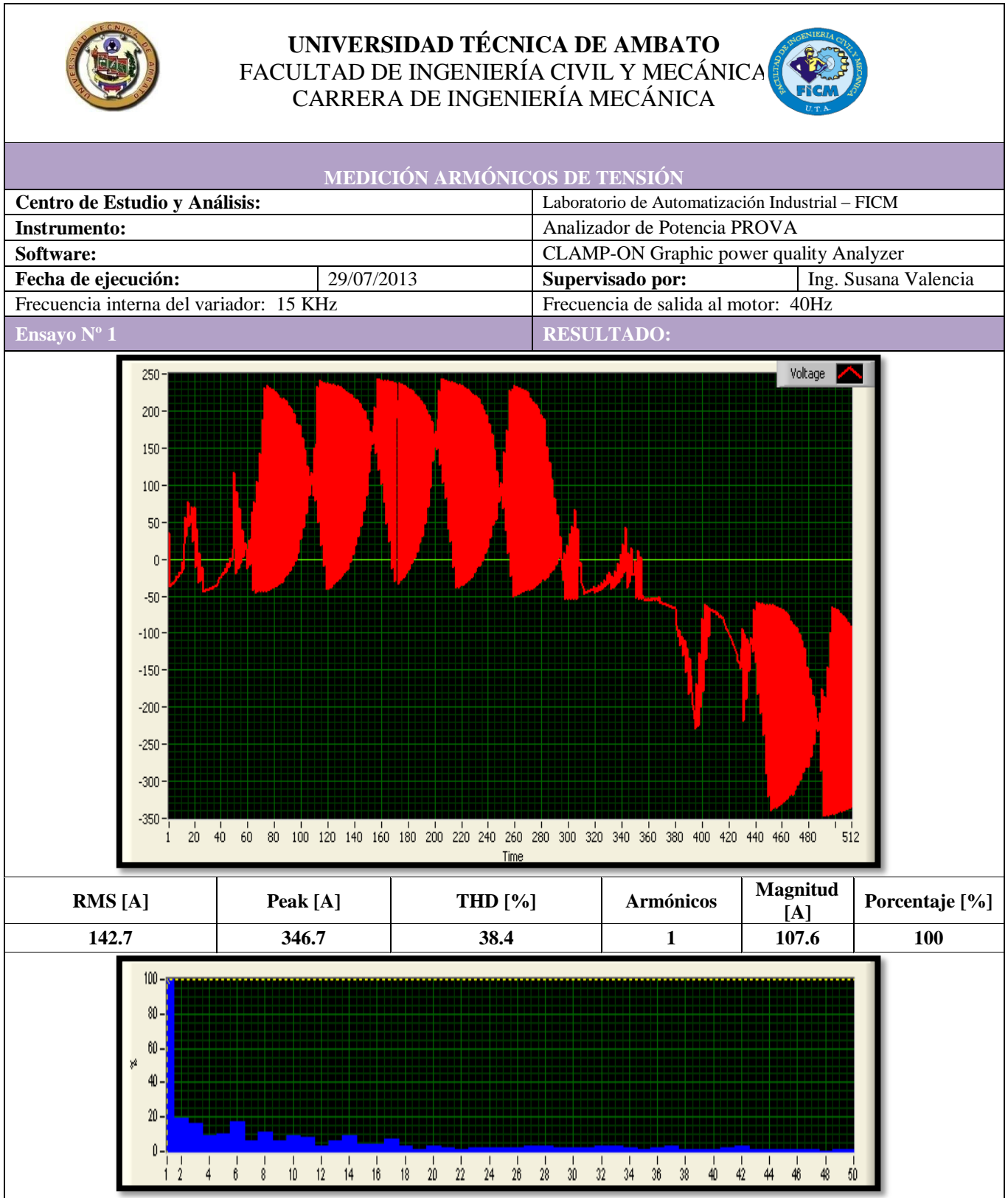
Frecuencias: 15 KHz – 60 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [V]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	202.0	100	26	3.357	1.7
2	4.436	2.2	27	2.783	1.4
3	0	0	28	1.528	0.8
4	1.986	1	29	5.201	2.6
5	4.805	2.4	30	1.224	0.6
6	10.52	5.2	31	1.382	0.7
7	1.484	0.7	32	1.051	0.5
8	1.962	1	33	1.351	0.7
9	0	0	34	0	0
10	12.03	6	35	0	0
11	3.833	1.9	36	1.766	0.9
12	8.325	4.1	37	0	0
13	3.381	1.7	38	1.714	0.8
14	2.074	1	39	0	0
15	2.773	1.4	40	2.597	1.3
16	9.194	4.6	41	4.058	2
17	2.07	1	42	0	0
18	2.381	1.2	43	6.038	3
19	0	0	44	0	0
20	1.237	0.6	45	0	0
21	1.057	0.5	46	1.367	0.7
22	2.814	1.4	47	1.378	0.7
23	2.056	1	48	1.128	0.6
24	2.173	1.1	49	1.829	0.9
25	1.301	0.6	50	0	0

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.3 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 15 KHz – 40 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.4 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.

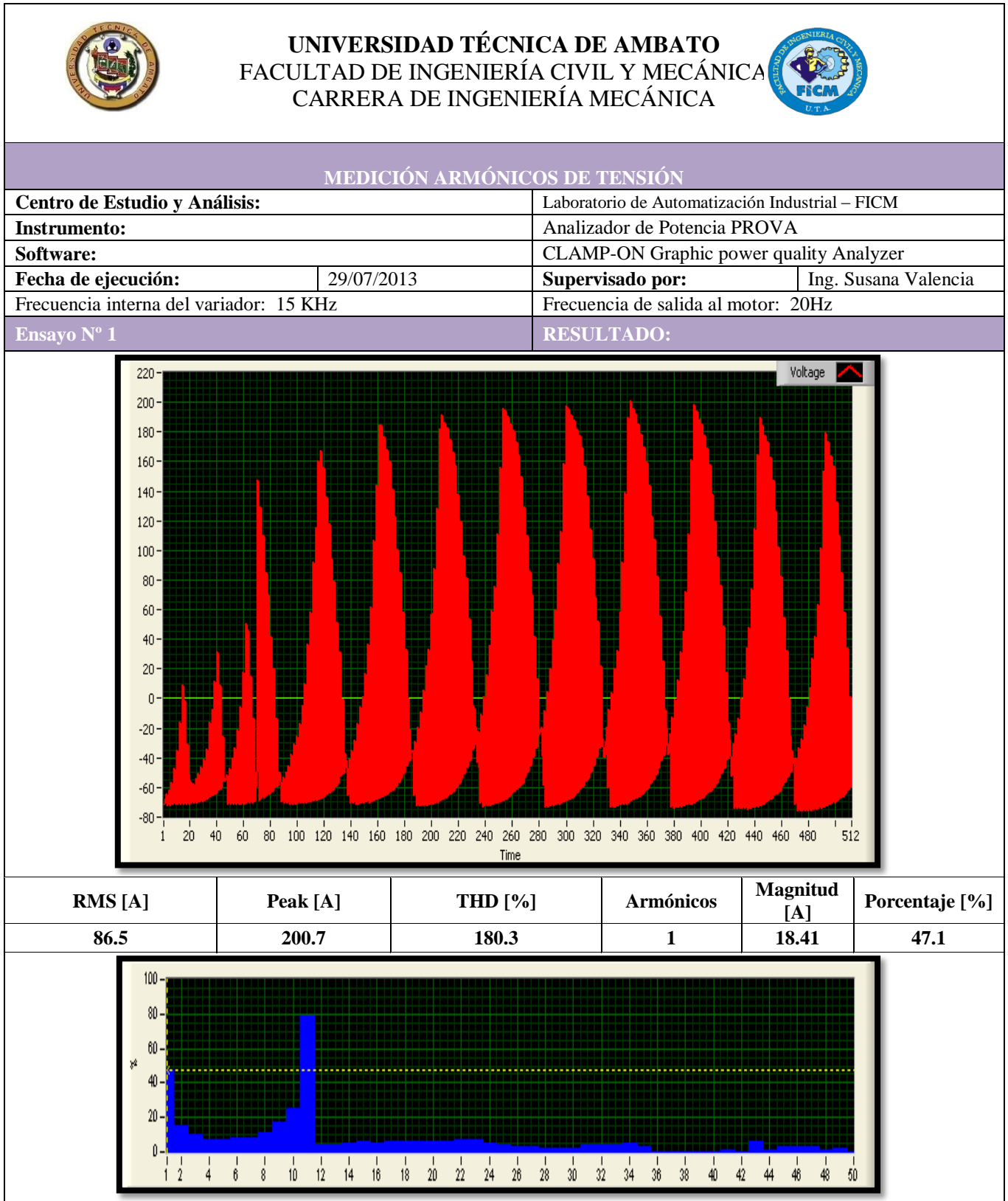
Frecuencias: 15 KHz – 40 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	107.6	100	26	2.598	2.4
2	20.65	19.2	27	2.952	2.7
3	17.2	16	28	3.542	3.3
4	10.2	9.5	29	2.167	2.0
5	10.85	10.1	30	2.126	2.0
6	17.94	16.7	31	2.141	2.0
7	6.122	5.7	32	3.048	2.8
8	11.98	11.1	33	3.215	3.0
9	6.239	5.8	34	2.48	2.3
10	9.915	9.2	35	1.352	1.3
11	8.647	8	36	2.345	2.2
12	2.843	2.6	37	2.838	2.6
13	6.071	5.6	38	0.608	0.6
14	10.12	9.4	39	1.074	1.0
15	4.547	4.2	40	1.185	1.1
16	4.84	4.5	41	2.452	2.3
17	7.09	6.6	42	2.82	2.6
18	3.65	3.4	43	1.137	1.1
19	1.095	1.0	44	1.369	1.3
20	3.603	3.3	45	0.782	0.7
21	1.774	1.6	46	1.032	1.0
22	1.068	1.0	47	0.872	0.8
23	1.851	1.7	48	0	0
24	2.44	2.3	49	0.734	0.7
25	2.069	1.9	50	0.719	0.7

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.5 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 15 KHz – 20 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.6 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.

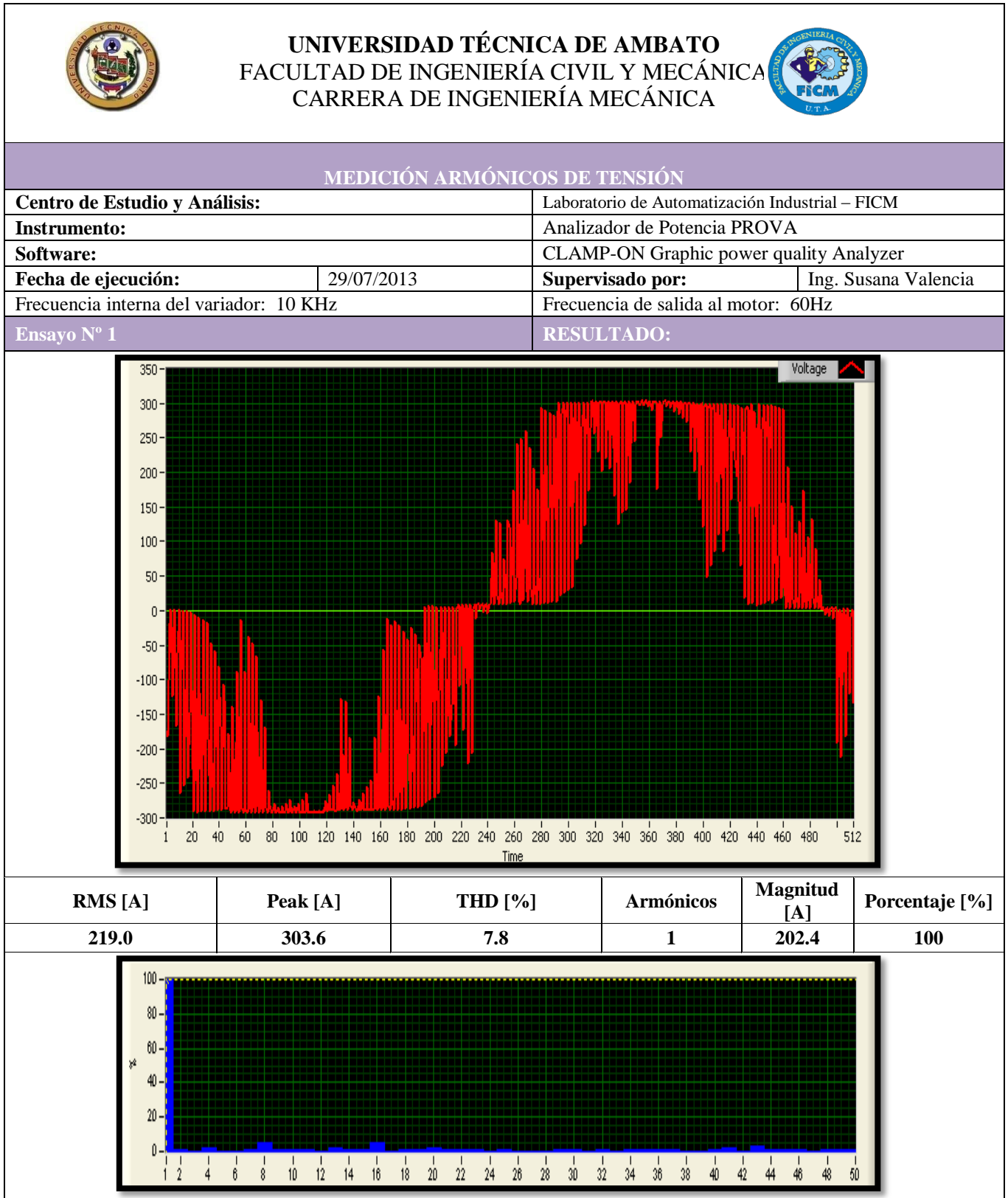
Frecuencias: 15 KHz – 20 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	18.41	47.1	26	1.347	3.4
2	5.939	15.2	27	1.128	2.9
3	3.833	9.8	28	0.882	2.3
4	2.654	6.8	29	0.736	1.9
5	2.802	7.2	30	0.746	1.9
6	3.083	7.9	31	1.569	4
7	3.311	8.5	32	1.588	4.1
8	4.182	10.7	33	1.614	4.1
9	6.598	16.9	34	1.895	4.8
10	9.683	24.8	35	1.017	2.6
11	30.92	79.1	36	0	0
12	1.675	4.3	37	0	0
13	1.722	4.4	38	0	0
14	1.874	4.8	39	0	0
15	2.262	5.8	40	0	0
16	1.985	5.1	41	0.557	1.4
17	2.318	5.9	42	0	0
18	2.173	5.6	43	2.341	6
19	2.405	6.2	44	0.508	1.3
20	2.522	6.5	45	1.273	3.3
21	2.353	6.0	46	1.233	3.2
22	2.852	7.3	47	1.222	3.1
23	2.704	6.9	48	0.588	1.5
24	2.018	5.2	49	0.71	1.8
25	1.752	4.5	50	0	0

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.7 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 10 KHz – 60 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.8 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.

Frecuencias: 10 KHz – 60 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	202.4	100	26	0	0
2	2.113	1	27	1.019	0.5
3	0	0	28	0	0
4	4.233	2.1	29	1.43	0.7
5	0	0	30	1.447	0.7
6	0	0	31	0	0
7	2.056	1	32	1.581	0.8
8	9.54	4.7	33	0	0
9	1.991	1	34	2.042	1
10	1.896	0.9	35	2.008	1
11	2.589	1.3	36	1.538	0.8
12	0	0	37	1.349	0.7
13	3.237	1.6	38	0	0
14	1.249	0.6	39	0	0
15	1.352	0.7	40	2.555	1.3
16	10.54	5.2	41	4.268	2.1
17	0	0	42	0	0
18	2.197	1.1	43	5.469	2.7
19	1.408	0.7	44	1.372	0.7
20	4.099	2.0	45	2.304	1.1
21	1.548	0.8	46	2.246	1.1
22	1.246	0.6	47	0	0
23	1.846	0.9	48	1.8	0.9
24	0	0	49	1.516	0.7
25	1.096	0.5	50	1.471	0.7

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.9 Medición armónicos de corriente después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 10 KHz – 40 Hz.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

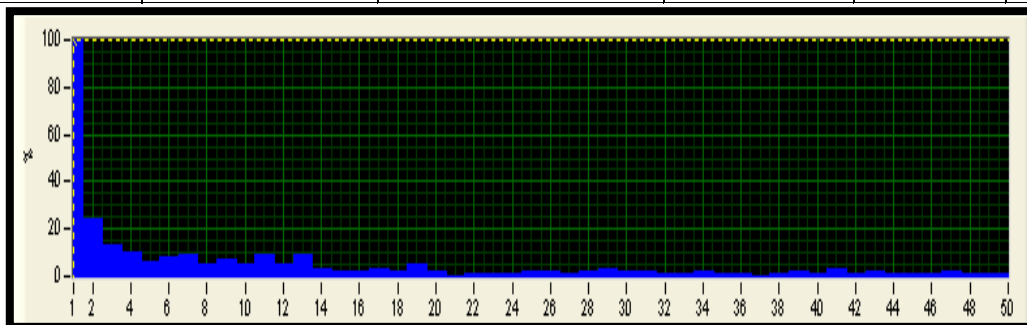


MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN

Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Automatización Industrial – FICM		
Instrumento:	Analizador de Potencia PROVA		
Software:	CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer		
Fecha de ejecución:	29/07/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 10 KHz		Frecuencia de salida al motor: 40Hz	
Ensayo N° 1	RESULTADO:		



RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
153.8	359.7	34.8	1	108.4	100



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.10 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.

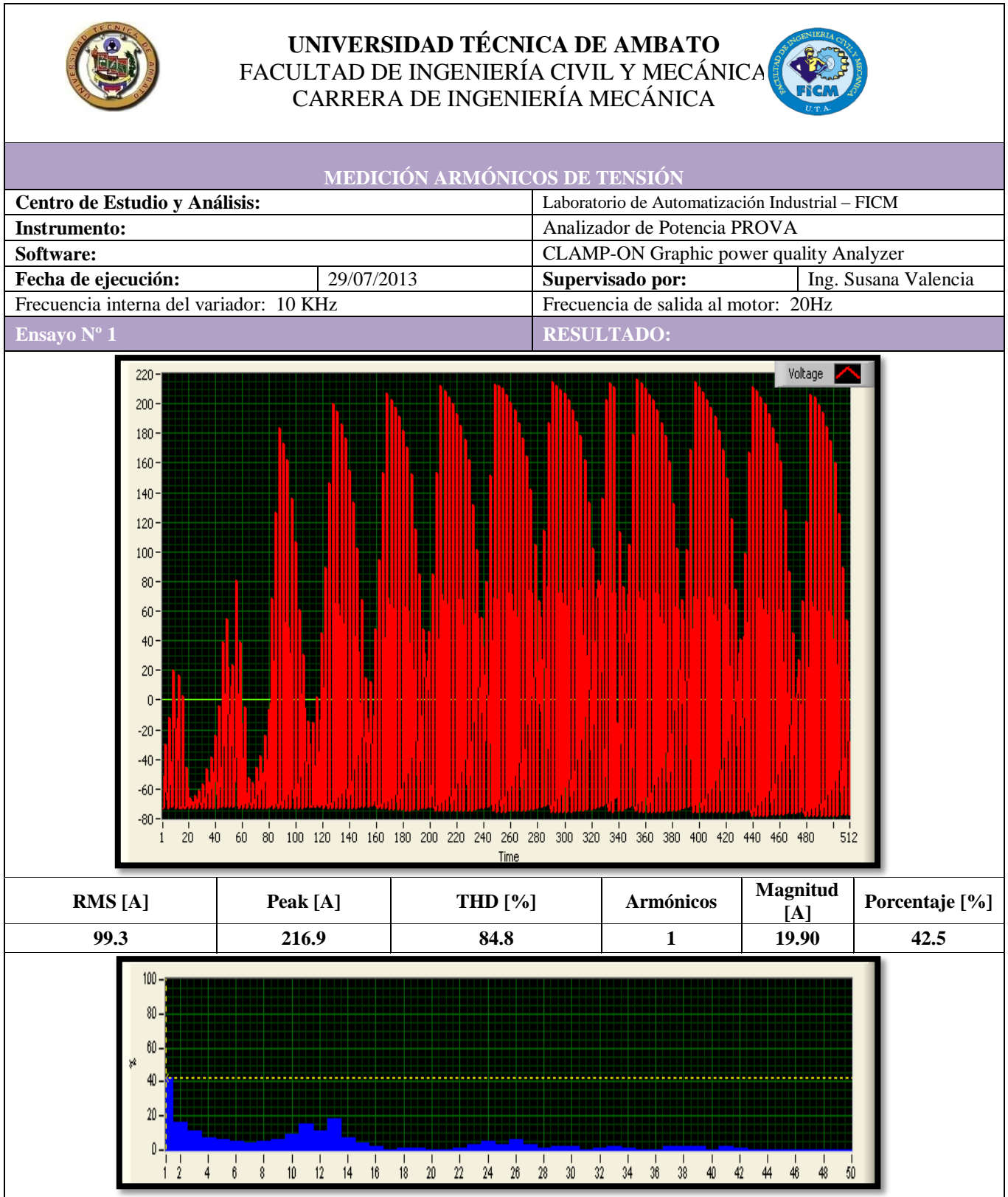
Frecuencias: 10 KHz – 40 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	108.4	100	26	1.728	1.6
2	25.94	23.9	27	1.109	1.0
3	13.71	12.6	28	2.42	2.2
4	10.75	9.9	29	3.826	3.5
5	6.793	6.3	30	2.724	2.5
6	8.74	8.1	31	1.887	1.7
7	9.965	9.2	32	0.818	0.8
8	5.668	5.2	33	1.617	1.5
9	7.338	6.8	34	1.975	1.8
10	5.798	5.3	35	0.867	0.8
11	10.11	9.3	36	0.865	0.8
12	5.361	4.9	37	0	0
13	9.852	9.1	38	0.716	0.7
14	3.223	3.0	39	2.122	2
15	2.533	2.3	40	0.821	0.8
16	1.845	1.7	41	3.563	3.3
17	3.012	2.8	42	0.649	0.6
18	2.534	2.3	43	1.969	1.8
19	5.972	5.5	44	1.599	1.5
20	2.363	2.2	45	0.785	0.7
21	0	0	46	1.446	1.3
22	1.315	1.2	47	2.13	2
23	0.759	0.7	48	1.313	1.2
24	1.378	1.3	49	1.348	1.2
25	2.174	2.0	50	0.912	0.8

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.11 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 10 KHz – 20 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.12 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.

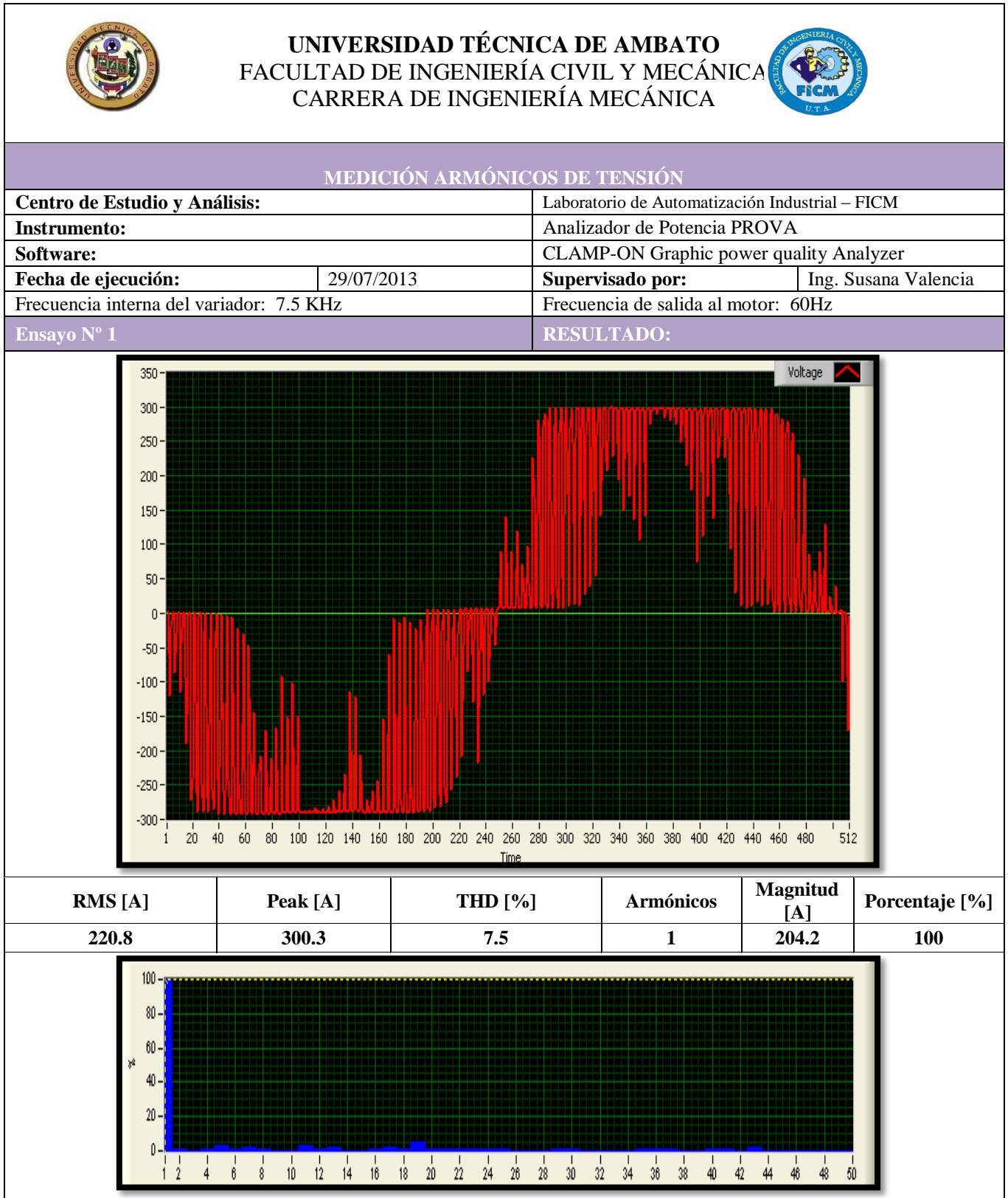
Frecuencias: 10 KHz – 20 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	19.90	42.5	26	2.723	5.8
2	7.555	16.2	27	1.253	2.7
3	5.207	11.1	28	0.639	1.4
4	3.322	7.1	29	0.72	1.5
5	2.938	6.3	30	0.829	1.8
6	2.307	4.9	31	0	0
7	1.891	4	32	0.586	1.3
8	2.422	5.2	33	0.817	1.7
9	2.613	5.6	34	0.503	1.1
10	4.236	9.1	35	0	0
11	6.941	14.8	36	0	0
12	5.345	11.4	37	0.791	1.7
13	8.423	18	38	0.81	1.7
14	3.458	7.4	39	0.81	1.7
15	1.869	4.0	40	0	0
16	0.871	1.9	41	1.037	2.2
17	0	0	42	0.686	1.5
18	0.565	1.2	43	0	0
19	0.644	1.4	44	0	0
20	0	0	45	0	0
21	0	0	46	0	0
22	0.605	1.3	47	0	0
23	1.467	3.1	48	0	0
24	2.457	5.3	49	0	0
25	1.519	3.2	50	0	0

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.13 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 7.5 KHz – 60 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.14 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.

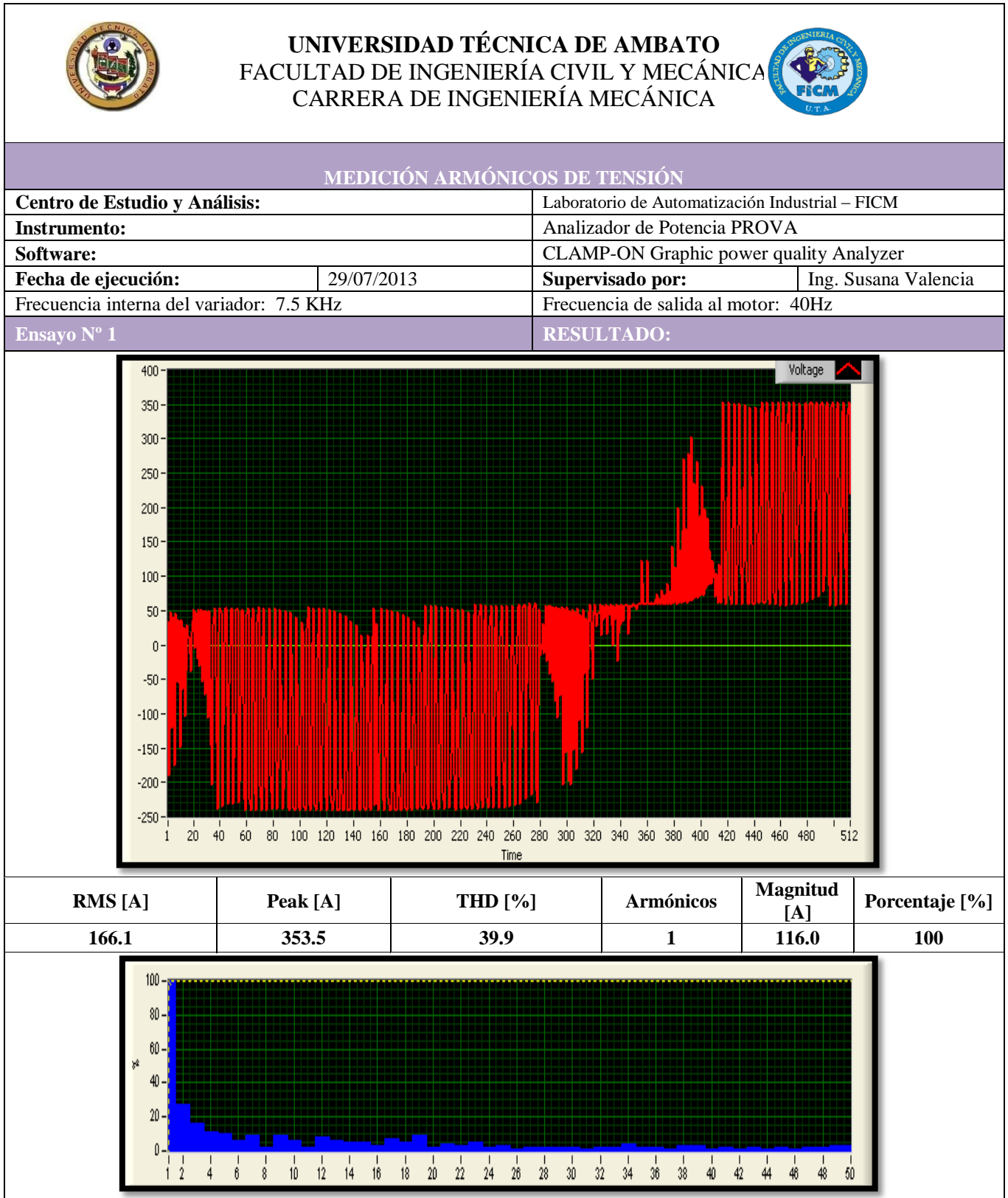
Frecuencias: 7.5 KHz – 60 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	204.2	100	26	0	0
2	1.572	0.8	27	0	0
3	0	0	28	0	0
4	2.498	1.2	29	1.392	0.7
5	6.067	3.0	30	1.261	0.6
6	1.41	0.7	31	0	0
7	4.543	2.2	32	0	0
8	1.151	0.6	33	0	0
9	0	0	34	0	0
10	0	0	35	1.42	0.7
11	6.229	3.1	36	1.098	0.5
12	2.98	1.5	37	1.463	0.7
13	4.352	2.1	38	0	0
14	0	0	39	0	0
15	0	0	40	2.119	1.0
16	1.821	0.9	41	2.15	1.1
17	4.353	2.1	42	0	0
18	2.313	1.1	43	3.437	1.7
19	9.542	4.7	44	0	0
20	2.591	1.3	45	0	0
21	1.134	0.6	46	0	0
22	1.153	0.6	47	0	0
23	1.74	0.9	48	0	0
24	1.276	0.6	49	0	0
25	1.315	0.6	50	0	0

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.15 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.16 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.

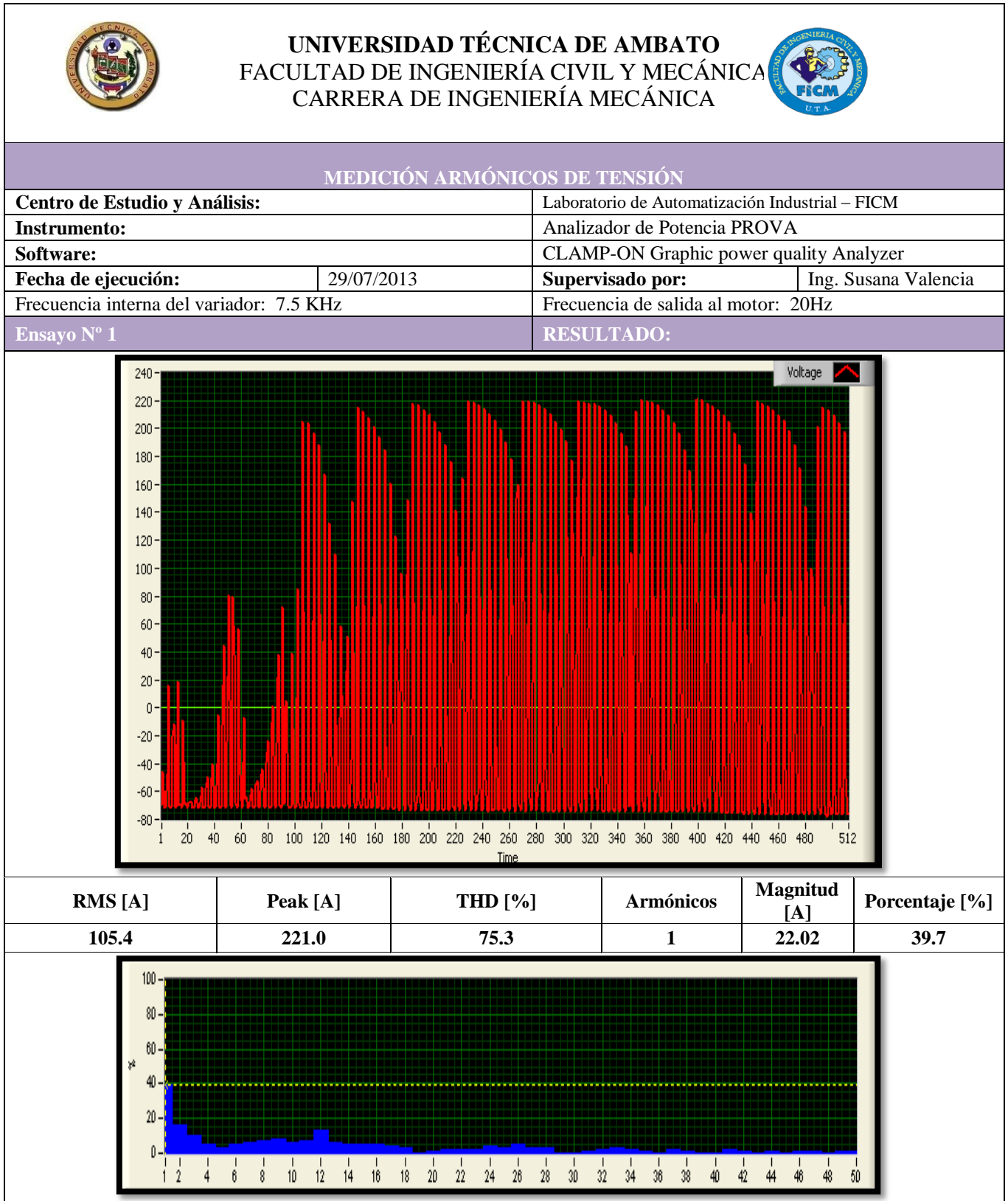
Frecuencias: 7.5 KHz – 40 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	116.0	100	26	1.676	1.4
2	31.86	27.5	27	2.187	1.9
3	18.41	15.9	28	2.715	2.3
4	12.89	11.1	29	1.936	1.7
5	11.27	9.7	30	2.357	2.0
6	6.543	5.6	31	1.321	1.1
7	10.11	8.7	32	2.166	1.9
8	1.949	1.7	33	2.409	2.1
9	10	8.6	34	4.15	3.6
10	6.543	5.6	35	2.703	2.3
11	2.046	1.8	36	1.942	1.7
12	9.462	8.2	37	1.61	1.4
13	6.645	5.7	38	3.008	2.6
14	5.733	4.9	39	3.234	2.8
15	5.8	5	40	1.504	1.3
16	3.462	3	41	2.756	2.4
17	8.189	7.1	42	1.316	1.1
18	6.091	5.3	43	2.842	2.4
19	10.24	8.8	44	1.428	1.2
20	2.815	2.4	45	2.516	2.2
21	4.263	3.7	46	1.537	1.3
22	3.326	2.9	47	2.022	1.7
23	5.949	5.1	48	1.937	1.7
24	2.843	2.5	49	3.298	2.8
25	3.006	2.6	50	3.010	2.6

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.17 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 7.5 KHz – 20 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.18 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.

