



**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE – GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIAS
CARRERA: INGENIERIA ELECTRICA**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERIA EN ELÉCTRICIDAD CON MENCIÓN EN
SISTEMAS DE POTENCIAS Y DISEÑO DE MAQUINARIAS.

TEMA:

“ESTUDIO Y ANALISIS DE CALIDAD DE ENERGIA
ENFOCADO EN NIVEL DE ARMONICOS EN EL SISTEMA
ELECTRICO DE LA SUBESTACION ENFRIADORA 1 DE
HOLCIM ECUADOR PLANTA GUAYAQUIL”

AUTORES:

JOHNNY DUVAN MORA SANCHEZ
YANDRI JAVIER CEVALLOS CHAVEZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. ROY SANTANA

GUAYAQUIL, MAYO 2014

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, JOHNNY DUVAN MORA SANCHEZ con cédula número 0910857218 estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro bajo mi responsabilidad que el contenido de ésta tesis me corresponde en lo absoluto, los temas de investigación como así también los análisis descritos en el desarrollo de la misma.

Guayaquil, 19 de Mayo del 2014

JOHNNY DUVAN MORA SANCHEZ
Ced. 0910857218

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, YANDRI JAVIER CEVALLOS CHAVEZ con cédula número 0921727582 estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro bajo mi responsabilidad que el contenido de ésta tesis me corresponde en lo absoluto, los temas de investigación como así también los análisis descritos en el desarrollo de la misma.

Guayaquil, 19 de Mayo del 2014

YANDRI JAVIER CEVALLOS CHAVEZ
Ced. 0921727582

CERTIFICACIÓN

Certifico que la presente Tesis, ha sido desarrollada en su totalidad por los señores:

JOHNNY DUVAN MORA SANCHEZ

YANDRI JAVIER CEVALLOS CHAVEZ

En base a mi dirección, por lo que autorizo a los interesados de la misma su presentación al consejo de carrera.

Guayaquil, 19 de Mayo del 2014

Ing. Roy Santana
Director de tesis

DEDICATORIA

Con especial cariño a mi madre, que supo poner las bases fundamentales y el soporte firme para desde ahí edificar un hombre con carácter férreo para alcanzar logros importantes en mi vida, siendo éste un escalón más en el logro de mis metas y propósitos a lo largo de mi vida.

Así también, dedico éste trabajo a mi esposa, por la comprensión y apoyo a lo largo de todo éste proceso y a mis hijos que han sido el motor por el cual, en los momentos más duros de éste caminar han sido fuente de inspiración para dar ejemplo y mostrar el camino a seguir, a aquellos que están en el camino hacia el éxito.

Johnny Mora Sánchez

A mi querida madre, quien con esfuerzo y dedicación, supo edificar en mí, los valores necesarios que hoy me permiten alcanzar esta importante meta.

De igual manera a mí esposa, por ser soporte y ayuda idónea en todo momento. A mis hijos que son la fuente de mí inspiración en la lucha diaria hacia mis sueños y metas.

Yandri Cevallos Chávez

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento principalmente a Dios Todo-Poderoso porque siempre me escuchó en mis suplicas a él y me supo enrumbar en el camino correcto al éxito y a llevar a feliz término esta carrera de ingeniería eléctrica.

Mi agradecimiento, a la Universidad Politécnica Salesiana no solo por los conocimientos impartidos, sino también por ser una Universidad preocupada por compartir con la sociedad, a nivel de los más necesitados el contingente humano, profesional y técnico de sus estudiantes. Hago extensivo mi agradecimiento a todos los profesores, personal administrativo y de servicio ya que todos en su momento supieron dar su mejor aporte.

Y de manera especial, mi agradecimiento al Ing. Roy Santana quien supo guiarnos como director de ésta tesis.

No puedo dejar de agradecer a la compañía Holcim Ecuador, quienes con su aprobación y permiso para poder ingresar a las instalaciones y realizar nuestros análisis, han permitido este gran aporte a nuestro desarrollo.

Gracias a todos.

Johnny Mora Sánchez

Principalmente a Dios quien es mi sustento; sin Él esto no fuera posible.

A la Universidad Politécnica Salesiana que con el enfoque en su visión de formar buenos profesionales contribuye al desarrollo del país.

Hago extenso mi agradecimiento al Ing. Roy Santana quien ha sido un importante pilar en el desarrollo de este trabajo.

De igual manera agradezco a la compañía Holcim Ecuador que nos permitió ingresar a sus instalaciones y realizar todos los análisis que están plasmados en nuestro trabajo.

Gracias

Yandri Cevallos Chávez

GENERALIDADES

I.	RESUMEN.	3
II.	JUSTIFICACION.	4
III.	OBJETIVOS.	6
	III-A. Objetivo General.	6
	III-B. Objetivos Específicos.	6
IV.	MARCO TEÓRICO.	6
V.	MARCO METODOLÓGICO.	7
VI.	HIPOTESIS.	9
VII.	POBLACION Y MUESTRA.	9
VIII.	VARIABLES E INDICADORES.	9
	VIII-A. Variables.	9
	VIII-B. Indicadores.	9
IX.	PRESUPUESTO.	11
X.	FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES.	12
XI.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.	13

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I	14
1 FUNDAMENTOS TEORICOS	14
1.1 Que se entiende por Distorsión Armónica. [8] [12]	14
1.2 Características de la Distorsión Armónica [8]	18
1.3 Cargas Lineales y no Lineales [8]	18
1.4 Medidas de la distorsión en voltaje y corriente.	20
1.4.1 Valor Eficaz (rms).....	20
1.4.2 Cofactor de distribución (CD).....	20
1.4.3 Distorsión armónica total (THD).	21
1.4.4 Distorsión de demanda total.....	21
1.5 Pérdidas de Energía Eléctrica.	23
1.5.1 Energía activa [1]	25
1.5.2 Perdidas de Energía Activa.	25
1.5.2.1 Pérdidas I^2R	25
1.5.3 Causas que Provocan las Pérdidas de Energía Activa	26
1.6 Efectos de Distorsión en la Onda Sinusoidal.	26
1.6.1 Desbalance de voltajes por distorsión armónica. [3]	28
1.6.2 Armónicas de tensión. [4]	29
1.6.3 Armónicas de corriente. [5].....	30
1.6.4 Que es ruido eléctrico. [6].....	30
1.7 Condiciones de Resonancia. [8]	31
1.7.1 Resonancia paralelo	32
1.7.2 Resonancia en Serie	34
1.8 Efecto de las armónicas en los sistemas eléctricos. [11].....	36
1.8.1 Efecto de las distorsiones armónicas en cables conductores.	36
1.8.2 Efecto de la distorsión armónica en transformadores.	37
1.8.3 Efecto de las armónicas en interruptores. [2].....	38
1.8.4 Efecto de armónicas en conductor de neutro. [10].....	38
1.8.4.1 Componentes que conforman la corriente de neutro.	40
1.8.5 Efecto de las armónicas en banco de capacitores.....	40
1.8.6 Efecto en motores de inducción.	41
1.8.7 Distorsión Armónica en Sistemas y Equipos Electrónicos.	42
1.8.8 Distorsión Armónica en Alumbrado.	43
1.8.9 Distorsión Armónica en Instrumentos de Medición. [14].....	43

1.8.9.1	Instrumentos de Aguja de Tipo Electro Dinamómetro.....	43
1.8.9.2	Instrumentos Digitales con Rectificadores a la Entrada.....	43
1.8.9.3	Instrumentos de Verdadero Valor Efectivo.....	44
1.8.9.4	Instrumentos Para Medir Armónicas.....	44
1.8.9.5	Punto de Medición del Nivel de Armónicas.....	44
1.8.10	Armónicas en Sistemas Trifásicos.....	44
1.8.11	Efectos de los Armónicos en la Mala Calidad de la Energía.....	46
1.9	Reducción de Armónicas.....	46
1.10	Efectos asociados a la reducción de armónicas.....	47
1.11	Trayectoria de las armónicas.....	48

CAPITULO II50

2	DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION.....	50
2.1	Programación Básica FLUKE 435.....	50
2.2	Diagramas de Conexiones Principales a utilizar.....	50
2.2.1	Conexiones de Entrada.....	50
2.3	Capacidad de Medición.....	51
2.3.1	Descripción General de los Modos de Medida.....	51
2.4	Operaciones Básicas del Equipo.....	51
2.4.1	Símbolos en Pantalla.....	51
2.4.2	Pantallas y Teclas de Función.....	51
2.4.3	Pantalla Multímetro.....	51
2.4.4	Pantalla de Tendencia.....	51
2.4.5	Pantalla de Forma de Onda.....	51
2.4.6	Pantalla de Diagrama Fasorial.....	52
2.4.7	Pantalla de Grafico de Barras.....	52
2.5	Configuración del Analizador.....	52
2.5.1	Almacenamiento de Pantallas.....	53
2.5.2	Utilización de la Tecla MEMORY.....	53
2.6	Cámara Termo gráfica Marca VISIR640.....	53
2.6.1	Características Básicas.....	53
2.6.2	Programación Básica.....	54
2.6.2.1	Herramienta Diferencia.....	55
2.6.2.2	Herramienta Perfil.....	55

2.6.2.3	Eliminación de Herramientas.....	55
2.6.2.4	Monitor de Alarmas.	55
2.6.2.5	Visualización.	56
2.6.2.6	Imagen en Imagen.....	56
2.6.2.7	Fusión y ThermAlignTM.....	56
2.6.2.8	Tendencia.....	56
2.6.3	Partes del Equipo.....	57
2.6.4	Configuraciones Básicas de la Cámara Termo gráfica Marca VISIR640..	57
2.6.5	Zoom/panorámica, Notas y Calibración.	57
2.6.6	Filtro de Temperatura Alta.....	58
 CAPITULO III.....		59
3	DATOS TÉCNICOS DE LA SUBESTACIÓN ENFRIADORA 1. [15].....	59
3.1	Datos de Tablero Principal. [15]	59
3.1.1	Datos de Voltajes y Corrientes en el transformador de 1500 KVA.....	62
3.1.2	Distorsión Armónica en el Transformador de 1500 KVA.....	64
3.1.3	Mediciones de Potencia en el transformador de 1500 KVA.....	64
3.1.4	Resultados de análisis realizados por compañías externas a Holcim en cuanto a pruebas de aceite realizadas al transformador. [23]	65
3.1.4.1	Análisis Cromatográfico.....	65
3.1.4.2	Análisis Físico - Químico.....	66
3.1.4.3	Análisis de furanos. [24].....	67
3.2	Datos y Mediciones Tomadas del Ventilador 471-VE4.....	69
3.2.1	Datos de Voltajes y Corrientes en el Ventilador 471-VE4.	70
3.2.2	Distorsión Armónica en el Ventilador 471-VE4.....	70
3.2.3	Mediciones de Potencia en el Ventilador 471-VE4.....	71
3.2.4	Prueba de Aislamiento del Motor del Ventilador 471-VE4.....	72
3.2.5	Pruebas de Vibración del Motor.	72
3.3	Datos y Mediciones Tomadas del Ventilador 471-VE5.....	72
3.3.1	Datos de Voltajes y Corrientes en el Ventilador 471-VE5.	73
3.3.2	Distorsión Armónica en el Ventilador 471-VE5.....	74
3.3.3	Mediciones de Potencia en el Ventilador 471-VE5.....	75
3.3.4	Prueba de Aislamiento del Motor del Ventilador 471-VE5.....	76
3.3.5	Pruebas de Vibración del Motor.	76

3.4	Datos y Mediciones Tomadas del Ventilador 471-VE6.....	76
3.4.1	Datos de Voltajes y Corrientes en el Ventilador 471-VE6.	77
3.4.2	Distorsión Armónica en el Ventilador 471-VE6.....	77
3.4.3	Mediciones de Potencia en el Ventilador 471-VE6.....	78
3.4.4	Prueba de Aislamiento del Motor del Ventilador 471-VE6.....	79
3.4.5	Pruebas de Vibración del Motor.	79
3.5	Datos y Mediciones Tomadas del Punto 471-1VB.	80
3.5.1	Distorsión Armónica en el Punto 471-1VB. [17].....	81
3.5.2	Mediciones de Potencia en el Punto 471-1VB.....	81
3.6	Datos y Mediciones Tomadas del Punto 471-1V9.....	82
3.6.1	Datos de Voltajes y Corrientes del Punto 471-1V9.	82
3.6.2	Distorsión Armónica en el Punto 471-1V9.....	83
3.6.3	Mediciones de Potencia en el Punto 471-1V9.	84
3.7	Datos y Mediciones Tomadas del Ventilador 471-VE3.....	84
3.7.1	Datos de Voltajes y Corrientes en el Ventilador 471-VE3.	85
3.7.2	Distorsión Armónica en el Ventilador 471-VE3.....	86
3.7.3	Mediciones de Potencia en el Ventilador 471-VE3.	86
3.7.4	Prueba de Aislamiento del Motor del Ventilador 471-VE3.....	87
3.7.5	Pruebas de Vibración del Motor.	87

CAPITULO IV88

4	FILTROS ARMÓNICOS. [16].....	88
4.1	Filtro Ajustado.....	88
4.2	Filtro Amortiguado.....	88
4.3	Filtro Paralelo.	88
4.4	Filtro Serie.....	88
4.5	Filtro Pasa Alto.....	88
4.6	Reactores de Línea.	89
4.7	Filtros Sintonizados.....	89
4.8	Filtros Desintonizados.....	91
4.9	Filtros Pasivos. [18].....	92
4.10	Tipos de Filtros Pasivos de Potencia.....	94
4.10.1	Filtros Pasivos de Potencia Serie.	94
4.10.2	Filtro Pasivo de Potencia Paralelo.	95
4.11	Filtros Activos. [18]	97
4.11.1	Filtros Activos de Potencia Serie.....	99

4.11.2	Filtro Activo de Potencia Paralelo.	100
4.12	Filtros Híbridos.....	101
4.12.1	Filtro Hibrido Serie.	101
4.12.2	Filtro Híbrido Paralelo.	102
CAPITULO V	103
5	CÁLCULO DE FILTROS ARMÓNICOS. [19]	103
5.1	Introducción.....	103
5.2	Filtro Pasivo Sintonizado. [20].....	103
5.3	Ventajas del Filtro Pasivo Sintonizado.	104
5.4	Ecuaciones a Considerar para el Cálculo del Filtro Pasivo Sintonizado. [21]	105
5.4.1	Triángulos de Potencia. [22]	105
5.4.2	Capacitores.....	106
5.4.3	Reactor.	107
5.4.4	Factor de Calidad.	109
5.5	Cálculo Para Diseño del Filtro Armónico del Ventilador 471-VE4.....	111
5.5.1	Cálculo de la Pérdida en Kilovatios, Energía y dólares en el Ventilador 471-VE4.....	116
5.6	Cálculo Para Diseño del Filtro Armónico del Ventilador 471-VE5.....	116
5.6.1	Cálculo de la Pérdida en Kilovatios, Energía y dólares en el Ventilador 471-VE5.....	121
5.7	Cálculo Para Diseño del Filtro Armónico del Ventilador 471-VE6.....	122
5.7.1	Cálculo de la Pérdida en Kilovatios, Energía y dólares en el Ventilador 471-VE6.....	127
5.8	Cálculo de Banco de Capacitores a Instalar en el Punto 471-1VB.	128
5.9	Cálculo de Banco de Capacitores a Instalar en el Punto 471-1V9.....	128
5.10	Cálculo de Banco de Capacitores a Instalar en el Ventilador 471-VE3.....	129
CAPITULO VI	130
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	130
6.1	Introducción del Capítulo.	130
6.2	Conclusiones y Recomendaciones.	130
6.2.1	Caso de Ventiladores.....	130

6.2.2 Recomendación al caso de Ventiladores.....131

6.3 Puntos de Mayor Calentamiento.131

6.3.1 Recomendación a los Puntos de Mayor Calentamiento.....132

6.4 Principales Motivos de la Generación de Armónicos.132

6.4.1 Recomendaciones a realizar para atenuar el problema de armónicos.....133

6.5 Corrientes de Neutro.134

6.6 Pérdidas del Transformador.134

BIBLIOGRAFIA.168

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diagrama Eléctrico de la Subestación.....	137
Anexo 2. Diagrama Eléctrico de la Subestación.....	138
Anexo 3. Valores Del Transformador de 1500 KVA.	139
Anexo 4 Valores del Ventilador 471-VE4.....	144
Anexo 5 Valores del Ventilador 471-VE5.....	150
Anexo 6 Valores del Ventilador 471-VE6.....	156
Anexo 7 Valores del Punto 471-1VB.....	162
Anexo 8 Valores del Punto 471-1V9.....	168
Anexo 9 Valores del Ventilador 471-VE3.....	174
Anexo 10. Diseño de Filtro Para el Ventilador 471-VE4.....	180
Anexo 11. Diseño de Filtro Para el Ventilador 471-VE5.....	181
Anexo 12. Diseño de Filtro Para el Ventilador 471-VE6.....	182
Anexo 13. Distorsión Armónica	183
Anexo 14. Corriente en capacitor instalado en sistema con cargas no lineales.....	183
Anexo 15. Neutro en Función de THD Balanceadas	184
Anexo 16. Neutro en función de THD al 10%.....	184
Anexo 17. Neutro en función de THD cargadas en 2 fases.....	185
Anexo 18. Neutro en función de THD cero.....	185
Anexo 19. I Neutro en función de THD 20%.....	186
Anexo 20. I Neutro en función de THD 60%.....	186
Anexo 21. Formas de onda relativa a los circuitos de la figura (a) superior (b) intermediario (c) inferior.....	187
Anexo 22. Corrientes armónicas equilibradas en un sistema trifásico.....	188
Anexo 23. Ajuste de la Fecha	189
Anexo 24. Conexión del Analizador.....	189
Anexo 25. Indicadores de estado en la zona superior de la pantalla.....	190
Anexo 26. (Pantalla de muestra de parámetros básicos).....	191
Anexo 27. (Teclas de Función).....	191
Anexo 28. (Muestra la tendencia de los parámetros analizados).....	192
Anexo 29. (Información en pantalla).....	192
Anexo 30. Formas de Ondas	193
Anexo 31. Pantalla de Diagrama Fasorial.....	194
Anexo 32. (Pantalla de Grafico de Barras).....	195
Anexo 33. (Pantalla de configuración del analizador).....	196
Anexo 34. Teclas de configuración del equipo.....	197
Anexo 35. (Teclas para Guardar Información).....	197

Anexo 36. (Permite Acceder al Menú)	198
Anexo 37. Imagen Infra roja	198
Anexo 38. Programación Básic	199
Anexo 39. Configuración de Alarma	200
Anexo 40. Herramienta Diferencia.	200
Anexo 41. (Herramienta Perfil).....	201
Anexo 42. Eliminar Herramientas.....	201
Anexo 43. Herramienta Tendencias.	202
Anexo 44. Partes de la cámara	203
Anexo 45. Herramienta rango de visualización.	204
Anexo 46. Filtro de Alta Temperatura.	204
Anexo 47. Índice de polarización del aislamiento del motor.....	205
Anexo 48. Prueba de voltaje de paso del aislamiento.....	206
Anexo 49. Prueba de vibración del motor.....	206
Anexo 50. Índice de polarización del aislamiento del motor.....	207
Anexo 51. Prueba de voltaje de paso del aislamiento.....	207
Anexo 52. Prueba de vibración del motor.....	208
Anexo 53. Índice de polarización del aislamiento del motor.....	208
Anexo 54. Prueba de voltaje de paso del aislamiento.....	209
Anexo 55. Prueba de vibración del motor.....	209
Anexo 56. Valores de Potencias en el Punto 471-1V9.	210
Anexo 57. Valores de Potencias del Ventilador 471-VE3.....	210
Anexo 58. Índice de polarización del aislamiento del motor.....	211
Anexo 59. Prueba de voltaje de paso del aislamiento.....	211
Anexo 60. Prueba de vibración del motor.....	212
Anexo 61. Filtro Sintonizado.	212
Anexo 62. Muestra la respuesta del filtro sintonizado ante diferentes factores de calidad.	213