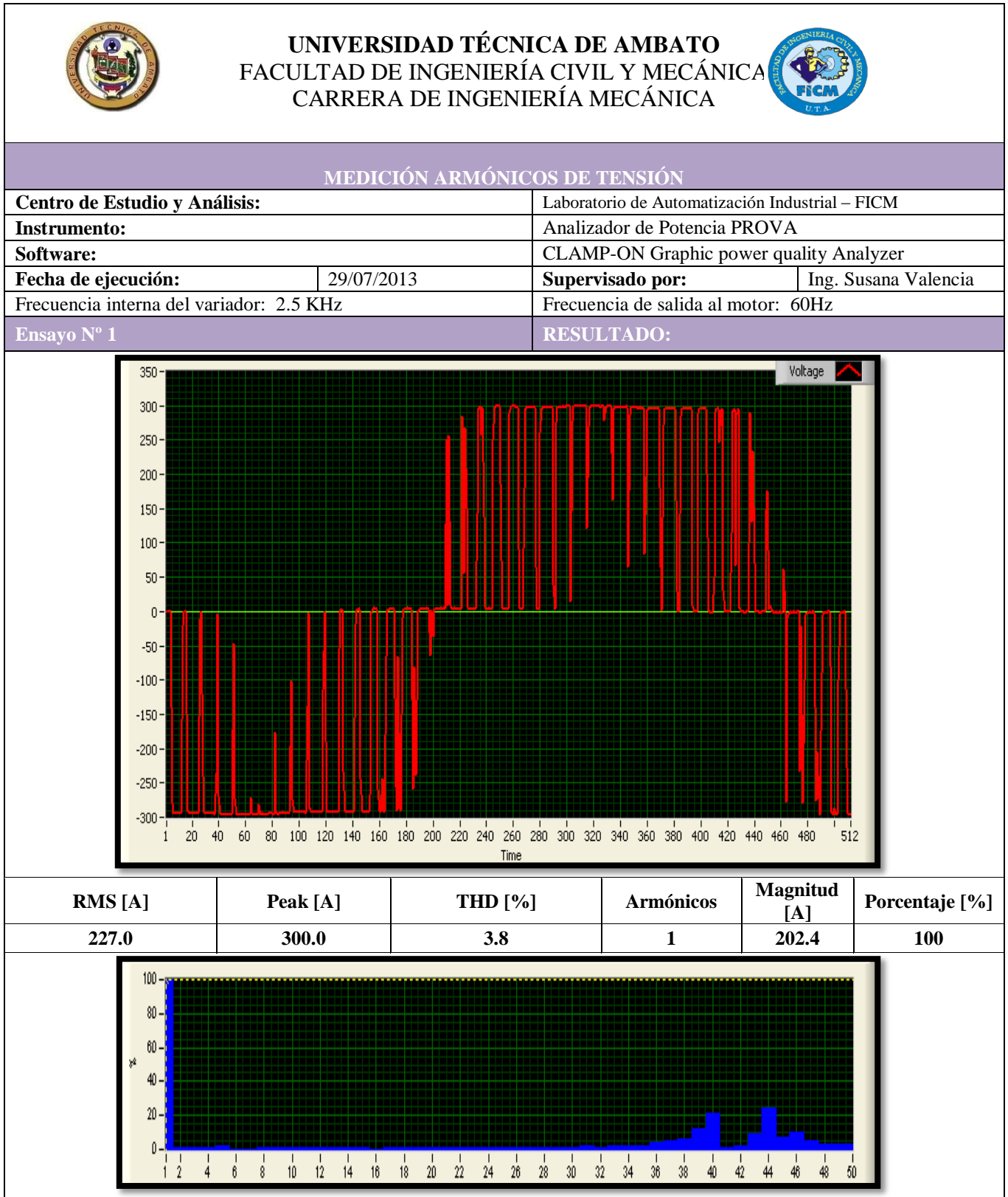
Frecuencias: 7.5 KHz – 20 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	22.02	39.7	26	2.535	4.6
2	8.749	15.8	27	1.804	3.2
3	5.555	10	28	1.451	2.6
4	2.991	5.4	29	0	0
5	1.767	3.2	30	0	0
6	2.537	4.6	31	0.709	1.3
7	3.351	6.0	32	1.401	2.5
8	4.037	7.3	33	1.536	2.8
9	4.515	8.1	34	0.935	1.7
10	3.504	6.3	35	0.721	1.3
11	4.142	7.5	36	0	0
12	7.115	12.8	37	1.106	2.0
13	3.288	5.9	38	0.796	1.4
14	2.567	4.6	39	0	0
15	2.814	5.1	40	0	0
16	3.068	5.5	41	0.906	1.6
17	2.086	3.8	42	0.828	1.5
18	1.478	2.7	43	0	0
19	0	0	44	0.599	1.1
20	0.831	1.5	45	0	0
21	1.049	1.9	46	0.662	1.2
22	0.973	1.8	47	0.802	1.4
23	1.308	2.4	48	0	0
24	2.381	4.3	49	0.533	1.0
25	1.414	2.5	50	0.686	1.2

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.19 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 2.5 KHz – 60 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.20 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.

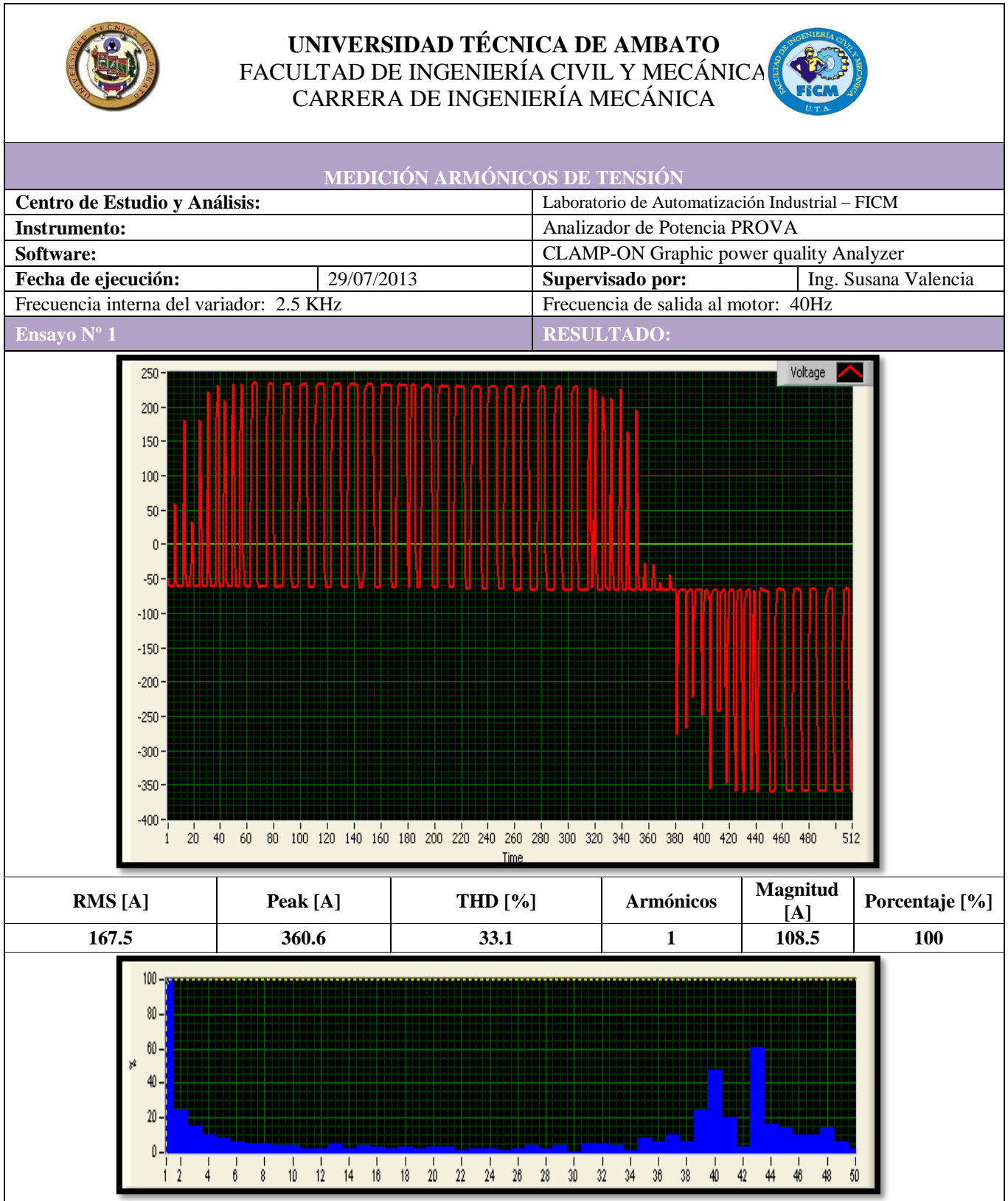
Frecuencias: 2.5 KHz – 60 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	202.4	100	26	1.924	1.0
2	1.372	0.7	27	2.586	1.3
3	1.647	0.8	28	2.998	1.5
4	1.795	0.9	29	3.053	1.5
5	3.216	1.6	30	2.263	1.1
6	0	0	31	3.976	2.0
7	0	0	32	2.420	1.2
8	1.537	0.8	33	4.683	2.3
9	1.231	0.6	34	4.121	2.0
10	1.297	0.6	35	4.840	2.4
11	1.269	0.6	36	7.477	3.7
12	1.266	0.6	37	10.83	5.4
13	1.543	0.8	38	12.13	6.0
14	1.140	0.6	39	25.18	12.4
15	1.617	0.8	40	41.99	20.7
16	0	0	41	3.003	1.5
17	2.564	1.3	42	5.016	2.5
18	1.269	0.6	43	18.12	9.0
19	2.354	1.2	44	49.47	24.4
20	1.176	0.6	45	14.17	7.0
21	1.335	0.7	46	21.4	10.6
22	1.605	0.8	47	9.683	4.8
23	1.565	0.8	48	6.376	3.1
24	1.729	0.9	49	6.21	3.1
25	1.048	0.5	50	6.757	3.3

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.21 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 2.5 KHz – 40 Hz.



Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.22 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.



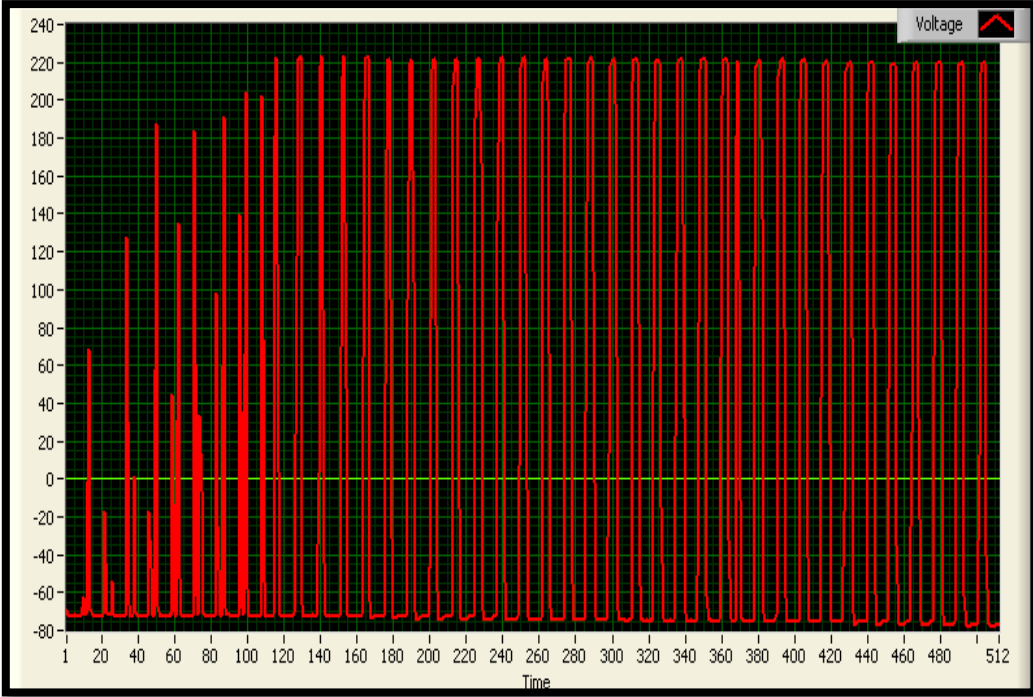
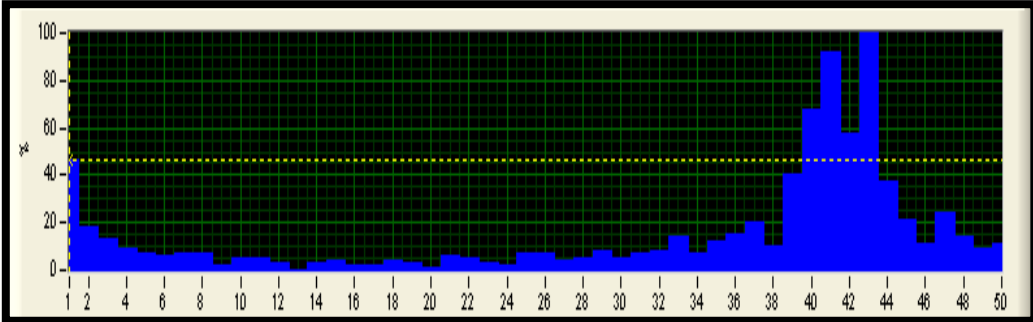
Frecuencias: 2.5 KHz – 40 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	108.5	100	26	1.652	1.5
2	26.76	24.7	27	4.040	3.7
3	16.21	14.9	28	2.358	2.2
4	11.33	10.4	29	4.089	3.8
5	9.221	8.5	30	0	0
6	6.362	5.9	31	5.108	4.7
7	5.623	5.2	32	5.648	5.2
8	5.740	5.3	33	4.103	3.8
9	4.701	4.3	34	1.253	1.2
10	4.595	4.2	35	9.316	8.6
11	2.358	2.2	36	6.388	5.9
12	2.674	2.5	37	11.32	10.4
13	5.095	4.7	38	6.905	6.4
14	2.575	2.4	39	25.97	23.9
15	4.514	4.2	40	51.91	47.8
16	3.207	3.0	41	22.29	20.5
17	1.852	1.7	42	3.092	2.8
18	3.393	3.1	43	65.38	60.2
19	1.751	1.6	44	17.93	16.5
20	2.878	2.7	45	14.87	13.7
21	2.873	2.6	46	11.44	10.5
22	0.972	0.9	47	10.42	9.6
23	1.701	1.6	48	15.24	14
24	2.53	2.3	49	6.224	5.7
25	1.309	1.2	50	2.407	2.2

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.23 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia.

Frecuencias: 2.5 KHz – 20 Hz.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div>  </div>					
MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial – FICM			
Instrumento:		Analizador de Potencia PROVA			
Software:		CLAMP-ON Graphic power quality Analyzer			
Fecha de ejecución:		29/07/2013	Supervisado por:		Ing. Susana Valencia
Frecuencia interna del variador: 2.5 KHz			Frecuencia de salida al motor: 20Hz		
Ensayo N° 1		RESULTADO:			
					
RMS [A]	Peak [A]	THD [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
119.9	223.5	65.9	1	23.92	46.3
					

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Tabla 4.7.24 Medición armónicos de tensión después del variador de frecuencia, magnitud y porcentajes de 50 armónicos.

Frecuencias: 2.5 KHz – 20 Hz.

MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN					
Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	Armónicos	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
1	23.92	46.3	26	3.716	7.2
2	9.314	18.0	27	2.307	4.5
3	6.701	13.0	28	2.714	5.3
4	4.724	9.1	29	4.28	8.3
5	3.514	6.8	30	2.411	4.7
6	3.254	6.3	31	3.648	7.1
7	3.547	6.9	32	3.984	7.7
8	3.417	6.6	33	7.2	13.9
9	1.179	2.3	34	3.862	7.5
10	2.603	5.0	35	6.423	12.4
11	2.796	5.4	36	7.673	14.9
12	1.557	3.0	37	10.65	20.6
13	0	0	38	5.286	10.2
14	1.502	2.9	39	21.10	40.8
15	1.894	3.7	40	34.92	67.6
16	1.001	1.9	41	47.27	91.5
17	0.99	1.9	42	29.68	57.5
18	1.894	3.7	43	51.66	100
19	1.532	3.0	44	19.11	37.0
20	0.538	1.0	45	10.95	21.2
21	2.969	5.7	46	5.501	10.6
22	2.786	5.4	47	12.45	24.1
23	1.689	3.3	48	7.326	14.2
24	0.89	1.7	49	4.556	8.8
25	3.652	7.1	50	5.574	10.8

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Carga aplicada al motor eléctrico trifásico.

Potencia de un motor

$$P = \frac{nT}{9.55} \quad \text{Ec. 4.5}$$

Donde:

P = potencia del motor.

n = velocidad del motor en rpm.

T = torque a la salida del eje del motor.

$$T = \frac{9.55 * P}{n}$$

P = 3 Hp.

3 Hp = 2235 wats

n = 3460 rev / min

Reemplazando los valores en la ecuación 4.5 tenemos que T es:

$$T = 6.17 N * m$$

$$T = F * R$$

Ec. 4.6

Donde:

T = torque a la salida del eje del motor.

F = fuerza.

R = radio de la polea.

R = 0.0375 m

Reemplazando los valores en la ecuación 4.6 tenemos que F es:

$$F = 37 \text{ lb.}$$

4.8 Factor de potencia con carga de 16 Kg a diferentes frecuencias.

Tabla 4.8.1 Factor de potencia con carga aplicada al motor.

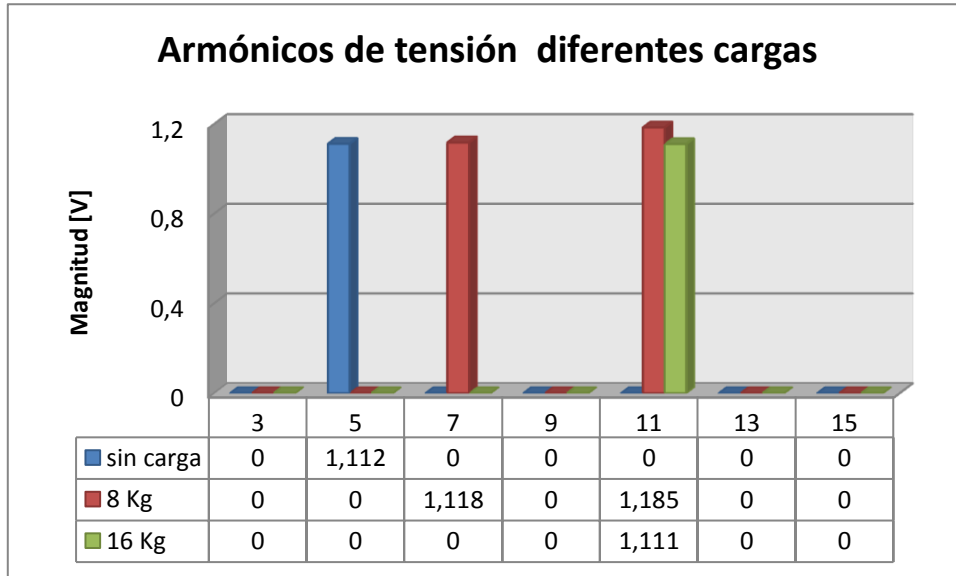
EFICIENCIA CON CARGA APLICADA AL MOTOR Y SIN FILTRADO DE ARMÓNICOS						
FRECUENCIA INTERNA DEL VARIADOR [KHz]	FRECUENCIA DE SALIDA AL MOTOR [Hz]	P. APARENTE (S)[KVA]	P. ACTIVA (P)[KW]	P. REACTIVA (Q)[KVAR]	FACTOR DE POTENCIA (FP)	EFICIENCIA ENERGÉTICA (η) [%]
15	60	4,776	3,858	2,815	0,807	19,22
	40	3,148	1,805	2,5	0,573	42,66
	20	1220	189	1162	0,155	84,51
10	60	4,083	3,234	2,492	0,792	20,79
	40	2,606	0,3832	2,578	0,147	85,30
	20	625	100,3	619,1	0,160	83,95
7,5	60	2,993	2,075	2,158	0,693	30,67
	40	1,645	0,512	1,563	0,311	68,88
	20	920	216,4	890,5	0,235	76,48
2,5	60	1,593	0,9361	1,289	0,587	41,24
	40	1,194	0,892	1,191	0,334	25,29
	20	710,53	100,11	702,56	0,141	85,91

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

4.9 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

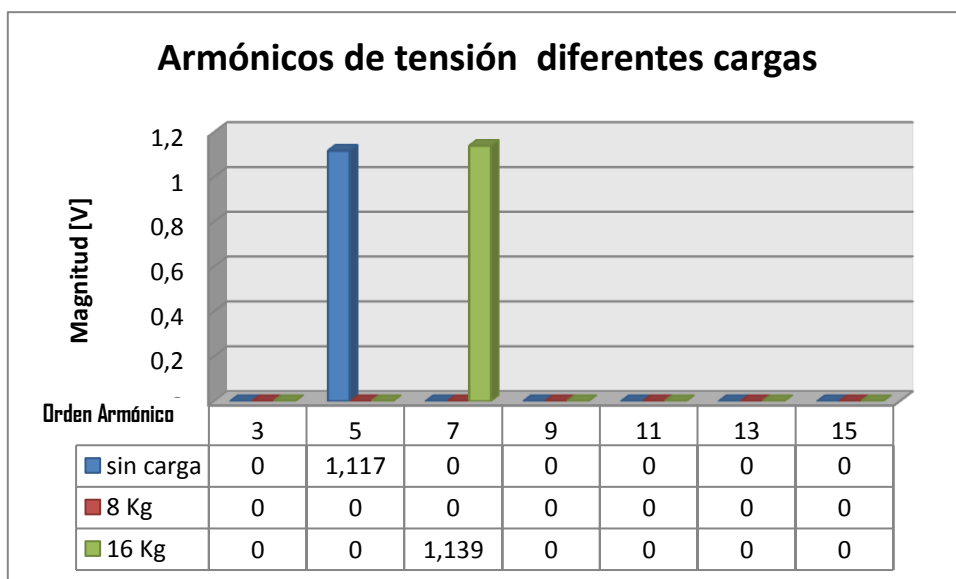
4.9.1 ARMÓNICOS DE TENSIÓN ANTES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

Frecuencia Interna= 15 KHz	Frecuencia de salida = 60Hz
----------------------------	-----------------------------



De la gráfica se puede observar que existe la presencia de armónicos de tensión al variar la carga en el motor, con la carga de 8 Kg hay mayor número de armónicos, no existen armónicos de orden 3, 9, 13 y 15.

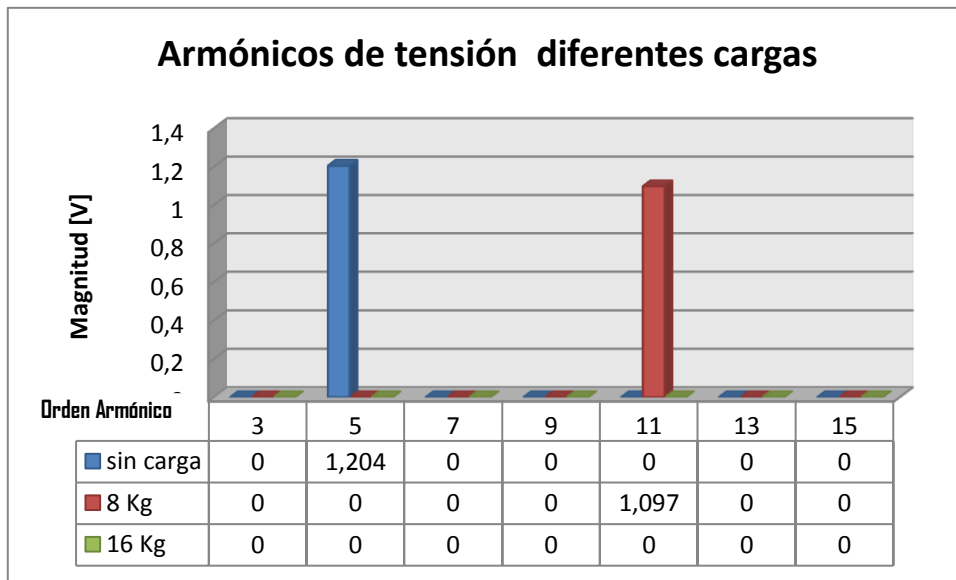
Frecuencia Interna= 15 KHz	Frecuencia de salida = 40Hz
----------------------------	-----------------------------



Con estas frecuencias el armónico de orden 5 aumenta en magnitud, se aprecia la presencia de dos armónicos en esta variación, existe menor número de armónicos.

Frecuencia Interna= 15 KHz

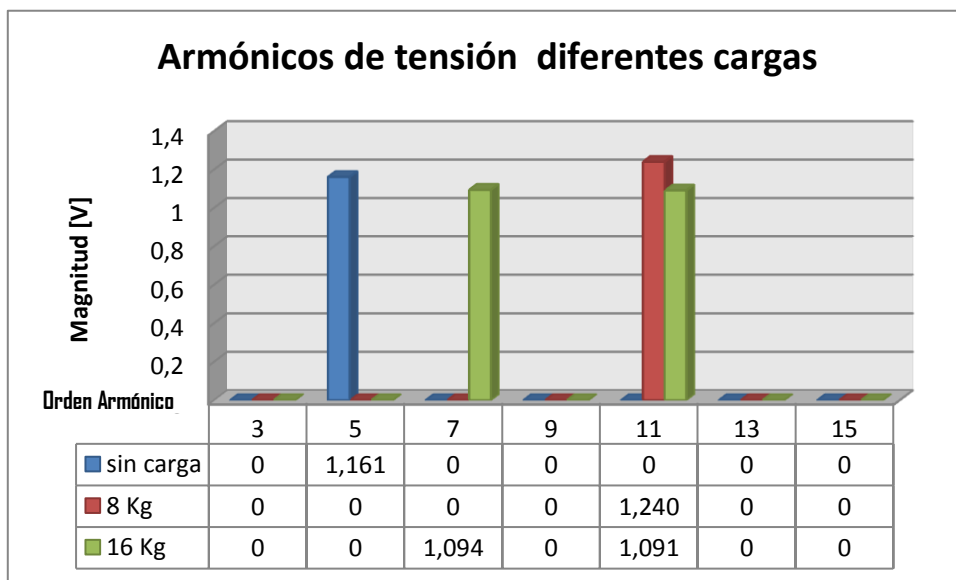
Frecuencia de salida = 20Hz



Esta gráfica nos muestra los armónicos de orden 5 y 11, en esta última variación a 20 Hz se muestra como el armónico de orden 5 se mantiene desde las anteriores frecuencias, además este armónico al disminuir la frecuencia aumenta en magnitud.

Frecuencia Interna= 10 KHz

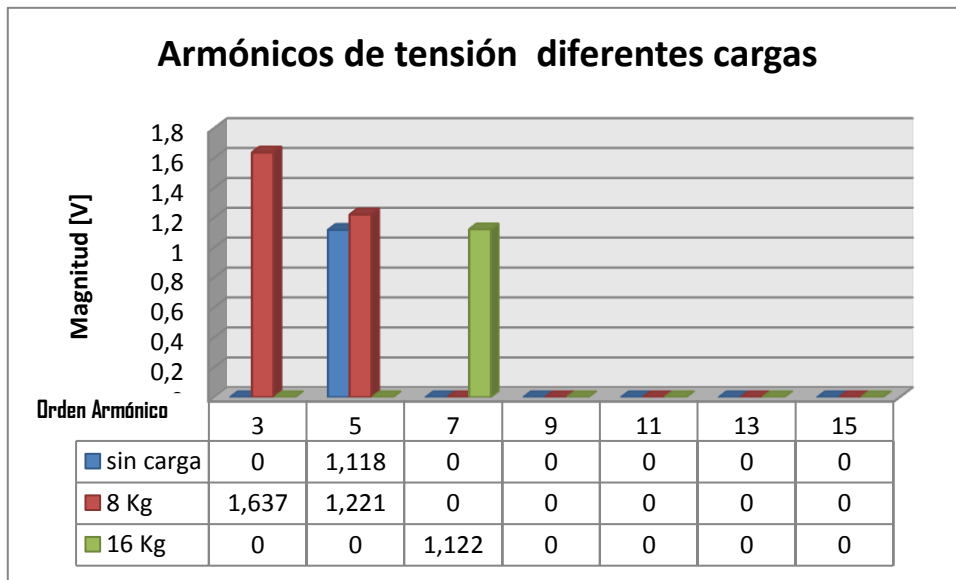
Frecuencia de salida = 60Hz



En este cuadro se muestra que disminuye el armónico de orden 11 al aumentar la carga, esta medición se da con un frecuencia Interna de 10 KHz, nos muestra además el 5to y 7mo armónico.

Frecuencia Interna= 10 KHz

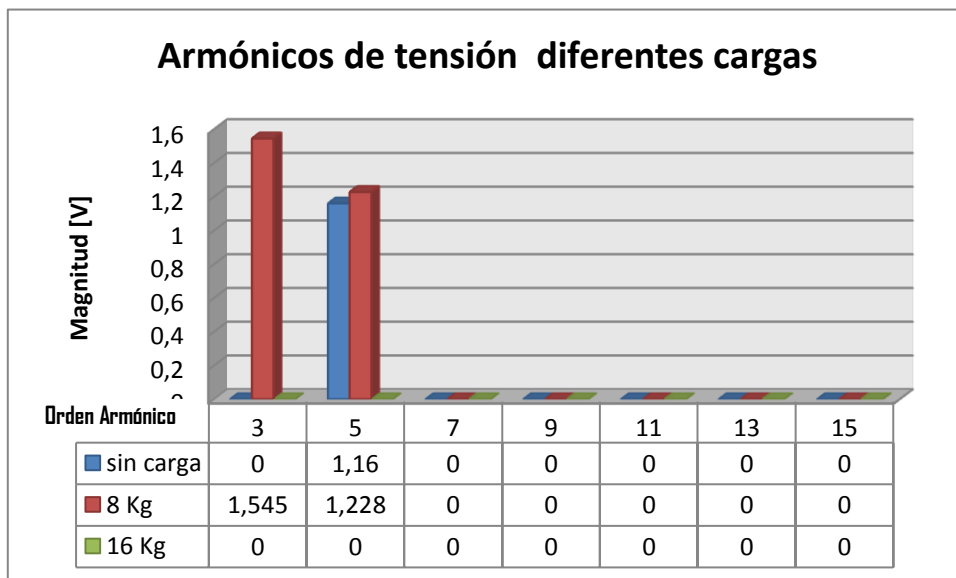
Frecuencia de salida = 40Hz



El armónico más representativo para esta variación es el de orden 5 que aumenta con la carga, no se presentan armónicos de orden 9, 11, 13 y 15.