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3-1 Características del Transformador Instalado.....	60
Cuadro 3-2 Reporte de la compañía de mantenimiento.....	60
Cuadro 3-3 Grupo de conexiones y Tap's del transformador.....	61
Cuadro 3-4 Datos Medidos en Transformador.....	62
Cuadro 3-5 Distorsión armónica en el transformador.....	64
Cuadro 3-6 Valores de Potencias.....	65
Cuadro 3-7 Resultado de cromatografía de gases.....	66
Cuadro 3-8 Resultado análisis físico-químico.....	67
Cuadro 3-9 Resultado de análisis de furanos.....	69
Cuadro 3-10 Datos de Placa del Ventilador 471-VE4.....	69
Cuadro 3-11 Variador de Frecuencia de Ventilador 471-VE4.....	69
Cuadro 3-12 Valores Tomados con Analizador Fluke 435.....	70
Cuadro 3-13 Distorsión Armónica del Ventilador 471-VE4.....	71
Cuadro 3-14 Valores de Potencias del Ventilador 471-VE4.....	71
Cuadro 3-15 Datos de Placa del Ventilador 471-VE5.....	73
Cuadro 3-16 Variador de Frecuencia de Ventilador 471-VE5.....	73
Cuadro 3-17 Valores de Voltajes y Corrientes Tomados con Analizador.....	74
Cuadro 3-18 Distorsión Armónica del Ventilador 471-VE5.....	74
Cuadro 3-19 Valores de Potencias del Ventilador 471-VE5.....	75
Cuadro 3-20 Datos de Placa del Ventilador 471-VE6.....	76
Cuadro 3-21 Variador de Frecuencia del Ventilador 471-VE6.....	77
Cuadro 3-22 Valores de Voltaje y Corrientes Tomados con Analizador.....	77
Cuadro 3-23 Distorsión Armónica Ventilador 471-VE6.....	78
Cuadro 3-24 Valores de Potencias del Ventilador 471-VE6.....	79
Cuadro 3-25 Motores Conectados al Punto 471-1VB.....	80
Cuadro 3-26 Valores de Voltaje y Corrientes Tomados con Analizador.....	80
Cuadro 3-27 Distorsión Armónica en el Punto 471-1VB.....	81
Cuadro 3-28 Valores de Potencias en el Punto 471-1VB.....	82
Cuadro 3-29 Punto de Distribución de Referencia 471-1V9.....	82
Cuadro 3-30 Valores de Voltaje y Corrientes Tomados con Analizador Fluke 435.....	83
Cuadro 3-31 Distorsión Armónica en el Punto 471-1V9.....	84
Cuadro 3-32 Datos de Placa del Ventilador 471-VE3.....	85
Cuadro 3-33 Valores Tomados con Analizador Fluke 435.....	85
Cuadro 3-34 Distorsión Armónica del Ventilador 471-VE3.....	86
Cuadro 5-1 Límites Máximos Recomendados Para Operación Continua de Capacitores en Paralelo Bajo Condiciones de Contingencia.....	107

Cuadro 6-1 Afectación de Armónicos en los Ventiladores.....	132
Cuadro 6-2 Factor de Potencia en Otros Puntos.	133

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1-1 Efecto en el voltaje por la conmutación en capacitores.	14
Fig. 1-2 Formas de Ondas.	15
Fig. 1-3 Formas de Onda de acuerdo al tipo de carga.	15
Fig. 1-4 Distorsión de la Onda de Acuerdo al Armónico Generado.	16
Fig. 1-5 Carga lineal.- la corriente y el voltaje son proporcionales a lo largo de la línea de su impedancia.	19
Fig. 1-6 Carga no lineal de una resistencia controlada por SCR en la que la corriente y el voltaje no son proporcionales.	19
Fig. 1-7 Pérdidas de Energía.	23
Fig. 1-8 Ondas de voltaje y corriente de una carga puramente resistiva.	23
Fig. 1-9 Ondas de voltaje y corriente de una carga idealmente inductiva.	24
Fig. 1-10 Ondas de voltaje y corriente de una carga idealmente capacitiva.	24
Fig. 1-11 Fasores de voltaje y corriente de los tres tipos de carga.	24
Fig. 1-12 Ejemplo de una onda de tensión deformada y sus componentes.	27
Fig. 1-13 Dispositivos perturbadores.	28
Fig. 1-14 Efecto de una carga no lineal en la distorsión armónica.	29
Fig. 1-15 Diagrama unifilar de una planta industrial con cargas lineales y no lineales.	31
Fig. 1-16 Diagrama unifilar de una planta industrial con cargas lineales y no lineales a la que se agregan capacitores.	32
Fig. 1-17 Circuito resonante paralelo.	33
Fig. 1-18 Efecto del sistema a la resonancia en paralelo.	34
Fig. 1-19 Sistema Razonante en Serie.	34
Fig. 1-20 Efecto de resonancia en serie.	35

Fig. 1-21 Curva de reducción de la capacidad de carga como Función del contenido de armónica.....	37
Fig. 1-22 Vida útil de un transformador en función de THDI.	37
Fig. 1-23 Circuitos equivalentes para el análisis de resonancia.....	41
Fig. 1-24 Perdidas eléctricas de un motor en función al THDV.....	42
Fig. 1-25 Punto de medición del nivel de armónicas.....	44
Fig. 1-26 Armónica en que ocurre la resonancia paralela en función de la relación KVA capacitores / KVA transformador para voltajes secundarios de 480V e impedancia del transformador de 3% y 6%.....	47
Fig. 1-27 Trayectoria de las armónicas en un sistema inductivo.....	48
Fig. 1-28 Efectos de los capacitores en las trayectorias de las armónicas.....	48
Fig. 4-1 Conexión de reactores de línea a) VFD individual b) Grupo de VFD.....	89
Fig. 4-2 Conexión del filtro desintonizado en paralelo al bus de distribución del sistema.....	90
Fig. 4-3 Arreglo de Filtro sintonizado con capacitor en conexión delta.....	90
Fig. 4-4 Arreglo de Filtro desintonizado.....	91
Fig. 4-5 Filtro Pasivo.....	92
Fig. 4-6 Posibles combinaciones de elementos pasivos que pueden formar parte de un arreglo de un filtro pasivo.....	93
Fig. 4-7 Funciones matemáticas para elementos pasivos.....	94
Fig. 4-8 Circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo de potencia serie.....	94
Fig. 4-9 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo de potencia serie.....	95
Fig. 4-10 Circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo de potencia paralelo.....	96
Fig. 4-11 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo de potencia paralelo.....	96
Fig. 4-12 Representación Gráfica de la Conexión del Filtro Activo.....	98
Fig. 4-13 Representación de la operación un filtro activo de potencia.....	98
Fig. 4-14.....	99
Fig. 4-15 Representación Gráfica de la acción de un filtro activo de potencia serie.....	99
Fig. 4-16 Representación gráfica de la acción de un filtro activo de potencia paralelo.....	100
Fig. 4-17 Estructura básica de un filtro paralelo.....	100
Fig. 4-18 Bosquejo de conexión de un filtro híbrido de potencia serie.....	101
Fig. 4-19 Bosquejo de conexión de un filtro híbrido de potencia paralelo.....	102
Fig. 5-1 Representación Gráfica del Triángulo de Potencias.....	105

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1 (Determina el orden armónico).....	17
Ecuación 1-2 (Serie de Fourier)	17
Ecuación 1-3 (Incremento de la Intensidad Debido a las Armónicas).....	17
Ecuación 1-4 (Distorsión Armónica Total).....	18
Ecuación 1-5 (Corriente eficaz [rms]).....	20
Ecuación 1-6 (Voltaje eficaz [rms]).....	20
Ecuación 1-7 (Contenido Armónico de la Señal)	20
Ecuación 1-8 (Distorsión armónica total)	21
Ecuación 1-9 (Distorsión de demanda total).....	21
Ecuación 1-10 (Relación de Corto Circuito al Punto de Acoplamiento)	22
Ecuación 1-11 (Reactancia capacitiva)	32
Ecuación 1-12 (Magnitud de la corriente eficaz en relación a la corriente nominal fundamental)	32
Ecuación 1-13 (Equivalente en Paralelo).....	33
Ecuación 1-14 (Frecuencia de Resonancia Paralelo)	33
Ecuación 1-15 (Impedancia Equivalente Serie).....	34
Ecuación 1-16 (Frecuencia de Resonancia Serie).....	35
Ecuación 1-17 (Resonancia Paralelo con el Sistema).....	35
Ecuación 1-18 (Pérdidas Adicionales en Devanados en Condiciones Nominales)	38
Ecuación 1-19 (Nivel de Tensión Admisible a Plena Carga)	38
Ecuación 1-20 (Nivel de Tensión Admisible en Vacío)	38
Ecuación 1-21 (Componentes de Corriente de Neutro).....	40
Ecuación 3-1 (Capacidad de Entrega del Transformador).....	63
Ecuación 4-1 (Impedancia)	95
Ecuación 4-2.....	95
Ecuación 4-3.....	95
Ecuación 4-4.....	96
Ecuación 4-5.....	96
Ecuación 5-1.....	105
Ecuación 5-2.....	106
Ecuación 5-3.....	106
Ecuación 5-4.....	106
Ecuación 5-5.....	106
Ecuación 5-6.....	107
Ecuación 5-7.....	107
Ecuación 5-8.....	108

Ecuación 5-9.....	108
Ecuación 5-10.....	108
Ecuación 5-11.....	108
Ecuación 5-12.....	108
Ecuación 5-13.....	108
Ecuación 5-14.....	109
Ecuación 5-15.....	109
Ecuación 5-16.....	109
Ecuación 5-17.....	110
Ecuación 5-18.....	110
Ecuación 5-19.....	110
Ecuación 5-20.....	110
Ecuación 5-21.....	110
Ecuación 5-22.....	111
Ecuación 5-23.....	111
Ecuación 5-24.....	111
Ecuación 5-25.....	111
Ecuación 5-26.....	116
$P = V * I * 3 * \text{Cos}\phi$ Ecuación 5-27	122

INDICE DE FOTOS

Foto 1. Tablero de Distribución 1.	214
Foto 2. Tablero de Distribución 2	214
Foto 3. Bushing de Baja del Transformador.	215
Foto 4. Datos de Placa del transformador.	215
Foto 5. Imagen Termo gráfica - Digital del Radiador del Transformador.....	216
Foto 6. Imagen Termo gráfica - Digital de Bushing de alta del Transformador.....	216
Foto 7. Vista Externa de un Filtro de Armónico Pasivo.	217
Foto 8. Vista Interna 1 de un Filtro de Armónico Pasivo.	217
Foto 9. Vista Interna 2 de un Filtro de Armónico Pasivo.	218
Foto 10. Imagen Termo gráfica – Digital del Motor del Ventilador 471-VE4.....	218
Foto 11. Datos de Placa del Motor del Ventilador 471-VE4.....	219
Foto 12. Imagen Termo gráfica – Digital del Variador de Frecuencia del Motor.	219
Foto 13. Imagen Termo gráfica – Digital del Motor del Ventilador 471-VE5.....	220
Foto 14. Datos de Placa del Motor del Ventilador 471-VE5.....	220
Foto 15. Imagen Termo gráfica – Digital del Variador de Frecuencia del Motor.	221
Foto 16. Imagen Termo gráfica – Digital del Motor del Ventilador 471-VE6.....	221
Foto 17. Imagen Termo gráfica – Digital del Variador de Frecuencia del Motor.	222
Foto 18. Imagen Termo gráfica del Panel de Transferencia 471-1VB.....	222
Foto 19. Imagen Termo gráfica – Digital del Panel de Transferencia 471-1VB.....	223
Foto 20. Imagen Termo gráfica – Digital del Motor 471-VE3.....	223

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de una carga no lineal en niveles de voltaje.	224
Tabla 2. IEEE 519 Límites en la distorsión de la corriente [9].....	225
Tabla 3. Diferencia de Mediciones Realizadas con Medidores de dos Tipos.....	226
Tabla 4. Características Límites de las Perturbaciones.	226
Tabla 5. Efectos de las Perturbaciones.....	226
Tabla 6. Medidas de Mejoras de Instalaciones Contaminadas por Armónicos.	227
Tabla 7. Menú del Analizador FLUKE 435.....	228
Tabla 8. Reporte de Análisis Cromatografico del Transformador de 1500KVA.	230
Tabla 9. Características de los Armónicos.....	231
Tabla 10. Cuadro de Potencias Instalada KVA Vs. Consumida KW.	232
Tabla 11. Pérdida Estimada en lo Transformadores.	234

ESTUDIO Y ANALISIS DE CALIDAD DE ENERGIA ENFOCADO EN NIVEL DE ARMONICOS EN EL SISTEMA ELECTRICO DE LA SUBESTACION ENFRIADORA 1 DE HOLCIM ECUADOR PLANTA GUAYAQUIL

Autores: Yandri Javier Cevallos Chávez, ycevallos@est.ups.edu.ec
Johnny Duvan Mora Sánchez, jmora@est.ups.edu.ec
Director de tesis: Ing. Roy Santana, rsantana@ups.edu.ec

RESUMEN.

El presente trabajo se lo realizó en la fábrica de cemento Holcim Ecuador S.A. Planta Guayaquil, en la subestación eléctrica Enfriadora 1, durante el periodo 2012-2014.

Holcim Ecuador, preocupada siempre de alcanzar óptimos resultados en cuanto a la calidad de energía, están tomando las medidas correspondientes en cuanto a verificación y análisis de sus sistemas eléctricos. De aquí parte el análisis costo-beneficio con el objetivo de superar muchas pérdidas de energía producidas por fenómenos eléctricos como los armónicos, calentamiento de aislamientos, desbalances y otros factores que afectan de manera sustancial a los equipos e instalaciones eléctricas y que también influyen en la seguridad de las personas que operan y dan mantenimiento a los mismos.

En éste análisis se han utilizado métodos de medición de alta precisión tecnológica como la cámara termo-gráfica, analizador de redes, analizador de motores en estado estático y dinámico, además de las diferentes técnicas de estudio siempre avaladas con sus respectivas normas para determinar la eficiencia de cada máquina y del sistema eléctrico, con el único propósito de mantener u obtener un resultado de calidad de energía.

**ESTUDIO Y ANALISIS DE CALIDAD DE ENERGIA ENFOCADO EN NIVEL
DE ARMONICOS EN EL SISTEMA ELECTRICO DE LA SUBESTACION
ENFRIADORA 1 DE HOLCIM ECUADOR PLANTA GUAYAQUIL**

Authors: Yandri Javier Cevallos Chávez, ycevallos@est.ups.edu.ec
Johnny Duvan Mora Sánchez, jmora@est.ups.edu.ec
Thesis director: Ing. Roy Santana, rsantana@ups.edu.ec

ABSTRACT.

This work was conducted in the cement plant Holcim Ecuador S.A. Planta Guayaquil, in the electrical substation at Enfriadora 1 during the period 2012-2014.

Holcim Ecuador, always concerned to achieve optimal results in terms of power quality, is taking appropriate action with regard to verification and analysis of electrical systems. From this part the cost - benefit analysis in order to overcome many energy losses caused by electrical phenomena such as harmonics, heating insulation, imbalances and other factors affecting substantially the electrical installations and equipment also influence safety of persons who operate and provide maintenance to them.

In this analysis we have used methods of high-precision measurement technology and thermo- graphic camera, network analyzer, engine analyzer in static and dynamic state, in addition to the different study techniques always guaranteed with their respective rules to determine the efficiency of each machine and the electrical system for the sole purpose of maintaining or obtaining a result of power quality.

GENERALIDADES

I) RESUMEN

El estudio de calidad de energía se realizará en la fábrica de cemento Holcim Ecuador Planta Guayaquil Subestación Enfriadora 1 ubicada a la altura del Km. 18 de la vía a la Costa frente al cuartel del GIR en la ciudad de Guayaquil.



Se ha tomado como referencia dicha subestación, ya que hasta el momento es la que presenta mayores inconvenientes en cuanto a la generación de armónicos en el sistema eléctrico integral, debido a que la carga a la que abastece es básicamente carga no lineal como son variadores de frecuencia, arrancadores suaves, etc. Además, se atribuye también los altos niveles de armónicos, deficiencias en las instalaciones por calentamientos constantes principalmente en lo referente a la carga inductiva ó de motores de altas potencias instalados en ésta área.

Es muy importante, tener en cuenta el buen desarrollo de los sistemas eléctricos, ya sea en los fenómenos de calidad de energía en este caso en cuanto a armónicos en los sistemas eléctricos, ya que esto también incide directamente en un mayor control en cuanto a las normas de seguridad, un mejor plan de mantenimiento preventivo y predictivo, además de que al controlar este tipo de inconvenientes de armónicos en el sistema, estamos contribuyendo directamente al ahorro energético.

Los inconvenientes presentes en el sistema, además de producir las molestias mencionadas en párrafos anteriores, también contribuyen a la reducción de la vida

útil de los materiales, maquinarias y otros elementos que intervienen en el desarrollo del proceso productivo de la planta.

En el desarrollo del presente estudio, nos centraremos en la recopilación de información que nos proporcionen técnicos de la empresa como planos eléctricos, y estadísticas de daños más frecuentes, los cuales nos permitan tener una mejor visión y comprensión de lo que está ocurriendo en cuanto al fenómeno de armónicos se refiere. Esto nos permitirá centrar nuestro análisis en las mejoras de dichos puntos críticos, estableciendo ahí nuestro enfoque de análisis de ingeniería.

Este análisis también está enfocado en dar a la planta, **Holcim Ecuador Planta Guayaquil Subestación Enfriadora 1** una alternativa económica, la cual coadyuve a las mejoras que se espera sean una solución eficaz, eficiente y rentable.

Para el presente análisis, el equipo con el que contamos es el analizador de redes **Fluke 435**, equipo del cual saldrá información valiosa, acompañado de otros equipos de medición como son vatímetros, amperímetros, lámparas de medición de temperatura, cámara termo gráfica marca **VISIR640**, herramientas de mano y lo más importante es el apoyo del personal de técnicos dispuestos a ayudar a dar la información necesaria para el desarrollo de éste análisis de ingeniería.

Así mismo dentro del desarrollo del tema se hará una explicación detallada de varios conceptos necesarios para el presente estudio, se tomarán pruebas y se realizaran análisis de diferentes puntos donde inciden con mayor frecuencia los fenómenos en mención.

II) JUSTIFICACIÓN

La industria cementera en el Ecuador, entre las destaca por **la fábrica de cemento Holcim Ecuador Planta Guayaquil**, preocupada siempre de alcanzar óptimos resultados en cuanto a la calidad de energía, están tomando las medidas correspondientes en cuanto a verificación y análisis de sus sistemas eléctricos. De aquí parte el análisis costo-beneficio con el objetivo de superar muchas pérdidas de energía producidas por fenómenos eléctricos como los armónicos, calentamiento de aislamientos, desbalances y otros factores que afectan de manera sustancial a los equipos e instalaciones eléctricas y que también influyen en la seguridad de las personas que operan y dan mantenimiento a los mismos.

Con el presente trabajo de investigación, se pretende establecer una metodológica de análisis, y plan de mantenimiento de los equipos, todo enfocado al ahorro de energía y principalmente a disminuir los niveles de armónicos de la Subestación Enfriadora 1, considerada la más crítica de la planta; en cuanto al fenómeno de armónicos se

refiere, esperando de ésta manera dar nuestro aporte en la atenuación de éste tipo de problemas en representación de la Universidad Politécnica Salesiana.

El presente trabajo, buscará en esencia el ahorro energético, en base a la disminución de los niveles de armónicos en el sistema eléctrico, por ende la reducción de los costos de energía eléctrica.

El estudio en mención, estará basado en la información de planos, planillas de facturación de energía, levantamiento de cargas instaladas, determinación de los circuitos más críticos, afectados por altos niveles de armónicos y la selección de parámetros y su medición para posterior análisis y recomendaciones.

Actualmente la fábrica está siendo abastecida de servicio eléctrico por la empresa distribuidora de Guayaquil, llamada **EMPRESA ELECTRICA PUBLICA DE GUAYAQUIL**, la misma que suministra energía a un nivel de alta tensión de transmisión de 69 KV. Se tiene la información que dentro de la planta existe una subestación principal donde están montados tres transformadores de 15, 20 y 25 MVA, con niveles de voltaje de 69Kv. a 4.16Kv trifásico, teniendo un total de potencia instalada de 60 MVA.

Hasta hace algún tiempo, la fábrica había sido abastecida del servicio eléctrico, por la generadora térmica OGESA actualmente compañía GENEROCA con capacidad de generación de 28 MVA que está ubicada en la inmediaciones de la fábrica pero debido al incremento de la carga instalada en la planta, hubo la necesidad de comprar la energía al mercado eléctrico mayorista teniendo un consumo de aproximadamente 32 MVA que venía directamente desde la generadora hidráulica Paute. Con la entrada del nuevo gobierno se dispuso que esta demanda sea suministrada por la Eléctrica de Guayaquil conectándose a través de las barras de GENEROCA y la generadora térmica ELECTROQUIL.

En estos momentos la fábrica está buscando obtener un ahorro sustentable de energía eléctrica y en éste trabajo de investigación, se espera obtener los resultados satisfactorios para el buen uso del ahorro de energía.

III) OBJETIVOS

A) OBJETIVOS GENERALES.

Identificar, enfocado en los armónicos de potencia, los posibles problemas energéticos existentes.

Plantear, las soluciones adecuadas para corregirlos y así aportar a un eficiente servicio eléctrico en la Subestación Enfriadora 1 de la Fábrica de Cemento **HOLCIM ECUADOR PLANTA GUAYAQUIL**, mediante la instalación del equipo analizador de redes Fluke 435 y el análisis de la recopilación de los datos obtenidos.

B) OBJETIVOS ESPECIFICOS.

1. Determinar mediante análisis los sitios donde se generan la mayor cantidad de armónicos a causa de las cargas no lineales.
2. Determinar los sitios de mayor calentamiento, ya sea en tableros de distribución o en los equipos instalados.
3. Organizar la medición de los diferentes parámetros seleccionados en miras a comparar con los índices aceptables de niveles de armónicos y recomendar las correcciones correspondientes en caso de ser necesario.
4. Identificar conductores neutros, con exceso de corrientes los cuales estén presentando recalentamiento.
5. Determinar la pérdida técnica registrada por la subestación.
6. Identificar qué tipo de circuito es el que está afectando en mayor medida al sistema eléctrico.

IV) MARCO TEÓRICO

Todo proyecto eléctrico, debe tener muy en cuenta las diferentes normas técnicas de calidad de los servicios eléctricos, de tal manera que su operación y mantenimiento no causen desmejora de la calidad de servicio de las instalaciones de suministro eléctrico, sobre todo en lo referente a la calidad de producto.

En el estudio de la Calidad de Energía se debe identificar parámetros que determinen un adecuado y correcto funcionamiento de una red eléctrica, así como los factores que caracterizan una onda de corriente alterna perfecta y los nombres de los efectos que distorsionan la señal y las causas que los provocan.

Para el presente estudio, se tomará en cuenta la Regulación del CONELEC-04/01 en donde menciona las normas conceptos y procedimientos para garantizar la calidad del servicio eléctrico. También se hará uso de otro recurso como es la Norma IEEE 519-1992 en donde menciona el fenómeno de las armónicas desde su punto conceptual y los diferentes tipos de carga que influyen en la generación de las armónicas en un sistema.

En cuanto a las mediciones que se realizaran se ajustarán a lo estipulado en la Norma IEC61000-4-7 como procedimiento para el análisis de armónicas con el analizador de redes.

Para dicho análisis, se procederá con la identificación del problema tomando como base referencial los planos existentes en la fábrica, analizando los puntos más críticos en cuanto al calentamiento, sean estas de máquinas o de conductores de neutro de un calibre inferior al requerido. Es necesario identificar cargas no lineales que estén afectando directamente al sistema con la generación de armónicos.

Para todo éste análisis, es de vital importancia tener los conocimientos teóricos y analíticos que nos permitan el desarrollo del tema, tomando en especial consideración lo aprendido en la Universidad como son los siguientes temas y otros que se pueden pasar por alto, pero que también son de vital importancia:

Calidad de Energía. (Seminario)

Normas Eléctricas. (Seminario)

Sistemas de Potencia.

Máquinas Eléctricas (transformadores)

Materias del Pensum académico.

Manejo de instrumentos de medición como voltímetros, amperímetros, vatímetros, analizadores de redes, cámaras termo gráficas, etc.

Para la mejor comprensión del presente estudio uno de los principales instrumentos es el analizador trifásico de calidad de energía Fluke modelo 435.

Con éste analizador estaremos en capacidad de determinar los parámetros eléctricos que influyen directamente en la red de la planta en estudio, el cual nos va a registrar las variaciones en las magnitudes eléctricas en diferentes instantes de tiempo, así también como el nivel de distorsión armónica y los niveles generales de voltajes, corrientes, potencias y otros parámetros en estudio.

V) MARCO METODOLÓGICO

El estudio de Calidad de Energía en la Subestación Enfriadora 1 de la Planta Cementera “**HOLCIM ECUADOR PLANTA GUAYAQUIL**”, estará sujeto a dos métodos de análisis, los cuales ayudaran a identificar los problemas que enfrenta la planta en la actualidad en cuanto a la generación de armónicos y con ello llegar a ofrecer soluciones adecuadas a la problemática existente.

El primer método a utilizar es el método de la hipótesis científica experimental, la cual consiste en la obtención y recopilación de datos numéricos de todos los parámetros eléctricos con sus gráficas, en donde se comparan las magnitudes medibles y conocidas.

El segundo método es el estadístico mostrándolas en una tabla estadística de los valores obtenidos para el análisis, segmentando esta información según el comportamiento de las cargas, durante las veinte y cuatro horas del día para un mejor diagnóstico del sistema.

Se identificarán cada uno de los circuitos eléctricos, clasificándolos de acuerdo a su nivel de voltaje y potencia, se realizarán levantamientos y actualizaciones de los planos existentes ya que con el pasar de los años se han realizado varias ampliaciones, modificaciones y cambios de diferentes equipos según ha ido incrementando la producción de la planta.

Teniendo todos los datos actualizados se procederá a realizar la toma de los datos en cada uno de los circuitos de los equipos usando el analizador FLUKE 435, esto a fin de crear una base de datos para su posterior estudio, esta toma de datos se la realizará las 24 horas durante 7 días, esperando obtener la mayor cantidad de variables para realizar un buen análisis y obtener mejores resultados.

Sustentándose en normativas eléctricas y con los resultados del estudio realizado, se realizarán tablas comparativas de tal forma que se puedan identificar los circuitos que no cumplen con los estándares, para tener en cuenta la realización de los correctivos necesarios por parte de la planta.

Para el análisis general de armónicos, se lo realizará mediante el equipo analizador de redes Fluke 435, con varias pruebas en los diferentes circuitos principalmente donde existan cargas no lineales para observar el comportamiento de la carga en el analizador, con la finalidad de poder observar que nivel de armónicos se genera en el sistema eléctrico. En cuanto al calentamiento de motores, en primer lugar se realizará una inspección visual de las instalaciones, luego se procederá con la medición de los niveles de temperatura, mediante la cámara termo grafica en los diferentes puntos que se encuentren más propensos a altas temperaturas.

Una vez identificado los puntos ya sea de generación de armónicos o por calentamiento se procederá con la recopilación de datos obtenidos de los equipos, como son los diferentes parámetros como son de voltajes, corrientes, potencias, niveles de armónicos, etc. para proceder a realizar los análisis correspondientes y cálculos necesarios para poder determinar las recomendaciones del caso, no sin antes contrastar los datos obtenidos con lo realmente instalado, además de que al dar una posible solución, ésta se encuentre debidamente sustentada con un análisis de costo-beneficio en corto o mediano plazo.

Otro de los aspectos que hay que tomar en cuenta es la forma en la que se va a identificar los conductores neutros sub dimensionados, y esto se lo hará de tres formas:

1. De los mismos datos obtenidos del analizador en cuanto a las corrientes ya se podrá determinar los niveles de amperaje ya sea por los conductores de fase y de neutro.
2. La prueba con el amperímetro de gancho en los diferentes circuitos o tableros como en los breakers principales é individuales.
3. Por el método de inspección visual además de la cámara termo grafica se obtendrán datos específicos de recalentamiento de conductores neutros.

La recomendación del cambio de conductores, se determinará mediante el cálculo con los valores tomados y la verificación en las diferentes tablas, donde se muestran los calibres de conductores con sus diferentes capacidades en amperios.

El análisis y estudio de los diferentes parámetros con el analizador de redes Fluke 435, permitirá mediante cálculos poder establecer la cantidad de pérdidas técnicas que se estarían generando en la subestación, además nos será de gran ayuda las tablas pre establecidas en cuanto a niveles de pérdidas por transformación.

Mediante la utilización del analizador de redes Fluke 435 y la cámara termo grafica VISIR640, además de los instrumentos de medición como vatímetro, amperímetros, voltímetro, etc. Se podrá identificar plenamente cual de los circuitos en estudio es el que está afectando en mayor medida en el sistema eléctrico de la subestación en estudio.

Para todo el análisis antes mencionado se tomarán como una normativa general de seguridad, los parámetros ya establecidos dentro de la compañía **HOLCIM ECUADOR PLANTA GUAYAQUIL**. Esto es haciendo uso de todos los elementos necesarios en la seguridad industrial, como son el casco de protección, guantes de seguridad, gafas de protección, protectores auditivos, botas especiales, mascarillas, etc., y todo elemento que contribuya a la seguridad del investigador, del personal de la planta y de los equipos en análisis.

VI) HIPOTESIS

Una herramienta básica dentro del estudio es el analizador de redes **Fluke 435** el cual, permitirá definir los lugares de mayor armónicos en el sistema, además de la cámara termo grafica Marca **VISIR640** la cual determinará los puntos de calentamiento más relevantes. Estos equipos nos darán los resultados mediante el método de análisis, de los cuales podremos extraer las mejores conclusiones y recomendaciones.

VII) POBLACION Y MUESTRA

Del área de producción que se encuentra abastecida por la energía de la Subestación Enfriadora 1 de la Planta Cementera “**HOLCIM ECUADOR PLANTA GUAYAQUIL**” se tomará como muestra los puntos y circuitos más críticos y relevantes en cuanto a la generación de altas temperaturas y altos niveles de armónicos.

VIII) VARIABLES E INDICADORES

VIII-A) Variables

- Armónicos
- Costos en Facturación
- Motores Instalados

VIII-B) Indicadores

- Altas temperaturas
- Rendimiento de los Equipos
- Vida útil de los equipos

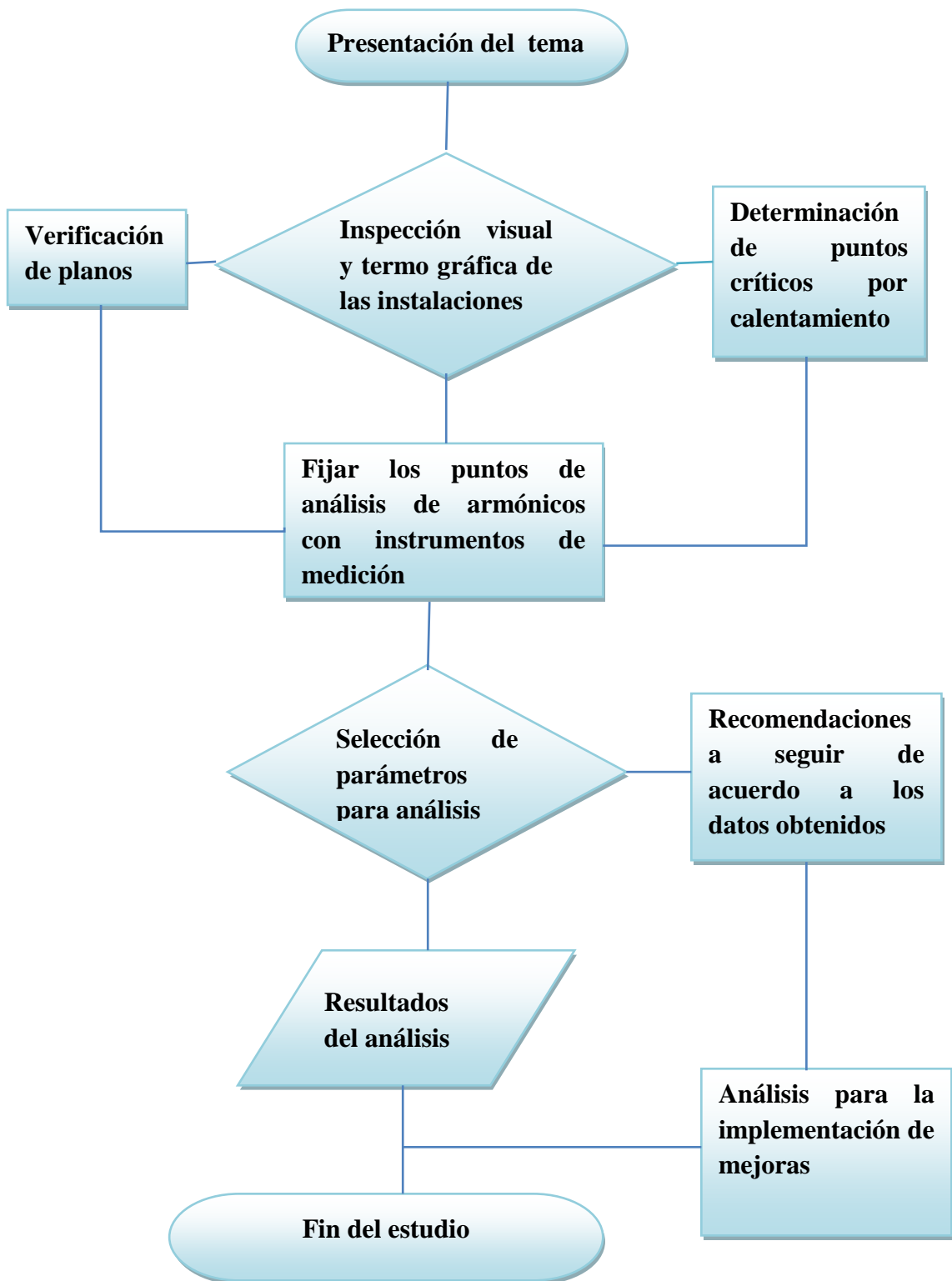
IX) PRESUPUESTO

Se detalla a continuación los equipos a utilizar durante el proyecto con los respectivos costos:

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	P/UNIT	P/TOTAL
1	Analizador de redes FLUKE 435	1 UN	9000,00	9000,00
2	Cámara termo grafica VISIR	1 UN	8000,00	8000,00
3	Escalera teleférica de 10 metros	1 UN	450,00	450,00
4	Caja de herramientas	2 UN	450,00	900,00
5	Mascarillas para polvo	40 UN	2,85	114,00
6	Gafas protectoras	4 UN	7,50	30,00
7	Casco	2 UN	24,00	48,00
8	Guantes	4 Par	5,60	22,40
9	Protectores auditivos tipo copa	2 Par	12,00	24,00
10	Botas puntas de acero	2 Par	65,00	130,00
11	Papel A4	2 Resma	6,00	12,00
	Total			18730.4

El valor de 18740.4 es un valor referencial del presupuesto de cuanto se requiere en realizar todo éste estudio de armónicos, ya que estos valores son tomados con precios de mercado.

X) FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES



XI) CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

N°	Actividad	2012-2013																							
		Mes 1		Mes 2		Mes 3		Mes 4		Mes 5		Mes 6		Mes 7		Mes 8		Mes 9		Mes 10		Mes 11		Mes 12	
		Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2
1	Identificación del sitio del análisis	■																							
2	Diagnostico General del Sistema		■	■	■																				
3	Selección de Equipos a utilizar				■	■																			
4	Revisión de los catálogos de los equipos					■	■	■																	
5	Desarrollo de fundamentos teóricos								■	■	■	■													
6	Recopilación de datos medidos con analizador									■	■	■	■	■											
7	Análisis de resultados														■	■	■	■							
8	Determinación de equipos a instalar para corrección del sistema															■	■	■	■	■					
9	Conclusiones																						■	■	
10	Recomendaciones																								
11	Documentación de Tesis	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
12	Correcciones y Encuadernados																								■
13	Sustentación																								■

CAPITULO I

1 FUNDAMENTOS TEORICOS.

1.1 Que se entiende por Distorsión Armónica. [8] [12]

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 onda puede deberse a:

- ✓ Fenómenos transitorios tales como arranque de motores, conmutación de capacitores, efectos de tormentas o fallas por corto circuitos entre otros.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

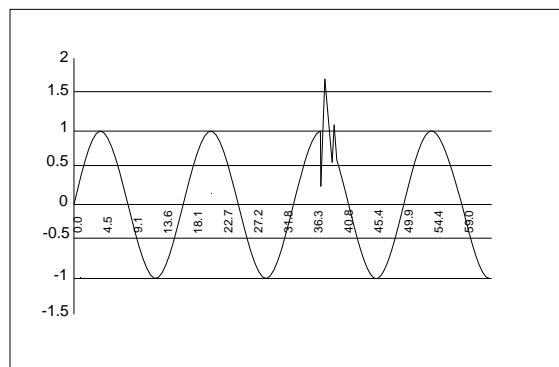


Fig. 1-1 Efecto en el voltaje por la conmutación en capacitores.

- ✓ Condiciones permanentes que están relacionadas con armónicas de estado estable. En los sistemas eléctricos es común encontrar que las señales tendrán una cierta distorsión, (**Ver figura 1.1**) que cuando es baja no ocasiona problemas de operación en los equipos y dispositivos. Existen normas que establecen los límites permisibles de distorsión, dependiendo de la tensión de operación y de su influencia en el sistema. (**Ver Anexo 13**)

Las armónicas son frecuencias parásitas múltiplos de la frecuencia fundamental (normal) del voltaje o corriente y que se mezclan con esta para dar como resultado una onda distorsionada.

Estas frecuencias parásitas son el resultado de procesos internos que se dan en las cargas no lineales y otros dispositivos eléctricos.

Las cargas no lineales que producen armónicas son a menudo representadas como fuentes de corrientes de armónicas.

En una onda sinusoidal pura, no existe distorsión armónica el **THD = 0**

El THD (Total Harmonic Distortion) sirve para estimar el grado de contaminación armónica contenida en una forma de onda.

En las Figuras (1.2 y 1.3) muestra las diferentes formas de ondas.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

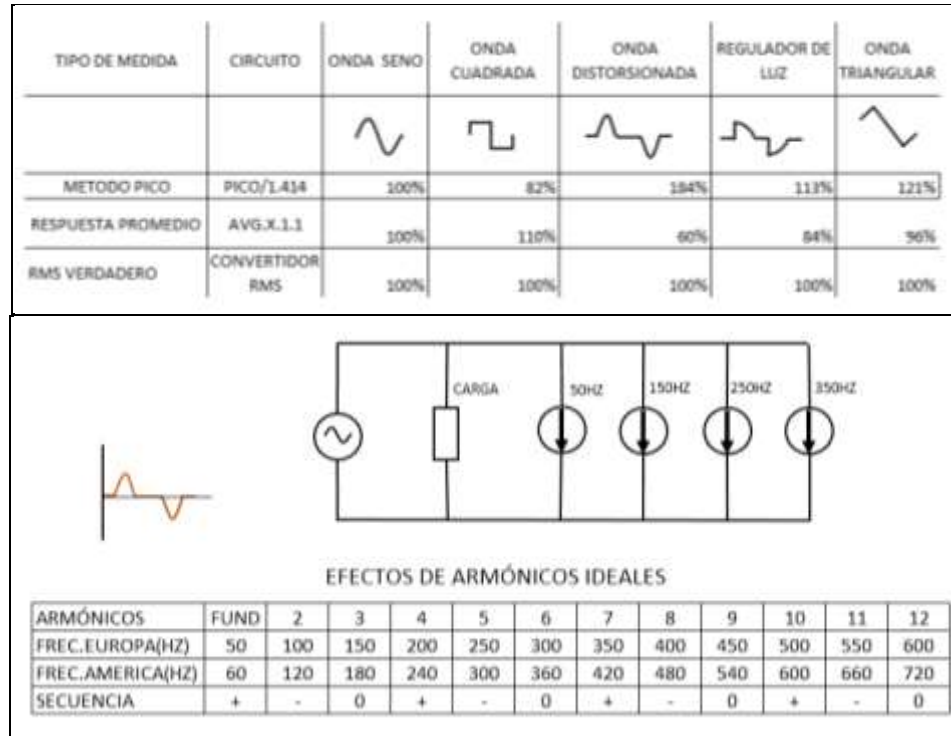


Fig. 1-2 Formas de Ondas.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez

TIPO DE CARGA	FORMA DE ONDA DE CARGA NO LINEAL	CORRIENTE DE CARGA NO LINEAL THD(%)
FUENTE DE PODER MONOFASICA		84%
SEMI CONVERTIDOR		87%
REGULADOR DE VOLTAJE -CARGA RESIST.INDUCTIVA		21%
REGULADOR DE VOLTAJE -CARGA RESISTIVA.		11%

Fig. 1-3 Formas de Onda de acuerdo al tipo de carga.