Frecuencia Interna= 10 KHz

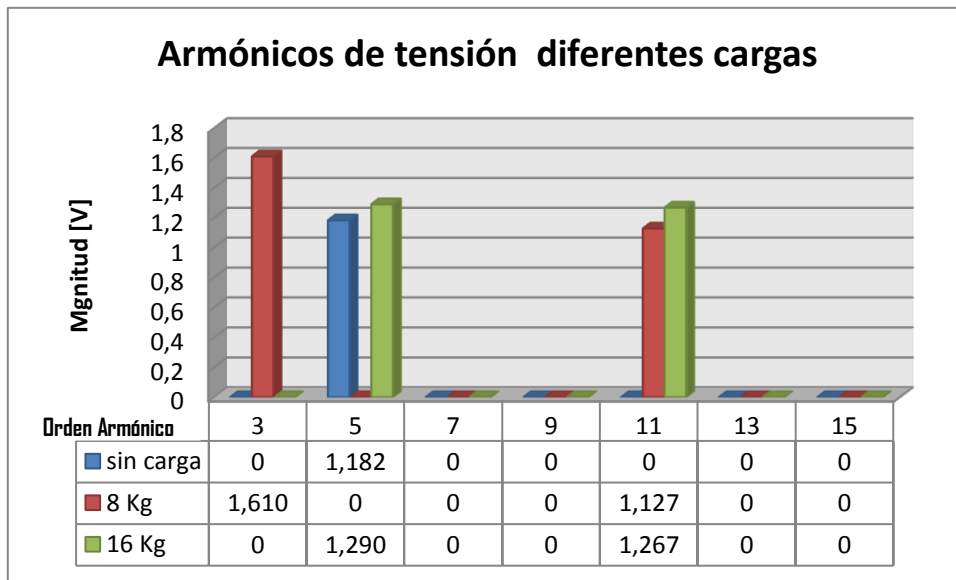
Frecuencia de salida = 20Hz



Para esta frecuencia baja de 20 Hz los armónicos han disminuido en comparación a la tabla anterior, se puede ver el armónico de orden 5 hasta un carga de 8 Kg después desaparece.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

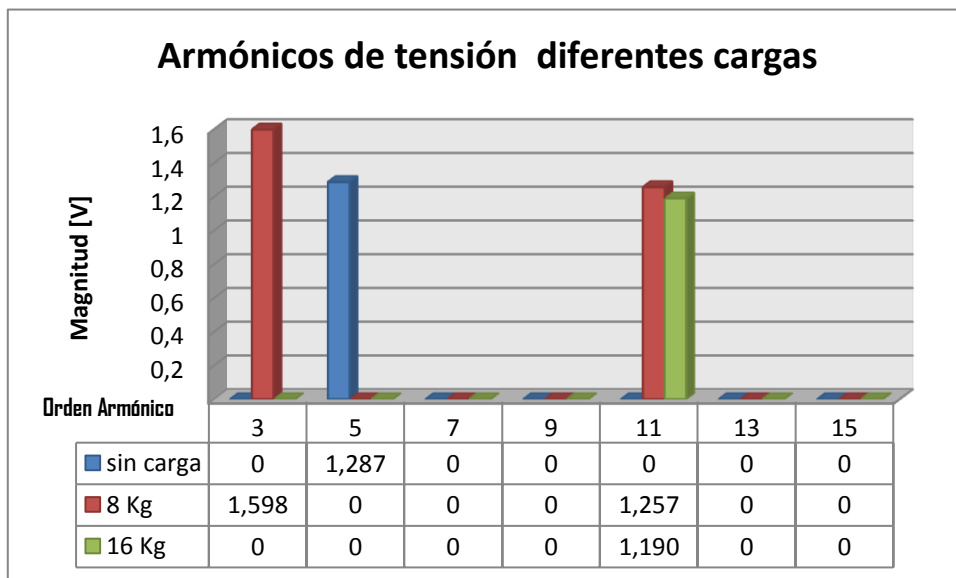
Frecuencia de salida = 60Hz



Se puede apreciar que los armónicos predominantes son los de orden 5 y el 11 seguido del de orden 3, finalmente los de orden 7, 9, 13,15 no se presentan.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

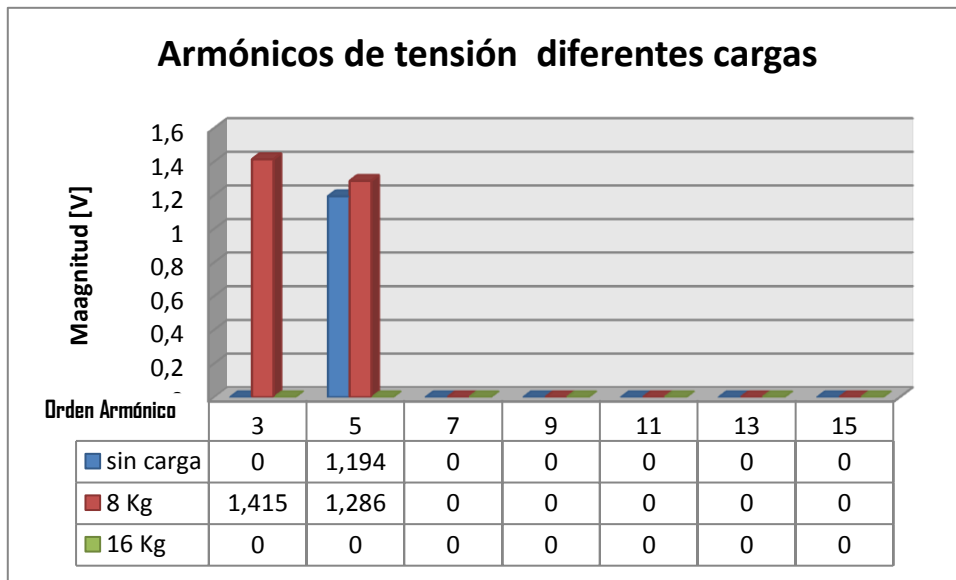
Frecuencia de salida = 40Hz



Esta gráfica presenta el armónico de orden 11 como el de mayor incidencia, se ha disminuido la frecuencia y de la misma manera el número de armónicos, no existen armónicos de orden 7, 9,13 y 15.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

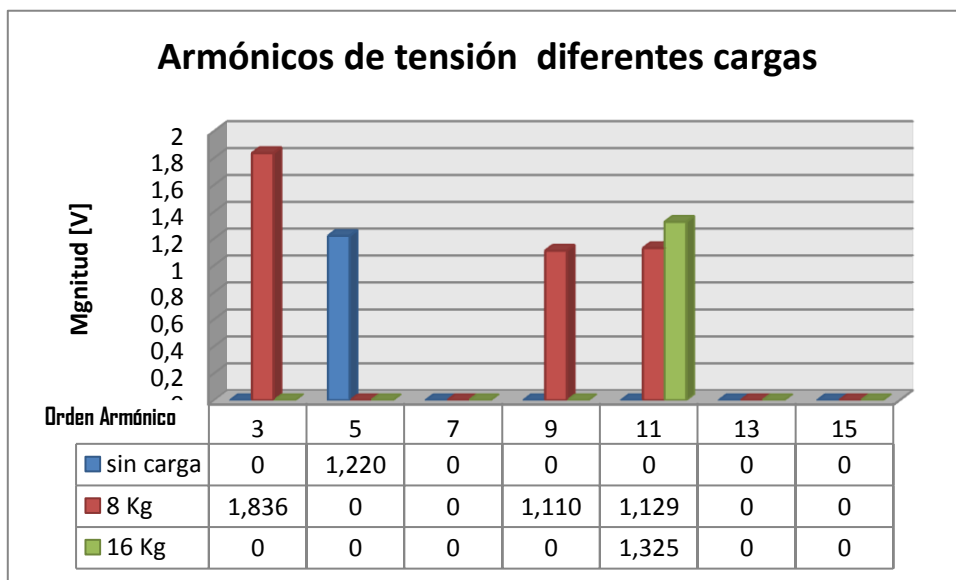
Frecuencia de salida = 20Hz



El valor de frecuencia en esta gráfica es de 20 Hz, los armónicos son menores en número en comparación con la frecuencia anterior, como influyente está el armónico de orden 5 que ha permanecido en la variación de la frecuencia desde 60 a 20 Hz.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

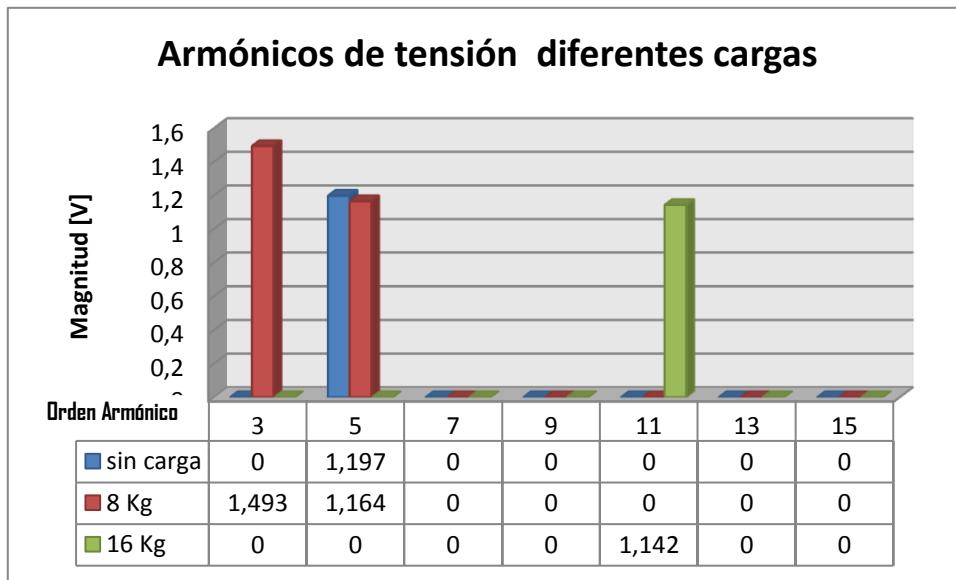
Frecuencia de salida = 60Hz



El cuadro muestra la presencia de armónicos, al tener una frecuencia interna en el variador de 2.5 KHz y una frecuencia de salida de 60 Hz que controla la velocidad del motor, para estas variaciones se observa los armónicos de orden 3, 5, 9, 11.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

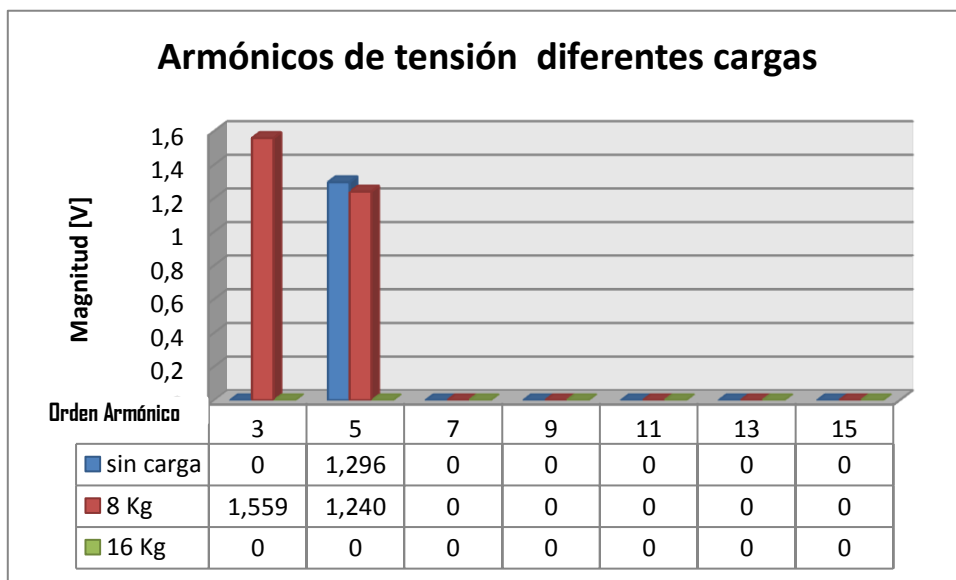
Frecuencia de salida = 40Hz



Para esta variación de frecuencias el armónico 5to disminuye en magnitud, se presentan también el de orden 3 y 11, existe menos número de armónicos al disminuir a 40 Hz la frecuencia.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

Frecuencia de salida = 20Hz

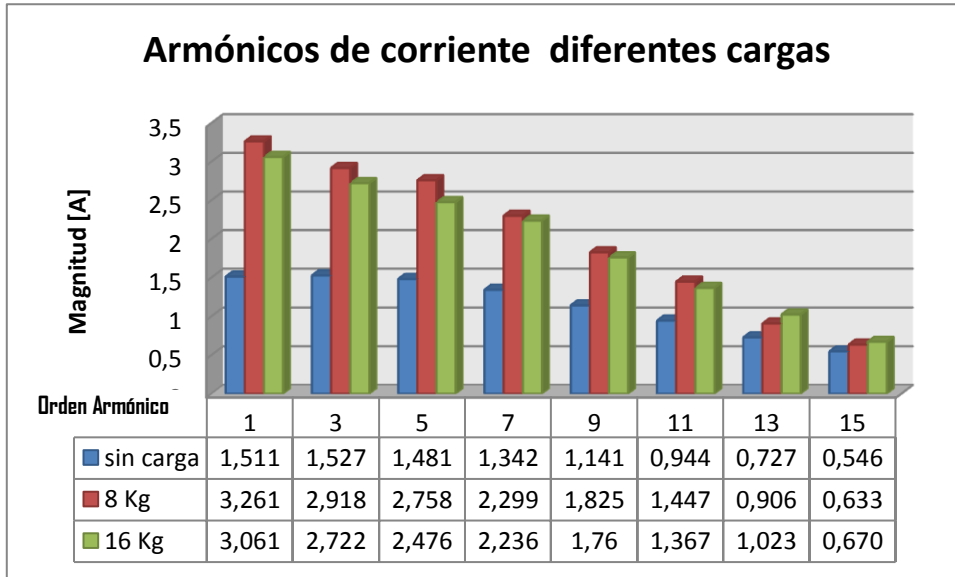


Disminuye los armónicos en número al tener las frecuencias más bajas tanto la Interna como la de salida de 2.5 KHz y 20 Hz respectivamente. El 5to ha sido el que ha permanecido en todas las variaciones de frecuencia.

4.9.2 ARMÓNICOS DE CORRIENTE ANTES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

Frecuencia Interna= 15 KHz

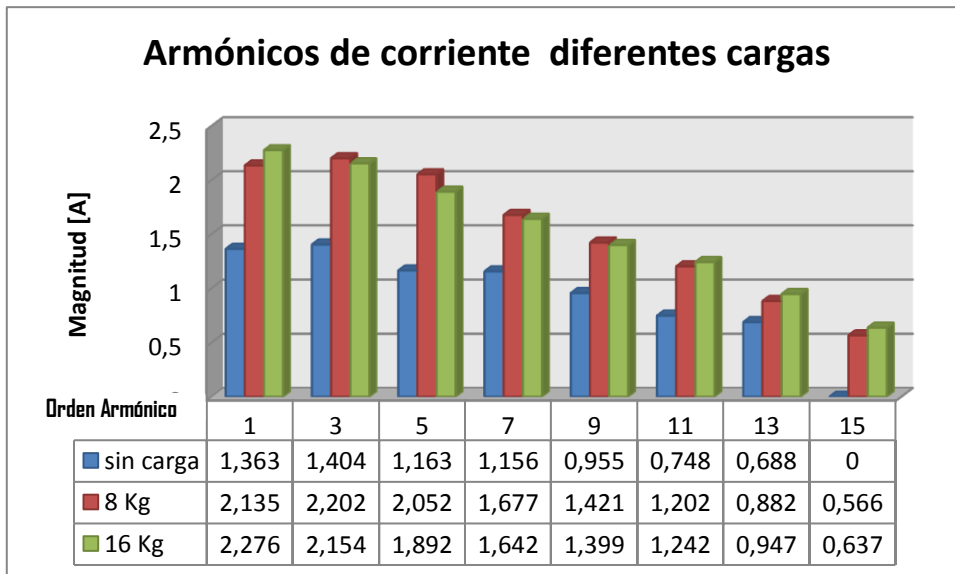
Frecuencia de salida = 60 Hz



Al medir los armónicos en el circuito trifásico variador de frecuencia - motor eléctrico, se presenta en el cuadro los armónicos de corriente, se tiene presencia en su totalidad para cada una de las cargas, por cada armónico se aprecia determinadas variaciones.

Frecuencia Interna= 15 KHz

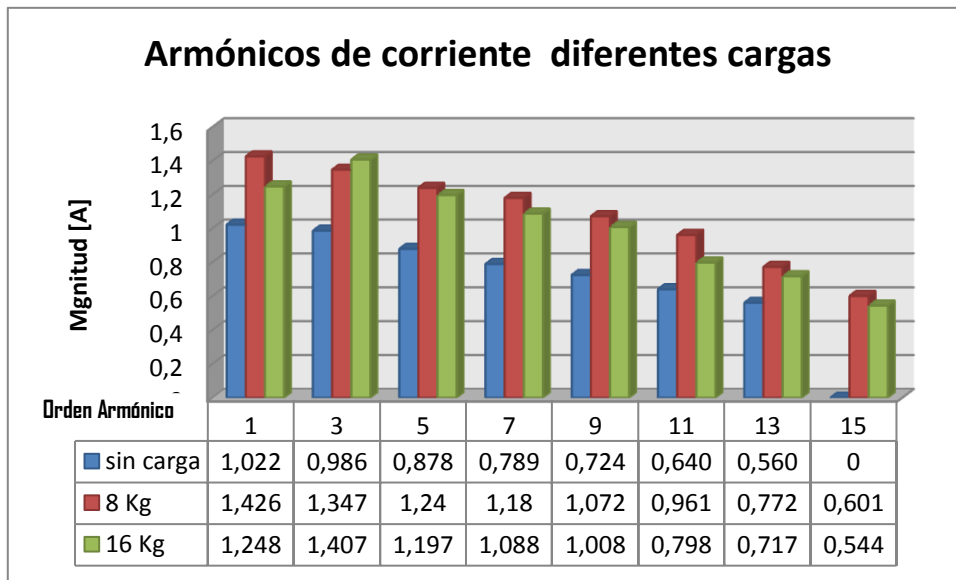
Frecuencia de salida = 40Hz



Se muestra que los armónicos de orden 13 y 15 son de menor magnitud que los restantes, no se encuentra mucha diferencia entre cargas. Los valores son menores si comparamos con la tabla anterior con la frecuencia de 60 Hz.

Frecuencia Interna= 15 KHz

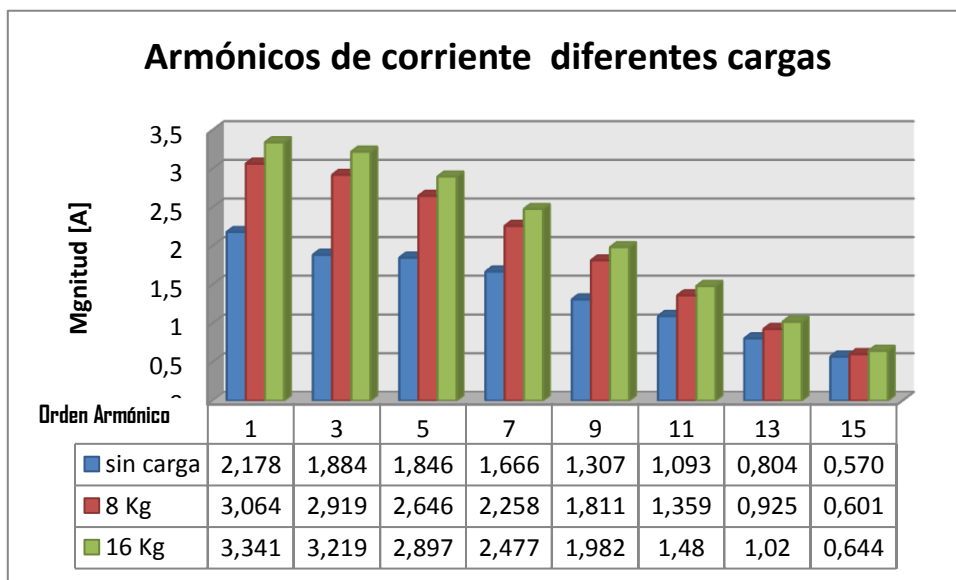
Frecuencia de salida = 20Hz



Las magnitudes se han reducido en comparación a las frecuencias anteriores de 40 y 60 Hz, los valores de mayor magnitud los podemos encontrar en la carga de 8 Kg, el 15vo armónico al no tener carga no se presenta.

Frecuencia Interna= 10 KHz

Frecuencia de salida = 60Hz

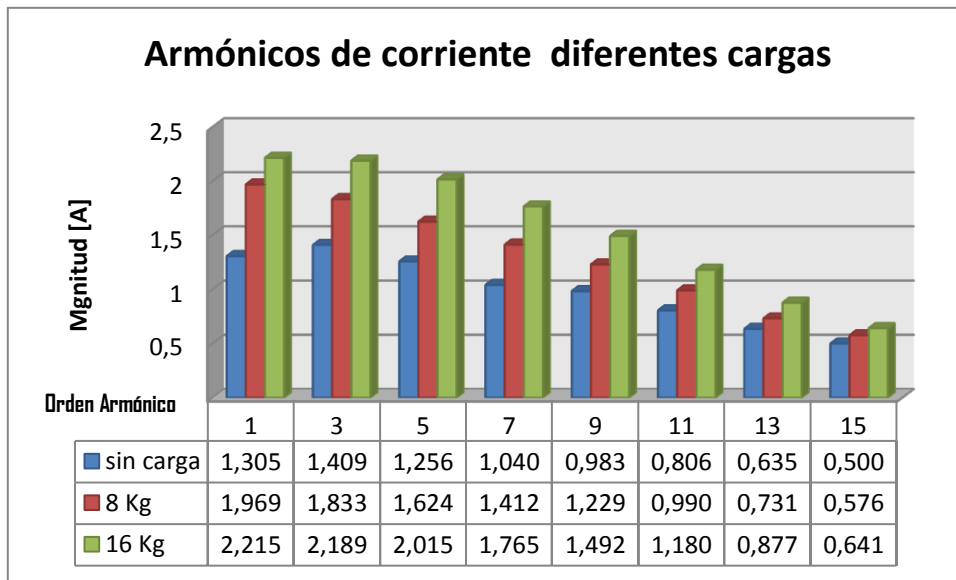


Las magnitudes más bajas presentan los armónicos de orden 13 y 15, los más altos los de orden 1 y 3, finalmente se observa incremento al trabajar con carga de 8 y 16 Kg.

La frecuencia es 60 Hz en este caso la magnitud aumenta con la carga.

Frecuencia Interna= 10 KHz

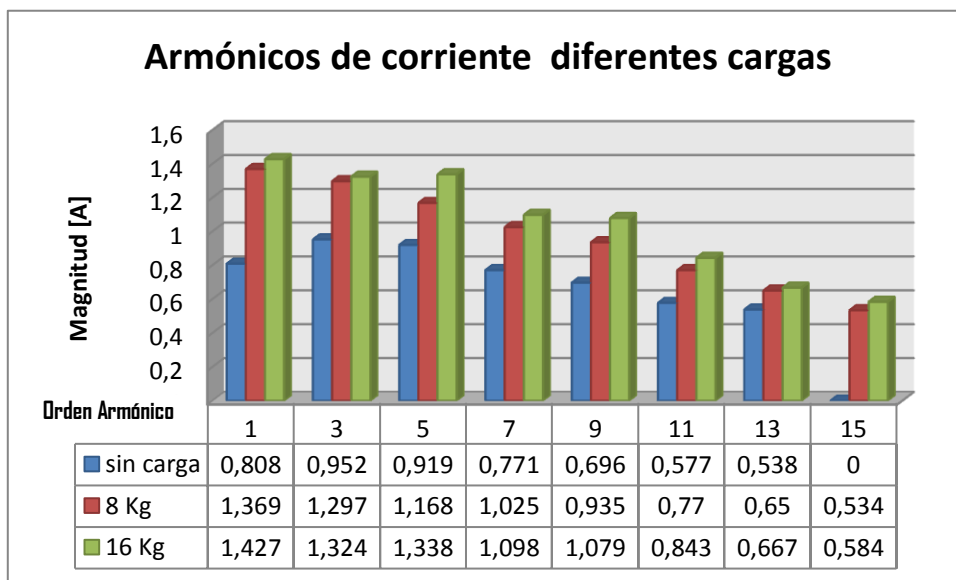
Frecuencia de salida = 40 Hz



Las magnitudes han reducido su valor al disminuir la frecuencia, las más altas están con la carga de 16 Kg, se aprecia una diferencia al comparar el motor trabajando sin carga y al trabajar con 16 Kg.

Frecuencia Interna= 10 KHz

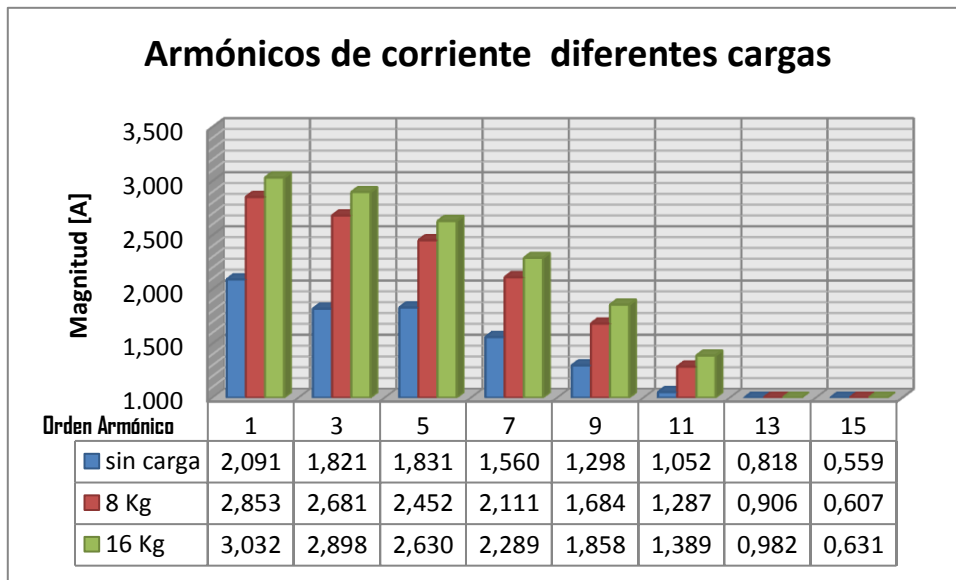
Frecuencia de salida = 20 Hz



Las magnitudes son menores en comparación a las frecuencias de 40 y 60 Hz, los valores más altos están al trabajar con carga de 16 Kg, se aprecia que el armónico de orden 15 no está para cuando no existe carga. Al aumentar la carga los armónicos aumentan.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

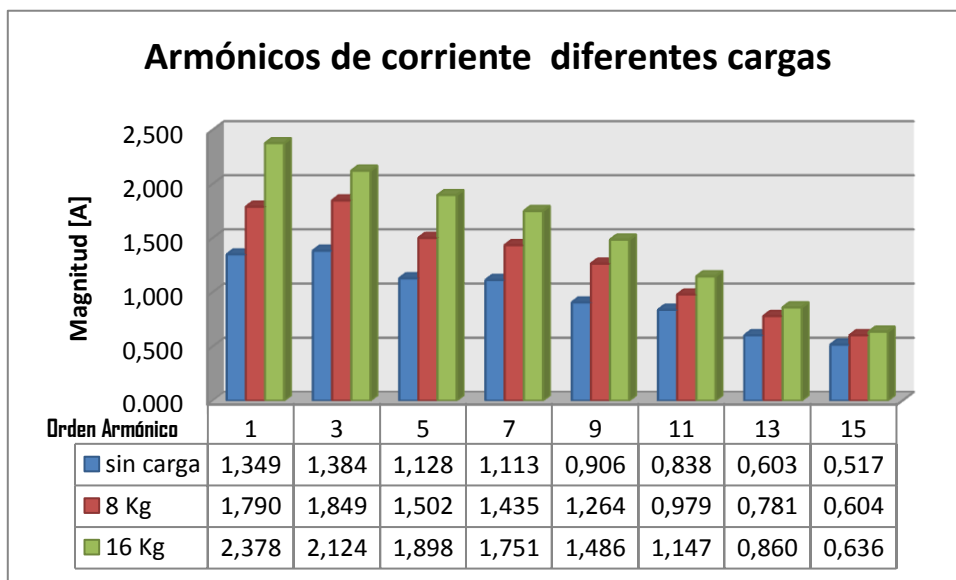
Frecuencia de salida = 60Hz



La gráfica muestra un incremento en la magnitud de los armónicos al trabajar con el motor con carga a diferencia de trabajar al vacío, para esta frecuencia de 60 Hz muestra a los armónicos en su totalidad. Los valores son pequeños para los de orden 13 y 15.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

Frecuencia de salida = 40Hz

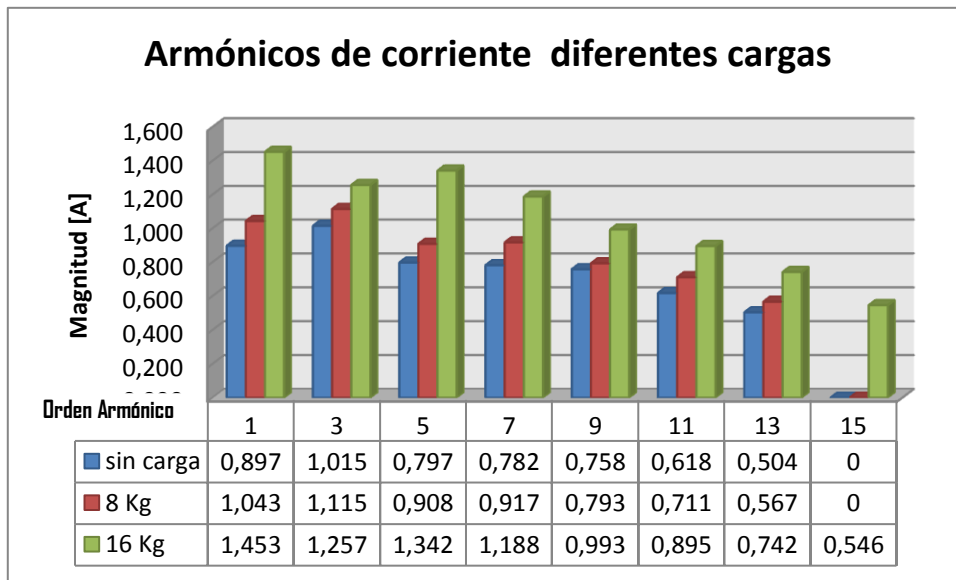


Se presenta en esta tabla un aumento de las magnitudes por cada carga aplicada al motor, se aprecia diferencia al trabajar con el motor en vacío (sin carga) y trabajando con el motor con carga de 16 Kg.

Las magnitudes son menores con relación a la frecuencia anterior.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

Frecuencia de salida = 20Hz

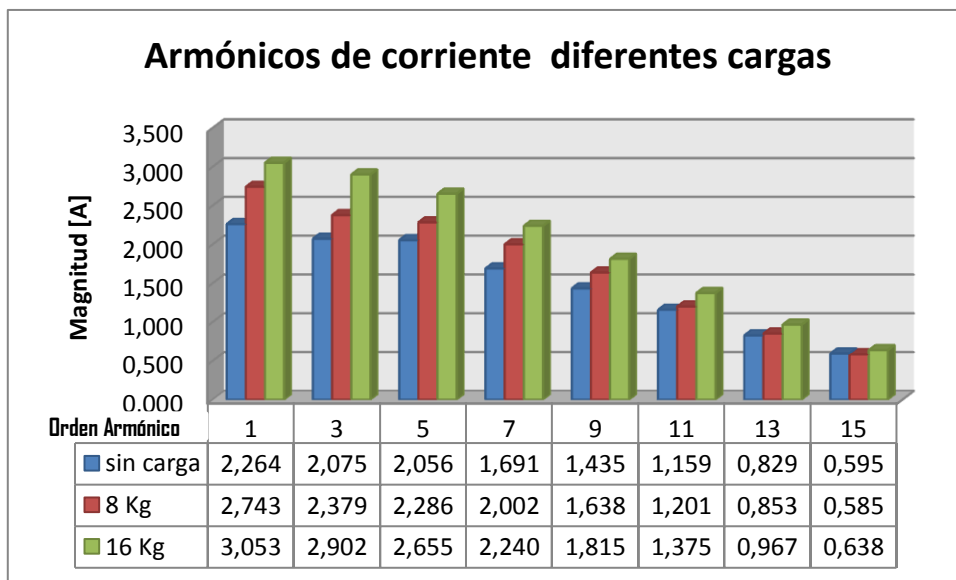


Se tiene la frecuencia de 20 Hz y para esta los valores de los armónicos son menores a los de frecuencias más altas, se aprecia en el cuadro que a mayor carga aumenta la magnitud de los armónicos.

Se nota la ausencia del armónico 15vo en los primeros casos de carga.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

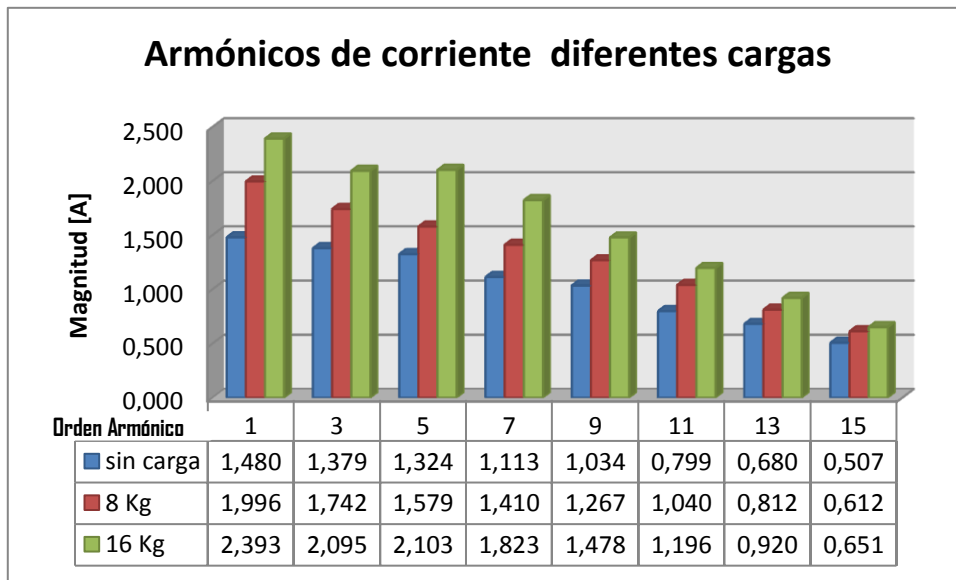
Frecuencia de salida = 60Hz



La magnitud de los armónicos incrementan con el peso, además se puede ver que los armónicos más altos son los de orden más pequeños.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

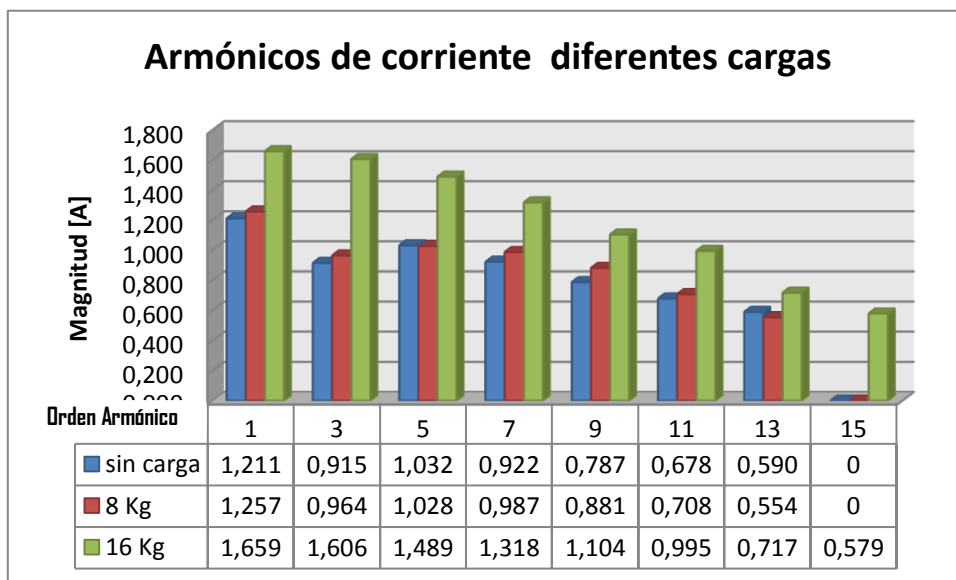
Frecuencia de salida = 40Hz



El cuadro muestra como al variar la carga aumenta la magnitud de los armónicos, además como en el caso anterior los valores más altos se encuentran en los primeros armónicos.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

Frecuencia de salida = 20Hz

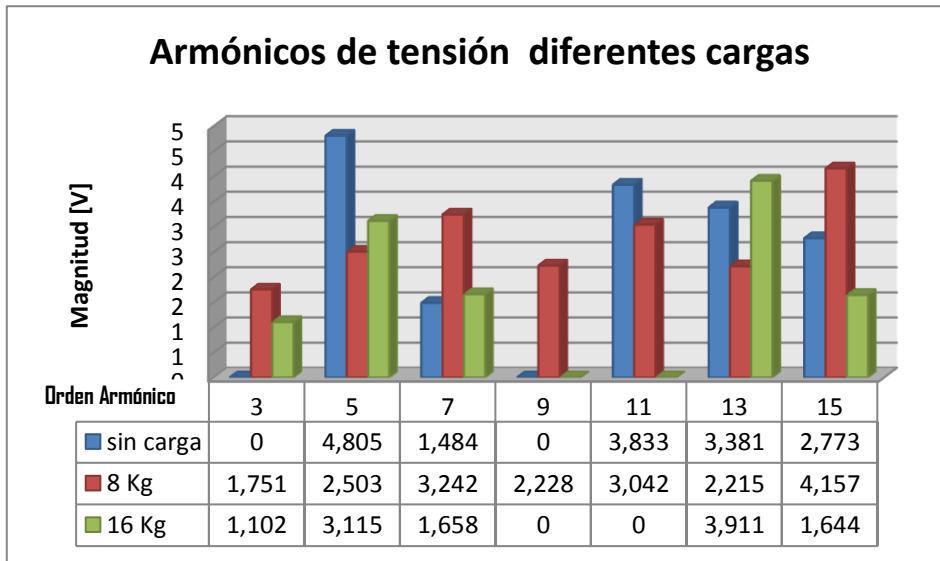


Este gráfico indica como las magnitudes de los armónicos aumentan con la carga, se aprecia que los valores más altos se presentan en los primeros armónicos.