Dado que las armónicas son múltiplos de la frecuencia fundamental (60Hz), solo se suele nombrar el orden de la componente parásita, por ejemplo.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

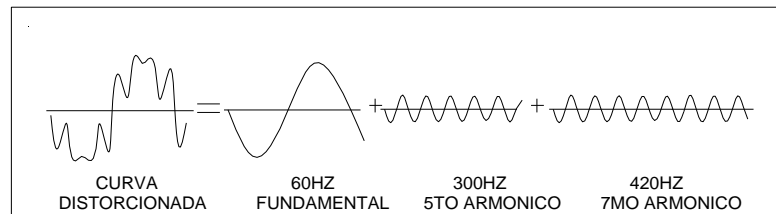


Fig. 1-4 Distorsión de la Onda de Acuerdo al Armónico Generado.

Si existe una corriente parásita de 300 Hertz (60×5) se dice que existe una armónica de quinto orden, o solamente existe una quinta armónica.

Para un sistema trifásico, tres factores des balanceados se pueden descomponer en tres sistemas balanceados de fasores.

Los conjuntos balanceados de componentes son:

a.- Componentes de secuencia positiva.- consiste en tres fasores de igual magnitud desplazados uno del otro por una fase 120° y que tiene la misma secuencia de fase que los fasores originales.

b.- Componentes de secuencia negativa.- consiste en tres fasores iguales en magnitud desplazados en fases uno del otro en 120° y que tienen una secuencia de fase opuesta a la de los fasores originales.

c.- Componente de secuencia cero.- consiste en tres fasores iguales en magnitud y con un desplazamiento de 0° uno del otro.

Los armónicos se caracterizan por su amplitud y por su orden.

Su amplitud.- hace referencia al valor de la tensión o intensidad del armónico.

Su orden.- hace referencia al valor de su frecuencia referido a la fundamental (60 Hz).

Así, un armónico de tercer orden tiene una frecuencia 3 veces superior a la fundamental, es decir $3 \times 60 \text{ Hz} = 180 \text{ Hz}$.

El orden armónico, también referido como el rango del armónico, es la razón entre la frecuencia de un armónico f_n y la frecuencia fundamental (60 Hz).

$$n = \frac{F_n}{F_1}$$

Ecuación 1-1 (Determina el orden armónico)

(Por principio, la fundamental f1 tiene rango 1).

Se lo representa por la serie de Fourier de la siguiente forma:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \phi_n)$$

Ecuación 1-2 (Serie de Fourier)

Donde:

Y0= Es la componente de corriente directa, la cual es generalmente cero.

Yn= Valor rms de la componente (nth) armónica.

ϕ_n = Angulo de fase de la componente (nth) armónica cuando t=0.

Los armónicos por encima del orden 23 son despreciables

La cantidad de armónicos es generalmente expresada en términos de su valor rms dado que el efecto calorífico depende de este valor de la onda distorsionada.

Para una onda sinusoidal el valor eficaz es el máximo valor dividido por raíz de 2.

Para una onda distorsionada, bajo condiciones de estado estable, la energía disipada por el efecto Joule es la suma de las energías disipadas por cada una de las componentes armónicas:

$$RI^2t = RI_1^2t + RI_2^2t + \dots + RI_n^2t$$

Donde:

$$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2$$

O también

$$I = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=\infty} I_n^2}$$

Ecuación 1-3 (Incremento de la Intensidad Debido a las Armónicas)

Es el aumento de la intensidad eficaz que atraviesa una instalación debido a las componentes armónicas que lleva asociada una onda distorsionada.

El porcentaje de armónico y la distorsión total armónica cuantifican la disturbancia armónica que puede existir en una red de suministro eléctrico.

La tasa de armónicos o por ciento de armónicos, expresa la magnitud de cada armónico con respecto a la fundamental.

La distorsión total armónica (THD), cuantifica el efecto térmico de todos los armónicos. La CIGRE ^[1] propone la siguiente expresión para el cálculo de esta magnitud:

[1] Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctrica

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} Y_n^2}}{Y_1}$$

Ecuación 1-4 (Distorsión Armónica Total)

Donde:

Y_n : Magnitud de la armónica n

Y_1 : Magnitud de la onda de frecuencia fundamental

1.2 Características de la Distorsión Armónica [8]

Cuando la onda de corriente o tensión medida en cualquier punto de un sistema eléctrico se encuentra distorsionada, con relación a la onda sinusoidal que idealmente deberíamos encontrar, se dice que se trata de una onda contenida con componentes armónicas.

Se considera distorsión armónica cuando cumpla 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 señal de voltaje y corriente.

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

1.3 Cargas Lineales y no Lineales [8]

Cuando se aplica un voltaje sinusoidal directamente a cargas tales como resistencias, inductancias, capacitores o una combinación de ellos, se produce una corriente proporcional que también es sinusoidal, por lo que se denominan cargas lineales.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

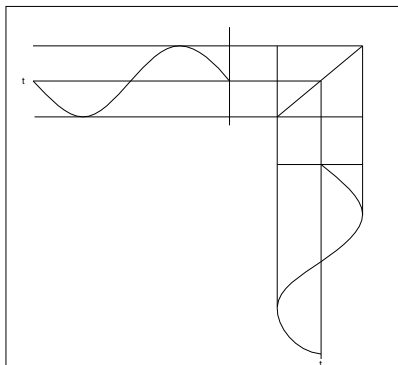


Fig. 1-5 Carga lineal.- la corriente y el voltaje son proporcionales a lo largo de la línea de su impedancia.

En los circuitos en los que su curva corriente – voltaje no es lineal, el voltaje aplicado no es proporcional a la corriente, resultando una señal distorsionada con respecto a la sinusoidal.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

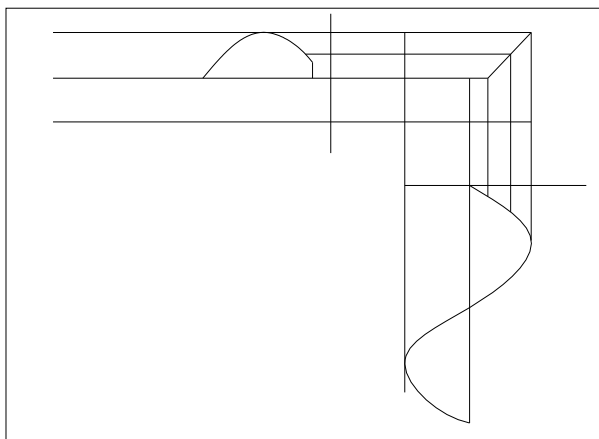


Fig. 1-6 Carga no lineal de una resistencia controlada por SCR en la que la corriente y el voltaje no son proporcionales.

La curva característica corriente – voltaje de la carga define si es o no lineal su comportamiento y no se debe pensar que todos los equipos que tienen semiconductores por definición son no lineales. La distorsión armónica en los sistemas eléctricos es provocada por las cargas no lineales, contaminando la red y pudiendo afectar incluso a otros usuarios que únicamente posean cargas lineales.

1.4 Medidas de la distorsión en voltaje y corriente.

Para poder cuantificar la distorsión armónica es necesario definir ciertos parámetros que determinan su magnitud.

A continuación se presentan algunas expresiones relacionadas a la distorsión armónica, para la facilidad en su comprensión.

1.4.1 Valor Eficaz (rms)

Es cuando se suman valores de voltaje o corriente para obtener una resultante.

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

Ecuación 1-5 (Corriente eficaz [rms])

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2}$$

Ecuación 1-6 (Voltaje eficaz [rms])

1.4.2 Cofactor de distribución (CD).

Se entiende como el contenido armónico de la señal y su valor eficaz (rms). Su valor se ubica entre 0 % y 100%. También se conoce como THD y es el índice más ampliamente usado en Europa.

Con una distorsión baja, CD cambia por eso se recomienda cuando se desea conocer el contenido armónico de una señal.

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

CD: cofactor de distribución

Ecuación 1-7 (Contenido Armónico de la Señal)

1.4.3 Distorsión armónica total (THD).

Es la relación entre el contenido armónico de la señal y la primera armónica o fundamental. Su valor se ubica entre el 0% e infinito.

Es el parámetro más reconocido y recomendable para medir la distorsión en parámetros individuales (I, V). Se utiliza cuando se trabaja con equipos que deben responder solo a la señal fundamental como es el caso de algunos relevadores de protección.

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} * 100\%$$

Ecuación 1-8 (Distorsión armónica total)

1.4.4 Distorsión de demanda total.

Es la relación entre la corriente armónica y la demanda máxima de la corriente de carga.

Si se efectúan mediciones a armónicas en los sistemas eléctricos, se pueden encontrar niveles de THD altos en condiciones de baja carga que no influyen en la operación de los equipos, ya que la energía distorsionante es también baja.

El TDD es el parámetro de referencia que establece los límites aceptables de distorsión en corriente como indica en la tabla 2 de la norma de **IEEE 519**. [9]

$$\text{TDD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} * 100\%$$

Ecuación 1-9 (Distorsión de demanda total)

Dónde:

I_h= magnitud de la armónica individual

h= orden armónico

I_L= demanda máxima de la corriente fundamental de carga que se calcula como el promedio máximo normal de demanda de corriente de los 12 últimos meses, o puede estimarse.

Según la norma **IEEE 519**, existe un límite de los clientes individuales que pueden inyectar corriente armónica a la red de distribución.

El tamaño relativo de la carga con respecto a la fuente se define como la relación de corto circuito (SCR) al punto de acoplamiento común (PCC).

Los límites de corriente se basan en el tamaño del consumidor con respecto al sistema de distribución.

El tamaño del consumidor es definido por la corriente total de frecuencia fundamental en la carga I_L , que incluye todas las cargas lineales y no lineales. El tamaño del sistema de abastecimiento es definido por el nivel de la corriente de corto circuito, ISC, al PCC estas dos corrientes definen al SCR.

$$SCR = \frac{\text{SHORT CIRCUIT MVA}}{\text{LOAD MW}} = \frac{ISC}{I_L}$$

Ecuación 1-10 (Relación de Corto Circuito al Punto de Acoplamiento)

Una relación alta significa que la carga es relativamente pequeña. La distorsión total esta en términos de la distorsión total de la demanda (TDD) en vez del término más común THD.

La **Tabla 2** muestra los límites de corriente para componentes de armónicas individuales así también distorsión armónica total. Por ejemplo un consumidor con un SCR entre 50 y 100 tiene un límite recomendado de 12 % para TDD, mientras que para componentes armónicas impares individuales de órdenes menores a 11, el límite es el 10 %.

Es importante notar que las componentes individuales de las corrientes armónicas no se suman directamente para que todo el armónico, pueda estar a su límite máximo individual sin exceder el TDD.

1.5 Pérdidas de Energía Eléctrica.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

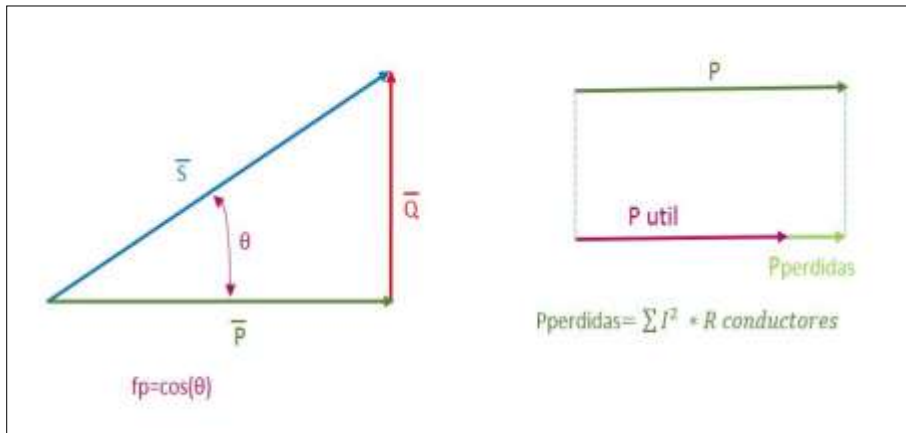


Fig. 1-7 Pérdidas de Energía.

Para poder establecer los diferentes tipos de pérdidas de energía hay que diferenciarlos de acuerdo al tipo de carga.

Cargas Resistivas.-

En las cargas resistivas, como las lámparas incandescentes las corrientes y los voltajes están en fase, en este caso se tiene un factor de potencia unitario.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

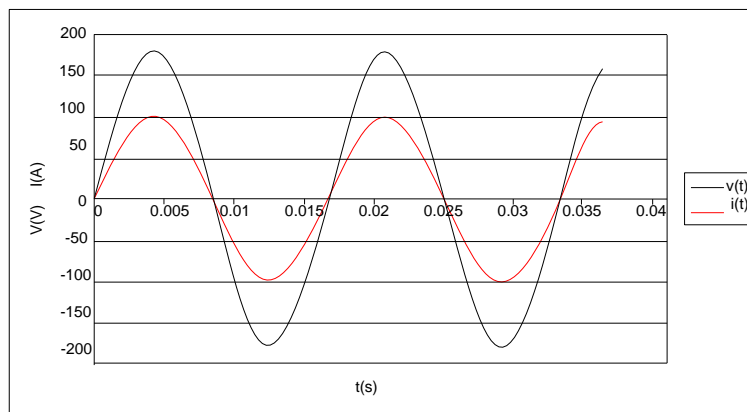


Fig. 1-8 Ondas de voltaje y corriente de una carga puramente resistiva.

En las cargas inductivas como los motores y transformadores, la intensidad se encuentra retrasada respecto a la tensión. En este caso se tiene un factor de potencia retrasado.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

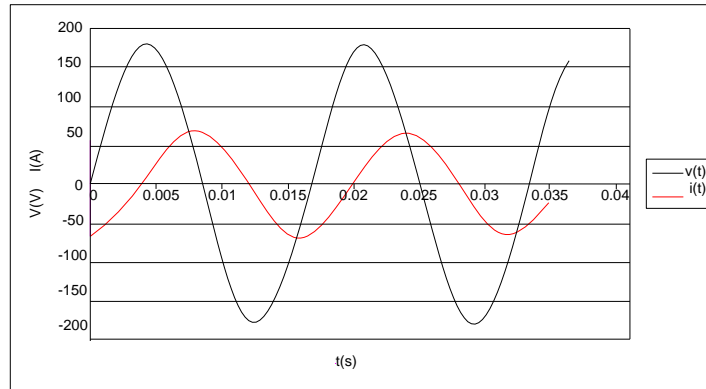


Fig. 1-9 Ondas de voltaje y corriente de una carga idealmente inductiva.

En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto del voltaje. En este caso se tiene un factor de potencia adelantado.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

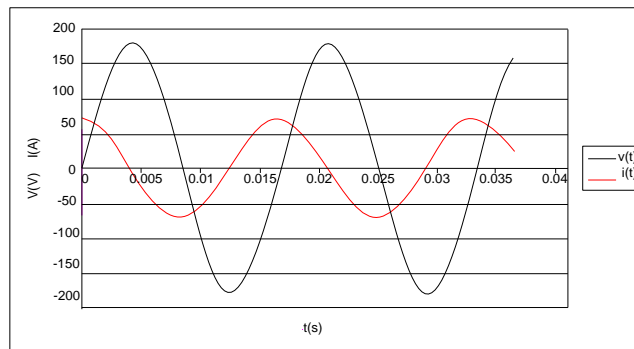


Fig. 1-10 Ondas de voltaje y corriente de una carga idealmente capacitiva.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

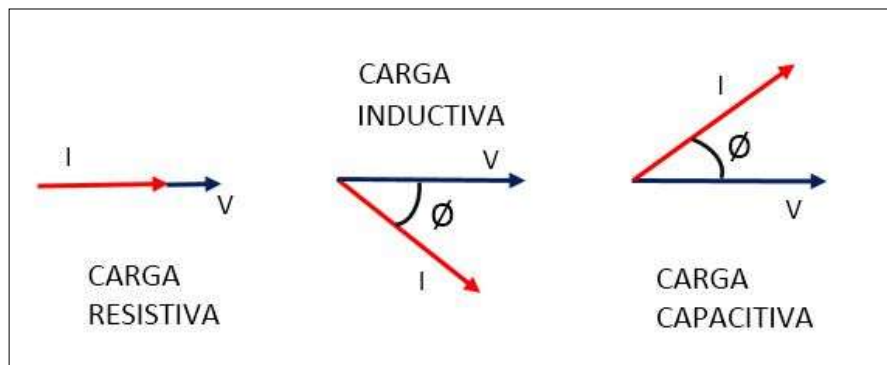


Fig. 1-11 Fasores de voltaje y corriente de los tres tipos de carga.

1.5.1 Energía activa [1]

La energía activa es la que se transporta por los conductores y produce luz, calor y movimiento. Es la que produce un trabajo en cualquier artefacto eléctrico y además esta medida en unidades de tiempo.

Tiene dos componentes el primero es la potencia Kw, la cual está directamente proporcional a la demanda de cada equipo instalado.

El segundo componente es el tiempo, cuya unidad más usual es la hora (h), de ahí que el consumo de energía sea proporcional al tiempo de uso de los equipos, es decir Kwh

Ejemplo

Si en la placa de un motor se lee su potencia de 3Kw (P) y su funcionamiento es de 10 horas seguidas (t) el consumo de energía será:

$$E=P*t= 3 \text{ Kw}*10 \text{ h}= 30 \text{ Kwh}$$

En la mayoría de los motores, la placa muestra datos de HP en éste caso dicho valor se multiplica por un factor de 0.746 Kw, como resultado dará la potencia del motor en Kw

La unidad de medida de la energía activa se abrevia así Kwh y se lee Kilovatio hora.

Esta unidad de medida se la registra por medio de un contador de energía eléctrica el cual se lo coloca después de la acometida que da servicio a la vivienda, o después de la salida de los terminales del transformador de distribución.

1.5.2 Pérdidas de Energía Activa.

En cuanto a las pérdidas de energía activa son todas las producidas por un mal manejo de la potencia activa capaz de desarrollar trabajo útil.

La energía activa puede considerarse como pérdida cuando se da por calentamiento en los conductores, en máquinas en equipos ineficientes, derroche de energía (alumbrado funcionando en horarios inadecuados), subutilización de la capacidad de carga instalada, todo esto puede ser considerado como pérdidas activas.

1.5.2.1 Pérdidas I^2R

Por el hecho de incrementarse la corriente rms con la presencia de armónicas, las pérdidas se verán incrementadas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P=RI_{RMS}^2 =R*(I_{1RMS}^2+ I_{2RMS}^2+ I_{3RMS}^2+....)$$

$$P=RI_{1RMS}^2+R*(I_{2RMS}^2+ I_{3RMS}^2+....)$$

$$P=P_{60\text{HZ}}+P_H$$

Las pérdidas se incrementan con el contenido de las armónicas. Estas pérdidas se reflejan con en el calentamiento de equipos y cables.

1.5.3 Causas que Provocan las Pérdidas de Energía Activa

Entre las principales causas se encuentran el uso de motores, transformadores y líneas de distribución.

Cuando la electricidad fluye por un conductor cierta cantidad de energía se pierde en forma de calor.