El armónico de orden 15 desaparece para la carga de 8 Kg y para cuando no hay carga. Los valores son menores en comparación con las frecuencias anteriores de 40 y 60 Hz.

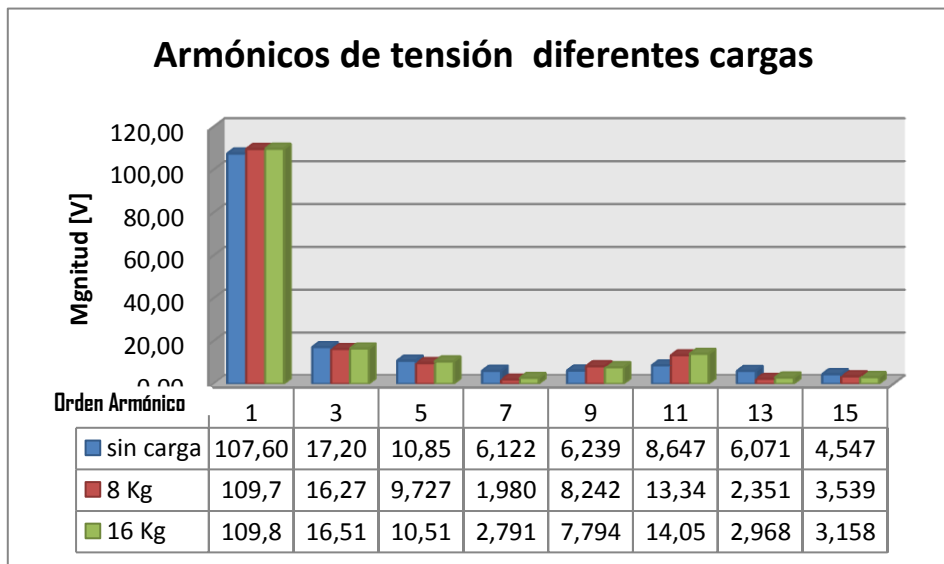
4.9.3 ARMÓNICOS DE TENSIÓN DESPUÉS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

Frecuencia Interna= 15 KHz	Frecuencia de salida = 60Hz
----------------------------	-----------------------------



En comparación a los datos de armónicos de tensión medidos, antes del variador de frecuencia, éstos incrementaron al medirlos después del variador, los valores que presenta la gráfica nos da como resultado una forma de onda distorsionada, se puede ver que los datos aumentan y disminuyen arbitrariamente. No se toma en cuenta el primer armónico ya que los valores presentados son pequeños.

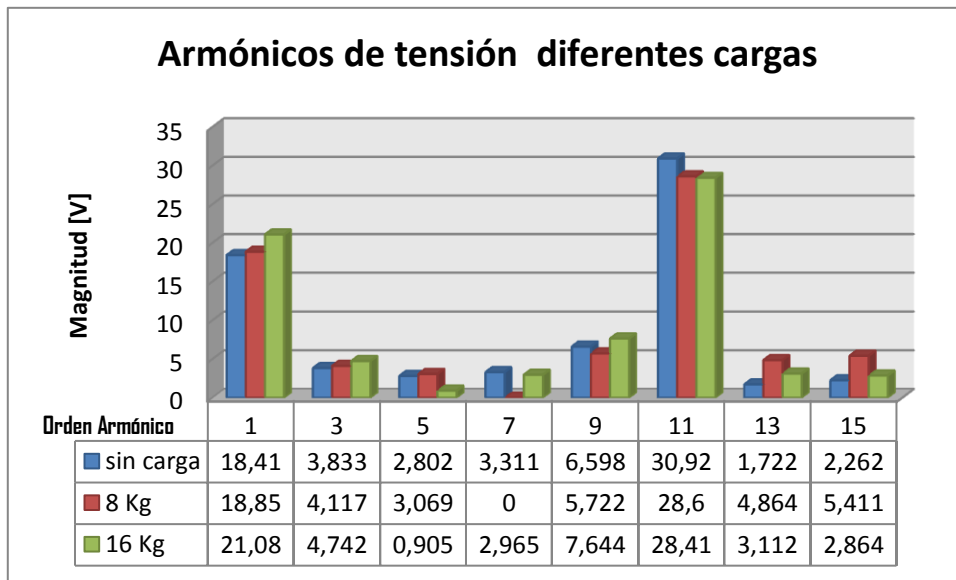
Frecuencia Interna= 15 KHz	Frecuencia de salida = 40Hz
----------------------------	-----------------------------



Se muestra el primer armónico en esta variación y al disminuir la frecuencia la magnitud de este también bajó, se muestra valores oscilantes al variar la carga.

Frecuencia Interna= 15 KHz

Frecuencia de salida = 20Hz

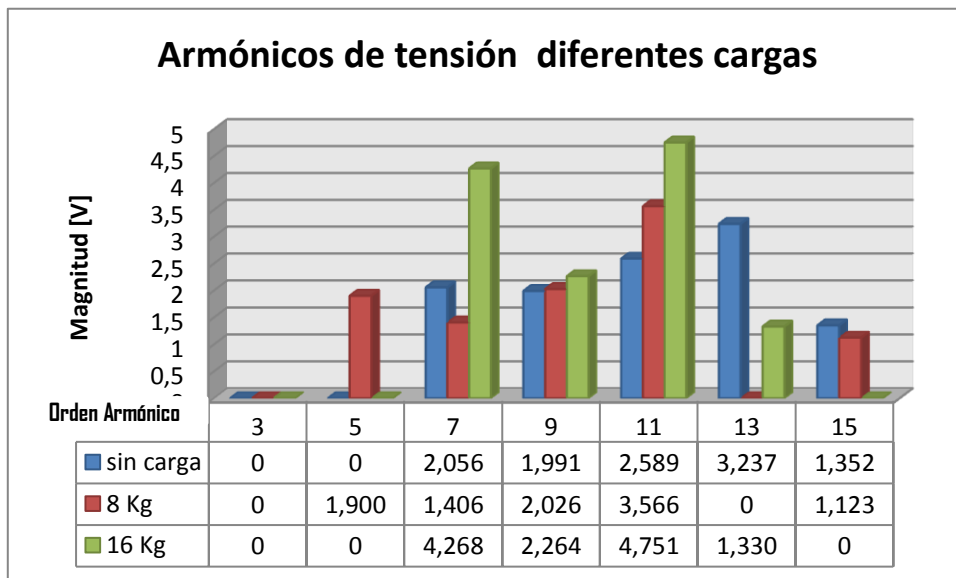


Los valores son dispersos en este cuadro, las magnitudes son considerables, el armónico de orden 11 genera mayor problema.

A menor frecuencia mayor magnitud de armónicos.

Frecuencia Interna= 10 KHz

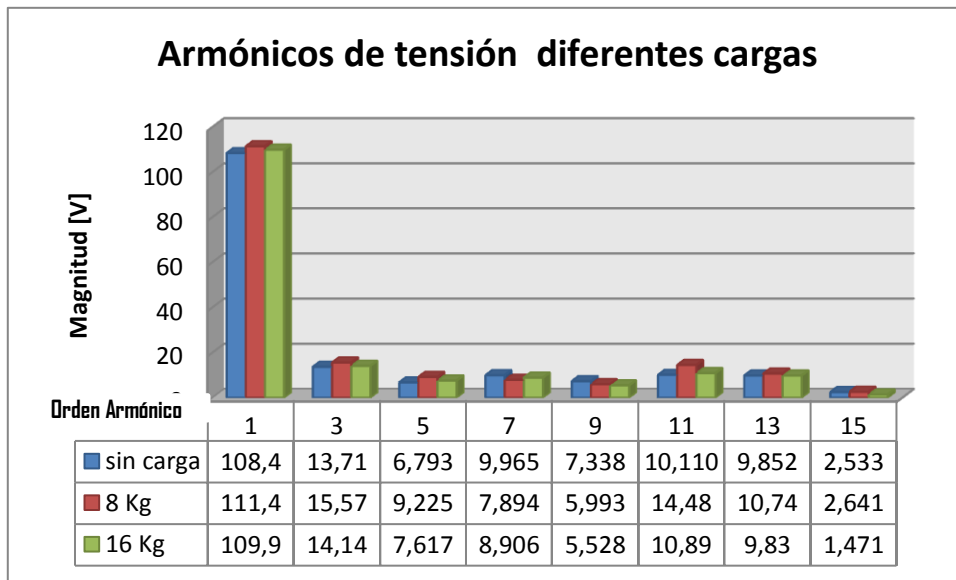
Frecuencia de salida = 60Hz



Estos armónicos son de magnitudes pequeñas al tener la frecuencia de la red de 60 Hz. No se compara con el armónico fundamental porque los valores son muy pequeños y no se apreciarán al comparar con el de 1er orden.

Frecuencia Interna= 10 KHz

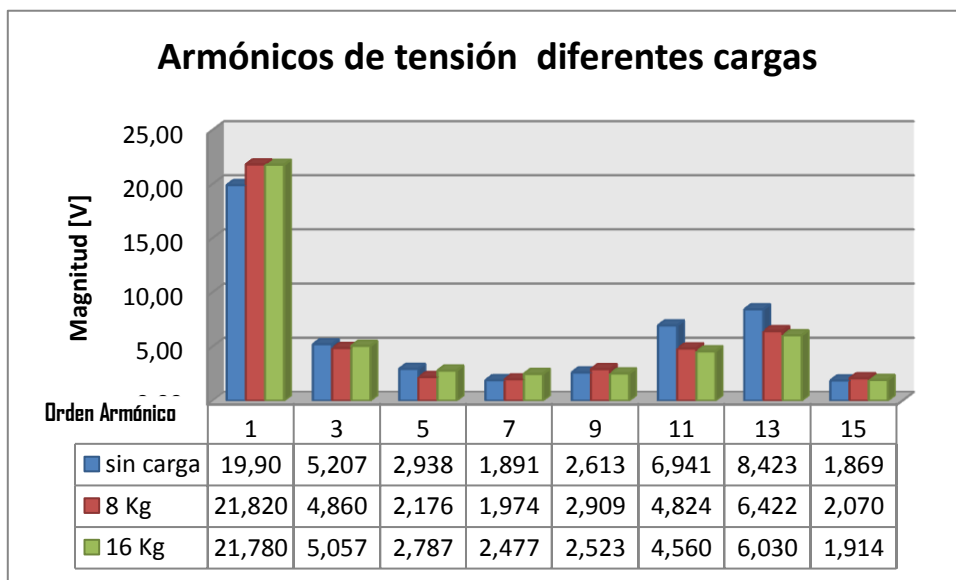
Frecuencia de salida = 40Hz



Se compara en este cuadro incluido el armónico de 1er orden en comparación con la frecuencia anterior las magnitudes se han incrementado, existe magnitudes que causan problemas a la red.

Frecuencia Interna= 10 KHz

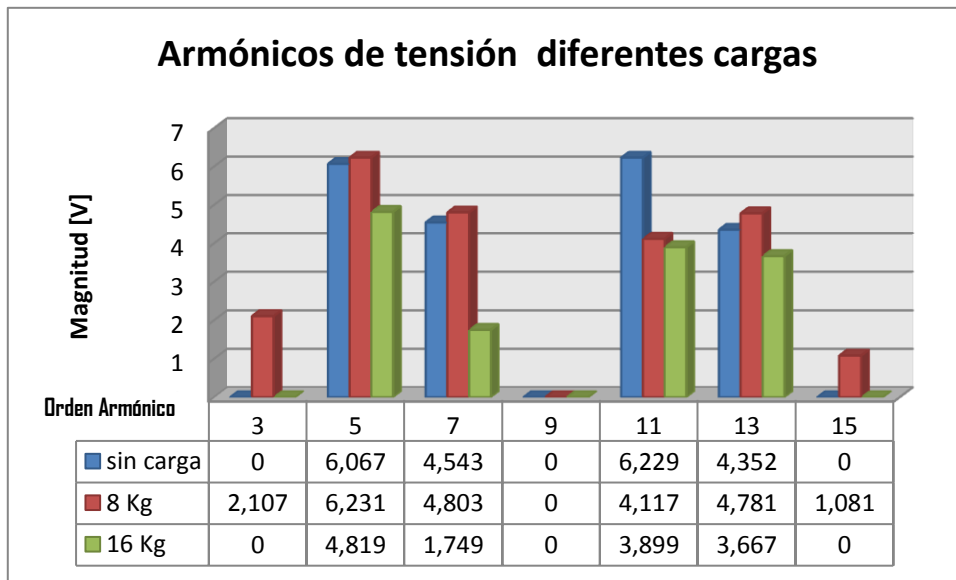
Frecuencia de salida = 20Hz



En esta variación de frecuencias ha disminuido las magnitudes de los armónicos. El 1er armónico se ha reducido y el armónico de orden 13 es el más alto.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

Frecuencia de salida = 60Hz

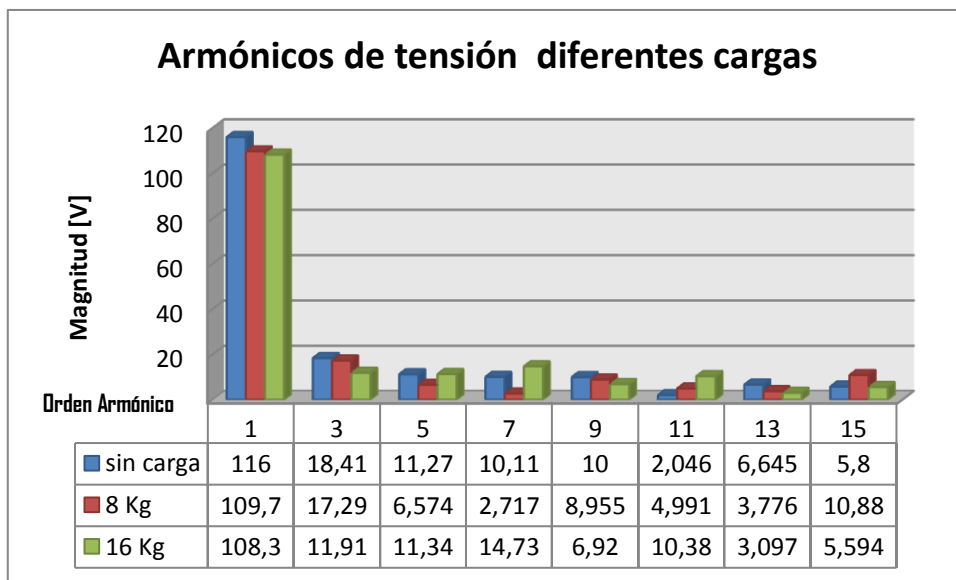


No se hace la comparación con la frecuencia de 60 Hz ya que no se puede apreciar los datos que se muestra en la gráfica, porque los valores son pequeños, al tener 60 Hz los armónicos se reducen en este caso el de orden 9 ha desaparecido.

Las magnitudes son pequeñas, el variador genera pocos armónicos a esta frecuencia.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

Frecuencia de salida = 40Hz

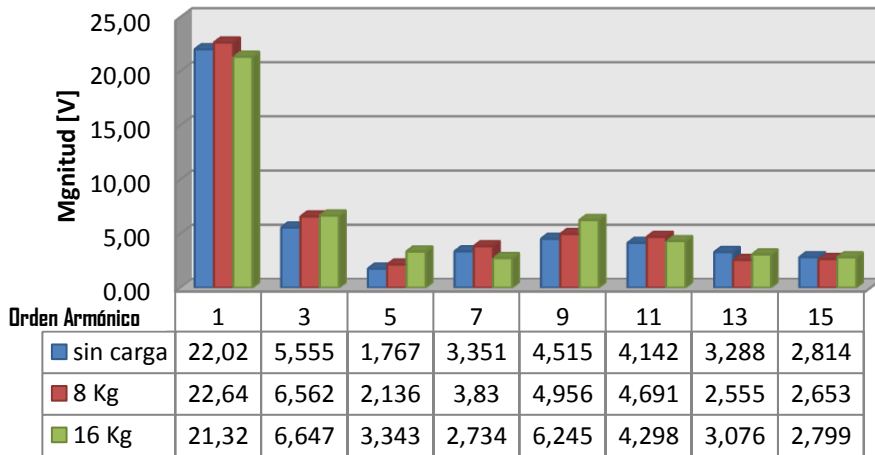


En comparación con la frecuencia anterior este cuadro muestra como incrementan los valores de las magnitudes de los armónicos, se realiza la comparación con la fundamental.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

Frecuencia de salida = 20Hz

Armónicos de tensión diferentes cargas

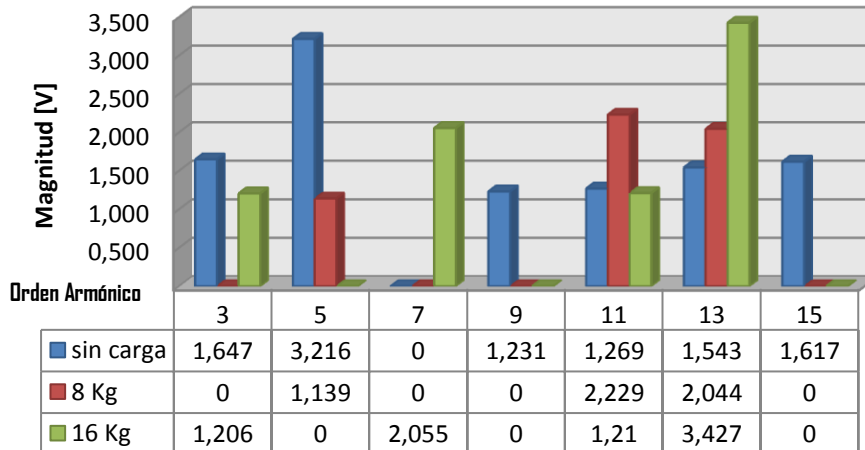


El armónico de orden 1 se ha reducido más en comparación con las anteriores frecuencias medidas con 40 y 60 Hz, con frecuencia de 40 Hz se muestra magnitudes altas de armónicos.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

Frecuencia de salida = 60Hz

Armónicos de tensión diferentes cargas

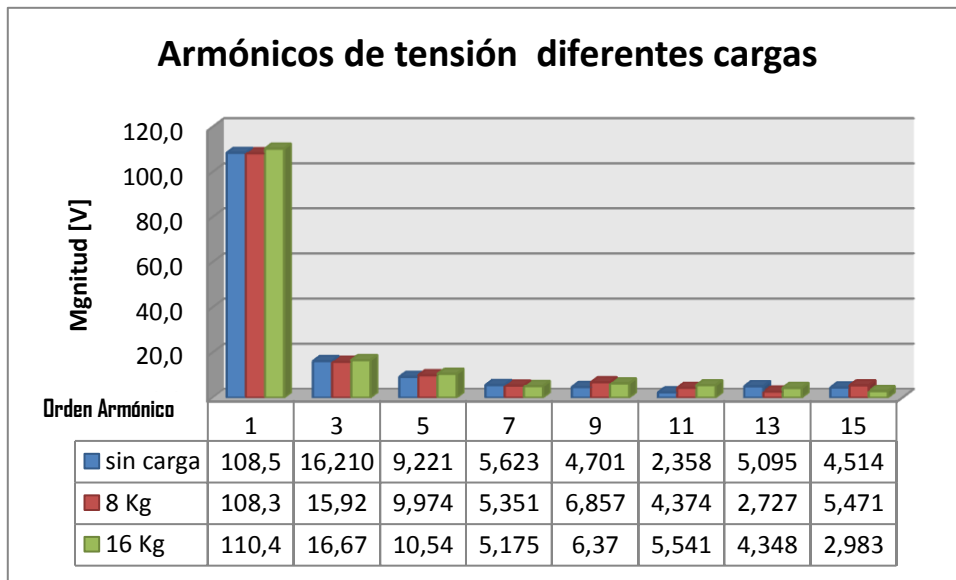


Con frecuencia de 60 Hz la gráfica muestra como los armónicos están reducidos en magnitud y en número.

No se compara con el armónico de orden 1 ya que los valores son pequeños.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

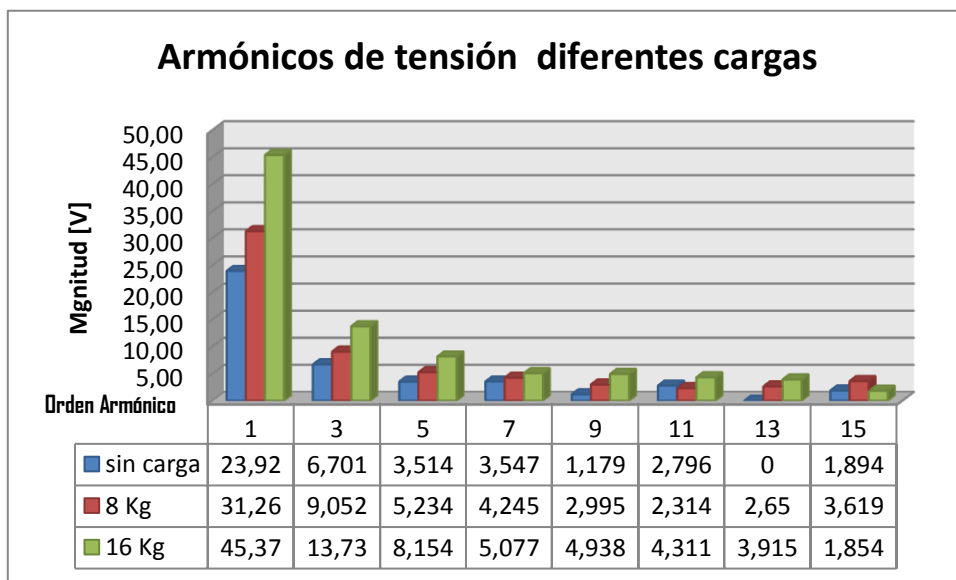
Frecuencia de salida = 40Hz



Con frecuencia de 40 Hz la gráfica muestra como los armónicos aumentan en número y en magnitud, se muestran todos los armónicos, el de orden 3 presenta los valores más altos.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

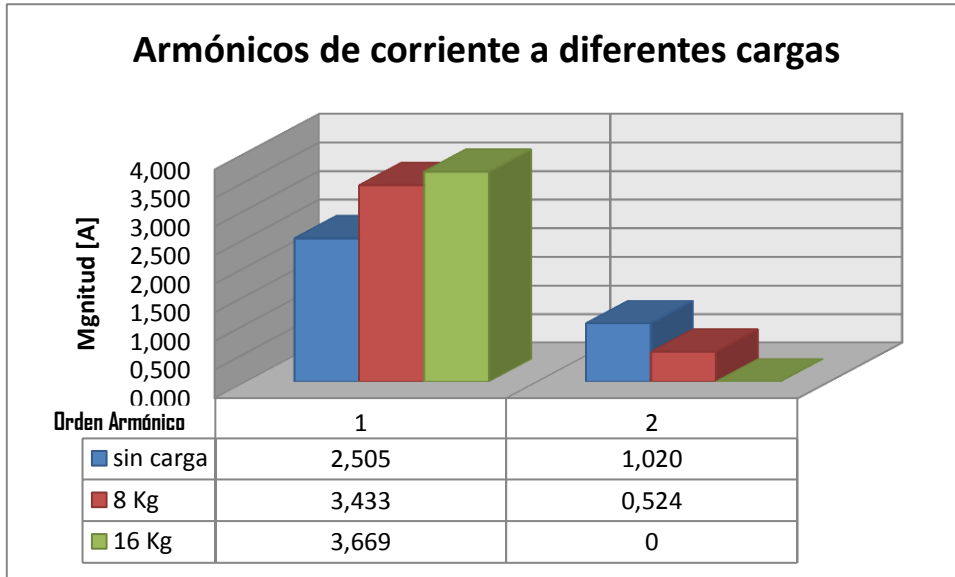
Frecuencia de salida = 20Hz



Los valores se reducen a esta frecuencia se realiza la comparación con el armónico de orden 1 porque este ha reducido su valor.

4.9.4 ARMÓNICOS DE CORRIENTE DESPUÉS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

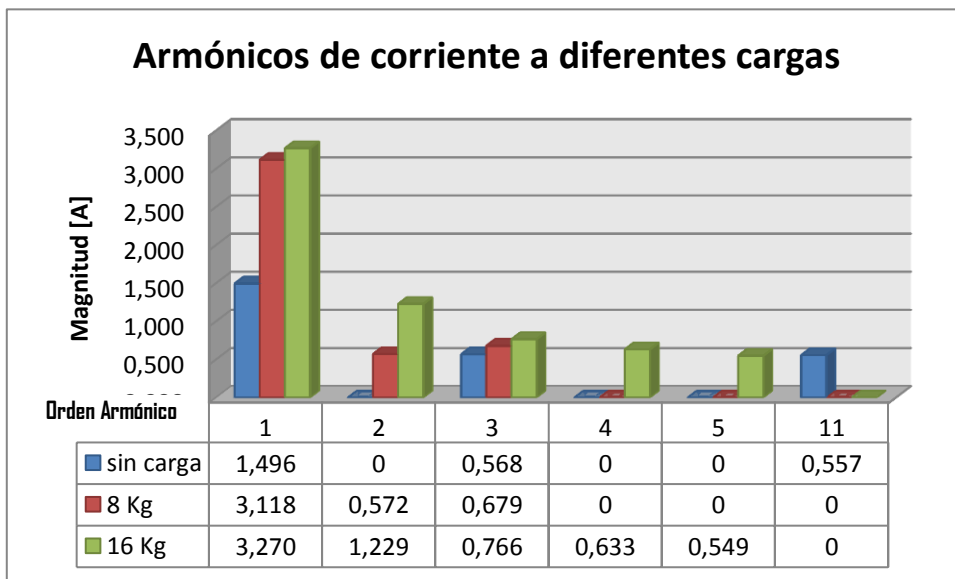
Frecuencia Interna= 15 KHz	Frecuencia de salida = 60Hz
----------------------------	-----------------------------



Para esta variación se encuentra afectada la onda fundamental por el armónico de orden 2 al trabajar al vacío y con carga de 8 Kg.

En esta frecuencia se reducen los armónicos, la magnitud del armónico 1 aumenta al subir la carga.

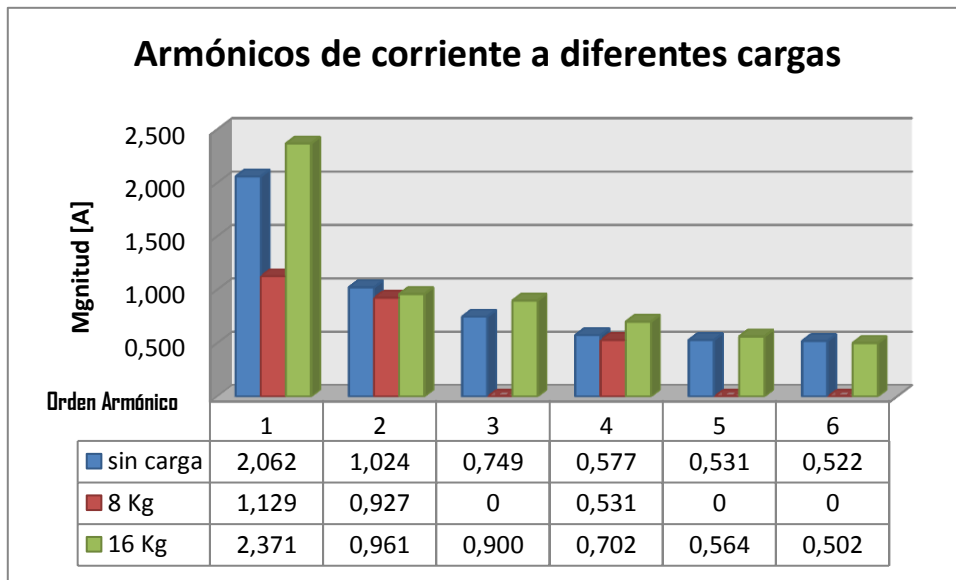
Frecuencia Interna= 15 KHz	Frecuencia de salida = 40Hz
----------------------------	-----------------------------



Al disminuir la frecuencia los armónicos se han incrementado.

Frecuencia Interna= 15 KHz

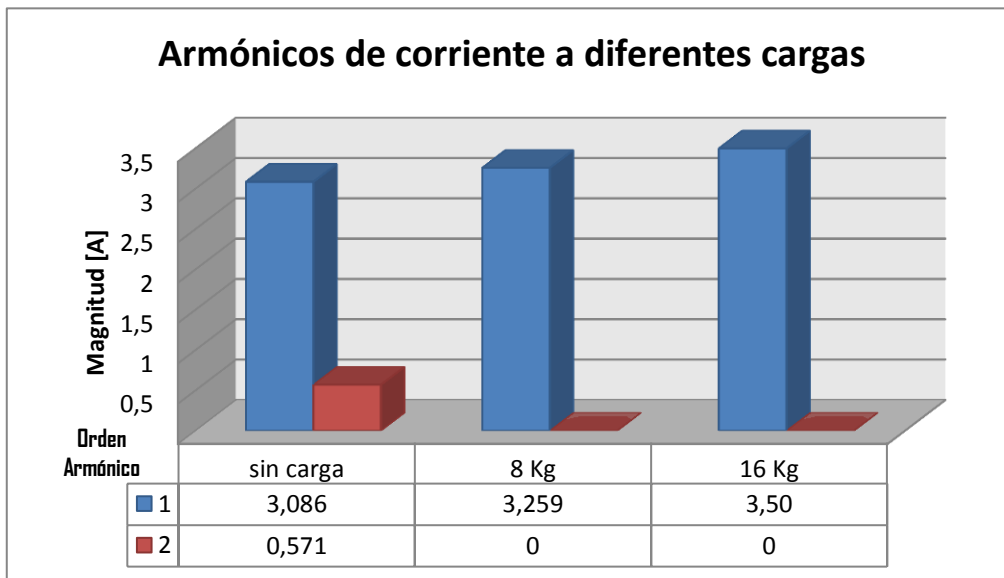
Frecuencia de salida = 20Hz



Al disminuir la frecuencia los armónicos se incrementan, aparecen armónicos pares.

Frecuencia Interna= 10 KHz

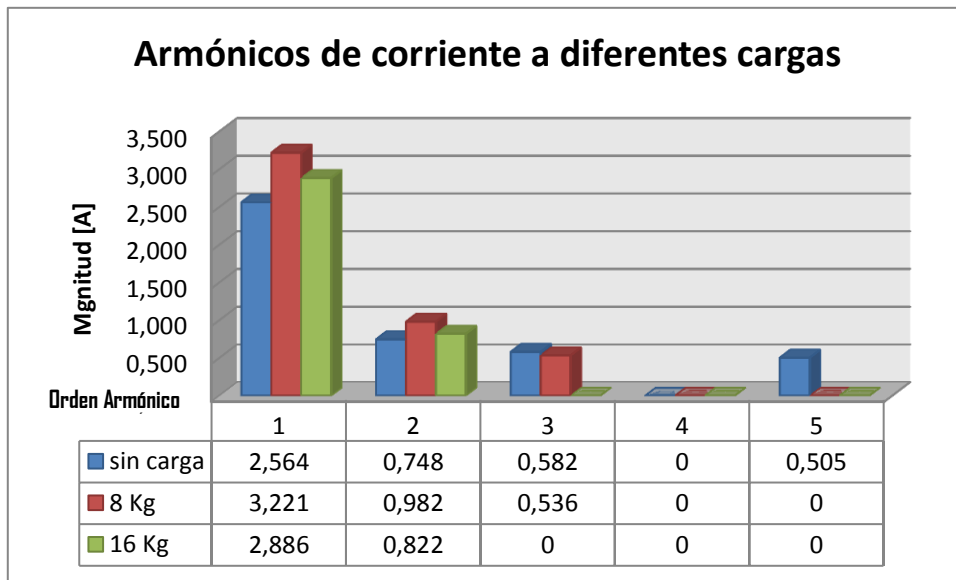
Frecuencia de salida = 60Hz



A frecuencia de 60 Hz se reducen el número de armónicos, estos datos nos acercan a una forma de onda fundamental.

Frecuencia Interna= 10 KHz

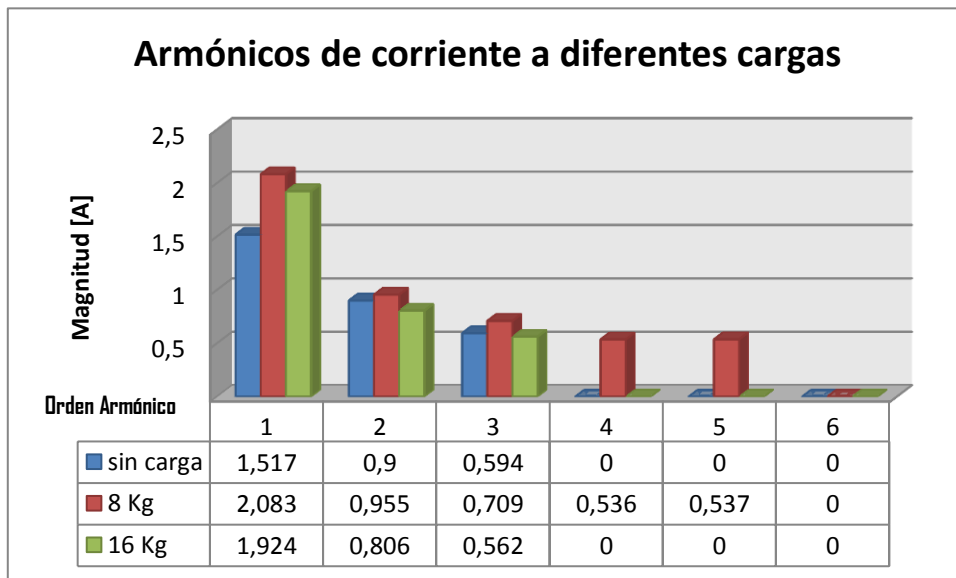
Frecuencia de salida = 40Hz



En comparación con la frecuencia anterior se generan mayor número de armónicos.