La potencia que se pierde por calor se da por la expresión $I^2 \cdot R$ de donde I es la corriente total y R es la resistencia eléctrica de los equipos, las pérdidas por **efecto Joule** (se refiere al choque entre sí y con las paredes del conductor, que ejercen los electrones en un conductor, elevando así la temperatura) se manifiestan en:

- ✓ Calentamiento de conductores
- ✓ Calentamiento de devanados de los transformadores de distribución
- ✓ Disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección.

El sobrecalentamiento en el aislamiento de los conductores es uno de los mayores problemas, lo que hace reducir la vida útil de los equipos.

En el caso de motores eléctricos, éstos convierten energía eléctrica en trabajo mecánico y en éste proceso se pierde gran cantidad de energía las cuales pueden clasificarse en dos categorías.

- ✓ Constantes, son perdidas por fricción mecánicas
- ✓ Según la carga, éstas se deben a la resistencia eléctrica de los devanados

1.6 Efectos de Distorsión en la Onda Sinusoidal.

Se dice que existe una distorsión armónica, cuando la onda sinusoidal prácticamente pura que generan las centrales eléctricas, sufre deformaciones en las redes de alimentación de los usuarios.

Fuente: CRE Cooperativa Rural de Electrificación.

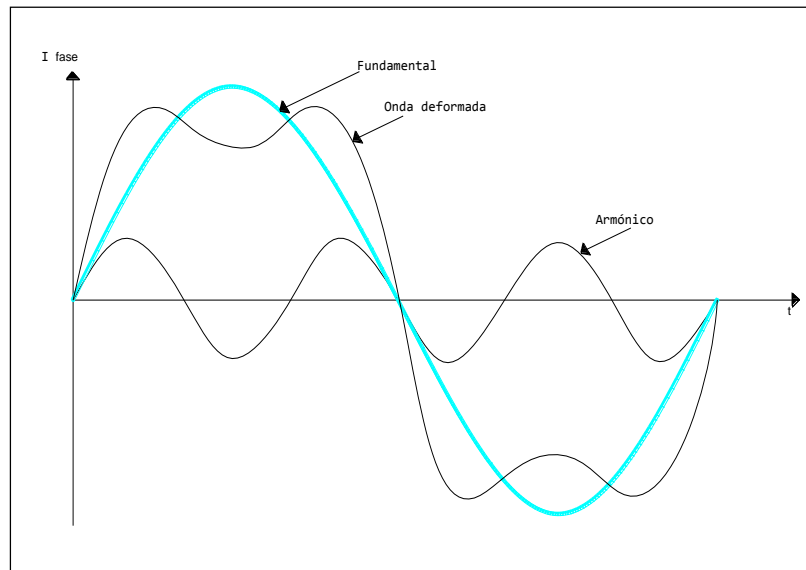


Fig. 1-12 Ejemplo de una onda de tensión deformada y sus componentes.

Entre los efectos presentados tenemos los siguientes:

- ✓ Incorrecto funcionamiento de los equipos de regulación y protección (relés).
- ✓ Pérdidas adicionales en las máquinas.
- ✓ Interferencia en los sistemas de telecomunicación.
- ✓ Reducción de la capacidad en conductores por sobrecarga.

La magnitud de los problemas que causan las tensiones armónicas en los equipos, depende del grado de deformación de la onda y la sensibilidad de estos equipos a éste tipo de perturbaciones.

Los dispositivos perturbadores son los siguientes:

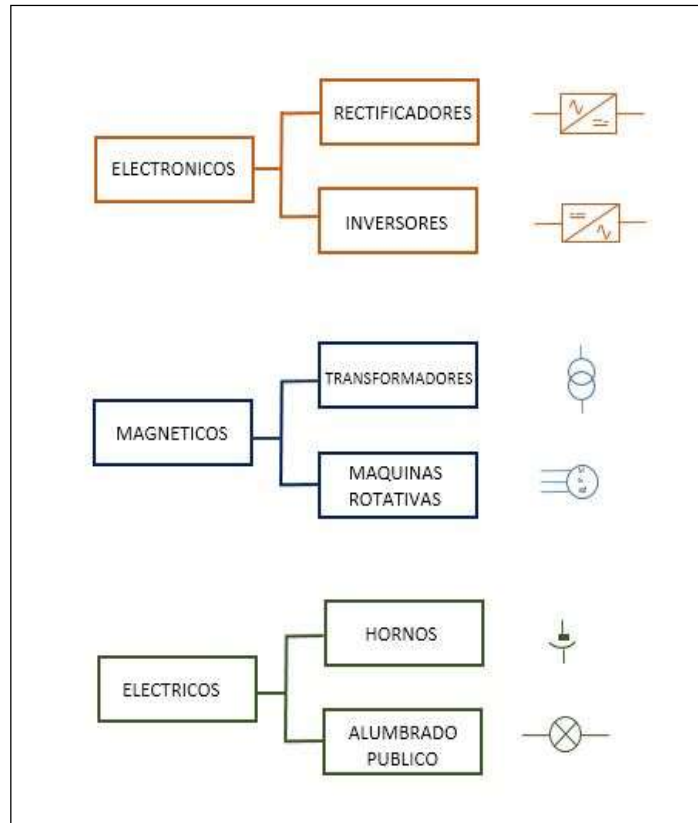


Fig. 1-13 Dispositivos perturbadores.

- Rectificadores y convertidores estáticos
- Hornos de arco
- Hornos de inducción
- Motores con control a base de semiconductores
- Transformadores y bobinas con núcleo de hierro
- Electrodomésticos con equipo de regulación
- Alumbrado de descarga

1.6.1 Desbalance de voltajes por distorsión armónica. [3]

El desbalance en los voltajes de alimentación, es un problema regular que afecta al rendimiento de las cargas sensibles, esto provoca mal funcionamiento y fallas en los equipos eléctricos y electrónicos. Por ejemplo, un voltaje trifásico desbalanceado en un motor causa la circulación de una corriente de secuencia negativa en sus devanados, ésta corriente circulante incrementa las pérdidas internas del motor,

además de incrementar el calentamiento del mismo. Si el motor está operando a una potencia cercana a su valor nominal, el sobre calentamiento generado por la corriente de secuencia negativa puede ocasionar que el motor se dañe severamente.

Se puede mencionar un sistema trifásico desbalanceado, cuando los módulos de la componente fundamental de los voltajes del sistema no son iguales y/o cuando los ángulos de desfase entre los voltajes del mismo no son iguales, esto se debe principalmente a los desbalances que existen en las cargas conectadas debido a una mala distribución desde el diseño, o también debido a la introducción de voltajes con secuencia negativa, la cual ejerce una fuerza opuesta a la creada con voltajes balanceados.

1.6.2 Armónicas de tensión. [4]

Las armónicas de tensión se producen principalmente, entre la relación de corriente armónica absorbida por las cargas no lineales y la impedancia de las fuentes del transformador de alimentación, esto está regido por la ley de OHM.

La propia red de alimentación puede ser una fuente indirecta de armónicas de tensión.

Todas las cargas que comparten un transformador o un ramal, con fuerte carga armónica podrían resultar afectadas por las armónicas de tensión producidas. En un ambiente de oficinas, los computadores son sensibles a las armónicas de tensión.

El rendimiento de la fuente de alimentación con condensadores y diodos depende de la magnitud de la tensión de pico. Las armónicas de tensión pueden provocar un achatamiento de las ondas de tensión, reduciendo de este modo la tensión pico. **Ver figura (1.14).**

Fuente: Power Expertice.

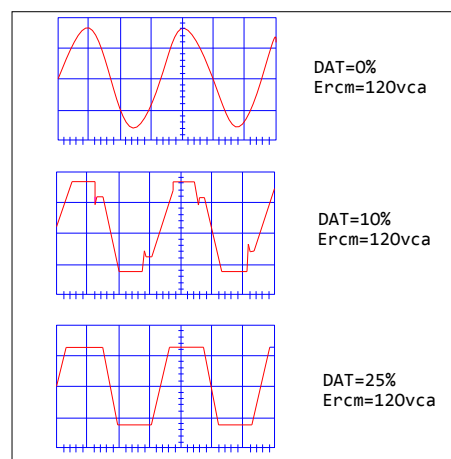


Fig. 1-14 Efecto de una carga no lineal en la distorsión armónica.

Ercm= Tensión Eficaz.

En la **tabla (1), ver anexos** se muestran cómo afectan las cargas no lineales en cuanto a los niveles de voltajes. Las cargas no lineales en aumento provocan el aumento en la distorsión armónica, es como si se redujera la tensión de entrada.

Hay que considerar que existen al menos tres situaciones que dan lugar a distorsiones armónicas en los equipos electrónicos que son:

1.- Operación con plantas de emergencia. Las plantas de emergencia son fuentes importantes de distorsión, ya que no están diseñadas para satisfacer los elevados requerimientos de corriente pico que demandan los equipos electrónicos.

2.- Líneas de alimentación muy larga o sobre cargadas.- Se puede distorsionar la forma de onda de alimentación mediante el uso intensivo de equipos de cómputo que se alimenten con líneas demasiado largas y/o subestaciones y centros de carga forzados al límite.

3.- Equipos acondicionadores de líneas o sistemas de energía ininterrumpida. Son equipos de protección que introducen una cantidad apreciable de distorsión a la salida en virtud de la característica no lineal de corriente que demanda los equipos electrónicos

Del análisis anterior se deduce que la distorsión armónica tiene un importante impacto en los equipos electrónicos.

1.6.3 Armónicas de corriente. [5]

Las armónicas de corriente son creadas por cargas no lineales que absorben corrientes en impulsos bruscos en vez de hacerlo suavemente en forma de onda sinusoidal. Estos impulsos crean ondas de corriente distorsionadas, que originan a su vez corrientes armónicas, de retorno hacia otras partes del sistema de alimentación.

Este fenómeno se manifiesta principalmente, en los equipos provistos de fuentes de alimentación de entrada con condensadores y diodos, tales como ordenadores personales UPS, diodos y equipos electro-medico.

Estos equipos están diseñados para absorber corrientes durante una sola fracción controlada de la onda de tensión de alimentación. Esto provoca armónicas de corriente de carga y con ello sobre calentamiento de transformadores.

1.6.4 Que es ruido eléctrico. [6]

Se origina por corrientes o tensiones interferentes, o indeseadas en aparatos eléctricos o sistemas. El ruido eléctrico tiene su influencia en un sistema para recoger, transmitir o elaborar información.

Las fuentes del ruido pueden ser fluctuantes o no fluctuantes.

El ruido fluctuante se define como aquel que no es predecible esperar que pueda presentar cierta regularidad estática.

Ruido no fluctuante es por lo general el resultado de radiación de otros equipos eléctricos de acoplamientos accidentales con otros sistemas o bien de oscilaciones parásitas producidas en el propio circuito.

1.7 Condiciones de Resonancia. [8]

Se menciona como una condición resonante cuando, un sistema pasa a ser de inductivo a capacitivo o viceversa, esto causa problemas muy fuertes como sobre corrientes o sobre tensiones lo cual incide directamente en fallas y destrucción de equipos.

Cuando existen cargas no lineales en un sistema, las corrientes armónicas fluyen hacia la red a través, del transformador de distribución.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

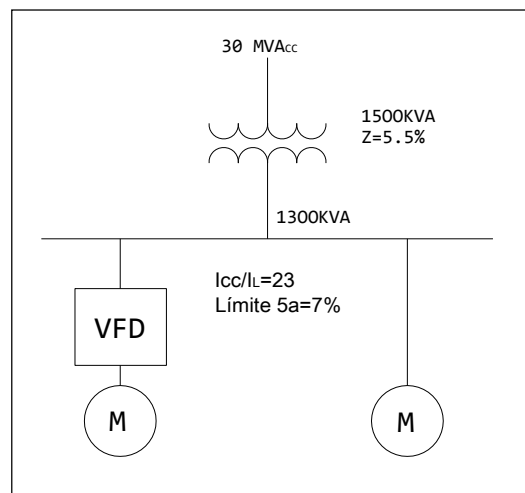


Fig. 1-15 Diagrama unifilar de una planta industrial con cargas lineales y no lineales.

Al no existir capacitores en la red, el espectro de corriente se distribuye en los diferentes componentes de la misma, sin variar su composición relativa, aunque su magnitud dependerá de sus admitancias respectivas, sin que se magnifiquen las corrientes armónicas.

Los mayores problemas en las redes eléctricas relacionados con la distorsión armónica, se presentan al instalar capacitores para compensar el factor de potencia de desplazamiento en presencia de cargas no lineales significativas.

Un voltaje con contenido armónico que alimenta a bancos de capacitores, provoca que su corriente se incremente ya que su impedancia se reduce con la frecuencia.

$$X_C = 1/(2\pi fC)$$

Ecuación 1-11 (Reactancia capacitiva)

La magnitud del incremento de la corriente eficaz con relación a la corriente nominal fundamental, es función del contenido armónico de la señal de voltaje.

$$\frac{I_{rms}}{I_1} = \sqrt{1 + 9 \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^2 + 25 \left(\frac{V_5}{V_1}\right)^2 + \dots}$$

Ecuación 1-12 (Magnitud de la corriente eficaz en relación a la corriente nominal fundamental)

Los capacitores al ser cargas lineales no generan armónicas, pero si las magnifican, produciéndose disparos frecuentes de sus interruptores o fallas en los mismos capacitores. **(Ver Anexo 14, Fig 1.16)**

La instalación de bancos de capacitores en el lado de baja tensión del transformador de distribución produce una resonancia paralela con la reactancia inductiva de la fuente.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

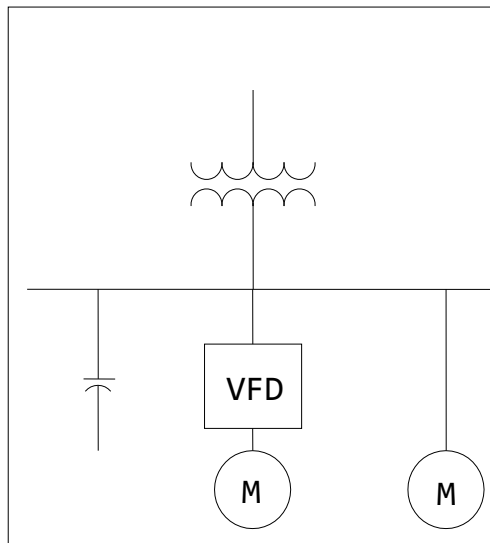


Fig. 1-16 Diagrama unifilar de una planta industrial con cargas lineales y no lineales a la que se agregan capacitores.

1.7.1 Resonancia paralelo

Se considera resonancia en paralelo, cuando las impedancias de un elemento inductivo con uno capacitivo se igualan.

En la práctica el equivalente del sistema en el que está conectado el banco de capacitores, se iguala a la impedancia equivalente del banco de capacitores (quedando en paralelo). Esto se observa en la **Figura (1.17)**

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

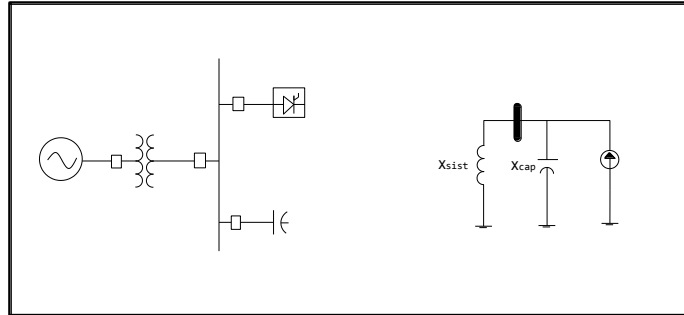


Fig. 1-17 Circuito resonante paralelo.

El equivalente paralelo esta dado por:

$$Z_{eq} = \frac{X_{sist} * X_{cap}}{X_{sist} - X_{cap}}$$

Ecuación 1-13 (Equivalente en Paralelo)

Al igualarse estas impedancias a una cierta frecuencia , la impedancia equivalente se hace infinito, al existir una fuente de corriente a esa frecuencia en paralelo, entonces se tienen sobre voltajes ocasionando grandes corrientes entre el sistema y el banco de capacitores.

$$F_{res} = \sqrt{\frac{1}{LC}} * 60 \text{ HZ}$$

$$F_{res} = \sqrt{\frac{X_{cap}}{X_{sist}}} * 60 \text{ HZ}$$

$$F_{res} = \sqrt{\frac{MVA_{cc}}{MVAR_{cap}}} * 60 \text{ HZ}$$

Ecuación 1-14 (Frecuencia de Resonancia Paralelo)

Donde MVA_{cc} es la capacidad de corto circuito donde está conectado el banco de capacitores y los $MVAR_{cap}$ es la capacidad del banco de capacitores.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

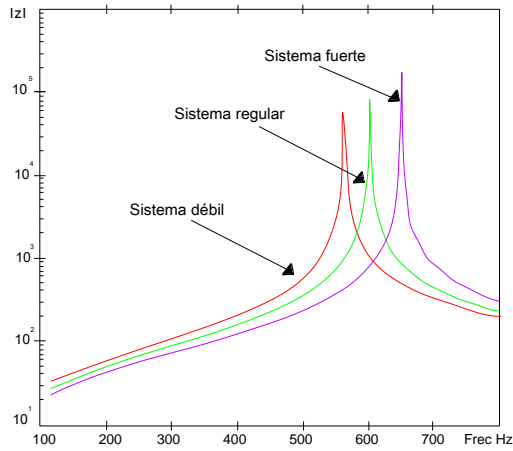


Fig. 1-18 Efecto del sistema a la resonancia en paralelo.

La Figura 1.18 indica que en la medida que el sistema es más débil, las frecuencias de resonancia se acercan más a frecuencias que pueden existir el sistema como por ejemplo la 3°, 5° y 7° armónicos lo que lleva a problemas de resonancia, ocasionando la destrucción del banco de capacitores.

1.7.2 Resonancia en Serie

Esto se da cuando una impedancia inductiva esta en serie con un capacitor. En la práctica esto se presenta comúnmente en los sistemas industriales. Ver Figura 1.19

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

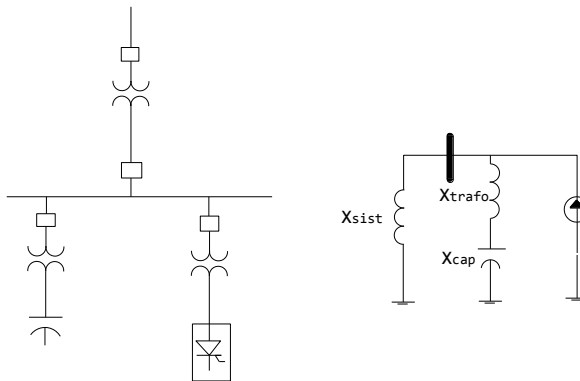


Fig. 1-19 Sistema Razonante en Serie.

Si se iguala la impedancia del transformador con la del banco de capacitores, se tiene la impedancia equivalente que está dada por la siguiente ecuación.

$$Z_{eq} = X_{trans} - X_{cap}$$

Ecuación 1-15 (Impedancia Equivalente Serie)

Al igualarse estas impedancias se tiene una equivalente igual a cero, dando como resultado una corriente de gran magnitud a través de éstos.

La frecuencia de resonancia serie está dada por la siguiente ecuación.

$$F_{\text{res}} = \sqrt{\frac{1}{L_{\text{trans}}C}} * 60 \text{ HZ}$$

$$F_{\text{res}} = \sqrt{\frac{X_{\text{cap}}}{X_{\text{trans}}}} * 60 \text{ HZ}$$

Ecuación 1-16 (Frecuencia de Resonancia Serie)

Además que también existe una resonancia paralelo con el sistema.

$$F_{\text{res}} = \sqrt{\frac{X_{\text{cap}}}{X_{\text{sist}} + X_{\text{trans}}}} * 60 \text{ HZ}$$

Ecuación 1-17 (Resonancia Paralelo con el Sistema)

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

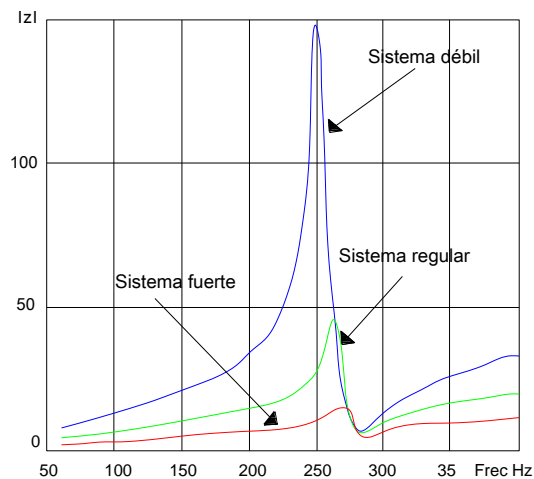


Fig. 1-20 Efecto de resonancia en serie.

Lo que nos indica la **Figura 1.20** es que en la, medida que el sistema es más débil, se tienen impedancias grandes ante la resonancia, pudiendo ocasionar sobre tensiones armónicas muy fuertes.

1.8 Efecto de las armónicas en los sistemas eléctricos. [11]

El grado de tolerancia de las armónicas en un sistema de alimentación depende de lo susceptible de la carga.

Se puede determinar, como equipos menos sensibles a los de carga resistiva, para los cuales la forma de onda no es relevante. Los más sensibles se caracterizan por ser equipos de comunicación y procesamiento de datos. Sin embargo para este tipo de cargas más susceptibles a la presencia de armónicos de tensión y corriente pueden ser perjudiciales, produciendo mayores calentamientos y esfuerzos en los aislantes.

1.8.1 Efecto de las distorsiones armónicas en cables conductores.

Por el efecto de las armónicas en la corriente de carga, los conductores sufren sobre calentamientos por desigual distribución de corrientes. Debido a éste sobrecalentamiento, se produce una diferencia entre los valores de resistencia en corriente alterna y corriente continua.

El aumento, tanto de la corriente eficaz I_{ef} , como la resistencia R , debido a la presencia de corrientes de frecuencias superiores a la fundamental, conlleva al aumento de la pérdida por efecto Joule $I_{ef}^2 * R$.

En el caso de conductores largos, los sistemas conectados tienen sus resonancias excitadas por las componentes armónicas, pueden aparecer elevadas sobretensiones a lo largo de la línea, dañando el conductor.

En la **figura (1.21)** muestra la forma de curvas en cuanto a la reducción de la capacidad de carga como función del contenido de las armónicas, donde el efecto es mayor a medida que aumenta la sección del conductor.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

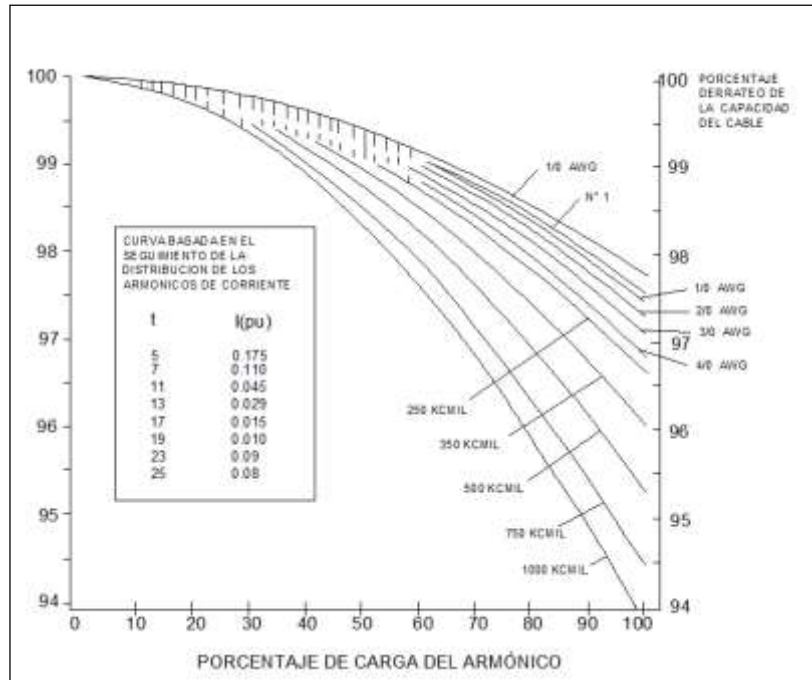


Fig. 1-21 Curva de reducción de la capacidad de carga como Función del contenido de armónica.

1.8.2 Efecto de la distorsión armónica en transformadores.

Los armónicos de tensión en los transformadores aumentan las pérdidas en el hierro, sin embargo las armónicas de corriente elevan las pérdidas en el cobre. Esta elevación se debe a la reducción del área efectiva conductora a medida que se eleva la frecuencia de la corriente.

En la **Figura (1.22)**, Se muestra el perfil de la vida útil de un transformador.

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.

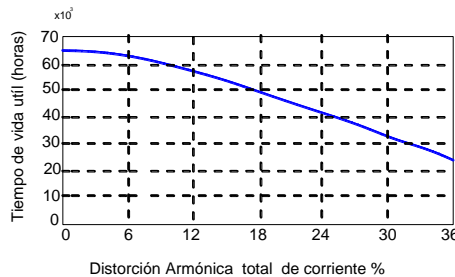


Fig. 1-22 Vida útil de un transformador en función de THDI.

Existe otro factor de pérdidas que se refiere a las corrientes inducidas por el flujo disperso. Esta corriente se refiere a los arrollamientos en el núcleo, y en las piezas metálicas adyacentes a los arrollamientos.

Estas pérdidas crecen proporcionalmente al cuadrado de la frecuencia y de la corriente.

Dadas las pérdidas adicionales en los devanados para condiciones nominales (PEC-R) las pérdidas adicionales para cualquier carga con corrientes no sinusoidales se pueden expresar como sigue:

$$P_{EC} = P_{EC-R} \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left(\frac{I_h}{I_R} \right)^2 * h^2$$

$$P_{EC} = P_{EC-R} (1 + \sum_{h=2}^{h=h_{max}} \left(\frac{I_h}{I_R} \right)^2 * h^2) (W)$$

Ecuación 1-18 (Pérdidas Adicionales en Devanados en Condiciones Nominales)

Siendo I_h el valor eficaz de la corriente para la armónica "h", I_R el valor eficaz de la componente fundamental de la corriente para la frecuencia nominal y carga nominal.

Los transformadores poseen un nivel de tensión admisible dado por las siguientes ecuaciones:

$$\sqrt{\left(\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2 \right)} \leq 5\% \text{ (a plena carga)}$$

Ecuación 1-19 (Nivel de Tensión Admisible a Plena Carga)

$$\sqrt{\left(\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2 \right)} \leq 10\% \text{ (en vacío)}$$

Ecuación 1-20 (Nivel de Tensión Admisible en Vacío)

1.8.3 Efecto de las armónicas en interruptores. [2]

Los fusibles e interruptores termo magnéticos, operan por el calentamiento producido por el valor rms de la corriente, por lo que protegen de manera efectiva a los conductores de fase y al equipo contra sobrecargas por corrientes armónicas. Por otro lado, la capacidad interruptiva no se ve afectada por las componentes armónicas en los sistemas eléctricos puesto que durante condiciones de falla, las fuentes que contribuyen a la misma son de frecuencia fundamental.

1.8.4 Efecto de armónicas en conductor de neutro. [10]

Es frecuente que el conductor de neutro en los sistemas de distribución presente corrientes elevadas sobre estos conductores.

Después de los años 90, aparecen con mayor intensidad los problemas de altas corrientes en el neutro por cargas no lineales, principalmente por el desarrollo de equipos electrónicos, presentando corrientes incluso mayores que las fases activas en ciertos casos.

En sistemas de cargas lineales, el rango de corriente no supera el 100% de la corriente de fase, sin embargo en cargas monofásicas y trifásicas no lineales provocan corrientes adicionales por el neutro que podrían sobre elevar en el caso de redes de 3 hilos más neutro hasta un 170 % de la corriente nominal de fase y en caso de tener una fase fuera de servicio hasta un 140 % de la nominal de fase.

En la **Anexo 15** se expone la distorsión armónica promedio de las fases sobre la corriente de neutro expresadas en puf (por unidad). En el caso de tres hilos más neutros, con las tres fases cargadas de forma balanceada, la corriente de neutro con distorsión armónica nula es cero, y alcanza su máximo de 173% para un THD del 70.7 %.

En el segundo caso se encuentra con una fase fuera de servicio, con las mismas condiciones de carga en las fases presentes, es del 100% sin distorsión armónica y será del 141.4 % para el THD del 70.7%.

En las siguientes figuras se exponen varios casos, el efecto del THD y los niveles de carga de las fases activas. En el **Anexo16** vemos que para niveles de THD hasta 10% no hay influencia en sobre elevaciones de corriente de neutro. Se destaca que al contar con una fase desconectada la corriente de neutro se minimizará al 86% cuando una de las fases este al 50% de la otra.

El aumento de la corriente de neutro a niveles superiores al 10% exige una combinación de THD mayores al 40 % y desbalances de carga mayores al 50%.

Para el caso de conexión a tres fases + neutro, vemos que si el THD es cero, lo será también la corriente de neutro para carga balanceada.

En el **Anexo 17**, se muestra el caso de dos fases igualmente cargadas. Las curvas indican la intensidad de neutro en por unidad p.u. en función de la tasa de carga de la tercer fase correspondiendo a un nivel de THD. Los puntos sobre la curva indican la corriente de neutro mínima en función de la carga de la tercera fase.

El **Anexo 18** muestra la corriente de neutro en p.u. que puede alcanzarse con carga lineal (THD=0). Cuando las tres fases están balanceadas, la corriente en el neutro es cero. En cambio para el resto de las condiciones de carga, la combinación de marca que siempre habrá un mínimo de corriente de neutro, como se indica en la recta trazada en el gráfico.

En los **Anexos 19 y 20** puede verse el mismo efecto frente a cargas no lineales de THD 20% y 60% respectivamente. En estos casos las corrientes del neutro no

disminuye cuando las fases tienden a balancearse. Las curvas en la medida que aumenta la tasa sobre la tercera fase, presenta un aumento.

Si existe un aumento del THD 60% la corriente de neutro sin importar el estado de carga de las fases, supera el 100% de la nominal.

1.8.4.1 Componentes que conforman la corriente de neutro.

En un análisis de la corriente de neutro, se encuentran intensidades de frecuencia de red (50/60 Hz) y también encontramos componentes armónicas, que al ordenarlas por magnitud dominante se la conoce como homopolares, reconocidas por ser aquellas múltiplos de tres, luego las armónicas impares y por último las pares.

$$I_{\text{NEUTRO}} = I_{50 \text{ HZ}}^1 + I_{\text{HOMOPOLARES}}^H + I_{\text{IMPARES}_{(1)}}^H + I_{\text{IMPARES}_{(2)}}^H$$

(1) Impares o múltiplos de 3

(2) Pares no múltiplos de 3

Ecuación 1-21 (Componentes de Corriente de Neutro)

La presencia de la componente de 50/60 Hz en el neutro, es a causa del desbalance de la carga en cada fase y por falta de simetría en la terna de tensiones.

La presencia de componentes armónicas homopolares, o sea de la frecuencia de múltiplos de 3 (150, 300, 450) tienden a cancelarse en el punto común neutro y aportan al neutro una corriente homopolar armónica total equivalente a la suma directa de las intensidades armónicas en cada fase.

Sin embargo las armónicas pares e impares, no múltiplos de tres se sumarán en forma fasorial, respetando su magnitud y su ángulo, de manera que el aporte armónico total será menor a las nominales armónicas de las fases.

Las corrientes armónicas en el neutro, generan incremento en la temperatura en el conductor, aumentando las pérdidas óhmicas, disminución de la capacidad amperimétrica del conductor, incremento de la tensión neutro – tierra, la cual es una forma de ruido en modo común que depende de la corriente que circula por el conductor neutro y distorsión armónica de tensiones de las fases.

1.8.5 Efecto de las armónicas en banco de capacitores.

En un banco de capacitores, el mayor problema es la posibilidad de resonancias excitadas por las armónicas, pudiendo producir niveles excesivos de corriente y/o tensión. Además de eso, como la reactancia capacitiva disminuye con la frecuencia, se tiene un aumento de las corrientes relativas a las armónicas presentes en la tensión.

Las corrientes de alta frecuencia, que encuentran un camino menor de impedancia por los capacitores, elevan sus pérdidas óhmicas por lo que producirá un continuo calentamiento en el dispositivo acortando la vida útil del mismo.

En la **Figura (1.23)**, Muestra un ejemplo de corrección de factor de potencia de una carga y que lleva a la resonancia del sistema.

Fuente: “Neutral Current in Three Phase Wye System” Robert Arthur and R. A. Shanahan.

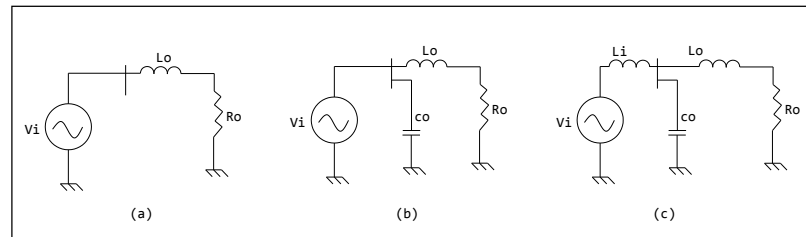


Fig. 1-23 Circuitos equivalentes para el análisis de resonancia.

Luego en el **Anexo 21**, muestra las gráficas de tensión y de corriente de la fuente en los diferentes circuitos.

Supongamos que el sistema de alimentación posea una reactancia inductiva, lo cual interactúa con el capacitor y una resonancia serie (que conduce a un corto circuito en la frecuencia de sintonía). En el caso de tensión de alimentación posea una componente en esta frecuencia, ésta armónica será amplificada.

Las normas **ANSI/IEEE Std. 18-1980** especifican las siguientes exigencias para capacitores en régimen permanente.

- 135 % de potencia nominal de chapa.
- 110 % de tensión nominal (incluidas las armónicas, pero excluidos los transitorios).
- 180% de corriente nominal (fundamental y armónica).
- 120% de tensión de pico, incluyendo armónicas.

1.8.6 Efecto en motores de inducción.

En los motores eléctricos, ya sean máquinas rotativas de inducción o sincrónica se da el aumento del calentamiento debido, a que incrementan las pérdidas en el hierro y el cobre, además, afecta la eficiencia de la máquina y el torque disponible. También se experimenta un incremento del ruido audible, cuando es comparado con una alimentación sinusoidal.

Si observamos la **Figura 1.24**, se observa el aumento de las pérdidas en función al THDV, podemos recordar que las pérdidas por histéresis son proporcionales a la

frecuencia, mientras que las pérdidas por corrientes parásitas, son proporcionales al cuadrado de la frecuencia.

Fuente: “Neutral Current in Three Phase Wye System” Robert Arthur and R. A. Shanahan.

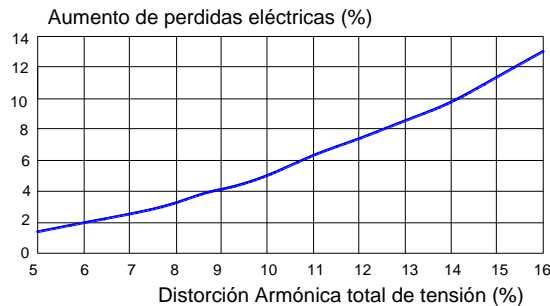


Fig. 1-24 Pérdidas eléctricas de un motor en función al THDV.

Cuando el motor se alimenta con tensiones y corrientes no sinusoidales, el campo magnético en el entrehierro y las corrientes del rotor, contienen componentes de frecuencia armónica.

Las armónicas pueden ser de secuencia positiva, negativa o secuencia cero.

Las armónicas de secuencia positiva (1, 4, 7, 10, 13, etc.) producen campos magnéticos y corrientes que giran en el mismo sentido, de la fundamental. Las armónicas de secuencia negativa (2, 5, 8, 11, 14, etc.) desarrollan campos magnéticos y corrientes que giran en el sentido opuesto a la fundamental. Las armónicas de secuencia cero (3, 9, 15, 21, etc.) no desarrollan un par útil, pero producen pérdidas adicionales en la máquina,

La interacción de los campos magnéticos de la secuencia positiva y negativa, producen oscilaciones torsionales en el eje del motor provocando vibraciones.

Un incremento en las pérdidas se traduce en una disminución de la eficiencia y la vida útil de las máquinas.

1.8.7 Distorsión Armónica en Sistemas y Equipos Electrónicos.

Los equipos electrónicos actuales, son muy sensibles a cambios producidos en el voltaje de alimentación de los mismos. Tal es así las computadoras, los módems, las tarjetas electrónicas complejas de captación de datos de comunicación, etc.

Estos equipos mencionados al estar constituidos por complejas y delicadas configuraciones de elementos de baja potencia, necesitan de una fuente de alimentación muy estable, que les provea de un voltaje de rizado casi nulo. Para esto se necesita de una fuente primaria de alimentación de ac y de un bloque rectificador con fuente de voltaje estabilizada.

Los equipos que están sometidos a voltajes distorsionados por armónicas durante prolongados periodos de tiempo, pueden presentar daños irreparables y en la mayoría

de los casos provocan la inutilidad total del equipo en cuestión. Las computadoras y equipos relacionados con controladores programables requieren fuentes de voltaje de CA con factor de distorsión no más del 5%.

Para el caso, de equipos que necesitan de un potencial de tierra nulo, sí éstos están conectados a conductores de neutro por los cuales circulan corrientes de armónicas, entonces se verán sometidos a voltajes de neutro a tierra y puedan causar daños a los equipos.

1.8.8 Distorsión Armónica en Alumbrado.

En la actualidad el uso de lámparas fluorescentes, es una alternativa a los altos costos de energía, pero esto ha dado como consecuencia más investigación en tecnología de iluminación más eficiente. Sin embargo, el lado negativo del uso masivo de lámparas fluorescentes ha sido la generación de armónicas.

Las lámparas incandescentes por ser lineales, producen la circulación de corriente fundamental, al ser alimentadas por una fuente de voltaje sinusoidal de la misma frecuencia. Las lámparas son cargas no lineales por naturaleza, por lo tanto al aplicarles un voltaje sinusoidal, se produce una circulación de corrientes no sinusoidales a través de ellas.

1.8.9 Distorsión Armónica en Instrumentos de Medición. [14]

La presencia de armónicos en un sistema afecta a los instrumentos de medición, es por tal motivo que hay que tener cierta precaución al realizar una lectura con un instrumento de medición, a continuación veremos algunos tipos de instrumentos.

1.8.9.1 Instrumentos de Aguja de Tipo Electro Dinamómetro.

Su uso más frecuente es en la industria. Su principio de funcionamiento es tal que indica el verdadero valor efectivo de la onda. Se emplean inductancias y solo se consideran usualmente hasta la quinta armónica, su mayor inconveniente es la calibración ya que al existir piezas mecánicas giratorias al roce provoca un error en la lectura.

1.8.9.2 Instrumentos Digitales con Rectificadores a la Entrada.

La mayor parte de los instrumentos de medición digitales, disponen en su entrada de un rectificador, de tal modo que miden el valor medio de la onda rectificada. Por cierto, si la onda es sinusoidal el instrumento es de buena precisión, pero si la onda tiene armónicas, el instrumento mide un valor inferior al valor eficaz. En la medición de corrientes como las registradas en computadores, el instrumento mide un 30% menor que el valor efectivo (rms) de la corriente.

En la **tabla 3** muestra valores reales medidos en un edificio de oficinas.

1.8.9.3 Instrumentos de Verdadero Valor Efectivo.

Por lo general en estos instrumentos digitales, se emplea un sensor que registra la elevación de la temperatura por una resistencia por la cual circula corriente a medir. Por tal motivo, el instrumento mide el valor efectivo de la corriente, o el voltaje incluyendo todas las armónicas.

1.8.9.4 Instrumentos Para Medir Armónicas.

Para determinar el contenido armónico de corriente o voltaje se emplea un medidor de armónicas, las que en general despliegan en pantallas las formas de ondas, el valor de la fundamental, de cada armónica, el valor efectivo, el valor máximo de la distorsión total.