Frecuencia Interna= 10 KHz

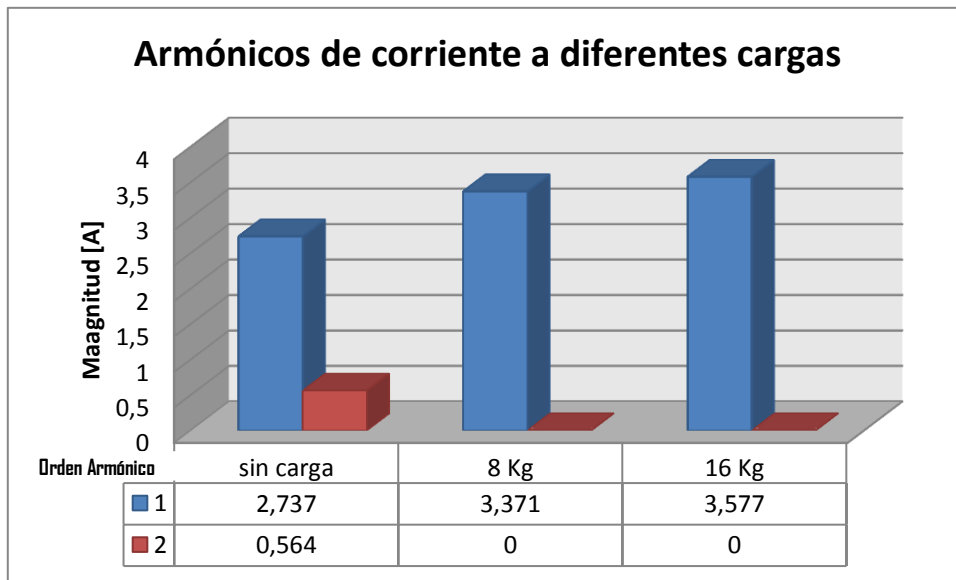
Frecuencia de salida = 20Hz



Se disminuye la frecuencia a 20 Hz y se incrementa la cantidad de armónicos, los datos son arbitrarios entre cargas.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

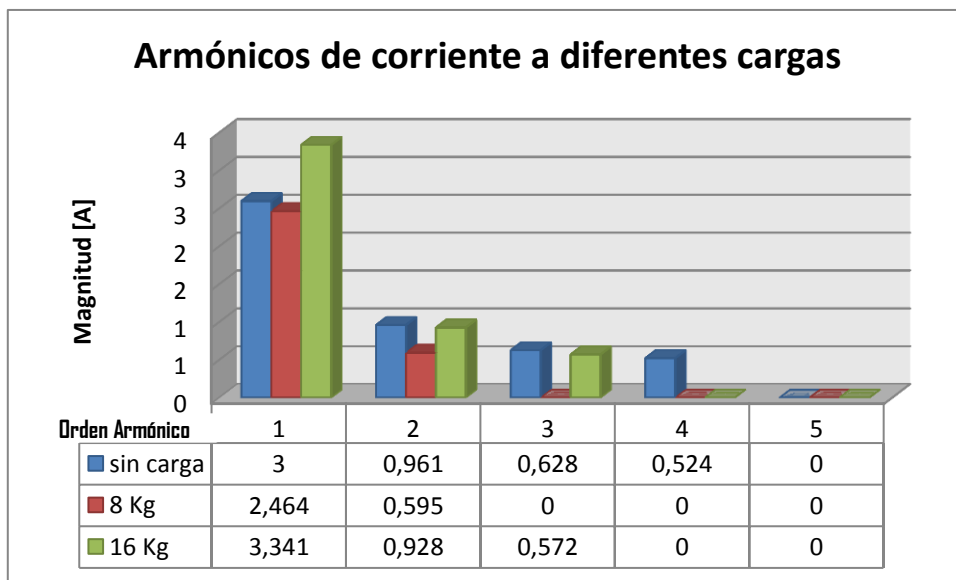
Frecuencia de salida = 60Hz



La gráfica nos muestra una disminución de armónicos a la frecuencia de 60 Hz, el valor 0.564 que se presenta es insignificante. Esta variación no está afectada por los armónicos.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

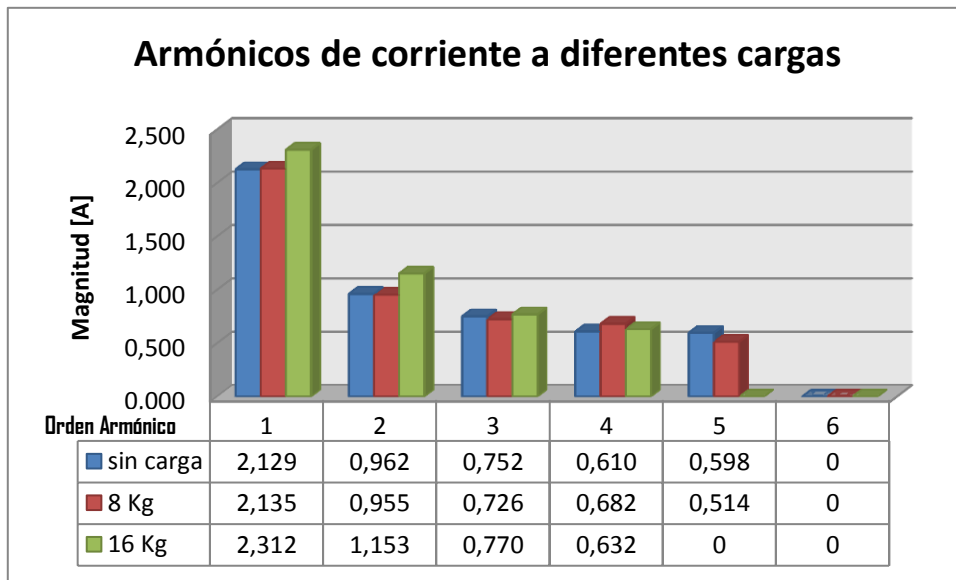
Frecuencia de salida = 40Hz



Esta gráfica muestra un incremento de armónicos en comparación a la frecuencia presentada en el cuadro anterior.

Frecuencia Interna= 7.5 KHz

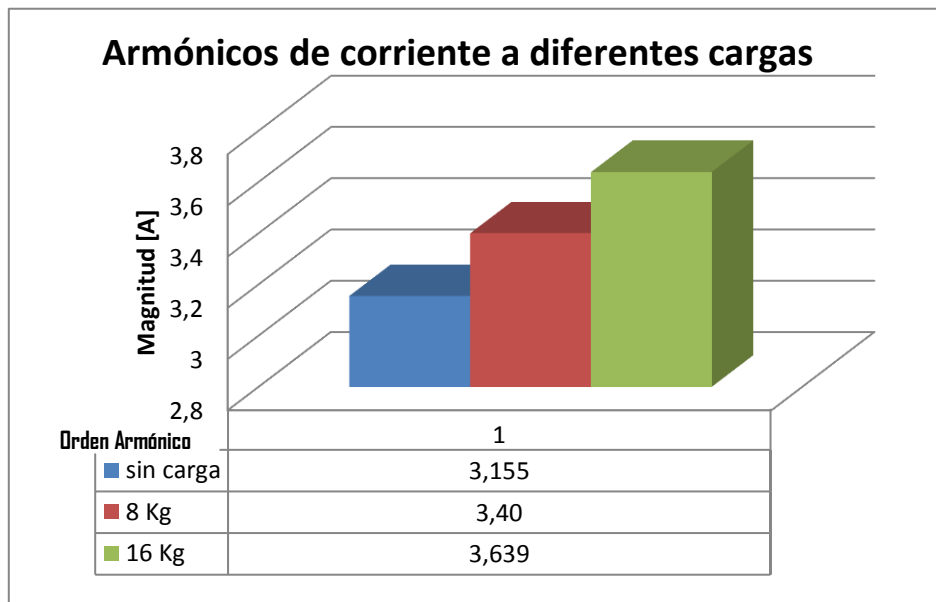
Frecuencia de salida = 20Hz



Se presenta mayor número de armónicos, las magnitudes son similares a las frecuencias antes mostradas.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

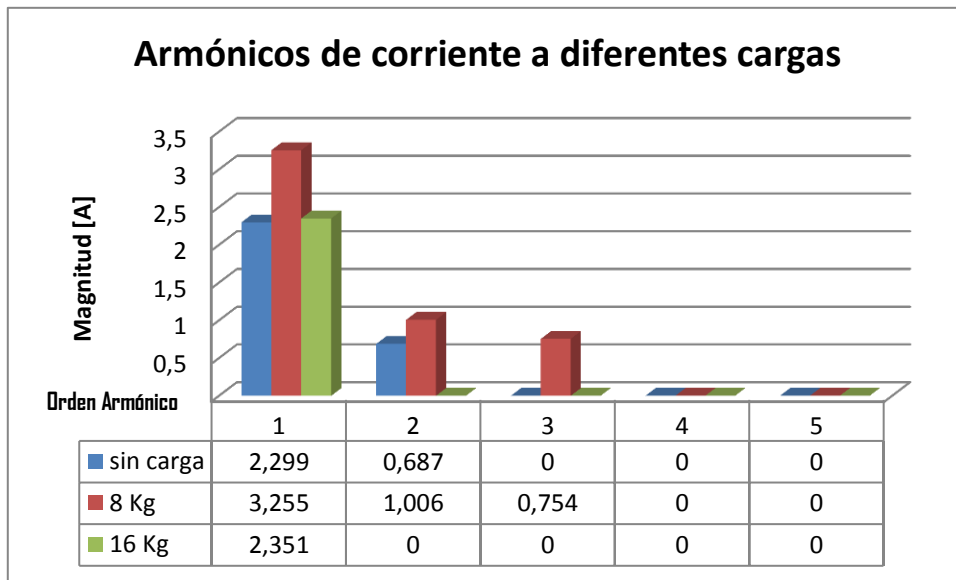
Frecuencia de salida = 60Hz



Esta grafica nos muestra que no existe armónicos ya que tenemos las frecuencias bajas como son la interna del variador de frecuencia de 2.5 KHz y la que controla la velocidad del motor de 60 Hz, en este caso no se presenta armónicos pero se presenta ruido en el motor eléctrico trifásico.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

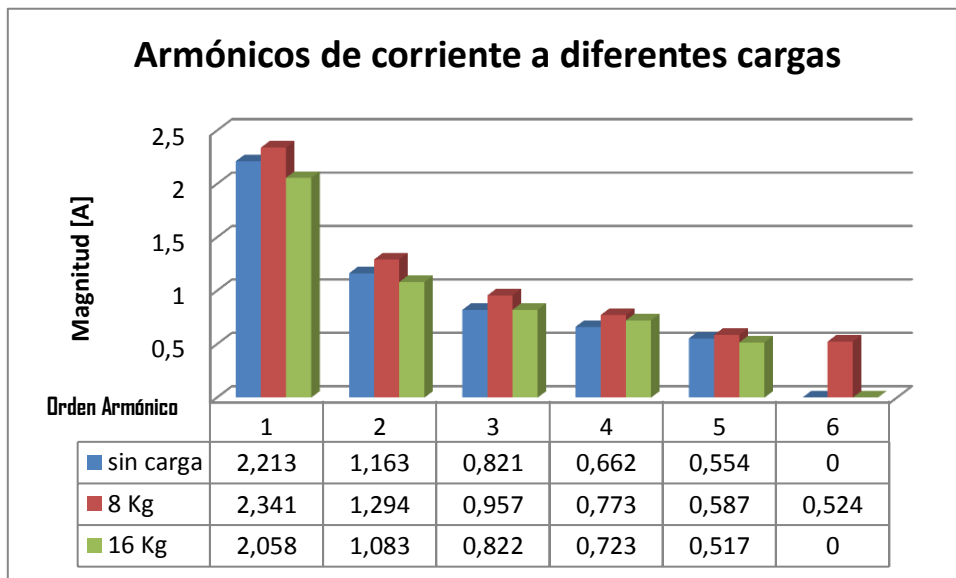
Frecuencia de salida = 40Hz



Se incrementan los armónicos al disminuir la frecuencia, para la carga de 8 Kg se presenta la mayor magnitud.

Frecuencia Interna= 2.5 KHz

Frecuencia de salida = 20Hz



Para esta variación se generan más armónicos por ser la frecuencia más baja, los valores más altos de magnitud de armónico presentan a una carga intermedia.

4.10 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

Una vez que se ha realizado las mediciones de la distorsión armónica, armónicos de corriente, armónicos de tensión, factor de potencia. Se puede comprobar que el mejor estado de trabajo es a frecuencia fundamental de la red, 60 Hz mejorando la situación con los armónicos en la red y con el desempeño del motor.

Se generan armónicos tanto antes del variador de frecuencia como después, al hacer la medición antes del variador se comprueba que el variador inyecta armónicos de corriente a la red los cuales son muy perjudiciales, ya que se transmiten por los cables, los que tienen que soportar estos cambios de amperajes, se necesitaran de mayor sección, esto implica mayor cobre lo cual es mayor costo. Además que se deberá sobredimensionar generadores y transformadores. Los armónicos de tensión existen antes del variador de frecuencia no afectan a la red por ser de baja magnitud.

Se realizó las mediciones después del variador de frecuencia estos armónicos afectan al resto de la instalación para nuestro caso, al motor eléctrico trifásico, los armónicos de corriente después del variador de frecuencia han disminuido la forma de onda se muestra como una sinusoidal, debido a que la frecuencia de la red se convierte en otra frecuencia por medio de la rectificación y conmutación. Los armónicos de tensión han aumentado pero son de pequeñas magnitudes se puede apreciar los 50 armónicos se debe a que el variador cuenta con la tecnología modulación por ancho de pulso (PWM) la cual es una señal digital que transforma la señal sinusoidal en una onda cuadrada como se muestra en los ensayos. Se reducirá los armónicos de corriente los cuales conllevan mayores problemas en la instalación. La compañía Schneider Electric en su artículo APC (Eliminación de armónicos) 01/2012 nos habla como las corrientes armónicas afectan a las instalaciones al traer efectos nocivos en la red.

Cuando el factor de potencia es mayor, cercano a uno se tiene menos corriente que pasa por un conductor al tener bajo factor de potencia la corriente aumenta, entonces lo que se penaliza es el bajo factor de potencia, por el alto contenido de corriente.

Existe los armónicos de orden 5 generado por el propio variador y el de orden 11 que afectan en el desempeño del motor porque son de secuencia negativa, oponiéndose al sentido del campo magnético, reducir estos mejorará el desempeño del motor.

El estudio no se interesa por la eficiencia mecánica más bien trata de mejorar la eficiencia energética de la instalación y de la red.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Al disminuir la velocidad de un motor con el variador de frecuencia, ocasionamos que la frecuencia fundamental de 60 Hz que se tiene en el Ecuador disminuya a otros valores, ocasionando armónicos de tensión y corriente.

Mientras la potencia reactiva tome valores mayores quiere decir que el factor de potencia disminuirá esto sucede a medida que disminuimos la frecuencia, mientras más baja la frecuencia menor será el factor de potencia.

Cuando mayor es el consumo de potencia reactiva por lo general se desaprovecha la energía. Al aumentar la potencia reactiva, según el triángulo de potencias, si se mantiene la potencia activa, la potencia aparente también aumentará y para esto se necesita que la empresa suministradora cubra el aumento de energía aparente.

Se necesita la instalación de un filtro antes del variador de frecuencia porque los armónicos son de gran porcentaje, no se necesita reducir armónicos de tensión porque se tiene una onda de forma sinusoidal, después del variador de frecuencia no se deberá instalar el filtro los armónicos de corriente son reducidos por la rectificación que hace el variador de frecuencia, los armónicos de tensión por medio de la modulación de ancho de pulso se ha convertido en una onda cuadrada que se asemeja a una sinusoidal por lo cual no se necesita filtrado.

Al tener bajo factor de potencia se consume mayor energía la eficiencia energética aumenta su valor porque consume mayor potencia aparente.

Los armónicos que se generan en la investigación se presentaron con un solo variador

OMROM 3G3XV- Inverter E. en el laboratorio de Automatización Industrial de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, al conectar todos los variadores que se tiene, simulando el trabajo en una empresa, la red eléctrica y el transformador crearán problemas.

Las mediciones de los Armónicos de tensión en el circuito antes del variador de frecuencia depende muy poco de la carga aplicada al motor eléctrico trifásico, más bien depende de la situación en la que se encuentre la red de energía eléctrica.

Los armónicos de tensión medidos en la red eléctrica son de bajo porcentaje, en el caso del motor trabajando al vacío son casi despreciables al tener un solo variador, al tener varios variadores en cierto lugar de trabajo estos pequeños porcentajes se sumaran produciendo costos mayores en consumo de energía eléctrica.

Los Armónicos de tensión antes del variador de frecuencia son pequeños en este caso la forma de onda no es distorsionada y se tiene casi una fundamental.

Se producen mayor armónicos de corriente antes del variador, presentando grandes magnitudes, porcentajes y pocos de tensión; al contrario en las mediciones realizadas después del variador ha incrementado los armónicos de tensión y disminuido los de corriente.

Al obtener armónicos de tensión y corriente medidos en el circuito después del variador, mientras la frecuencia es más cercana a 60 Hz la forma de onda se aproxima a la onda fundamental, si la frecuencia de salida al motor es baja la onda se distorsiona.

El motor presenta su mejor desempeño al tener la más alta frecuencia interna y una frecuencia de salida de por lo menos 40 Hz, además el desempeño mejora al trabajar a 60Hz que es la frecuencia fundamental en el Ecuador, al variar esta frecuencia el desempeño disminuye.

En las mediciones de tensión tomadas antes del variador de frecuencia, al disminuir la frecuencia también los armónicos lo hacen.

En las mediciones de corriente antes del variador, al disminuir la frecuencia que entrega la red eléctrica con el variador y mantener la frecuencia interna, la magnitud de los armónicos se reducen.

Mientras más baja es la frecuencia de salida para un mismo período de tiempo aumentan los picos y valles haciendo que la onda se distorsione.

Los Armónicos, distorsión armónica dependen del tipo de variador de frecuencia.

Los armónicos alteran los dispositivos electrónicos sensibles de otros clientes conectados al mismo alimentador.

Los armónicos encontrados son los de orden 5 y 11 son de secuencia negativa hacen que el campo rotatorio se oponga al sentido de giro del motor disminuyendo de esta manera el desempeño del motor.

5.2 RECOMENDACIONES

No trabajar con frecuencias internas del variador muy bajas como de 2.5 KHz ya que esta causa ruido en el motor eléctrico trifásico. Trabajar con frecuencias internas del variador que estén entre 7.5 KHz a 15 KHz.

Para que el motor eléctrico trifásico trabaje con un alto desempeño el variador de frecuencia debe trabajar con frecuencias de 40 a 60 Hz que es donde la onda se aproxima a la forma de la fundamental.

Utilizar un variador de frecuencia que sea de igual o de mayor capacidad que la del motor eléctrico trifásico.

Realizar mantenimiento periódicos a los motores eléctricos trifásicos y a los variadores de frecuencia, evitar ambientes húmedos, limpiar polvo, etc., para que realicen un mejor desempeño y no generen armónicos.

Seguir parámetros de selección de cables de normas, catálogos, manuales, libros, etc.; tanto de longitud como de diámetro para las conexiones del circuito motor eléctrico trifásico– variador de frecuencia, un mal diseño genera nuevos armónicos.

Seleccionar el variador de frecuencia según normas, catálogos, manuales, libros, etc.; verificando capacidad, eficiencia, costo y ver qué tipo de filtro tiene incorporado.

Realizar la conexión de puesta a tierra del circuito variador de frecuencia – motor eléctrico trifásico.

Colocar el variador de frecuencia de acuerdo a la disposición indicada por el manual de utilización, el ventilador que viene incorporado debe estar aislado de cualquier interrupción para evitar calentamiento.

Filtrar armónicos para reducir el consumo de energía, tener un mejor desempeño de los motores, e incluso evitar interferencias con otros equipos, líneas telefónicas.

En todo tipo de instalación debe existir un estudio referente a la presencia de armónicos, para tener un mayor aprovechamiento, el tema merece una especial atención, debe entrar en consideración.

CAPITULO VI

PROPUESTA.

6.1 DATOS INFORMATIVOS.

Una vez realizado el Análisis de la Distorsión Armónica producida por los Variadores de Frecuencia se ha determinado las frecuencias en las cuales existen menor presencia de armónicos, también se añade que se necesita disminuir armónicos mediante un filtrado de los mismos para un mejor desempeño del motor eléctrico, por ende menor consumo de energía eléctrica.

La investigación constituye un aporte importante para el área, debido a que se ha determinado frecuencias de trabajo y combinaciones de estas, constituyéndose además en una base para realizar estudios posteriores para otros tipos de variadores de frecuencia, motores eléctricos.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Automatización Industrial de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Cantón Ambato, Provincia del Tungurahua; entre los equipos que dispone el laboratorio para la elaboración de la presente investigación se puede mencionar: variador de frecuencia, motor eléctrico trifásico, multímetros. Además se utilizó un analizador gráfico de potencia adquirido que fue útil para realizar el análisis.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.

Existen investigaciones anteriores acerca de Distorsión armónica, filtradas de armónicos, pero es complicado encontrar estudios para un variador de frecuencia y motor eléctrico trifásico específicos como en el caso de la presente investigación variador de frecuencia Omron, Potencia 2.2 KW y motor eléctrico trifásico 3Hp de alta revoluciones. La Frecuencia es la principal variante, al modificarla genera armónicos y el filtrado es el que no ha sido analizado con anterioridad.

Luego de realizada la investigación se ha determinado, generar la mejor combinación de frecuencias para mejorar el desempeño del motor eléctrico, además se debe seleccionar el filtro para no tener inconvenientes de armónicos.

6.3 JUSTIFICACIÓN.

La reducción de distorsión armónica, el filtrado, contribuye a la optimización de una red eléctrica y mejora el desempeño de los motores.

En la Industria se necesita este tipo de instalaciones, al no contar con un filtrado los equipos eléctricos y electrónicos muestran su sensibilidad y disminuyen su desempeño, además existe interferencia en las redes provocando que se generen costos de facturación elevados. En empresas cuando no se sabe de la existencia del problema se reemplaza los equipos lo cual conlleva a mayores problemas.

Esta investigación ayudará a los estudiantes para que adquieran conocimientos y posteriormente se podrá dar nuevos estudios con otros variadores, motores, o con varios de ellos.

En la mayor parte de países del mundo, no existe actualmente ningún concepto en la tarifa para penalizar el consumo de armónicos. No obstante dada la magnitud del problema, son muchos los países que están en vías de estudio de algún tipo de recargo por armónicos.

6.4. OBJETIVOS

6.4.1. General

Realizar el análisis de Distorsión armónica producida por variadores de frecuencia incrementando un filtro.

6.4.2. Específicos

- Seleccionar el filtro más adecuado para reducir armónicos.
- Reducir la distorsión armónica.
- Mejorar el desempeño del motor eléctrico trifásico.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

El presente análisis es factible de realizarlo como se puede ver en la tabla 6.6 al ser un costo manejable fue factible de hacerlo, los equipos se han conseguido para realizar el análisis, existe la información necesaria y disponible, libros, internet que presta la biblioteca, los laboratorios de Automatización Industrial de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica disponen de los equipos y las herramientas necesarias para poder realizar la presente propuesta entre ellos: el variador de frecuencia que se encuentra es perfecto estado de funcionamiento, el aporte de una computadora en la cual fue instalado el software Clamp on, comunicado con el analizador gráfico para el análisis de armónicos en tiempo real. El laboratorio de ingeniería civil contribuyó con pesos para poner carga al motor.

El recurso humano como el investigador, tutor, ayudantes de laboratorio, docentes, aportaron para la factibilidad de la presente propuesta.

6.6 SELECCIÓN DEL FILTRO.

6.6.1 FILTRO PASIVO

Filtros pasivos de potencia en serie

Filtros shunt o paralelo

6.6.2 FILTRO ACTIVO

Filtro activo de potencia en serie

Filtro activo de potencia en paralelo

6.6.3 FILTROS HÍBRIDOS

FILTRO HÍBRIDO SERIE

FILTRO HÍBRIDO PARALELO.

FILTROS PASIVOS

Los componentes principales del filtro pasivo son las inductancias y condensadores, sintonizados en el orden de las frecuencias armónicas a ser eliminadas. Estos dispositivos se conectan en paralelo con el generador de armónicas. Este circuito absorberá las corrientes armónicas, evitando su circulación en el circuito de alimentación.

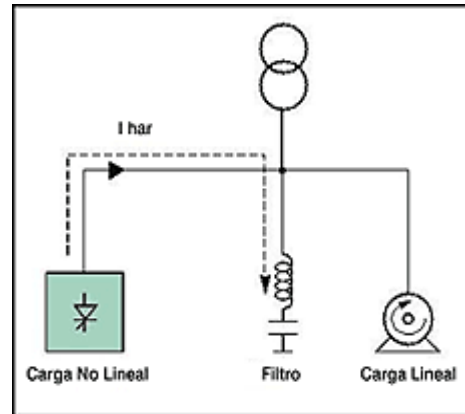


Figura 6.6.1 Filtro Pasivo.

Fuente: Rafael Vásquez
Schneider Electric, Santiago de Chile

Un equipo puede incluir varios dispositivos para eliminar los armónicos según el orden correspondiente.

Las funcionalidades son satisfactorias en la mayoría de los casos, esta tecnología permite solo una reducción parcial de las corrientes armónicas. Además, la acción se limita solo a unos pocos órdenes (típicamente: 5, 7, y 11).

Adicionalmente, la corriente nominal del filtro es muy dependiente de la distorsión existente, dado que el filtro presenta una baja impedancia en su frecuencia de resonancia.

Así, la implementación de filtros pasivos requiere un análisis detallado de las características de la instalación, lo cual es una limitación en el uso de esta tecnología.

Las aplicaciones típicas para los filtros pasivos son las instalaciones de potencia media o de potencia alta lo que incluye variadores de velocidad, hornos de inducción, hornos de arco y rectificadores, y también aquellas que requieren corrección del factor de potencia.

FILTROS PASIVOS: REACTANCIAS.

Reducen armónicos en la red eléctrica trifásica.

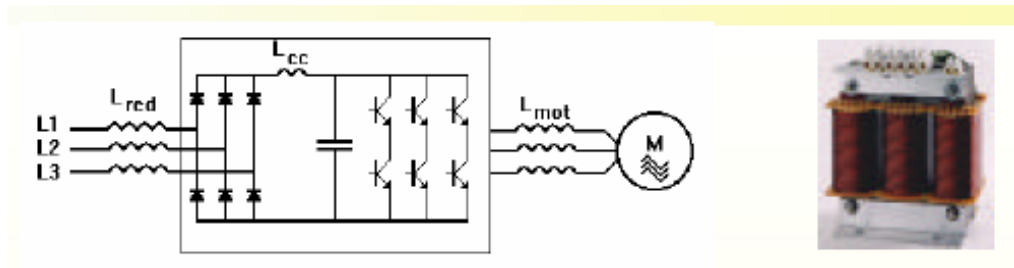


Figura 6.6.2 Reactancia Trifásica.

Fuente: Balcells Josep, Filtrado de armónicos, Nov 2006.

Tabla 6.6.1 Filtros pasivos: Reactancias trifásicas.

kVar 50 Hz	CÓDIGO REACTANCIA	DIMENSIONES H * A * P	PARA CONDENSADOR RDC	€ P.V.P
6,25	90906691	155*180*75	68407440	241
12,5	90912691	155*180*100	68415440	258
18,75	90918691	205*240*100	68420440	288
25	90925691	205*240*110	68428440	398
37,5	90937691	205*240*110	(1) 68414440 + (1) 68428440	437
50	90950691	205*240*135	(2)68428440	505

Fuente: Catálogo CISAR, Compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos. Julio 2011.

FILTROS ACTIVOS

El compensador activo es un equipo de electrónica de potencia, con control digital. Los sensores de corriente se usan para la medición de la corriente de carga de la línea. El circuito de control digital calcula el contenido de la corriente armónica I_{har} de estas corrientes de carga y genera las señales del orden adecuado en la unidad de potencia.

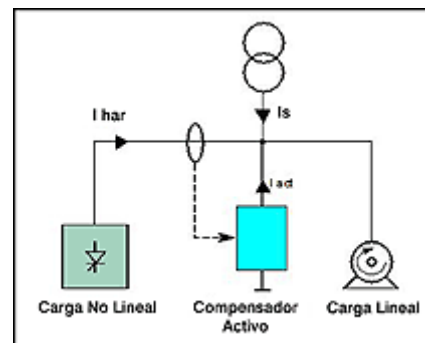


Figura 6.6.3 Filtro Activo.

Fuente: Rafael Vásquez
Schneider Electric, Santiago de Chile

La unidad de potencia genera la corriente I en oposición a las corrientes armónicas de la carga. La corriente resultante I_s tiene un contenido de corrientes armónicas muy reducida. Esta reducción puede estar en el orden de 10 a 20 dependiendo del tipo de carga, así como también si la corriente nominal del compensador es suficiente.

La compensación armónica cubre el rango desde el orden 2 al orden 25, o desde el orden 2 al orden 50 según el compensador usado, con posibilidades de compensar parcial o totalmente. El equipo se adapta automáticamente a cualquier tipo de carga, monofásica o trifásica y puede ser conectado a cualquier red trifásica con o sin neutro.

Una de las ventajas de esta tecnología es que es menos crítica en su interacción con las características de la instalación, y se adaptan mucho mejor a las fluctuaciones de los parámetros.

FILTROS ACTIVOS SERIE.

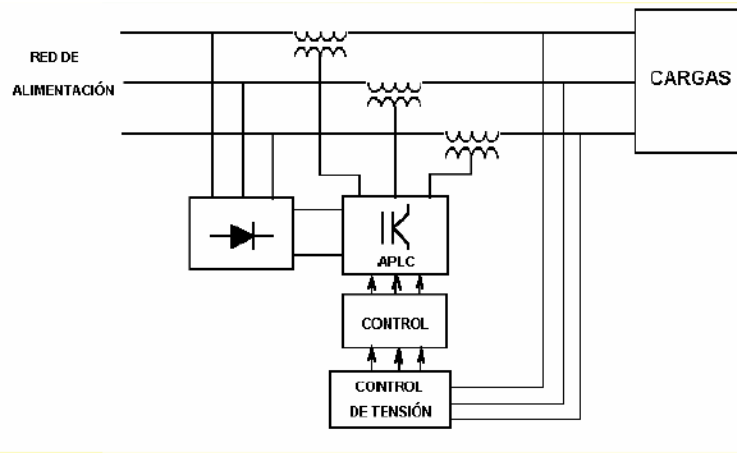


Figura 6.6.4 Filtro Activo Serie.

Fuente: Balcells Josep, Filtrado de armónicos, Nov 2006.

Resuelven problemas de armónicos en el lado de las cargas restituyendo la forma de onda de la tensión a una forma senoidal.

FILTROS ACTIVOS PARALELO

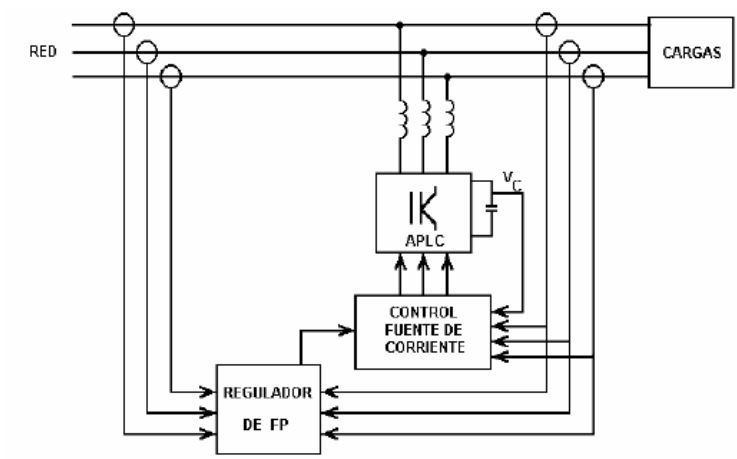


Figura 6.6.5 Filtro Activo Paralelo.

Fuente: Balcells Josep, Filtrado de armónicos, Nov 2006.

Resuelven problemas de armónicos en el lado de la red haciendo que la corriente absorbida sea senoidal. Pueden compensar también desequilibrio y FP.

FILTROS ACTIVOS PARALELO - SERIE Y SERIE – PARALELO.

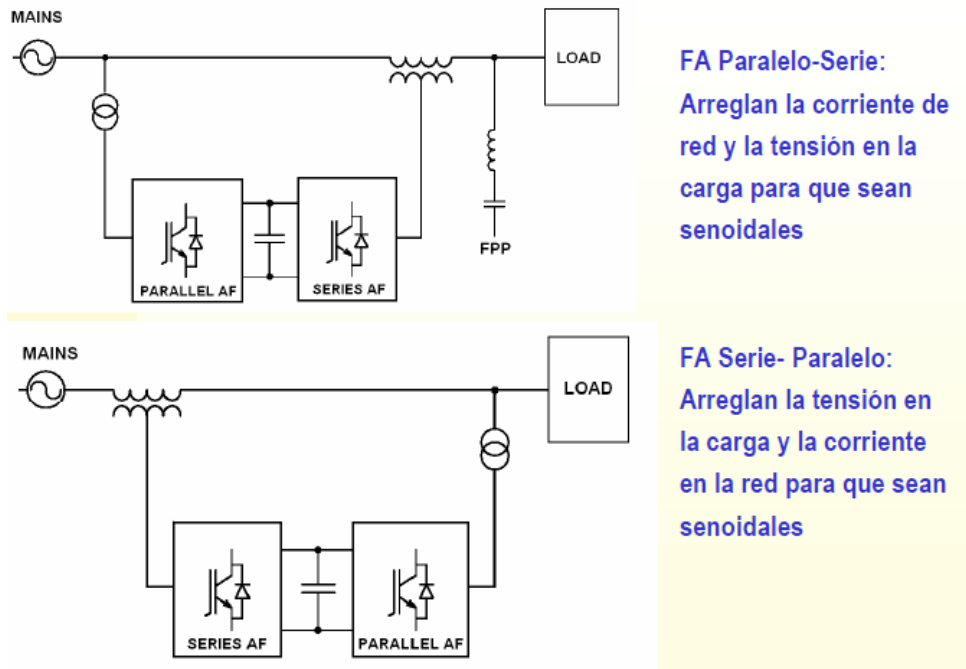


Figura 6.6.6 Filtro Activos Paralelo - Serie y Serie – Paralelo.

Fuente: Balcells Josep, Filtrado de armónicos, Nov 2006.



Figura 6.6.7 Filtro Activo

Fuente: Catálogo CISAR, Compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos. Julio 2011

Tabla 6.6.2 Precios de filtros para redes eléctricas.

kVA _r /4000V 50 Hz	COMPOSICIÓN	DIMENSIONES (mm) H * A * P	PESO kg.	CÓDIGO	€ P.V.P
50	2*25	200*700*540	12,50	23050400	1.952
62,5	12,5+2*25	200*700*540	14,00	23062400	2.568
75	3*25	200*700*540	14,50	23075400	2.844
100	2*25+50	200*700*540	16,50	23100400	3.669
100	2*50	200*700*540	17	23101400	3.669

Fuente: Catálogo CISAR, Compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos. Julio 2011

FILTRO HÍBRIDO.

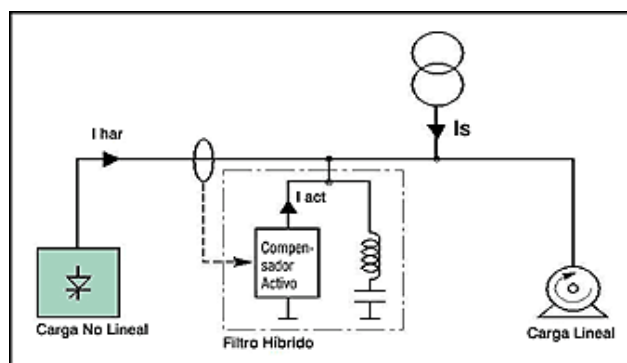


Figura 6.6.8 Filtro Híbrido.

Fuente: Rafael Vásquez, Schneider Electric, Santiago de Chile.

El filtro pasivo se sintoniza en la frecuencia armónica predominante, y entrega la energía reactiva requerida. El compensador activo se dedica al resto de los armónicos.

Esta solución permite un alto nivel de funcionalidad, dado al gran número del orden armónico cubierto. El uso del filtro pasivo dedicado a la frecuencia del orden predominante permite cubrir un rango más amplio de potencia. El compensador activo es ajustado sólo para una fracción (típicamente: entre $1/3$ y $1/2$) de la corriente armónica total. Las aplicaciones típicas de los filtros híbridos son las mismas aplicaciones de los filtros pasivos, es decir, para instalaciones de potencia media y potencia alta (pocos cientos de kVA), aplicaciones que demandan corrección del factor de potencia, además de la funcionalidad de eliminar el resto armónicos de orden diferente.

Con la reducción de la sección activa y la alimentación natural de la energía reactiva, la tecnología híbrida ofrece una solución óptima y económica para la mayoría de las instalaciones de alta potencia. El filtro híbrido combina las ventajas de ambas tecnologías básicas: el filtro pasivo es una solución de bajo costo y el compensador activo es una solución de alta funcionalidad.

6.7. FUNDAMENTACIÓN.

Para la propuesta se ha fundamentado en la teoría de los capítulos anteriores, en donde se muestra las fórmulas necesarias para la determinación de los resultados de Distorsión armónica total.

La reactancia trifásica se seleccionó porque los fabricantes de variadores recomiendan su uso, además por el coste de este tipo de filtrado en relación con otros tipos de filtrados como son los filtros activos, híbridos, alguno de ellos que actúan sobre cada

armónico con la finalidad de reducir solo el de interés. Son filtros costosos que mejoran la distribución de energía eléctrica.

A continuación se presenta el filtrado de armónicos, el filtro fue seleccionado según el sistema de potencia mostrado en el Anexo A6, además del cálculo que se muestra a continuación:

Como se trata de un sistema de potencia son muchos los parámetros que pueden variar se escoge un factor de potencia bajo, 0.74 que es el valor medido en vacío por el analizador gráfico PROVA 6200 que se muestra en la tabla 4.3.1.

Se tiene:

$$P = 4.147 \text{ KW medido (PROVA 6200)}$$

Se calcula la reactancia (X) para mejorar desde el valor bajo medido 0.74 a 0.92 que es un factor deseado.

$$PA_{\text{Actual}} = \arccos(\text{PF}) \quad \text{Ec. 6.1}$$

$$PA_{\text{Deseado}} = \arccos(\text{PF}) \quad \text{Ec. 6.2}$$

$$PA_{\text{Actual}} = \arccos(0.74)$$

$$PA_{\text{Deseado}} = \arccos(0.92)$$

$$PA_{\text{Actual}} = 0.738 \text{ rad} = 42.27^\circ$$

$$PA_{\text{Deseado}} = 0.403 \text{ rad} = 23.07^\circ$$

Se calcula los KVAR para elevar el FP.

$$\text{KVAR} = P * (\text{Tg}(PA_{\text{Actual}}) - \text{Tg}(PA_{\text{Deseado}})) \quad \text{Ec. 6.3}$$

$$\text{KVAR} = 4.147 * (\text{Tg}(42.27^\circ) - \text{Tg}(23.07^\circ))$$

$$\text{KVAR} = 2 \text{ KVAR}$$

$$X_c = \frac{(0.22)^2}{0.2 \text{ mVAR}} \quad \text{Ec. 6.4}$$

$$X_c = 0.242 \text{ Ohmios}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad \text{Ec. 6.5}$$

$$C = 10961.06 * 10^{-6} \text{ Faradios}$$

$$W_n = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{Ec. 6.6}$$

$$W_n = 2\pi f n = 1771.8624 \quad \text{Ec. 6.6}$$

$$L = 2.9 * 10^{-5} \text{ Henrios}^{15}$$

¹⁵ Filtro de armónicos. Autor: Quant Jonah. www.veco.com.mx

ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE LA REACTANCIA TRIFÁSICA

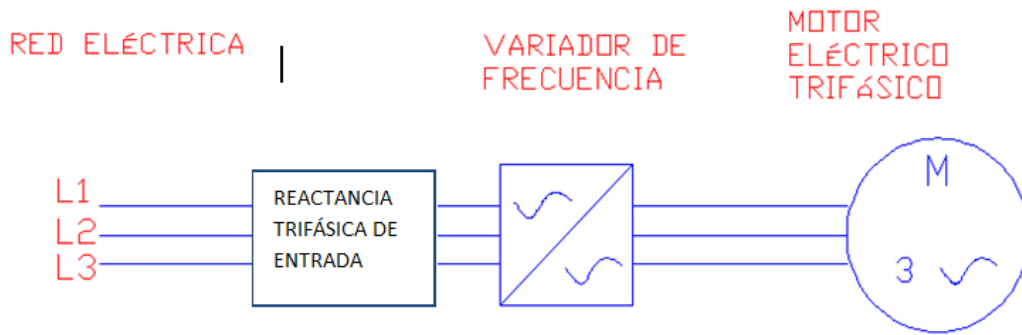




Figura: 6.7.1 Esquema Filtrado de armónicos.

Fuente: Egdo: López A. Darwin A.

A continuación se presenta la disminución de armónicos.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																																				
FILTRADO DE ARMÓNICOS																																					
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial – FICM																																			
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por: Ing. Susana Valencia																																			
Frecuencia variador	15 KHz	Frecuencia salida al motor 60 Hz																																			
ESPECTRO NO FILTRADO		ESPECTRO FILTRADO																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>1.965</td><td>100</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.817</td><td>92.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.569</td><td>79.8</td></tr> <tr><td>9</td><td>1.301</td><td>66.2</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.022</td><td>52</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.745</td><td>37.9</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.546</td><td>27.8</td></tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	1.965	100	5	1.817	92.5	7	1.569	79.8	9	1.301	66.2	11	1.022	52	13	0.745	37.9	15	0.546	27.8	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Orden Armónico</th> <th>Magnitud [A]</th> <th>Porcentaje [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>3.188</td><td>85.5</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.853</td><td>49.7</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.727</td><td>19.5</td></tr> </tbody> </table>	Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]	3	3.188	85.5	5	1.853	49.7	7	0.727	19.5
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																																			
3	1.965	100																																			
5	1.817	92.5																																			
7	1.569	79.8																																			
9	1.301	66.2																																			
11	1.022	52																																			
13	0.745	37.9																																			
15	0.546	27.8																																			
Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]																																			
3	3.188	85.5																																			
5	1.853	49.7																																			
7	0.727	19.5																																			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FILTRADO DE ARMÓNICOS

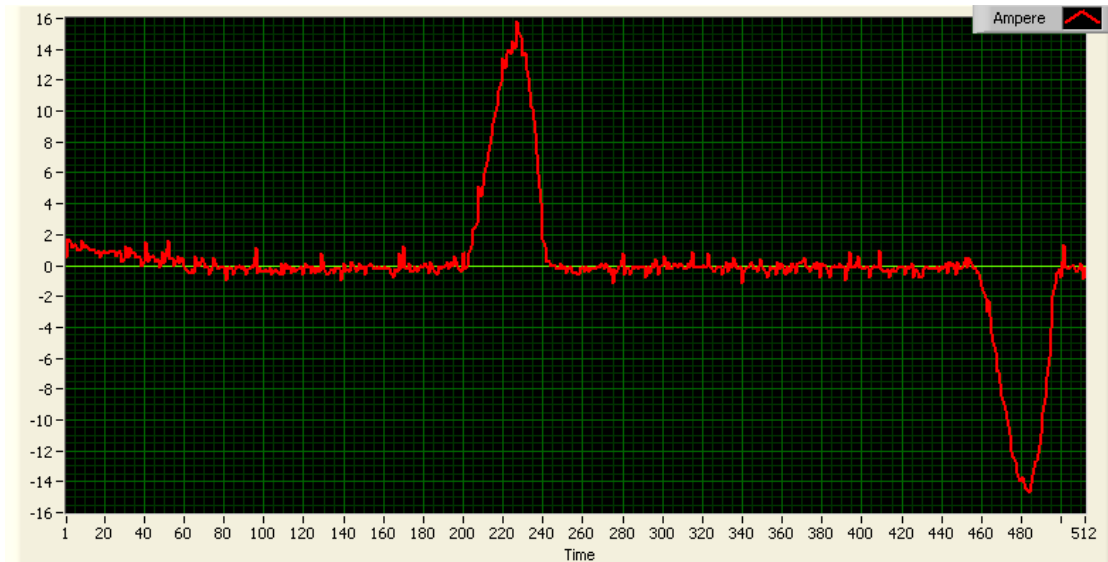
■ Onda no filtrada.
 ■ Onda filtrada.

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

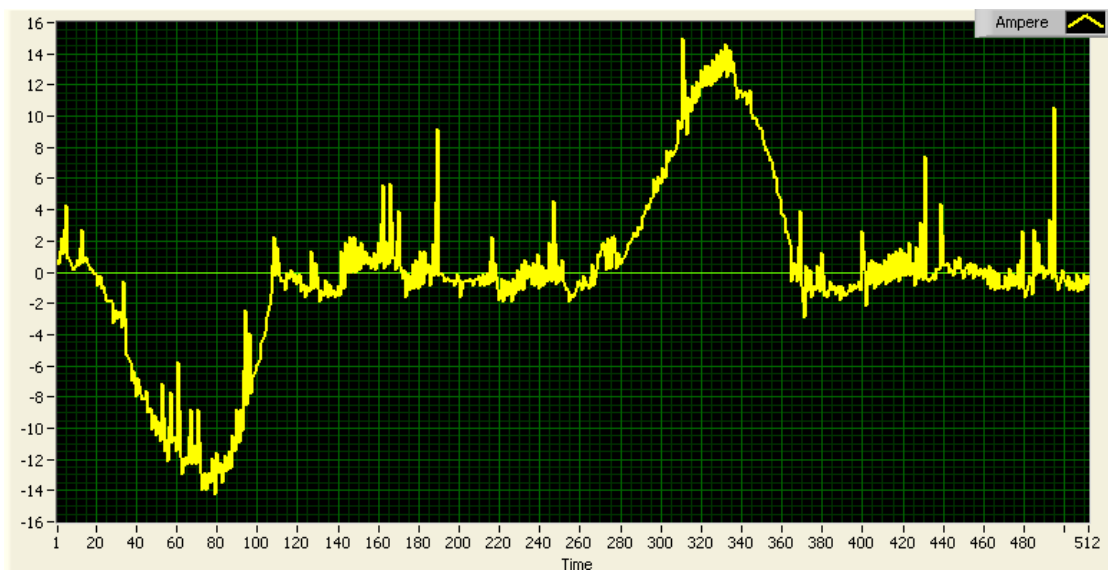
Fecha de ejecución: 09/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
3.9 A	15.80 A	180.8 %	1	1.874 A	95.4 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
5.4 A	14.98 A	94.0 %	1	3.727	100 %





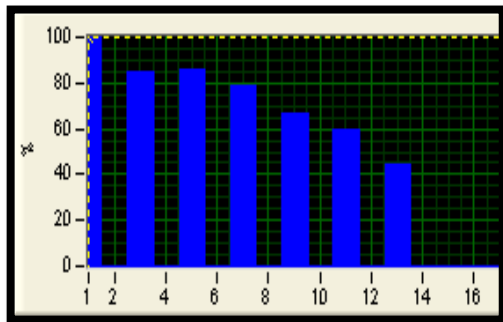
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



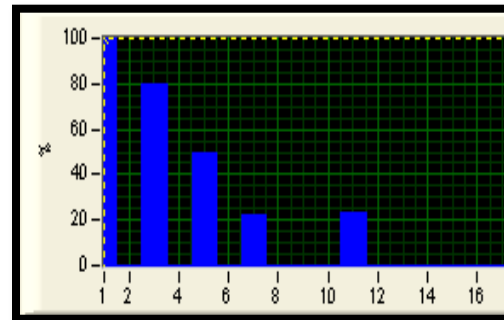
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	15 KHz	Frecuencia salida al motor	40 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.176	84.7
5	1.191	85.8
7	1.099	79.2
9	0.929	66.9
11	0.822	59.2
13	0.619	44.6
15	x	x

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	2.772	80.2
5	1.694	49
7	0.764	22.1
11	0.787	22.8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

Fecha de ejecución: 09/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

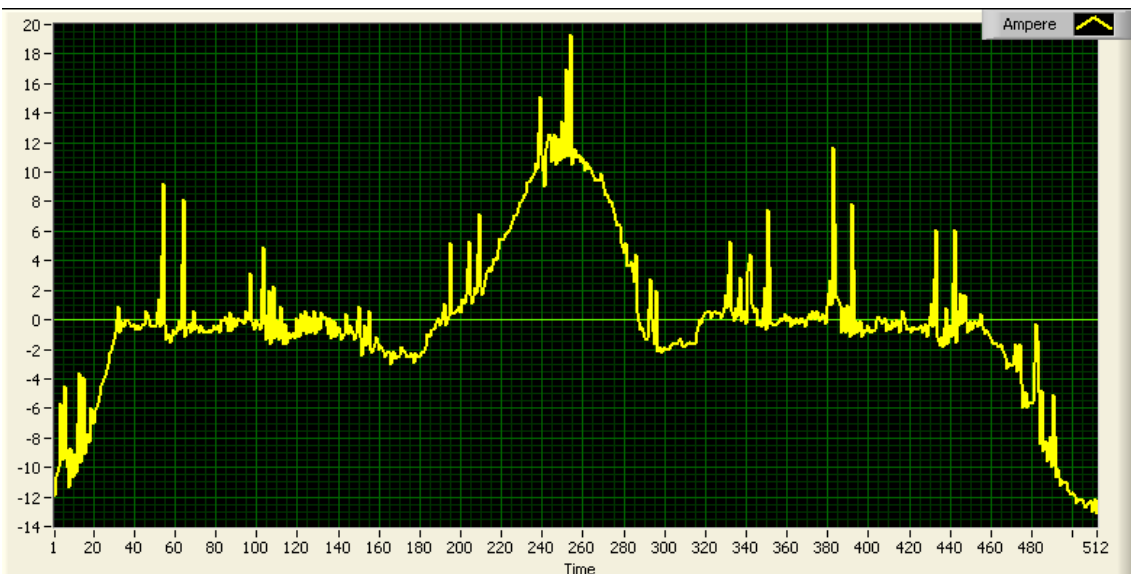
■ Onda no filtrada.

■ Onda filtrada.

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
2.7 A	11.61 A	163.5 %	1	1.388 A	100.0 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
5.0 A	19.27 A	98.6 %	1	3.323 A	100 %





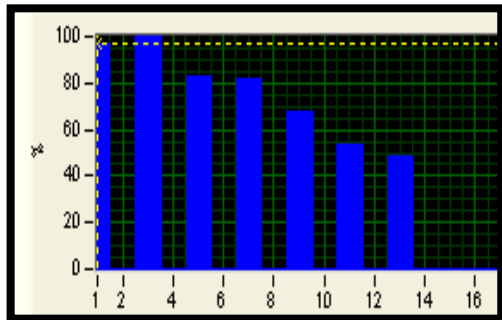
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



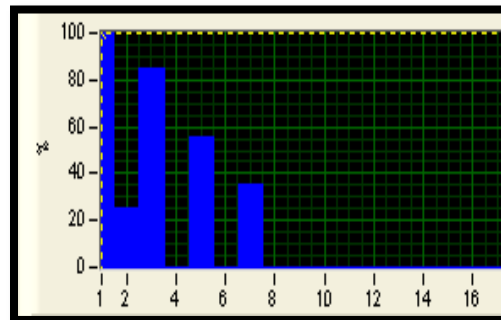
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	15 KHz	Frecuencia salida al motor	20 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.176	84.7
5	1.191	85.8
7	1.099	79.2
9	0.929	66.9
11	0.822	59.2
13	0.619	44.6
15	x	x

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2	0.603	24.8
3	2.060	84.6
5	1.362	55.9
7	0.852	35



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

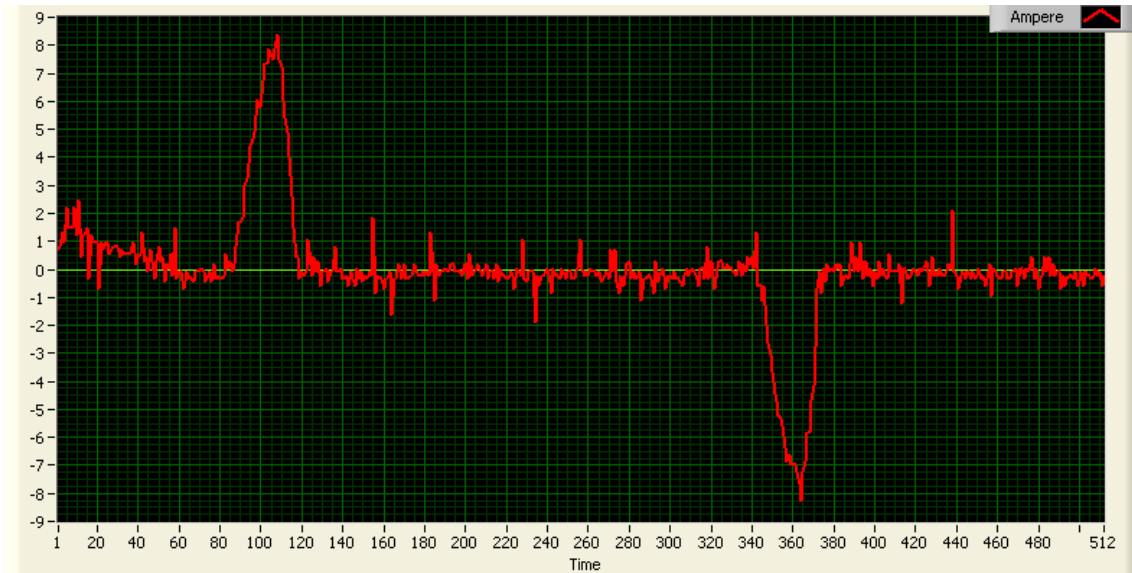
Fecha de ejecución: 09/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

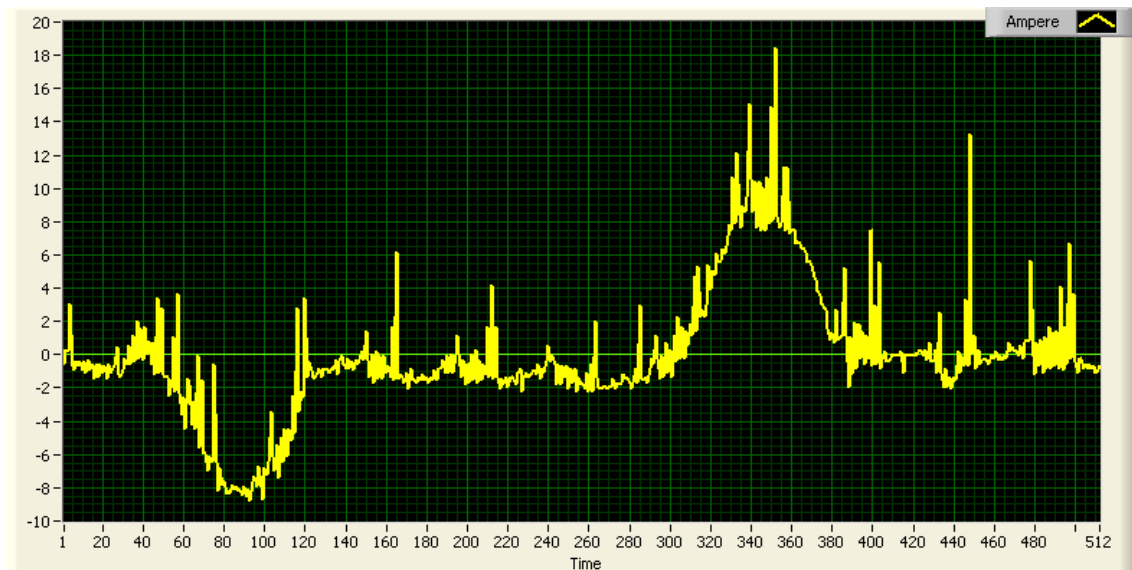
■ Onda no filtrada.

■ Onda filtrada.

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
2.0 A	10.0 A	172.2 %	1	1.019 A	97.0 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
3.8 A	18.42 A	102.6 %	1	2.434 A	100 %





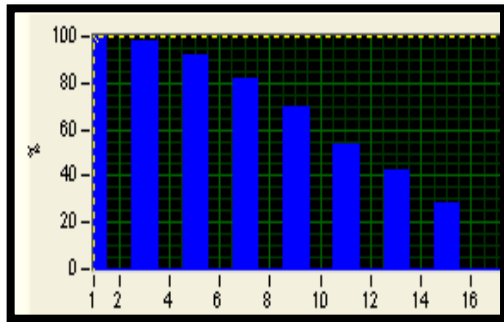
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



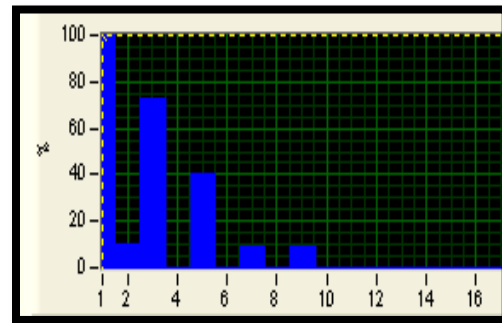
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	10 KHz	Frecuencia salida al motor	60 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.866	97.5
5	1.765	92.3
7	1.572	82.2
9	1.331	69.6
11	1.025	53.6
13	0.804	42
15	0.548	28.7

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2	0.556	10
3	4.050	73.2
5	2.263	40.9
7	0.531	9.6
9	0.505	9.1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FILTRADO DE ARMÓNICOS

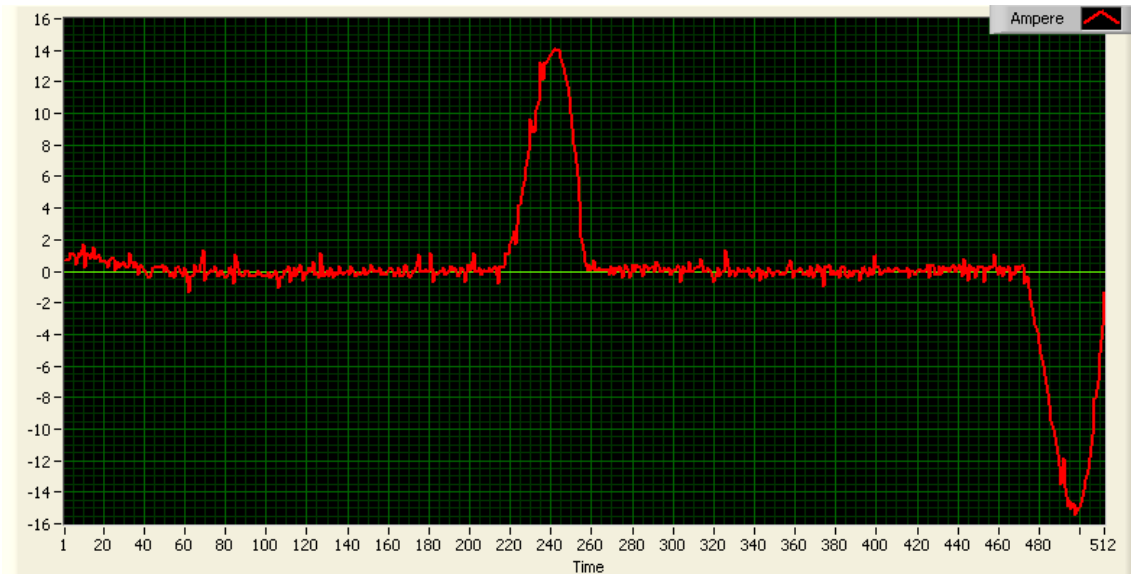
- Onda no filtrada.
- Onda filtrada.

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

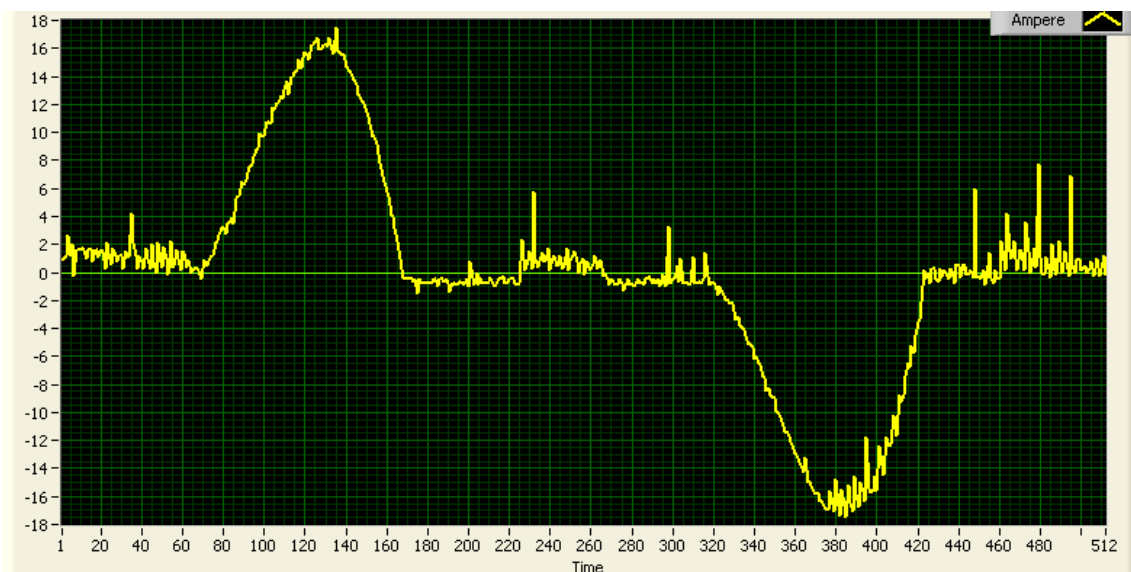
Fecha de ejecución: 09/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
3.9 A	15.48 A	174.6 %	1	1.913 A	100%



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
7.2 A	17.48 A	79.6 %	1	5.535 A	100 %





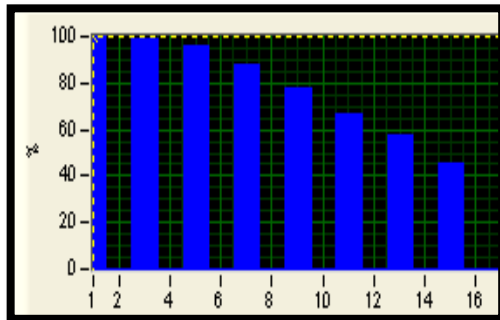
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



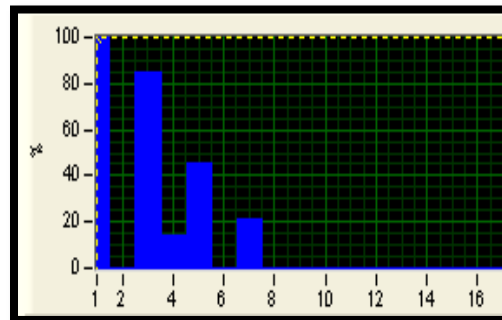
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	10 KHz	Frecuencia salida al motor	40 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.119	98.6
5	1.085	95.6
7	0.999	88
9	0.886	78
11	0.758	66.8
13	0.651	57.3
15	0.516	45.5

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	3.043	84.7
4	0.514	14.3
5	1.633	45.5
7	0.755	21.0



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FILTRADO DE ARMÓNICOS

■ Onda no filtrada.

■ Onda filtrada.

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

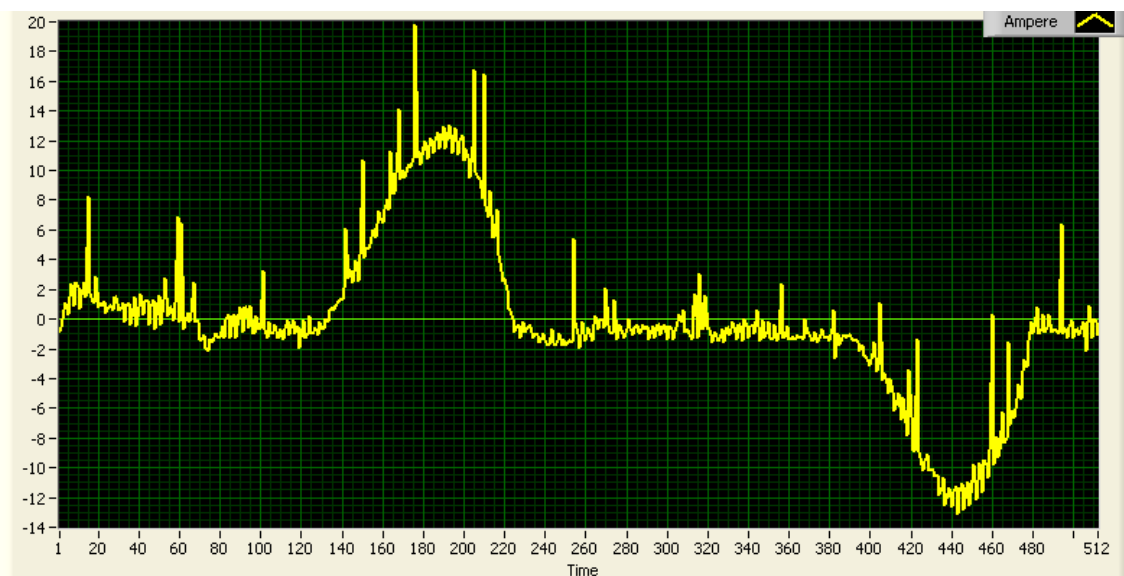
Fecha de ejecución: 09/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
2.5 A	10.78 A	192.1 %	1	1.135 A	100 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
5.2 A	19.79 A	92.7 %	1	3.593 A	100 %





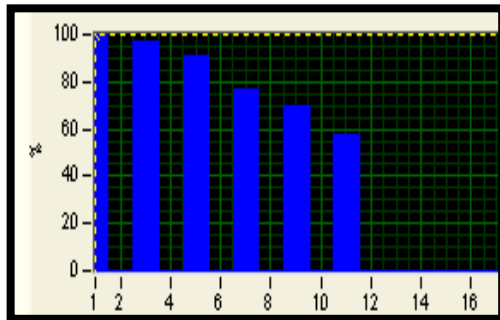
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



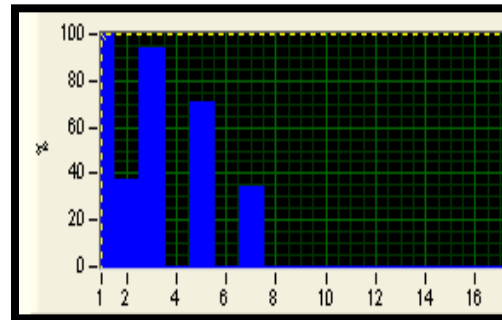
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	10 KHz	Frecuencia salida al motor	20 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	0.926	96.8
5	0.869	90.7
7	0.739	77.2
9	0.672	70.2
11	0.548	57.2
13	x	x
15	x	x

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
2	0.764	37.9
3	1.904	94.3
5	1.431	70.9
7	0.689	34.1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

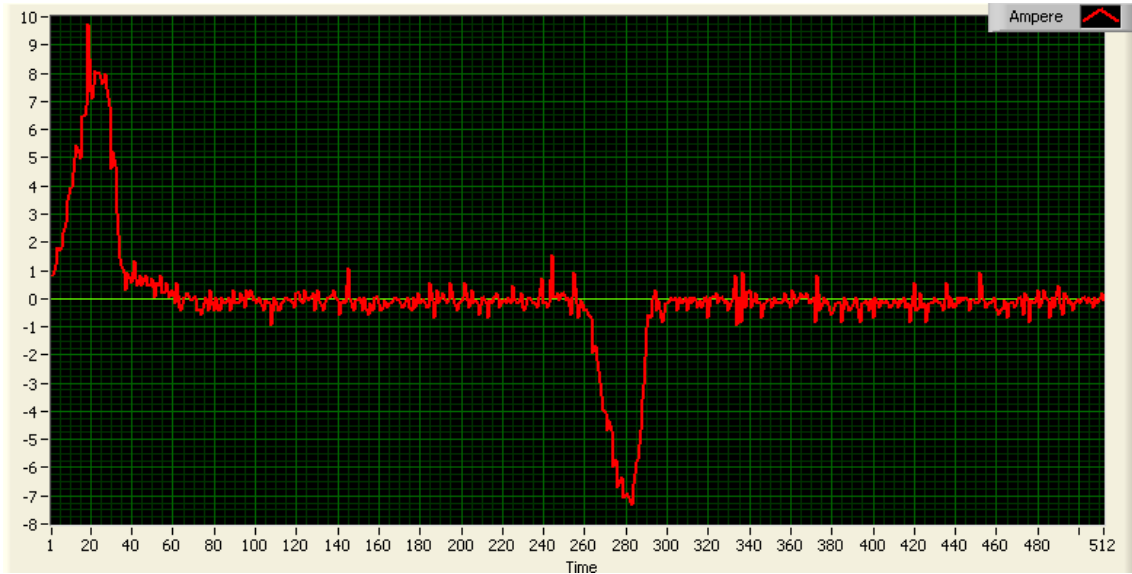
Fecha de ejecución: 09/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

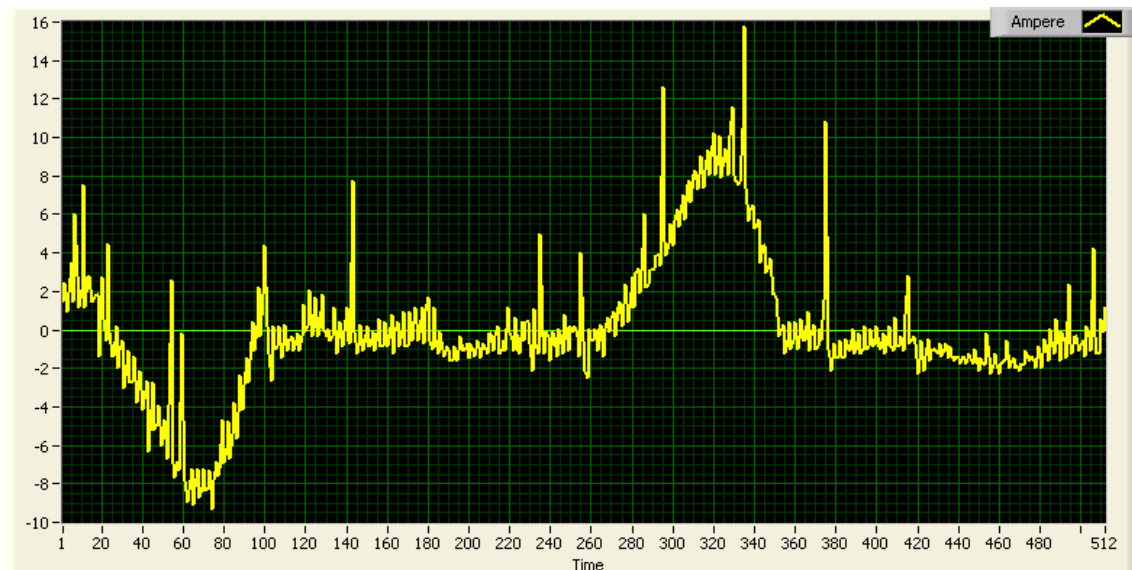
■ Onda no filtrada.

■ Onda filtrada.