La **Tabla 4** resume las características técnicas que precisan mediante cifras numéricas, la presencia anormal del fenómeno.

Los efectos de la distorsión armónica se resumen en la **Tabla 5** y para disminuir los problemas de la distorsión armónica se muestra en la **Tabla 6**.

1.8.9.5 Punto de Medición del Nivel de Armónicas

Para realizar la medición de armónicos se debe aplicar en la acometida, es decir donde la compañía que suministra servicio entrega energía al usuario en cuestión y a partir de ahí puede alimentar a otros usuarios.

Fuente: Centro de Promoción del uso del Cobre.

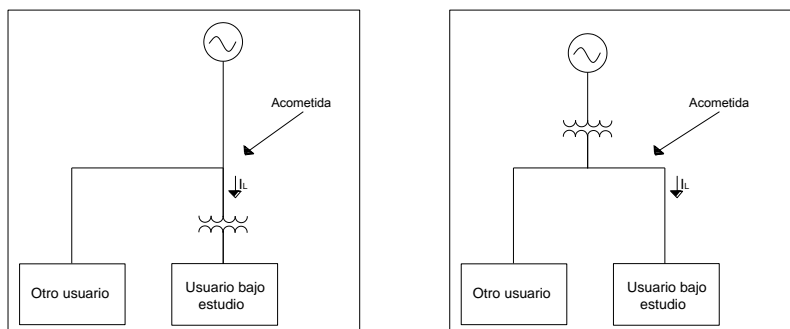


Fig. 1-25 Punto de medición del nivel de armónicas.

1.8.10 Armónicas en Sistemas Trifásicos.

Un sistema trifásico está constituido por tres voltajes de igual amplitud, pero desfasados en 120°.

$$V_{AN} = V_{m1} \cos(\omega\tau + \phi_{v1})$$

$$V_{BN} = V_{m1} \cos(\omega\tau + \phi_{v1} - 120^\circ)$$

$$V_{CN} = V_{m1} \cos(\omega\tau + \phi_{v1} + 120^\circ)$$

Si suponemos que, conectado a la fase A se tiene un consumo no-lineal:

$$I_A = I_{m1} \cos(\omega\tau + \phi_{I1}) + I_{m3} \cos(3\omega\tau + \phi_{I3}) + \dots$$

Si en la fase B se tiene conectado un consumo idéntico, la corriente será idéntica pero desplazada en 120.

$$I_B = I_{m1} \cos(\omega\tau - 120^\circ + \phi_{I1}) + I_{m3} \cos(3\omega\tau - 120^\circ + \phi_{I3}) + \dots$$

Los puntos de corriente deben coincidir con los valores máximos de cada voltaje.

Así, en cada fase, se tendrá los mismos pulsos pero corridos en 120°. Analíticamente, entonces, la armónica 3 se desplaza en 3 veces 120° (o sea 360°) mientras la fundamental sólo en 120°. Análogamente, la armónica 5 se desplaza en 5 veces 120° y así sucesivamente.

Las corrientes por el conductor de neutro son:

$$I_N = I_A + I_B + I_C$$

Se puede observar gráficamente, en el **Anexo 22**, en el que se observa que, la corriente de neutro es de armónica 3. Analíticamente:

$$\begin{aligned} I_B = & I_{m1} \cos(\omega\tau + \phi_{I1}) \\ & + I_{m3} \cos(\omega\tau - 120^\circ + \phi_{I1}) + I_{m1} \cos(\omega\tau + 120^\circ + \phi_{I1}) \\ & + I_{m3} \cos(3\omega\tau + \phi_{I3}) + I_{m3} \cos(3\omega\tau - 120^\circ + \phi_{I3}) \\ & + I_{m3} \cos(3\omega\tau + 120^\circ + \phi_{I3}) \end{aligned}$$

Al sumar las corrientes desplazadas en 120 grados el resultado es nulo; las que quedan desplazadas en 360° no se anulan: se suman. De este modo:

$$I_N = 3I_{m3} \cos(\omega\tau + \phi_{I3}) + 3I_{m9} \cos(9\omega\tau + \phi_{I9}) + \dots$$

Supongamos que en un sistema con idéntico consumo no-lineal, en las tres fases, circula una corriente por el neutro igual a 3 veces la corriente de armónica 3 que circula por una fase. Esto quiere decir que si un consumo, se constituye de elementos que tienen componentes electrónicos, la corriente del neutro será superior a la corriente de fase y éste deberá dimensionarse tomando en consideración lo anterior.

1.8.11 Efectos de los Armónicos en la Mala Calidad de la Energía.

Las cargas no lineales, generan corrientes armónicas que están desfasadas noventa grados con respecto al voltaje que las produce, de tal manera que produce una potencia de distorsión de la fuente a la red y viceversa, que solo es consumida como pérdidas por efecto Joule, que se transforman en calor.

A continuación se menciona algunos efectos nocivos producidos por el flujo de corrientes armónicas.

- ✓ Aumento en las pérdidas por efecto Joule ($I^2 \cdot R$).
- ✓ Sobre calentamiento en conductores del neutro.
- ✓ Sobre calentamiento en motores, generadores, transformadores y cables, reduciendo su vida útil.
- ✓ Vibración en motores y generadores.
- ✓ Falla de bancos de capacitores.
- ✓ Falla de transformadores.
- ✓ 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.

Estos efectos van a depender en gran parte de la relación entre la carga no lineal y la carga total del sistema, tomando en cuenta que la carga no lineal debe de mantener la distorsión dentro de los límites establecidos por la norma, por lo general ésta debe representar menos del 20 % de la carga total, según indica los límites establecidos en la norma **IEEE 519**, sin que exista la necesidad que exista ningún tipo de filtrado.

Puede ocurrir en ciertos sistemas industriales, donde existen cargas no lineales, puedan tener problemas de funcionamiento que son atribuibles a sistemas de puesta a tierra, donde se debe proceder a identificar el problema antes de pensar en tomar acciones correctivas en cuanto a requerir la instalación de filtros o protecciones.

Los problemas causados por la distorsión armónica, ocurren usualmente cuando la carga no lineal representa más del 20% de la total y por la presencia de bancos de capacitores se presentan condiciones de resonancia.

1.9 Reducción de Armónicas.

Es muy importante realizar análisis de energía con la finalidad de reducir el fenómeno de las armónicas. En la mayoría de las industrias, se busca optimizar los

niveles de factor de potencia para que sean valores superiores a 0.90 y evitar penalizaciones por parte de las empresas distribuidoras. La tendencia es que estos valores estén lo más cercanos a la unidad, y para lograr estos niveles normalmente se instalan bancos de capacitores que pueden provocar resonancias paralelas en el rango de la 3ª y 16ª armónica.

Es importante considerar que en una red en la que la carga no lineal con respecto a la carga total, es solo el 10 %, no se debe considerar la instalación de capacitores ya que la distorsión armónica se incrementará provocando problemas en los equipos. En casos que usuarios solo tienen cargas lineales, experimentan fallas en sus capacitores y distorsión en voltaje debido a la importación de armónicas de otros usuarios que se alimentan de la misma red de alta tensión.

Fuente: Centro de Promoción del uso del Cobre.

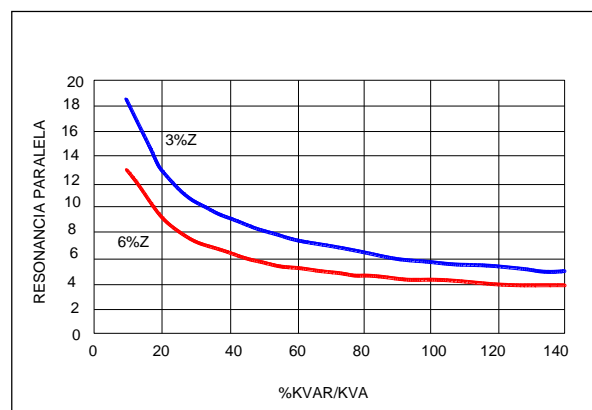


Fig. 1-26 Armónica en que ocurre la resonancia paralela en función de la relación KVA capacitores / KVA transformador para voltajes secundarios de 480V e impedancia del transformador de 3% y 6%.

En los sistemas eléctricos donde el contenido armónico de las señales está afectando su desempeño, se instalan filtros, con el propósito de reducir la distorsión, aproximando dichas señales a la forma de onda sinusoidal.

Los filtros son equipos cuyo propósito es interactuar con una frecuencia específica o rango de frecuencias de una señal dada, teniendo el mayor impacto cuando se instalan los más cercanos posible a las cargas no lineales.

1.10 Efectos asociados a la reducción de armónicas

Con la reducción de armónicas se obtienen beneficios tales como:

- ✓ Elevación del factor de potencia
- ✓ Reducción de consumo de energía reactiva de las redes de C.F.E.
- ✓ Reducción de pérdidas producidas por efecto Joule ($I^2 \cdot R$)
- ✓ Prolongar la vida de equipo electrónico

- ✓ Reducción de sobrecalentamientos en el cableado
- ✓ Reducción de pérdidas en transformadores
- ✓ Incremento en la eficiencia y prolongación de la vida útil de los motores.

1.11 Trayectoria de las armónicas.

Partimos del concepto de que la corriente eléctrica fluye por donde se le presenta menor resistencia a su paso. Es esta la razón que las corrientes armónicas siguen trayectorias distintas, pues se tiene que las impedancias de los sistemas varían según la frecuencia, donde se tiene que la reactancia inductiva se incrementa con la frecuencia en menor medida, sin embargo la reactancia capacitiva, disminuye con la frecuencia. Ver **Figura 1.27**

Fuente: Centro de Promoción del uso del Cobre.

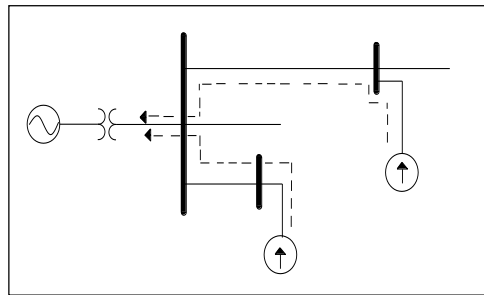


Fig. 1-27 Trayectoria de las armónicas en un sistema inductivo.

Más sin embargo, si se incluye banco de capacitores como se observa en la **Figura 1.28** da lugar a trayectorias distintas para las armónicas

Fuente: Centro de Promoción del uso del Cobre.

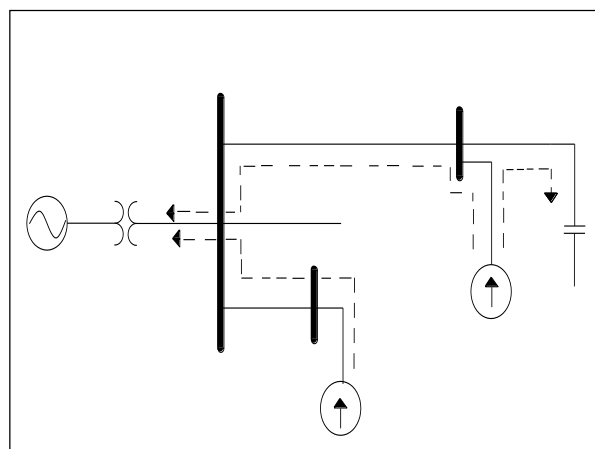


Fig. 1-28 Efectos de los capacitores en las trayectorias de las armónicas.

La trayectoria va a depender del tipo del sistema, ya sea monofásico, trifásico, así como el tipo de conexiones que se encuentren a su paso. Las armónicas en sistemas balanceados, tienen relación directa con las componentes de secuencia positiva, negativa y cero. Esto si se supone un sistema trifásico balanceado.

CAPITULO II

2 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION.

2.1 Programación Básica FLUKE 435.

La selección de las funciones de medida y el ajuste de los valores de configuración se realiza mediante menús en pantalla. En esta sección se explica cómo utilizar dichos menús.

Como ejemplo, en el **Anexo 23** se explica cómo ajustar la fecha del reloj de tiempo real y el contraste:

2.2 Diagramas de Conexiones Principales a utilizar.

2.2.1 Conexiones de Entrada.

El analizador cuenta con 4 entradas BNC para pinza amperimétrica y 5 entradas tipo banana para tensiones. Se suministran etiquetas autoadhesivas que se corresponden con los códigos de color del cableado para EE.UU., Canadá, Europa continental, Reino Unido y China. Adhiera los autoadhesivos que correspondan a sus códigos de cableado locales alrededor de las entradas de corriente y tensión.

Siempre que sea posible, elimine la tensión de los sistemas eléctricos antes de realizar las conexiones. Evite trabajar solo y siga los avisos señalados en la sección ‘Información sobre seguridad.

En sistemas trifásicos, realice las conexiones tal y como se muestra en el **Anexo 24** Coloque primero las pinzas amperimétrica alrededor de los conductores de fase A (L1), B (L2), C (L3) y N (Neutro). Las pinzas están marcadas con una flecha que indica la polaridad de señal correcta.

A continuación, lleve a cabo las conexiones de tensión: comience con la toma de tierra y luego siga con N, A (L1), B (L2) y C (L3), sucesivamente. Para obtener un resultado correcto cuando realice las medidas, conecte siempre la entrada de tierra. Compruebe siempre dos veces las conexiones. Asegúrese de que las pinza amperimétrica está firmemente conectadas y completamente cerradas alrededor de los conductores.

Para medidas monofásicas, utilice la entrada de corriente

A (L1) y las entradas de tensión de tierra, (Neutro) y fase

A (L1) es la fase de referencia para todas las medidas.

Antes de realizar ninguna medida, configure el analizador para la tensión, frecuencia y configuración del cableado del sistema eléctrico que desea medir. Dicha operación se explica con detalle en la sección.

2.3 Capacidad de Medición.

2.3.1 Descripción General de los Modos de Medida.

En esta sección, se ofrece una descripción general de todos los modos de medida. La información en pantalla y el uso de las teclas de función del analizador se explica con más detalle en los dos capítulos siguientes. **Ver Tabla 7.**

2.4 Operaciones Básicas del Equipo.

2.4.1 Símbolos en Pantalla.

Pueden aparecer diversos símbolos en la zona superior e inferior de la pantalla para indicarle el estado del analizador y las medidas. **Ver Anexo 25**

2.4.2 Pantallas y Teclas de Función.

El analizador cuenta con cinco tipos de pantalla diferentes, para mostrar los resultados de las medidas.

Cada tipo de pantalla, está organizado para presentar los datos de la forma más clara posible. Las fases se indican por medio de colores determinados. Las selecciones se llevan a cabo mediante las teclas de flecha y de función, la selección activa queda resaltada por un fondo negro. A continuación, se explican los detalles de cada pantalla y sus funciones. Lea atentamente esta sección para familiarizarse con todas las funciones del analizador. **Ver Anexo 26**

2.4.3 Pantalla Multímetro.

Esta pantalla ofrece un rápido resumen de los valores numéricos más importantes de la medida. Ejemplo de la pantalla Multímetro en el modo Voltios/Amperios/Hz. Información en pantalla: **Ver Anexo 27**

2.4.4 Pantalla de Tendencia

La pantalla Tendencia muestra los cambios durante un periodo de tiempo de los valores de medida en una fila de la pantalla Multímetro. Se muestra como ejemplo la tabla TENDENCIA VOLT./AMP./HZ. El tiempo aparece de forma horizontal. Los datos de la pantalla se inician desde el lado derecho. Para permitir una grabación continua de los datos, el eje del tiempo se comprime cuando es necesario.

Ver Anexo 28 y Anexo 29

2.4.5 Pantalla de Forma de Onda

Se muestra como ejemplo la pantalla, “**Forma de onda de Osciloscopio**”. Las formas de onda de tensión y corriente se muestran de forma similar a un osciloscopio. **Ver Anexo 30**

2.4.6 Pantalla de Diagrama Fasorial.

Muestra la relación de fases entre las tensiones y las corrientes en un diagrama fasorial. Se muestra como ejemplo la pantalla Diagrama fasorial.

Ver Anexo 31

2.4.7 Pantalla de Grafico de Barras.

Se muestra como ejemplo el gráfico de barras de Supervisión de la calidad eléctrica. Esta pantalla permite comprobar rápidamente si los parámetros básicos de calidad eléctrica se ajustan a los requisitos.

Entre los parámetros se incluyen tensiones de valor eficaz, armónicos, parpadeo (flicker) de tensión, cambios rápidos de tensión, fluctuaciones, interrupciones, desequilibrios, frecuencia y transmisión de señales. La longitud de una barra aumenta si el parámetro relacionado está alejado de su valor nominal. La barra gráfica tiene una base más gruesa, que indica un porcentaje ajustable por el usuario del tiempo que el parámetro debe permanecer dentro de los límites especificados: por ejemplo, el 95% de las lecturas sobre periodos de observación de 10 minutos debe estar dentro de dicho nivel. Su parte superior, más estrecha, indica el límite fijo del 100%. Si alguno de estos límites se supera, la barra en cuestión cambia de verde a rojo. Las líneas horizontales de puntos indican ambos límites en la pantalla.

Puede utilizar un conjunto predefinido de límites o definir uno personalizado. Se muestra un ejemplo de un conjunto predefinido de límites conforme al estándar **EN50160**.

Se puede acceder a la Supervisión de la calidad eléctrica por medio de la tecla MONITOR (Supervisión) y un menú para el inicio inmediato o programado.

Los valores de medida de la barra gráfica seleccionada con el cursor se muestran en el encabezado de la pantalla. **Ver Anexo 32**

2.5 Configuración del Analizador.

La tecla SETUP (Configurar), le permite acceder a un menú para configurar el analizador de acuerdo con sus requerimientos de medida.

Ver Anexo 33

Nota: los límites permiten acceder a distintos submenús para recuperar, personalizar y guardar 6 categorías con criterios de la calidad eléctrica. Las teclas de función dan acceso a diferentes submenús que permiten realizar los siguientes ajustes:

Ver Anexo 34

2.5.1 Almacenamiento de Pantallas.

Ver Anexo 35

2.5.2 Utilización de la Tecla MEMORY

La tecla MEMORY (Memoria) le permite acceder a un menú con opciones para guardar, recuperar, imprimir y eliminar datos y copias de pantallas. Un archivo de datos incluye pantallas, tendencias, pantallas del Multímetro, valores y límites. Tras recuperar algún valor, puede utilizar las funciones del cursor y del zoom.

Las teclas de función permiten realizar las siguientes selecciones:

Ver Anexo 36

2.6 Cámara Termo gráfica Marca VISIR640.

Todo en nuestro entorno emite radiación de infrarrojos. El detector de micro bolómetro de **VisIR** enfoca los infrarrojos mediante la óptica Germanium, de manera bastante similar a como una cámara normal enfoca la luz visible. El detector es sensible a los infrarrojos; por su parte, los componentes electrónicos y el microprocesador de la cámara traducen los datos del detector en una pantalla observable por las personas y una temperatura basada en la calibración de la cámara. La cámara no tiene conocimiento alguno del tipo de objetivo cuya imagen está capturando ni de la distancia a la que se encuentra.

Estos parámetros afectan el modo en que el objetivo emite los infrarrojos (su emisividad) y cuánta energía es absorbida por la atmósfera. La cámara utiliza los parámetros matemáticos incorporados para calcular la temperatura del objetivo de la imagen basándose en los parámetros locales y de radianza de los infrarrojos detectados, por ejemplo, la emisividad y la temperatura ambiente introducida por el usuario. Para facilitar este trabajo al operario, la cámara incluye una biblioteca de emisividad relacionada con el material objetivo típico. En muchos casos, los valores predeterminados ofrecerán una precisión razonable en la medición de la temperatura. Una medición de temperatura exacta exige la emisividad correcta.

2.6.1 Características Básicas.

La pantalla tiene tres áreas principales:

- El área de la imagen donde se muestran las imágenes de infrarrojos y visuales.
- El área de menús donde se controlan las funciones de software.
- La barra de herramientas de inicio rápido que ofrece acceso a las funciones utilizadas con más frecuencia. **Ver Anexo 37**

El área de imagen tiene una resolución de 640x480 o de 320x240 píxeles, la que coincide con la resolución de la imagen de infrarrojos de VisIR. El área de imagen puede mostrar la imagen de infrarrojos, la imagen visual o una combinación de

ambas, mediante la función PiP (imagen en imagen), la función Fusión o la función Pantalla dividida.