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
1.9 A	9.725 A	166.1 %	1	0.957 A	100 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
3.5 A	15.79 A	119.8 %	1	2.019 A	100 %





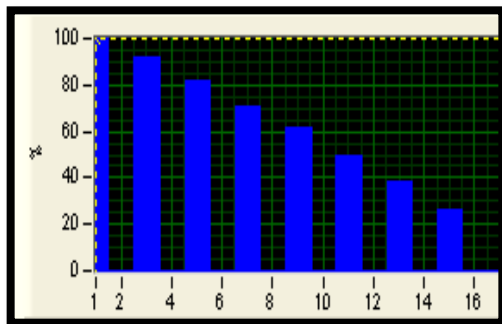
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



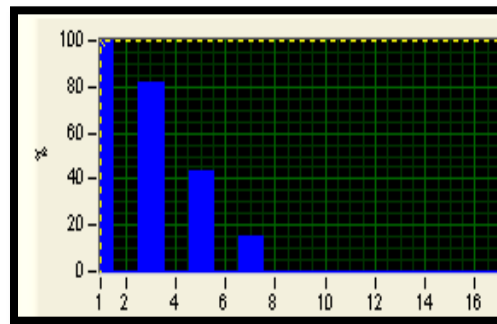
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	7.5 KHz	Frecuencia salida al motor	60 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.902	92.4
5	1.688	82
7	1.455	70.6
9	1.259	61.2
11	1.022	49.6
13	0.792	38.5
15	0.540	26.2

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	3.553	81.9
5	1.893	43.7
7	0.655	15.1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



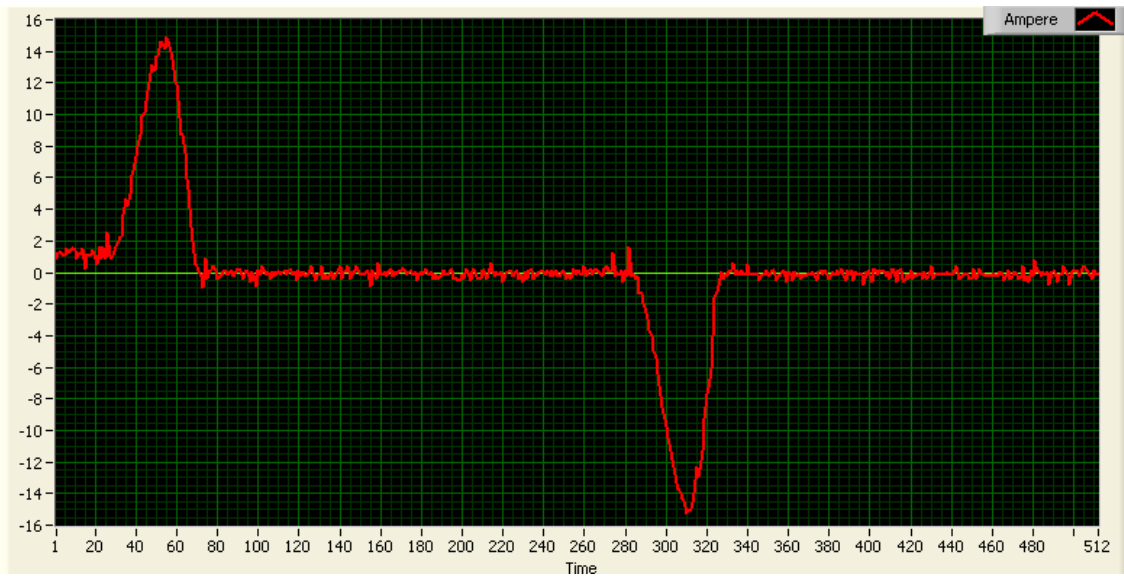
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

- Onda no filtrada.
- Onda filtrada.

Fecha de ejecución: 09/12/2013 **Supervisado por:** Ing. Susana Valencia

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
3.9 A	15.23 A	157.6 %	1	2.059 A	100 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
5.9 A	15.03 A	87.7 %	1	4.337 A	100 %





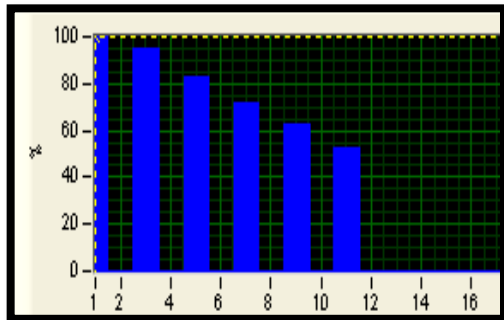
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



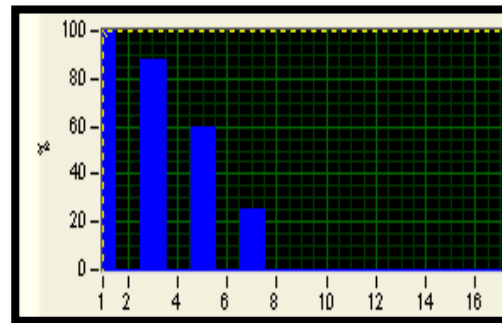
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	7.5 KHz	Frecuencia salida al motor	40 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.117	94.5
5	0.98	82.9
7	0.846	71.6
9	0.745	63.1
11	0.616	52.1
13	x	x
15	x	x

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	2.744	87.9
5	1.852	59.3
7	0.776	24.8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



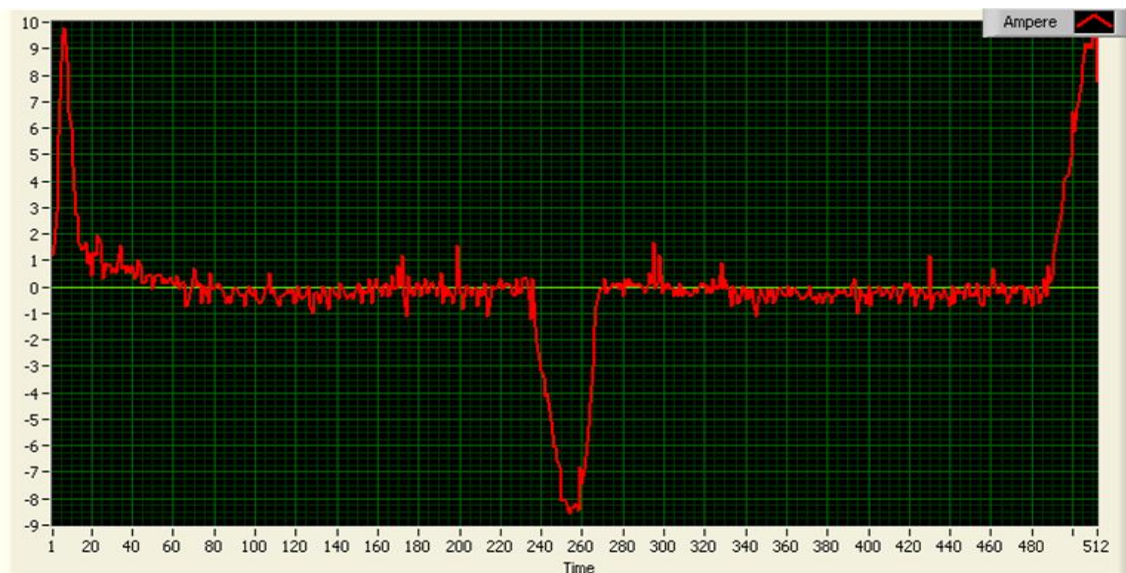
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

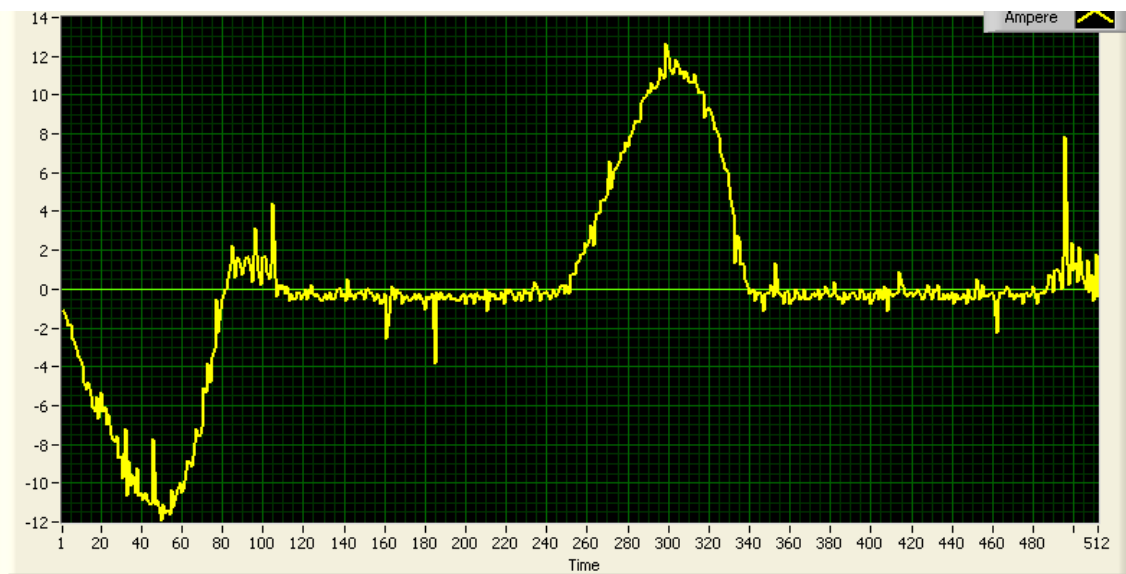
■ Onda no filtrada.
 ■ Onda filtrada.

Fecha de ejecución: 09/12/2013 **Supervisado por:** Ing. Susana Valencia

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
2.3 A	9.787 A	154.9 %	1	1.182 A	100 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
4.6 A	12.62 A	101.5 %	1	3.122 A	100 %





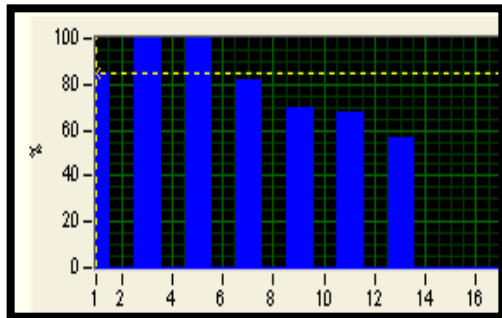
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



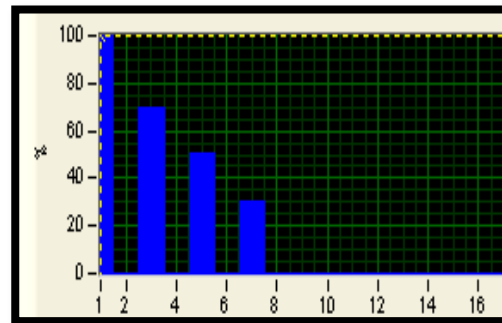
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	7.5 KHz	Frecuencia salida al motor	20 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	0.934	100
5	0.931	99.6
7	0.76	81.4
9	0.653	69.9
11	0.633	67.8
13	0.524	56.1
15	x	x

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.469	69.2
5	1.070	50.4
7	0.639	30.1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

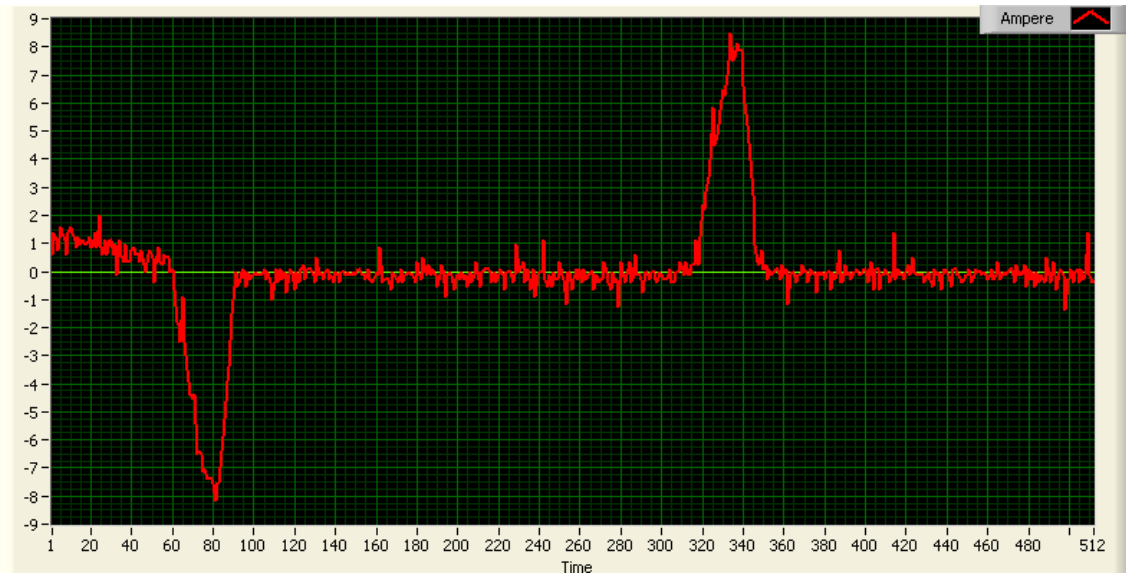
Fecha de ejecución: 09/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

■ Onda no filtrada.

■ Onda filtrada.

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
1.9 A	8.479 A	217.6 %	1	0.792 A	84.8 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
3.1 A	13.83 A	84.6 %	1	2.123 A	100 %





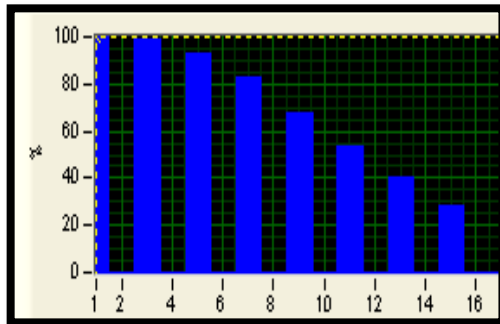
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



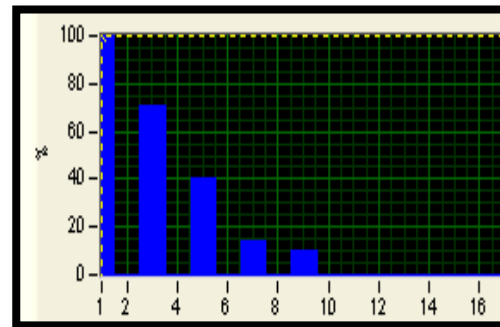
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	2.5 KHz	Frecuencia salida al motor	60 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	2.036	98.8
5	1.911	92.7
7	1.697	82.3
9	1.401	68
11	1.097	53.2
13	0.828	40.2
15	0.585	28.4

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	3.552	71.0
5	2.023	40.4
7	0.726	14.5
9	0.530	10.6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

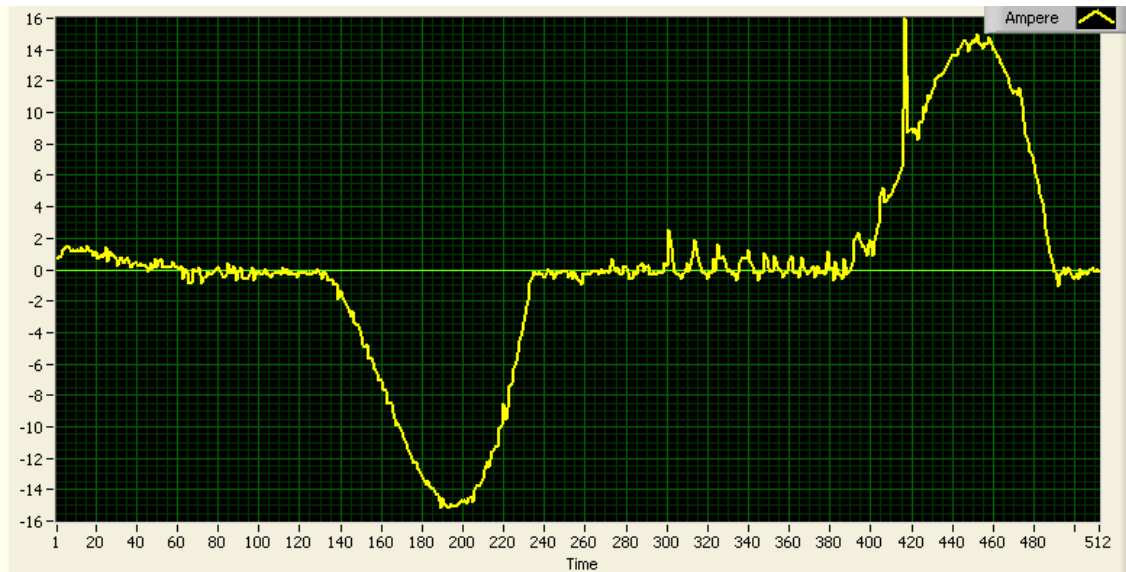
- Onda no filtrada.
- Onda filtrada.

Fecha de ejecución: 09/12/2013 Supervisado por: Ing. Susana Valencia

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
4.2 A	16.57 A	174.4 %	1	2.061 A	100 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
6.4 A	15.96 A	78.0 %	1	5.002 A	100 %





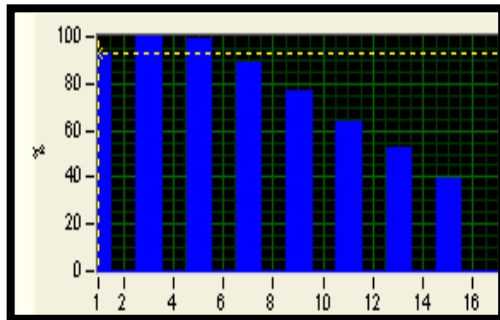
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



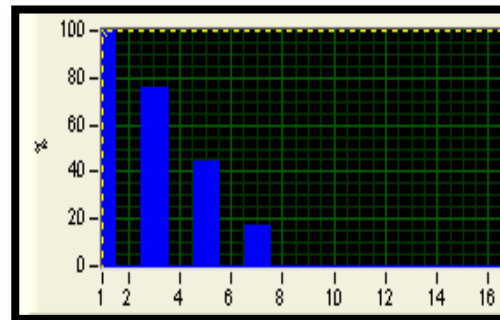
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	2.5 KHz	Frecuencia salida al motor	40 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.327	100
5	1.320	99.4
7	1.178	88.8
9	1.019	76.8
11	0.849	64
13	0.696	52.5
15	0.516	38.9

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	2.825	76.1
5	1.636	44.1
7	0.641	17.3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FILTRADO DE ARMÓNICOS

■ Onda no filtrada.

■ Onda filtrada.

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

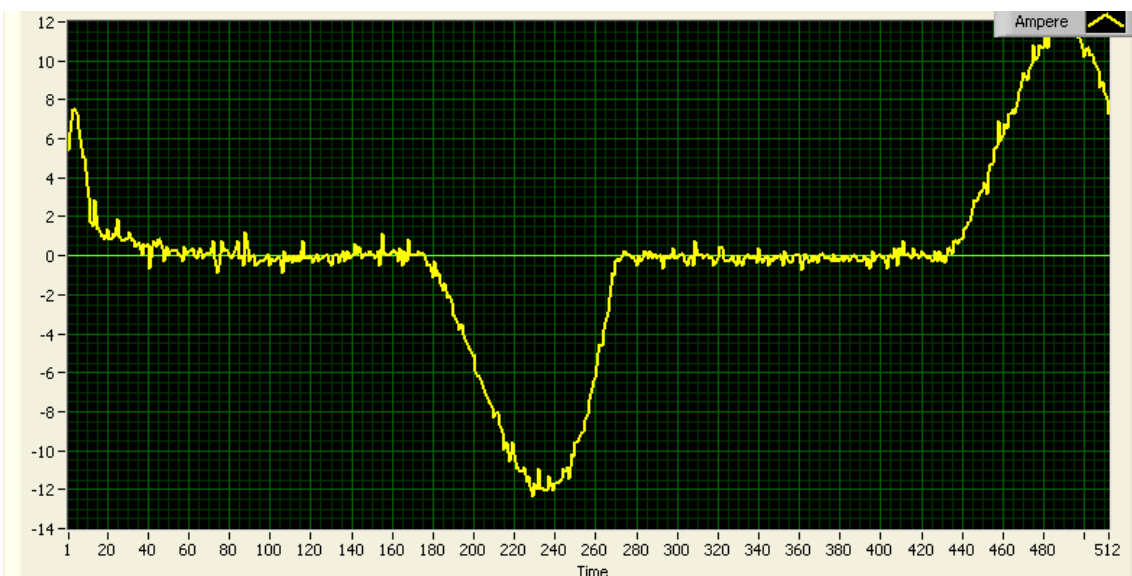
Fecha de ejecución: 09/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
2.8 A	11.96 A	205.7 %	1	1.233 A	92.9 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
4.9 A	12.33 A	83.6 %	1	3.711 A	100 %





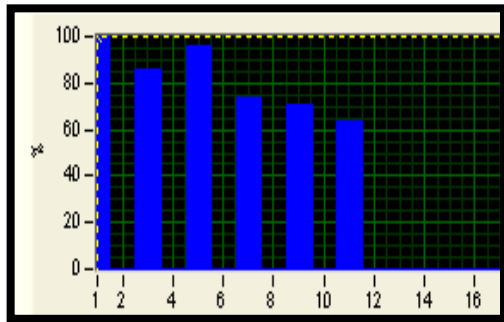
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



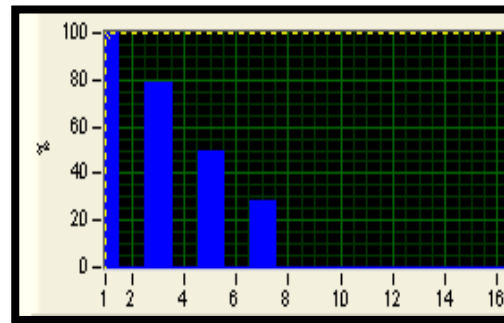
FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	09/12/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia
Frecuencia variador	2.5 KHz	Frecuencia salida al motor	20 Hz

ESPECTRO NO FILTRADO



ESPECTRO FILTRADO



Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	0.864	85.9
5	0.969	96.3
7	0.742	73.8
9	0.716	71.1
11	0.639	63.5
13	x	x
15	x	x

Orden Armónico	Magnitud [A]	Porcentaje [%]
3	1.784	78.9
5	1.123	49.7
7	0.648	28.6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



FILTRADO DE ARMÓNICOS

Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

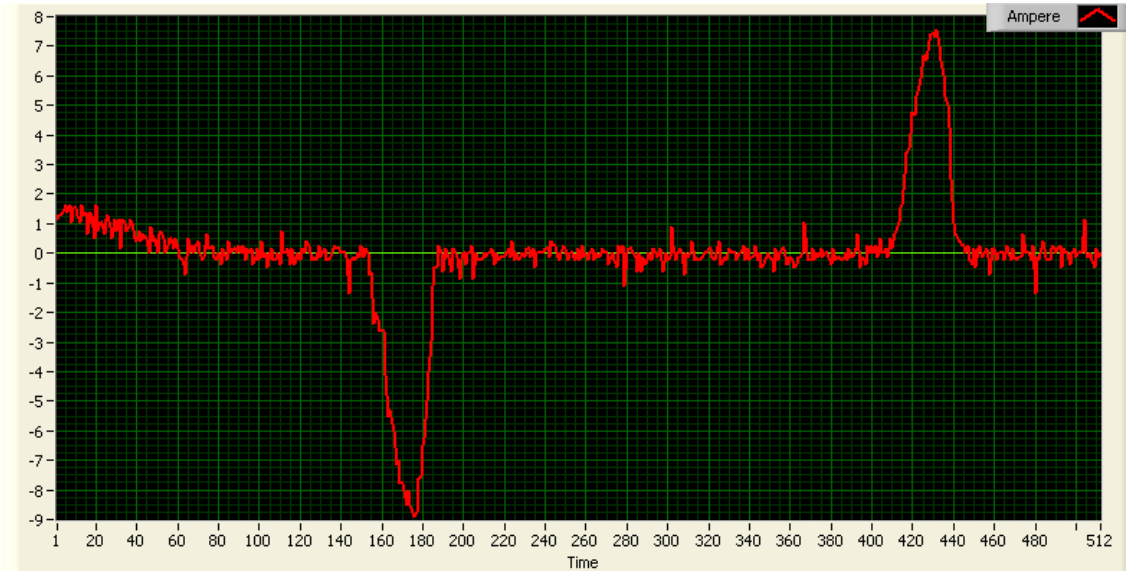
Fecha de ejecución: 09/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

■ Onda no filtrada.

■ Onda filtrada.

RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
2.0 A	8.892 A	164.6 %	1	1.006 A	100 %



RMS	PICO	THD	ARMÓNICO	MAGNITUD	PORCENTAJE
3.2 A	9.701 A	90.9 %	1	2.261 A	100 %

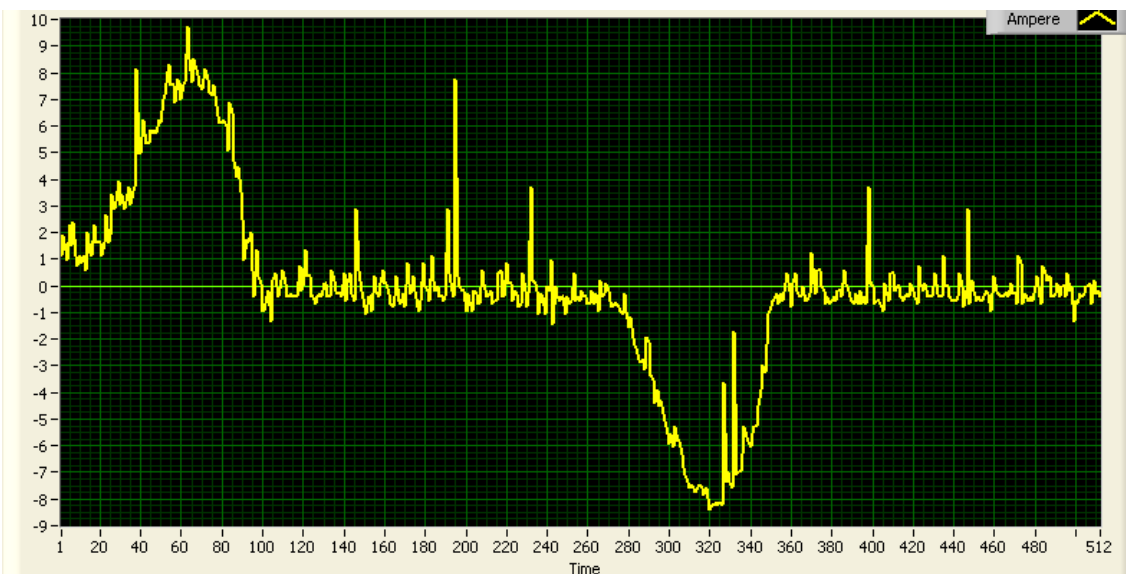


Tabla Factor de potencia sin carga aplicada al motor filtrando armónicos.

EFICIENCIA SIN CARGA APLICADA AL MOTOR Y FILTRANDO ARMÓNICOS						
FRECUENCIA INTERNA DEL VARIADOR [KHz]	FRECUENCIA DE SALIDA AL MOTOR [Hz]	P. APARENTE (S)[KVA]	P. ACTIVA (P)[KW]	P. REACTIVA (Q)[KVAR]	FACTOR DE POTENCIA (FP)	EFICIENCIA (η) [%]
15	60	3,237	2,905	1,429	0,897	10,26
	40	2,034	1,63	1,216	0,801	19,86
	20	904,8	290,5	856,9	0,321	67,89
10	60	1,79	1,503	0,972	0,839	16,03
	40	1,242	0,5777	1,099	0,469	53,49
	20	674	141,3	659	0,209	79,04
7,5	60	2,016	1,514	1,331	0,75	24,90
	40	1,155	0,3662	1,095	0,317	68,29
	20	543,1	86,3	536,2	0,158	84,11
2,5	60	1,591	0,7576	1,399	0,476	52,38
	40	877,7	299,4	825	0,341	65,89
	20	807,7	190,4	784,9	0,235	76,43

Tabla Factor de potencia con carga [16 Kg] aplicada al motor filtrando armónicos.

EFICIENCIA CON CARGA APLICADA AL MOTOR Y FILTRANDO ARMÓNICOS						
FRECUENCIA INTERNA DEL VARIADOR [KHz]	FRECUENCIA DE SALIDA AL MOTOR [Hz]	P. APARENTE (S)[KVA]	P. ACTIVA (P)[KW]	P. REACTIVA (Q)[KVAR]	FACTOR DE POTENCIA (FP)	EFICIENCIA (η) [%]
15	60	3,209	3,074	0,919	0,958	4,21
	40	4,247	3,714	2,059	0,874	12,55
	20	774,6	385,3	672	0,497	50,26
10	60	3,023	2,652	1,451	0,877	12,27
	40	800,1	426,2	677,2	0,532	46,73
	20	624	140	530,5	0,224	77,56
7,5	60	2,568	2,496	0,603	0,972	2,80
	40	920,9	599,9	698,7	0,651	34,86
	20	520	76	502,5	0,146	85,38
2,5	60	2,52	2,343	0,928	0,929	7,02
	40	927,3	696,9	611,7	0,751	24,85
	20	767,3	157,9	750,9	0,205	79,42



FILTRADO DE ARMÓNICOS

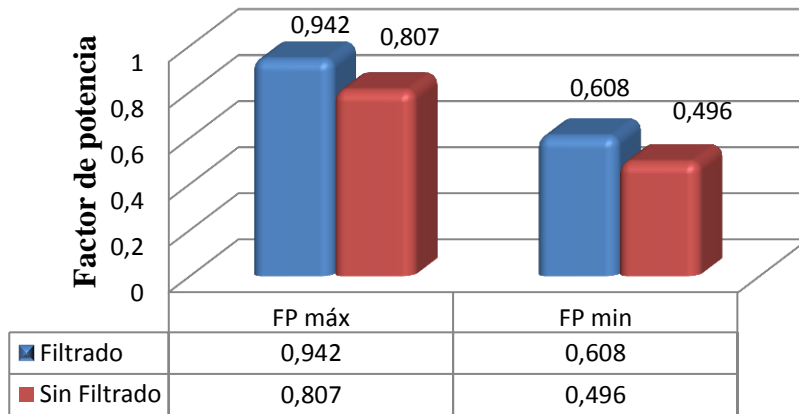
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

Fecha de ejecución: 20/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

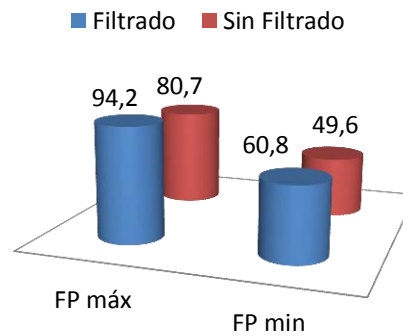
Factor de potencia con frecuencia de 15KHz.

Factor de potencia a 15Khz de frecuencia del variador.



El filtrado de armónicos hace que el factor de potencia mejore aproximadamente 13% para los valores máximos y un 11% para los valores mínimos.

Mejoramiento del fp.





FILTRADO DE ARMÓNICOS

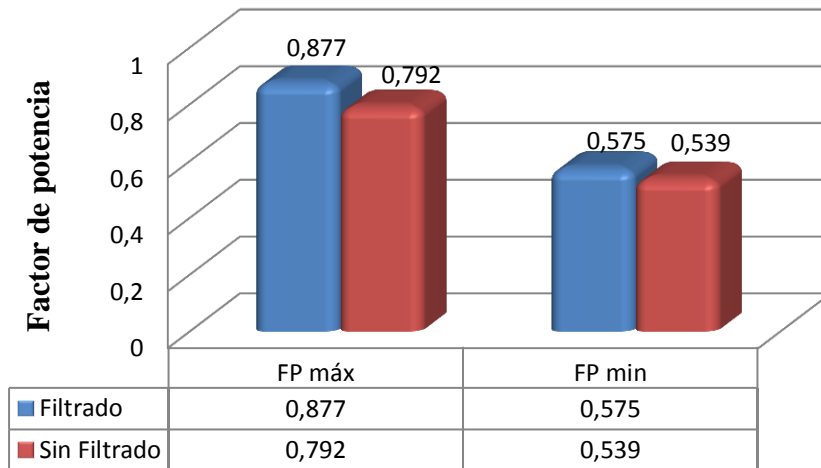
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

Fecha de ejecución: 20/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

Factor de potencia con frecuencia de 10 KHz.

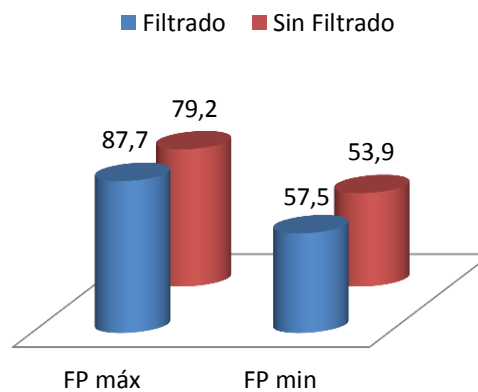
Factor de potencia 10 KHz de frecuencia del variador



Factor de potencia máximo mejorado 8,5%.

Factor de potencia mínimo mejorado en 3,6%.

Mejoramiento del fp.





FILTRADO DE ARMÓNICOS

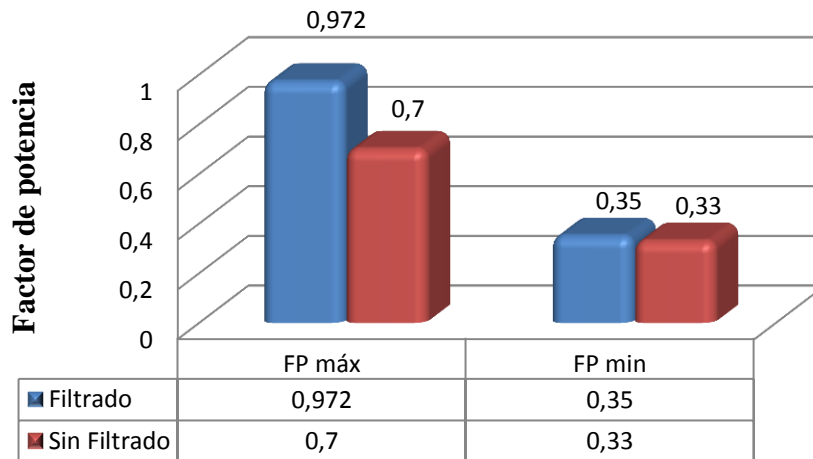
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

Fecha de ejecución: 20/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

Factor de potencia con frecuencia de 7,5 KHz.

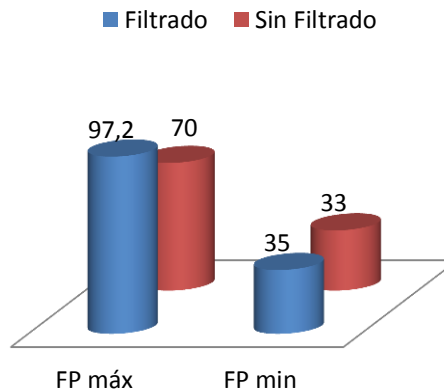
Factor de potencia 7,5 KHz de frecuencia del variador.



Factor de potencia máximo mejorado de 70 a 97%.

Factor de potencia mínimo mejorado en 33 a 35%.

Mejoramiento del fp.





FILTRADO DE ARMÓNICOS

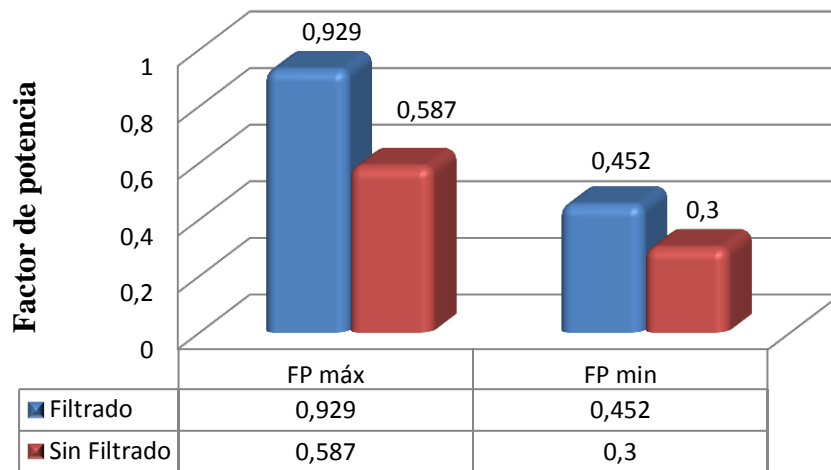
Centro de Estudio y Análisis: Laboratorio de Automatización Industrial - FICM

Fecha de ejecución: 20/12/2013

Supervisado por: Ing. Susana Valencia

Factor de potencia con frecuencia de 2,5 KHz.

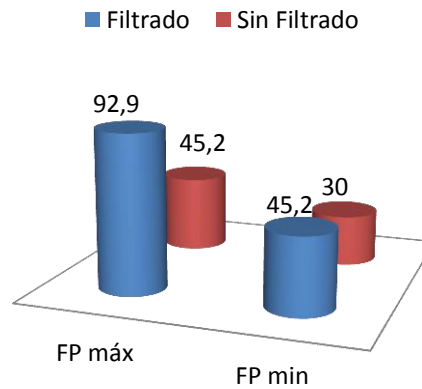
Factor de potencia 2,5 KHz de frecuencia del variador.



Factor de potencia máximo mejorado 47%.


Factor de potencia mínimo mejorado en 15%.

Mejoramiento del fp.



6.8 METODOLOGÍA

A continuación se detalla cómo realizar las mediciones utilizando el analizador gráfico a diferentes frecuencias.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN			
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	16/10/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia

Para realizar la medición de armónicos de tensión procedemos a:

- Dar carga al motor eléctrico mediante pesos para simular trabajo.



Figura 6.8.1 Carga de 16 Kg aplicado al motor.
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

- Realizar la conexión variador de frecuencia – motor eléctrico trifásico a la red eléctrica.
- Programar la frecuencia de salida en el variador, que varía de 0 60 Hz.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	16/10/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia

- El display del variador muestra la frecuencia de la red 60 Hz que se tiene en el Ecuador, con los botones que muestran dirección arriba y abajo se puede variar la frecuencia.



Figura 6.8.2 Variador de Frecuencia a 60 Hz
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Programar la frecuencia interna del variador de frecuencia que se puede controlar de 01 a 06 en el display estas frecuencias según el manual es de 2.5 a 15 KHz respectivamente.



Figura 6.8.3 Variador de Frecuencia 2.5 KHz.
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	16/10/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia

- Para realizar la medición de armónicos de tensión el botón rotativo del analizador de armónicos debe estar en la posición V, se debe conectar las pinzas de medición en el equipo y conectar en paralelo en donde se requiere medir.



Figura 6.8.4 Analizador de armónicos conectado en paralelo.

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

- Una vez programado las frecuencias se procede a conectar el analizador de armónicos a la computadora para obtener datos en tiempo real.



Figura 6.8.5 Software Clamp on – Onda distorsionada.

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	16/10/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia

- Mediante el software Clamp on en la pantalla de la computadora se observa la onda distorsionada además datos como:
Valor RMS
Distorsión Armónica Total THD
Picos de voltaje,
Orden de armónico, magnitud y porcentaje.
- Las mediciones que se realizan, las graficas, se pueden grabar en archivo para posteriormente analizar los datos obtenidos.
- El software permite movilizar el cursor de armónicos para revisar cada armónico presente.

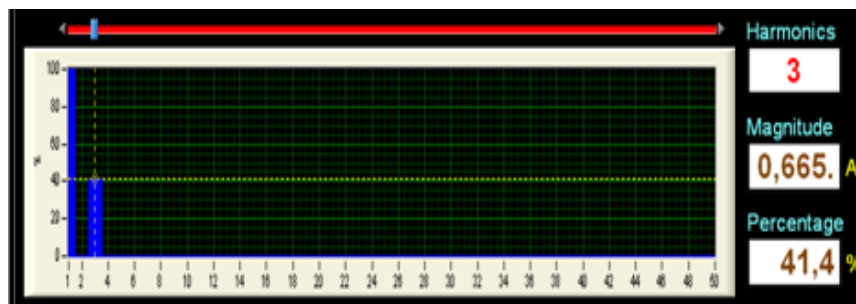


Figura 6.8.6 Análisis de armónicos en la PC Software Clamp on.

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

- Se pueden analizar hasta el armónico de orden 50 mediante este software.



PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	16/10/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia

- Se realiza las variaciones que se muestra tanto de la frecuencia Interna del variador como de la frecuencia de la red que controla la velocidad del motor eléctrico.



Figura 6.8.7 Frecuencia Interna 2.5 KHz, Frecuencias de variación de velocidad 60, 40, 20 Hz.
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

- Para cambiar la frecuencia interna se seguirá el procedimiento indicado por el manual de funcionamiento del variador se utilizarán los botones de direcciones arriba y abajo.



Figura 6.8.8 Frecuencia interna del variador de 7.5 KHz con frecuencias de 60, 40, 20 Hz.
Fuente: Egdo. López A. Darwin A.



PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	16/10/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia

Se realiza las variaciones que se muestra tanto de la frecuencia Interna del variador como de la frecuencia de la red que controla la velocidad del motor eléctrico.



Figura 6.8.9 Frecuencia Interna 2.5 KHz, Frecuencias de variación de velocidad 60, 40, 20 Hz.

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Para cambiar la frecuencia interna se seguirá el procedimiento indicado por el manual de funcionamiento del variador se utilizaran los botones de direcciones arriba y abajo.



Figura 6.8.10 Frecuencia interna del variador de 7.5 KHZ con frecuencias de 60, 40, 20 Hz.

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.



PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN ARMÓNICOS DE TENSIÓN

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	16/10/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia

Se realiza las variaciones que se muestra tanto de la frecuencia Interna del variador como de la frecuencia de la red que controla la velocidad del motor eléctrico.



Figura 6.8.11 Frecuencia interna del variador 10 KHZ con frecuencias de 60, 40, 20 Hz.

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

Para cambiar la frecuencia interna se seguirá el procedimiento indicado por el manual de funcionamiento del variador se utilizaran los botones de direcciones arriba y abajo.



Figura 6.8.12 Frecuencia interna del variador de 15 KHZ con frecuencias de 60, 40, 20 Hz.

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	16/10/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia

Para realizar las mediciones de armónicos de corriente se procede.

- Dar carga al motor eléctrico mediante pesos para simular trabajo.
- Conectar el variador de frecuencia a la red eléctrica.
- Programar la frecuencia interna del variador de 2.5 Khz a 15 Khz.
- Para una primera variación se escoge la frecuencia más baja según el catálogo del variador 01 se muestra en el display lo que significa 2.5 Khz.
- Programar la frecuencia de salida que controla la velocidad del motor.
- El display muestra la frecuencia de la red 60 Hz que se tiene en el Ecuador.
- Para realizar la medición de armónicos de corriente el botón rotativo del analizador de armónicos debe estar en la posición A de Amperaje, se debe conectar la pinza de medición del equipo en serie a donde se requiere medir.



Figura 6.8.13 Analizador gráfico Medición armónicos de corriente.

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

- Una vez programado las frecuencias se procede a conectar el analizador de armónicos a la computadora para obtener datos en tiempo real.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEDICIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Automatización Industrial - FICM	
Fecha de ejecución:	16/10/2013	Supervisado por:	Ing. Susana Valencia

- Mediante el software Clamp on en la pantalla de la computadora se observa la onda distorsionada y datos de picos de voltaje, magnitud, porcentaje de cada armónico de corriente presente.
- Las mediciones que se realizan, las gráficas, se pueden grabar en archivo para posteriormente analizar los datos obtenidos.
- El software permite movilizar el cursor de armónicos para revisar cada armónico presente.



Figura 6.8.14 Software Clamp on – Onda distorsionada.

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

- Se hacen las variaciones de frecuencias de la misma manera que se ve en las mediciones de armónicos de tensión, tanto de frecuencia interna del variador como de la frecuencia de la red eléctrica.

6.9 CONCLUSIONES DE LA PROPUESTA.

En los resultados de filtrado de armónicos se observa que se eliminan los armónicos de orden 9, 11, 13, 15, no así los armónicos de orden 3, 5 y 7 que solo reducen su porcentaje debido a que la reactancia trifásica reduce armónicos y no los elimina por completo, este filtro se seleccionó debido a la disponibilidad y costo. Este filtro logro con el objetivo de reducir distorsión armónica y aumentar el factor de potencia no obstante para lograr trabajar a bajas frecuencias es necesario un filtro activo en paralelo el cual regulara el factor de potencia.

Los motores estándar privilegian la funcionalidad y precio alcanzando valores máximos de eficiencia para 3 HP de 78%.

A medida que la frecuencia disminuye también lo hace el factor de potencia.

No se debe utilizar las frecuencias internas del variador más bajas, es preferible las que vienen por defecto o las que recomienda el fabricante, en este caso se lo ha realizado para el estudio con algunas combinaciones de frecuencia bajas dando como resultado condiciones desfavorables para la red eléctrica trifásica y para los elementos conectados en la misma.

La eficiencia energética es baja ya que no se está utilizando el motor a plena carga, la eficiencia aumenta mientras la carga también lo hace, pero hasta un cierto punto donde decae y luego se mantiene.

Con el filtrado de armónicos se puede trabajar con cualquier frecuencia interna del variador pero a 60 Hz que es donde sobrepasa valores de 0.9 de factor de potencia.

Los valores de eficiencia energética son muy bajos para las frecuencias más altas, esto significa que estamos ocupando un mínimo de lo que la empresa suministradora de energía eléctrica nos proporciona.

En los casos en que la eficiencia energética es más alta es en aquella en donde estamos ocupando mayor energía, pero para ello se está sacrificando el par motor haciendo que este se reduzca.

Mientras menor sea la energía reactiva mejor será el factor de potencia. La energía reactiva no es cobrada en los casos domiciliarios, solo se cobra la energía activa que son los Kilovatios utilizados.

El motor y variador utilizados en este estudio son de potencias pequeñas, es un estudio demostrativo, por ende la eficiencia energética toma esos valores, al tener motores eléctricos de alta potencia la eficiencia energética aumentará debido a que necesita mayor energía.

Para el estudio no se ha realizado la selección del motor eléctrico trifásico, no se ha conseguido el motor por su eficiencia.

6.10 RECOMENDACIONES

Realizar pruebas experimentales con motores de alta eficiencia 85, 90 y 95 %.

Las frecuencias que se deben utilizar son las de 40 a 60 Hz donde se tienen los más altos valores de factor de potencia y frecuencias internas de 7.5 a 15 KHz.

Realizar pruebas con motores de alta potencia para aprovechar de mejor manera el suministro de energía eléctrica.

Realizar el estudio de un posible banco de condensadores para elevar de mejor manera el factor de potencia.

6.11. ADMINISTRACIÓN

El análisis económico de la propuesta se presenta en la tabla 6. en donde se desglosan los materiales y recursos utilizados:

Tabla 6.11.1 Desglose del costo de la investigación.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
Equipos					
1	Motor Eléctrico trifásico 3 Hp	1	-	\$ 250.00	\$ 250.00
2	Analizador gráfico de potencia	1	-	\$ 950.00	\$ 950.00
3	Filtro Reactancia trifásica 3 Hp	1	-	\$ 160.00	\$ 160.00
					\$ 1360.00
Materiales					
4	Cable eléctrico trifásico	7	m	\$ 3.25	\$ 22.75
5	Enchufe trifásico	1	-	\$ 4.00	\$ 4.00
6	Chaveta	1	-	\$ 0.40	\$ 0.40
7	Chumaceras	2	-	\$ 4.50	\$ 9.00
8	Eje de acero	15	cm	\$ 1.00	\$ 1.00
9	Banda	1	-	\$ 7.00	\$ 7.00
10	Polea de 2 ½ pulgadas	1	-	\$ 4.00	\$ 4.00
11	Polea de 4 pulgadas	1	-	\$ 6.00	\$ 6.00
12	Pernos	4	-	\$ 0.10	\$ 0.40
13	Pernos	4	-	\$ 0.25	\$ 1.00
14	Perno de ½ * 2 pulgadas	1	-	\$ 0.35	\$ 0.35
15	Par de Pilas Alcalinas	1	-	\$ 2.50	\$ 2.50
					\$ 58.30
Recursos Humanos					
16	Soldador	1	-	\$ 70.00	\$ 70.00
Varios					
17	Material de oficina	1	-	\$ 200.00	\$ 200.00
18	Internet	40	horas	\$ 80.00	\$ 32.00
19	Impresión y Empastado	1	-	\$ 200.00	\$ 200.00
					\$ 432.00
SUBTOTAL					\$ 1920.30
20	Imprevistos	10%			\$ 192.03
					\$ 2112.33

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

6.12.- PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Una vez concluido el presente trabajo investigativo se ha podido determinar que el filtrado de armónicos mejora el desempeño de los motores y de la red eléctrica.

La investigación constituye un aporte importante al Área de Automatización Industrial debido a que se ha determinado frecuencias de trabajo en el variador lo cual reducirá costos de facturación de energía, en el campo industrial esto puede ser muy importante, mejorar el desempeño en un proceso es un ahorro, es lo más conveniente y rentable en un empresa.

Es importante destacar que los ensayos se realizaron en su totalidad en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Esta investigación puede servir de referencia para posteriores investigaciones con un banco de variadores de frecuencia y motores eléctricos, para obtener parámetros de distorsión armónica a diferentes potencias en la conexión variador – motor.

Se recomienda la utilización de un filtro activo en paralelo ya que estos resuelven el problema de armónicos en el lado de la red haciendo que la corriente absorbida sea sinusoidal. Este tipo de filtro compensa el desequilibrio de las redes eléctricas y ayudan al aumento del factor de potencia. También se recomienda un filtro sintonizado doble para actuar sobre los armónicos deseados como el de orden 5 y 11 lo cual llevará a mejorar el factor de potencia.

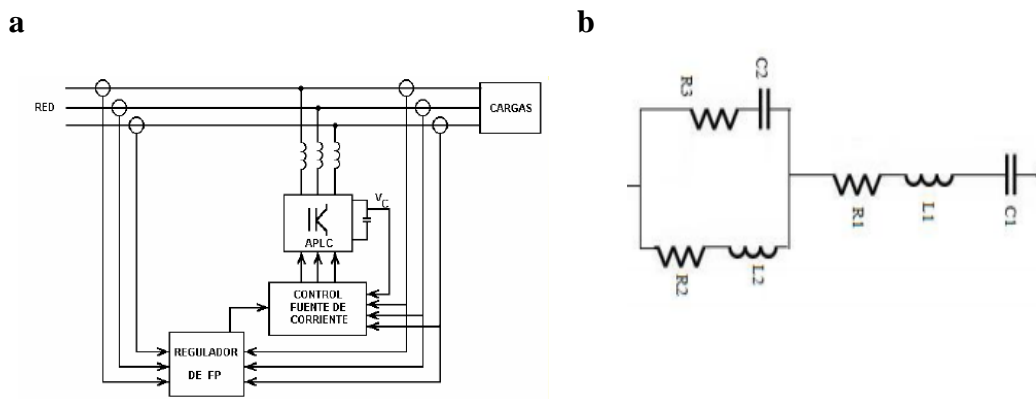


Figura 6.12 a Filtro Activo Paralelo. **Fuente:** Balcells

Josep, Filtrado de armónicos, Nov 2006.

Figura 6.12 b Filtro sintonizado doble. **Fuente:** Tesis: Análisis y proyecto de filtros de doble sintonía.

7. Bibliografía

Libros:

- CHAPMAN, S. J. (2000). *Máquinas Eléctricas*. Mc Graw-Hill Interamericana, S.A.
- ENRÍQUEZ, H. G. (2010). *Control de motores eléctricos*. Editorial Limusa.
- FRAILE, M. J. (2008). *Máquinas eléctricas*. Mc Graw-Hill Interamericana de España, S.A.U.
- Hernández, J. L. *Motores Eléctricos Tecnología eléctrica*.
- Hughes, A. *Electric Motors and Drives*. Newnes. Butterworth-Heinemann. 2da. ed.
- ROLDÁN, J. (2005). *Motores eléctricos, accionamiento de máquinas 4ta. ed.* Chile.
- WAYNE, B., & KIRTLEY, J. L. (2000). *Manual del motor eléctrico*. Mc Graw-Hill Interamericana Editores, S.A de C.V.
- Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. México.

Catálogos:

- Calkini, I. T. *Variadores de frecuencia*. México.
- KAI, G. d., & Grupo de investigación de energías GIEN. (s.f.). *Eficiencia energética en motores eléctricos*.
- Kling, S. (2002). *Arranque suave del motor*. ABB.
- León, J. *Control Eléctrico Industrial*.
- Los efectos de los armónicos. *AE Soluciones*.
- Marti, F. *Regulacion de velocidad de motores asincronos trifásicos*.
- Motores de Inducción alimentados por convertidores de frecuencia. *Guía Técnica*.
- Rodríguez, D. J. *Medida en variadores de velocidad con multímetros fluke. Nota de aplicacion*.
- Samsó, F. R. *Máquinas e instalaciones eléctricas*.
- Téllez, E. *Distorsión armónica. Automatización, productividad y calidad*.

Tesis:

Álvarez, E. B. (2006). *Análisis de los efectos producidos por los variadores de frecuencia en el suministro de energía eléctrica y en el equipo de fondo del sistema de bombeo electrosumergible*. Latacunga.

EGUÍLUZ, L. I., MAGAÑA, B. P., & LAVANDERO, J. C. *El factor de potencia del sistema, su relación con las pérdidas de distribución en redes distorsionadas y efectos del empleo de condensadores en la mejora del fp*. Universidad de Cantabria.

Mazzeo, L., & Bertolotti, F. *Variación de velocidad en corriente alterna*. Buenos Aires.

Páginas web:

www.veco.com.mx, Filtro de armónicos. Autor: Quant Jonah.

www.fluke.com, “Medida en variadores de velocidad con multímetros Fluke”, J. David Rodríguez.

www.abb.com, Arranque suave del motor, Kling, S.

ANEXOS.

A1. CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS NORMALES DE FUNCIONAMIENTO.

Variaciones	Factor de potencia	Torque	Eficiencia a plena carga.
Alto voltaje	Disminuye	Aumenta	Ligeramente alta
Bajo voltaje	Aumenta	Disminuye	Ligeramente baja
Alta frecuencia	Aumenta	Disminuye	Igual aprox.
Baja frecuencia	Disminuye	Aumenta	Igual aprox.

Tabla A1. Cambios en las características normales de funcionamiento.

Fuente: Egdo. López A. Darwin A.

A2. NIVELES DE COMPATIBILIDAD PARA LAS TENSIONES ARMÓNICAS INDIVIDUALES EN UNA RED PUBLICA.

Armónicos impares no múltiplos de 3		Armónicos impares múltiplos de 3		Armónicos pares	
Rango armónico n	Tensión armónico %	Rango armónico n	Tensión armónico %	Rango armónico n	Tensión armónico %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	> 21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			> 12	0,2
>25	$0,2 + 0,5 \times 25 / n$				

Tabla A2. Niveles de compatibilidad para las tensiones armónicas individuales en una red publica

Fuente: Norma (IEC 61000-2-2)

A3. LISTA DE LOS DISTINTOS FACTORES Y SUS EFECTOS

CAUSA	EFECTO
Para un mayor motor	Mayores armónicos en intensidad.
Para una mayor carga del motor	Mayores armónicos en intensidad.
Cable de alimentación más largo	Mayores armónicos en tensión.
Con un transformador mayor	Menores armónicos en tensión.
Menor impedancia del transformador	Menores armónicos en tensión.
A más inductancia de CC o CA	Menores armónicos en intensidad.

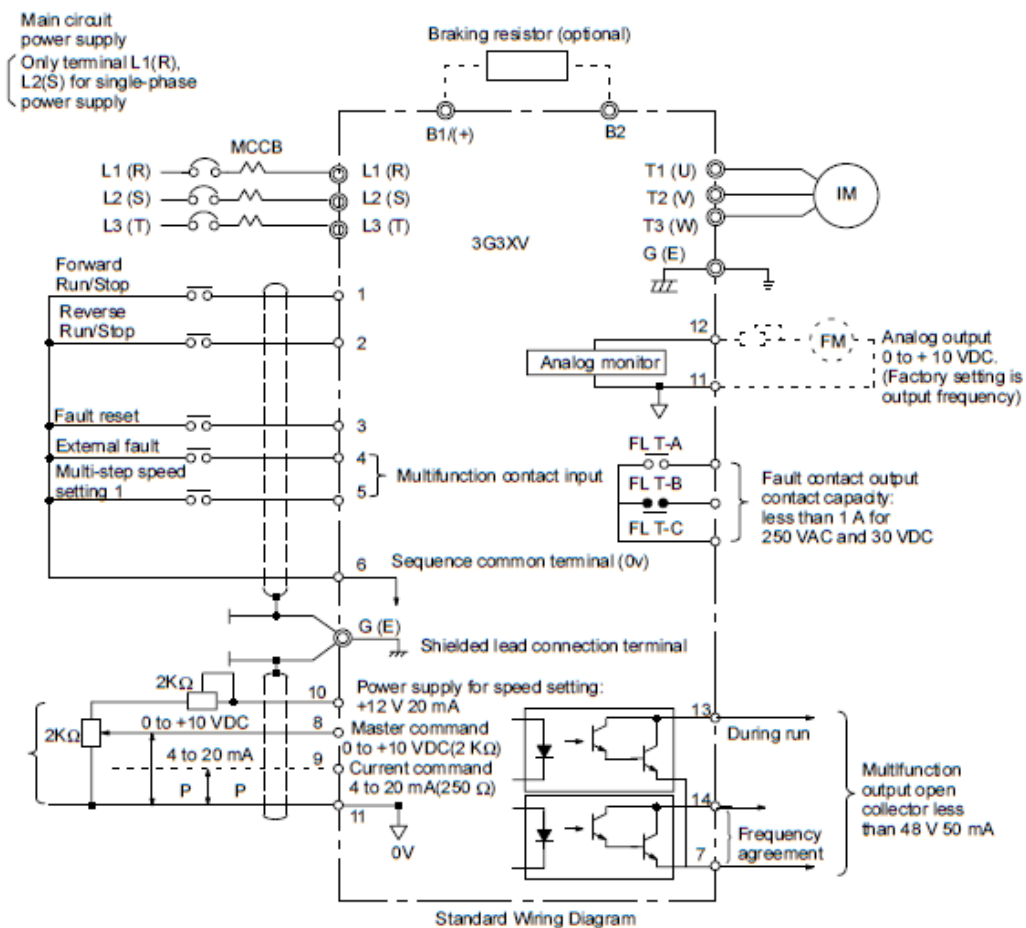
Tabla A3. Lista de los distintos factores y sus efectos



Fuente: ABB: Guía Técnica nº 6- Guía de los armónicos con accionamientos de CA

A4. DIAGRAMA VARIADOR 3G3XV INVERTER.

I-4-2 Standard Wiring Diagram

Models with Digital Operators can be operated from the Digital Operator only by main circuit wiring. When these models are operated by control circuit terminals, control constant change is required. For details refer to *2-8-2 Operation Mode Selection*. Models without Digital Operator (with blind cover) are preset in Operation Mode from control circuit terminals at the factory prior to shipping.



- Note
1.  indicates shielded leads.  indicates twisted-pair shielded leads.
 2. Terminal 10 (12 VDC) has a maximum output current capacity of 20 mA.
 3. Terminal symbols: \odot indicates the main circuit, and \circ indicates the control circuit.

A5. ANALIZADOR GRÁFICO.



<p>Rango Resolución Precisión 46 – 65 0.1 ± 0.3Hz</p> <p>Uso en el interior</p> <p>Tamaño del conductor: 55mm (aprox.), 65 x 24mm (barra colectora)</p> <p>Tipo de batería: dos 1.5V SUM-3</p> <p>Pantalla: 128 X 64 matriz de puntos LCD con luz posterior</p> <p>Selección de rango: Automática</p> <p>Indicación de sobrecarga: OL</p> <p>Consumo: 10 mA(aprox.)</p> <p>Desconexión automática: 15 minutos después del encendido</p> <p>Actualización del tiempo: 2 veces/segundo (pantalla)</p>	<p>No. De Muestras por Periodo 512 (tensión o corriente); 256 (potencia)</p> <p>Temperatura de uso: -10°C hasta 50°C</p> <p>Humedad de uso: menos de 85% relativa</p> <p>Altitud: hasta 2000M</p> <p>Temperatura de almacenamiento: -20°C hasta 60°C</p> <p>Humedad de almacenamiento: menos de 75% relativa</p> <p>Dimensiones: 271mm x 112mm x 46mm 10.7" x 4.4" x 1.8"</p> <p>Peso: 647g / 22.8 oz (con baterías)</p> <p>Accesorios: Cables de prueba.</p>
---	--

CARACTERÍSTICAS

- a. Análisis de la Calidad de Potencia para el Sistema de Fase Único y de Tres fases equilibrado.
- b. Análisis Armónico de Tensión y Corriente (de 1 a 50).
- c. Medición del valor Real RMS de V con 0.5% de la lectura de la precisión básica.
- d. Medición del Valor Real RMS de A con 1% de la lectura de la precisión básica.
- e. Forma de onda gráfica de Tensión y Corriente
- f. Diagrama del Fasor Gráfico
- g. Detección transitoria y Registro de la Ondulación, Inmersión e Interrupción.
- h. Función de Pico rápida (39 μ s para 50 Hz, 33 μ s para 60Hz).
- i. Potencia Activa (W, KW, HP), Reactiva (VAR, KVAR) y Aparente (VA, KVA)
- j. Factor de potencia (PF), ángulo de fase (Φ), y energía (WH, KWH, KVARH, PFH).
- k. Medición de la Calidad de Potencia equilibrada 3 Φ .
- l. Coeficiente VT programable desde 1 a 3000.
- m. Función de desconexión automática después de 15 minutos (seleccionable).
- n. Registro y descarga de datos a un PC.

ESPECIFICACIONES

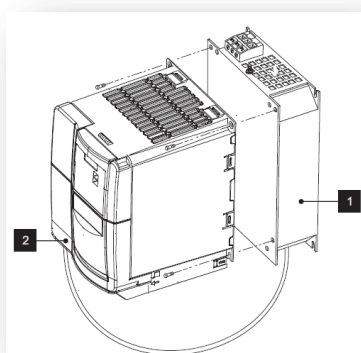
<p>Vatio AC (50 o 60 Hz, PF 0.5 hasta 1.0, VT = 1, Tensión > 5V AC, Corriente > 5A AC para rango A, y forma de onda continua) Rango (0 hasta 1500A) Resolución Precisión de las lecturas1 1Para VT \neq1, la precisión en porcentaje es la misma (\pm1%). Pero el vataje adicional deberá multiplicarse por el coeficiente VT. Por ejemplo, \pm0.2W se convierte en \pm0.2W * VT coeficiente</p>
<p>Potencia Aparente AC (VA, desde 0.000VA hasta 9999 KVA, PF 0.5 hasta 1) Rango (0 hasta 1500A) Resolución Precisión de las lecturas1 1Para VT \neq1, la precisión en porcentaje es la misma (\pm1%). Pero el vataje adicional deberá multiplicarse por el coeficiente VT. Por ejemplo, \pm0.2W se convierte en \pm0.2W * VT coeficiente</p>
<p>Potencia Reactiva AC (VAR, desde 0.000 VAR hasta 9999 KVAR) Rango (0 hasta 1500A) Resolución Precisión de las lecturas1 1Para VT \neq1, la precisión en porcentaje es la misma (\pm2%). Pero el vataje adicional deberá multiplicarse por el coeficiente VT. Por ejemplo, \pm0.2VAR se convierte en \pm0.2VAR * VT coeficiente</p>
<p>Armónicos de la Tensión AC en Porcentaje (1 hasta 50, tensión mínima a 50 o 60 Hz > AC 80V. Si la tensión es 0 a 50 o 60 Hz, todo el porcentaje (%) es 0.) Rango Resolución Precisión 1 – 20th 0.1% \pm2% 21 – 50th 0.1% 4% de la lectura \pm2.0%</p>
<p>Armónicos de la Tensión AC en Magnitud (1 hasta 50, tensión mínima a 50 o 60 Hz > AC 80V, VT=1) Rango Resolución Precisión 1 – 20th 0.1V \pm2% \pm 0.5V 21 – 50th 0.1V 4% de la lectura \pm0.5V</p>
<p>Armónicos de la Corriente AC en Magnitud (1 hasta 50, corriente mínima a 50 o 60 Hz > 20A) Rango Resolución Precisión 1 – 20th 0.1A \pm2% de la lectura \pm0.4A 21 – 50 0.1A \pm4% de la lectura \pm0.4A</p>

A6. REACTANCIAS TRIFÁSICAS DE ENTRADA.

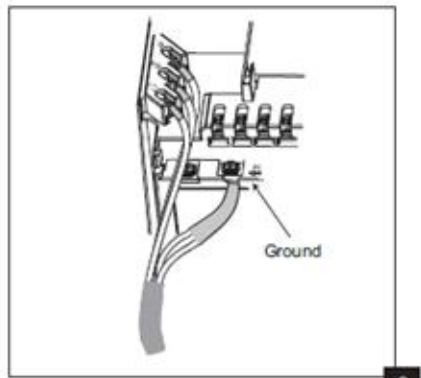
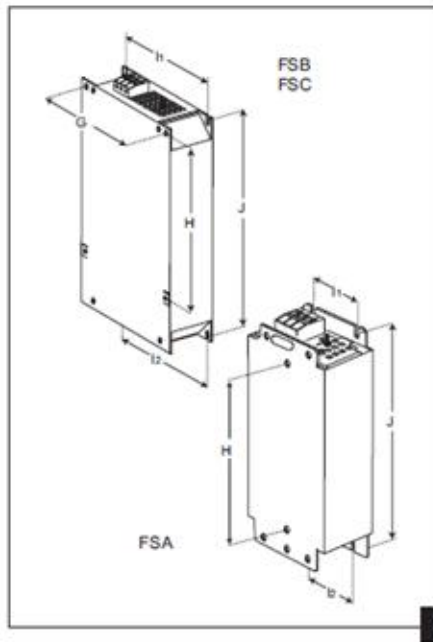
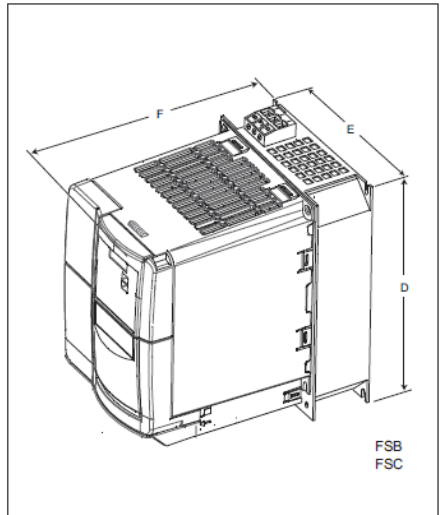
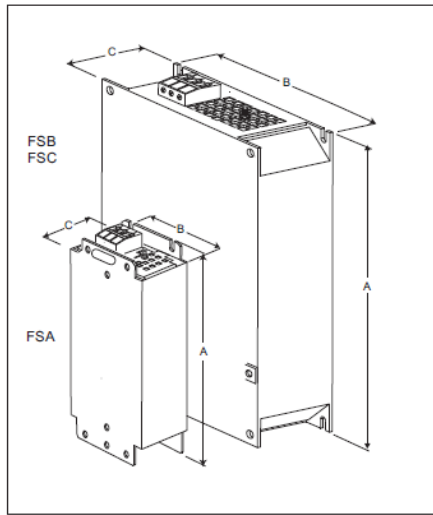


img. similar

Corriente de salida / valor asignado	12,1 A
Anchura	150 mm
Altura	213 mm
Profundidad	50 mm
Peso neto	2,1 kg



SERIE	Reactancias trifásicas de entrada	(HP)
100022888	6SE6400-3CC00-5AC3	0.5 / 0.75 / 1
100022894	6SE6400-3CC01-4BD3	2 / 3
100044386	6SE6400-3CC01-7CC3	4
100024679	6SE6400-3CC03-5CD3	5 / 7.5
100024403	6SE6400-3CC05-2DD0	10/15/20
100042642	6SE6400-3CC08-8EC0	25/30
100024407	6SE6400-3CC11-7FD0	40/50/60



1

2

CARACTERÍSTICAS REACTANCIAS TRIFÁSICAS.

Choke identification		Electrical Characteristics			Weight	Overall Dimensions (mm)						Fixing Dimensions (mm)					Terminals		Cable Cross Section	
MFLB	Frame Size (FS)	Voltage	Current	Phase	Choke	Choke			Choke + Inverter			Inverter		Input Choke			Tightening Torque		min	max
					Kg	A	B	C	D	E	F	G	H	I1	I2	J	Nm	Lbf in	mm ²	
6SE6400-3CC00-4AB3	A	200 -240	3.4	1	1.31	200	75.5	50	200	75.5	199	-	160	56	56	187	1.1	10	1	2.5
6SE6400-3CC01-0AB3	A	200 -240	8.1	1	1.32															
6SE6400-3CC00-3AC3	A	200 -240	1.8	3	1.32															
6SE6400-3CC00-5AC3	A	200 -480	4.1	3	1.42															
6SE6400-3CC00-2AD3	A	200 -480	1.9	3	1.31															
6SE6400-3CC00-4AD3	A	200 -480	3.5	3	1.35															
6SE6400-3CC00-6AD3	A	200 -480	4.8	3	1.41															
6SE6400-3CC02-6BB3	B	200 -240	22.8	1	2.20	213 233	150	50	213	150	222	138	174	138	120	200	1.5	13.3	1.5	6
6SE6400-3CC00-8BC3	B	200 -240	6.1	3	1.10															
6SE6400-3CC01-0BD3	B	200 -480	9.0	3	2.10															
6SE6400-3CC01-4BD3	B	200 -480	12.1	3	2.10	245 280	185	50	245	185	245	174	204	174	156	230	2.25	20	2.5	10
6SE6400-3CC03-5CB3	C	200 -240	29.5	1	3.05															
6SE6400-3CC01-7CC3	C	200 -240	15.7	3	4.08															
6SE6400-3CC02-2CD3	C	200 -480	25.0	3	4.83															
6SE6400-3CC03-5CD3	C	200 -480	31.3	3	5.13															
6SE6400-3CC00-4CE3	C	500 -600	4.1	3	3.80															
6SE6400-3CC00-8CE3	C	500 -600	8.9	3	3.97															
6SE6400-3CC02-4CE3	C	500 -600	23.7	3	8.01	245 280	185	80	245	185	275	174	204	156	174	230				

Tabla. Características Reactancias Trifásicas.