También es posible comparar la imagen en directo con una imagen guardada. Hacia el lado derecho del área de imagen hay una representación en forma de barra de la paleta seleccionada. A cada extremo de la barra de la paleta hay una notificación del rango de la imagen. Al presionar cualquiera de los avisos de rango aparecerá el control de rangos de la imagen en el área de menús. Al presionar la barra de la paleta aparecerá el control Paleta e isoterma en el área de menús.

Una función muy útil de VisIR es la descripción de los menús mediante texto deslizante. Es decir, en lugar de presentarle un texto limitado del menú, se va mostrando cíclicamente una descripción completa para que pueda saber con claridad lo que hace cada función.

2.6.2 Programación Básica.

El menú Herramientas muestra las distintas funciones de la cámara:

La jerarquía de menús mostrada anteriormente ilustra los menús que aparecen a la derecha cuando se agrega una herramienta de punto. Una vez seleccionada la herramienta deseada en el menú principal, la función general de la misma se presenta como adición, eliminación y almacenamiento de herramientas.

Una vez agregado un punto (en este caso el Punto 3), aparece el menú de propiedades de la herramienta (menú 4 anterior). Las herramientas se pueden mover por la pantalla táctil con el lápiz electrónico suministrado; si prefiere moverlas con el joystick solamente, seleccione la opción "Mover". Los puntos se pueden colocar manualmente de esta forma o pueden seguir el Calor automático o Frío automático.

La herramienta puede estar en uno de los diversos colores entre los que se puede elegir en el menú. Los valores de la herramienta se pueden usar para accionar las alarmas y estas se pueden configurar en el cuadro de diálogo de configuración de alarma (consulte a continuación). **Ver Anexo 38**

La alarma se puede configurar para que se accione como alarma alta o baja. Las opciones de configuración disponibles son: emitir un sonido con el archivo WAV especificado, capturar una imagen, o ambas acciones.

Ver Anexo 39

El cuadro de diálogo de calibración le permite seleccionar los valores de temperatura de fondo y de emisividad para cada herramienta individual. Esta función mejora la precisión de la lectura de temperatura de las herramientas y resulta muy útil si la emisividad del objetivo es muy distinta a la del resto de la escena.

Las herramientas de área, como Cuadrado y Círculo, identifican una región de interés en la pantalla de la cámara y pueden mostrar las temperaturas mínima, media y máxima. Esta información se puede usar para aplicar automáticamente el rango de la pantalla, si fuera necesario. Esto es útil cuando el objetivo tiene una temperatura bastante diferente a la del resto de la escena.

A diferencia de la herramienta de punto, los cuadrados, círculos y perfiles se pueden cambiar de tamaño y moverse cuando la función está seleccionada. Hay una opción que permite que los puntos caliente y frío sigan automáticamente el punto más frío y el más caliente dentro de la imagen.

2.6.2.1 Herramienta Diferencia.

Como su propio nombre indica, **la herramienta diferencia** ofrece una función nueva que muestra la diferencia entre los resultados relevantes de las dos herramientas de interés.

Se seleccionan las dos y luego se conectan en pantalla mediante una línea con los resultados de diferencia al lado. **Ver Anexo 40**

2.6.2.2 Herramienta Perfil.

El perfil dibuja en pantalla un gráfico en tiempo real de las temperaturas relativas y las indica al pasarle el cursor: rojo para máxima, azul para mínima y verde para media. El color de la herramienta y el límite los puede elegir el usuario.

Ver Anexo 41

2.6.2.3 Eliminación de Herramientas.

Es muy fácil quitar las herramientas del menú. Basta con marcar las casillas de las herramientas que desea quitar y presionar Aceptar. También es posible guardar y recuperar un perfil de conjunto de herramientas. **Ver Anexo 42**

2.6.2.4 Monitor de Alarmas.

Si la herramienta se ha seleccionado como entrada para el monitor de alarmas, los valores de esa herramienta se usarán para accionar la pantalla del monitor de alarmas. Se muestra la temperatura objetivo, y si es alta o baja. Debajo se indica la temperatura real de la herramienta.

Cuando el estado de la alarma no se cumple, aparece en verde con un indicador verde debajo. Si el estado de alarma se cumple, entonces los elementos se mostrarán en rojo.

Si la alarma está definida para capturar una imagen, aparecerá una mini galería de las imágenes más recientes en la parte inferior del cuadro de diálogo. A la pantalla del monitor de alarmas se accede a través del menú Pantallas (Menú principal > Visualización > Pantallas).

2.6.2.5 Visualización.

El menú Visualización permite al usuario personalizar los elementos de la pantalla, desde cómo se ven las herramientas a qué unidades se utilizan, es decir, °C o °F. Se puede elegir una visualización combinada de los datos de imágenes visuales o de infrarrojos. Una potente función de VisIR es la flexibilidad que ofrecen las superposiciones de los datos de imagen.

2.6.2.6 Imagen en Imagen.

Imagen en imagen (o PiP) presenta la imagen visual como superposición sobre la imagen de infrarrojos. La posición y el tamaño de la superposición son seleccionables por el usuario.

2.6.2.7 Fusión y ThermAlign™.

La opción Fusión combina los datos visuales y de infrarrojos en una sola imagen. Esta práctica función le permite ver las imágenes de canal visual y ver también los datos de canal térmico en aquellos lugares de la imagen que superan el umbral de calor determinado. Esto significa que obtiene la información situacional más precisa a medida que realiza la inspección, pero también que sabrá de inmediato cuándo algún elemento del campo de visión está por encima de la temperatura.

Por regla general, las inspecciones se realizan periódicamente. La termo grafía de cada objetivo de una inspección se realiza de forma metódica y se pueden medir los cambios de una inspección a otra. Esto constituye la base del mantenimiento predictivo. Es importante asegurarse de que la imagen de cada objetivo se realiza desde la misma posición.

La función ThermAlign™ le ayuda a conseguir esto mediante la presentación de una imagen recuperada (es decir, una imagen del mismo objetivo pero de una inspección anterior) y su superposición sobre la imagen en directo. La idea es colocarse de tal modo que las imágenes se superpongan *exactamente* una encima de otra. Si esto es así, puede estar seguro de que se encuentra en la misma posición desde la que realizó la inspección anterior, o prácticamente la misma.

2.6.2.8 Tendencia.

La vista Tendencia incluye varias opciones y funciones para generar tendencias a partir de los valores de la herramienta.

La figura muestra un gráfico de los cambios que la temperatura de la herramienta ha experimentado con el tiempo y también puede utilizarse para guardar los datos de tendencia en un archivo CSV (separado por comas) para su importación posterior a otra aplicación, por ejemplo, Excel. Para acceder a la función Tendencia, presione el icono de tendencia de la barra de herramientas, o seleccione la opción de menú Tendencia (Menú principal > Visualización > Pantallas > Tendencia).

Ver Anexo 43

La tendencia se desplazará de derecha a izquierda a medida que se registra cada punto. Puede cambiar la frecuencia de los puntos desde el valor predeterminado de 2 segundos; para ello, presione el selector de números, *Cada (s)* y seleccione un intervalo nuevo. También puede activar o desactivar las líneas de tendencia con la lista desplegable *Tendencia*. Para aplicarle el zoom a una tendencia, mueva los controles deslizantes de flecha hasta la posición deseada y haga clic en el botón de ampliación (+). Para reducir, haga clic en el botón de reducción (-).

Para grabar un tendencia, presione la opción *Grabar tendencia*. Esta acción trasladará los puntos futuros a un archivo de texto separado por comas que, seguidamente, se podrá importar en aplicaciones como Microsoft Excel.

2.6.3 Partes del Equipo.

A las funciones principales de la cámara se puede acceder mediante los controles de hardware; para su comodidad, los hemos señalado claramente en las 2 fotografías siguientes de la cámara VisIR. **Ver Anexo 44**

2.6.4 Configuraciones Básicas de la Cámara Termo gráfica Marca VISIR640.

La selección del rango de la imagen determina el aspecto que tendrá dicha imagen y esto afectará a lo que se ve en pantalla.

Al presionar el botón "Mostrar rangos guardados", el usuario podrá elegir un rango guardado anteriormente que sabe es adecuado para una aplicación determinada.

De forma alternativa, el usuario puede seleccionar el control de rango automático; esto ajustará el rango automáticamente de forma que la mejor imagen esté siempre presente independientemente del intervalo de temperaturas mostrado en la cámara.

Si la pantalla aparece negra totalmente, es posible que el ajuste bajo se haya configurado con un valor superior a la temperatura más alta de la escena. Por el contrario, si la escena aparece blanca totalmente, es posible que se trate de la situación inversa, es decir, que el ajuste caliente sea inferior a la parte más fría de la escena. **Ver Anexo 45**

Ajuste el rango según sea necesario para mejorar la visualización de la imagen.

2.6.5 Zoom/panorámica, Notas y Calibración.

En este menú puede acceder a algunas otras funciones. La función Zoom le proporciona un zoom digital con varios valores entre los que elegir:

- 1:1
- 2:1
- 3:1
- 0 hasta 8:1 si se está viendo una imagen guardada.

El Editor de notas le ayuda a crear notas que se guardarán con una imagen guardada en particular. Esta función solo es aplicable con imágenes guardadas, por tanto, para poder utilizarla tendrá que recuperar una imagen de la galería; ahora la función estará activa, es decir, no aparecerá atenuada.

El menú Calibración le permite definir la emisividad y la temperatura de fondo para la imagen en su conjunto. Esta información la utiliza el algoritmo de calibración para garantizar que la cámara mide la temperatura con precisión.

2.6.6 Filtro de Temperatura Alta.

La cámara VisIR estándar tiene un rango de medición de temperaturas de -20 °C a 500 °C. Las rutinas de calibración interna proporcionan automáticamente lecturas de temperatura exactas comprendidas entre estos límites.

Para medir las temperaturas de objetos entre 500 °C y 2.000 °C tendrá que usar el Filtro de temperatura alta, el cual está a su disposición como accesorio opcional. Es necesario instalarlo en la cámara. La opción tiene que seleccionarse también en el software de la cámara para conservar la precisión radiométrica. **Ver Anexo 46**

El filtro está formado por un disco metálico con un orificio central anular pequeño. Este filtro detiene de forma efectiva la radiación entrante para aumentar el rango de temperaturas de la cámara. **Ver Anexo 47**

La instalación del filtro es una operación muy sencilla.

El filtro se acopla a la lente del objetivo y se gira hacia la derecha. Queda fijo en su sitio gracias a la montura de bayoneta. Su instalación es más sencilla aún si, antes de proceder a su colocación, primero se gira la lente del objetivo de VisIR totalmente hacia la derecha.

El filtro debería permanecer en su sitio sin necesidad de ningún apriete adicional.

La cámara VisIR puede seguir enfocando según sea necesario con el filtro colocado.

La opción Filtro de temperatura alta debe estar seleccionada en el software de la cámara para conservar la precisión radiométrica de la cámara.

CAPITULO III

3 DATOS TÉCNICOS DE LA SUBESTACIÓN ENFRIADORA 1. [15] **Obtención de Datos y Realización de Mediciones Necesarias con los Equipos de Medición en cuanto a la Calidad de Energía de la Subestación Enfriadora 1.**

En el **Anexo (1)** y (**Ver foto 1**) se observa el diagrama unifilar el cual está, presentando los elementos que intervienen en todo el sistema eléctrico de la subestación en mención, tales elementos se los detalla a continuación:

- 1 Transformador de 1500 KVA trifásico conexión Delta/Y con voltajes (4160/480).
- 1 Breaker trifásico de 3200 Amp.
- 1 Medidor de energía con sus respectivos elementos de reducción de voltaje y corriente.
- 5 Breaker de 630 AMP
- 1 Breaker de 1600 AMP
- 5 Ventiladores
- 1 Gabinete de Transferencia de Otesa

3.1 Datos de Tablero Principal. [15]

En el **Anexo 2**, se puede observar claramente, cómo va la distribución a partir del Breaker de 1600 AMP tomando energía del transformador de 1500 KVA trifásico, pero en caso de emergencia realiza la transferencia a un Generador Caterpillar de 480 v Trifásico 60 Hz, cada sistema de entrada de energía cuenta con sus indicadores de voltajes y corrientes ya con señales de reducción para su control.

Después de la transferencia llega a un Breaker principal de 1600 AMP, con su respectivo medidor de energía para control del sistema, su operación y distribución de las diferentes cargas y elementos conectados, que se detallan a continuación: (**Ver Foto 2**)

- 4 Breaker de 600 AMP cada uno.
- 3 Motores 1M1, 1M2, 1M3.
- 1 Bomba Woma.
- 4 sensores de corriente.

En la **Cuadro 3.1** se muestra los datos de placa del transformador de 1500 KVA

Fuente: Los Autores.

471 - 1T1			
MARCA	GENERAL ELECTRIC	No. SERIE	H011391TESA
KVA	1500 65°C RISE	CLASS	OA
V	4160 - 480/277 Y		
HV WINDING	60 KV		
LV WINDING	30 KV		
		% RATED VOLTS	TAP CHANGER POSITION
		105	1
		102 1/2	2
		100	3
		97 1/2	4
		95	5

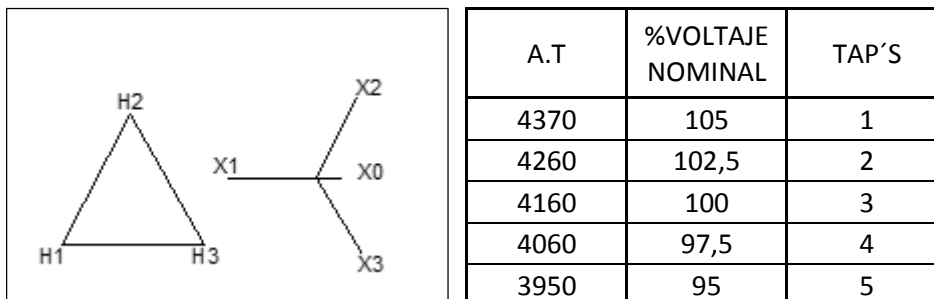
Cuadro 3-1 Características del Transformador Instalado

Fuente: Los Autores.

Marca:	GENERAL ELECTRIC
# de Serie:	NO 11391 TESA
Tipo de Enfriamiento:	OA
Potencia:	1500KVA
Volt A.T.:	4160 V
Volt B.T.:	180Y/277 V
Niel Básico de Aislamiento(BIL) en A.T.:	60 KV
Niel Básico de Aislamiento(BIL) en A.T.:	30 KV
Impedancia 85°C	0,0575
Incremento de Temperatura:	65°C
Aceite	345 Gal
Peso Total	9800 Lbs
Hecho en	USA
Contenido de PCBP'S:	NO DETECTABLE
Cambio total de Aceite:	38018
% Humedad Relativa en Cuarto de Transf.	0,44
Temperatura Ambiente Cuarto de Transf.	31,3°C

Cuadro 3-2 Reporte de la compañía de mantenimiento.

Fuente: Los Autores.



Cuadro 3-3 Grupo de conexiones y Tap's del transformador.

Como un dato importante podemos observar, en la **Tabla 10** que el transformador instalado, de 1500 KVA ya resulta muy insuficiente para la carga nominal, total instalada. Al momento la carga de motores instalada es de 1916 kw, sin considerar otros tipos de carga como alumbrado, etc.

Tomando como referencia la **IEEE- 519-1992**, en cuanto a las consideraciones sobre el calentamiento de los transformadores los límites de distorsión armónica se los puede apreciar en la **Tabla 2** del presente documento, solo como una porción permisible de que la conexión del transformador, entre el usuario y el sistema de la subestación alimentadora no estará sujeta a corrientes armónicas que excedan el 5 % de la relación de corriente en el transformador tal como se lo declara en la **IEEE C57.12.-1987**. Si la conexión del transformador en el usuario fuera sujeta a niveles de armónicos que excedan el 5%, la instalación de una unidad grande, capaz de resistir altos niveles de armónicos, pudiera ser considerada. Cuando el flujo de corrientes armónicas a través del transformador sea mayor al nivel de diseño del 5% de la relación de corriente, el efecto de calentamiento en el transformador puede ser evaluado aplicando el método contenido en la **IEEE C57.110-1986**.

Si observamos en la **Tabla 2** Los valores de **ISC/IL** dados por Ref. De la **IEEE-519-1992** muestran valores que según los cálculos a realizar, por norma, como muestra dicha tabla los resultados de los cálculos deben estar por debajo de 20 Amp. Que es el valor de la corriente de corto circuito con relación a la corriente de línea. Para nuestro caso particular éste valor da 16.23, por lo que según la misma tabla corresponde el valor máximo permitido por la norma de la distorsión armónica total.

Cálculo de corriente de corto circuito en relación a la corriente de línea.

$$5,75\%*(480/100\%)=27.6$$

Como dato de voltaje de línea, medido tenemos 448

Como dato de voltaje nominal de la placa del transformador es 480

Como dato de corriente tenemos 1806 Amp.

Para sacar la corriente máxima de corto circuito, tenemos lo siguiente:

$$448 \cdot (1806 / 27.6) = 29314.78 \text{ corriente máxima de corto circuito.}$$

$$29314.78 / 1806 = 16.23 \text{ Amp. De corto circuito}$$

Este valor de 16.23 es inferior a 20 Amp de corto circuito, por lo tanto la distorsión armónica aceptable como máximo es de 5 % en corriente.

Esta evaluación asegurará que el aislamiento del transformador no se enfatizará más allá de los límites de diseño.

Es importante también mencionar, en éste análisis, las pruebas de termo grafía al transformador ya que se realizaron varias pruebas pero las más relevantes se detallan en las **fotos 5 y 6**, donde como dato importante se presenta una temperatura de 59.56°C en la segunda fase del ingreso de la línea de media tensión al transformador. Normalmente estos acontecimientos se originan por contactos flojos, sucios o por desgastes en los mismos.

Otro punto de referencia donde se produce una temperatura de 57.1°C es en la carcasa.

3.1.1 Datos de Voltajes y Corrientes en el transformador de 1500 KVA.

El **Anexo 3-A**, muestra los resultados del analizador de redes **Fluke 435**, en cuanto a las mediciones de voltajes y corrientes se refiere. Dichos valores se tomaron en un período de 1 día, resultando del análisis los valores mostrados a continuación en el **Cuadro 3.4**.

Fuente: Los Autores.

	Voltaje	Corriente	Factor K
Fase 1	259∠0°	1344∠ - 29°	1.47
Fase 2	258∠ - 120°	1367∠ - 149°	1.44
Fase 3	259∠ - 240°	1355∠ - 271°	1.46
Neutro	0.36	20	2.48
Fase 1-2	448		
Fase 1-3	447		
Fase 2-3	449		

Cuadro 3-4 Datos Medidos en Transformador.

El factor K, tiene la particularidad de medir los efectos del calentamiento de los armónicos, en las cargas y las pérdidas del transformador (K=1) es el valor de referencia de un transformador estándar. Si tenemos un valor de K= 4 esto da a entender que es cuatro veces el calentamiento normal.

Los transformadores con factor K, han sido diseñados para soportar armónicos.

Cuanto más altos sea el nivel de armónicos menos eficaz será el transformador y menos corriente podrá soportar, ya que los armónicos compiten por la potencia total. Si tenemos la suma de la carga normal y la carga armónica, como resultado tenemos un transformador sobre cargado.

El siguiente análisis determina como está afectando el factor K, a la capacidad de entrega de los KVA del transformador, el cual fue medido por el analizador de redes y dentro de su análisis nos arroja en promedio un factor K de 1.45.

$$\text{Capacidad de entrega real de transformador} = \frac{\text{KVA}}{\text{FK}}$$

Ecuación 3-1 (Capacidad de Entrega del Transformador)

$$\text{Capacidad de entrega real de transformador} = \frac{1500}{1.45} = 1034 \text{ KVA}$$

Para calcular la corriente nominal a la que debería trabajar este transformador, se realiza el siguiente cálculo con los datos de placa y los datos obtenidos.

$$I = \frac{\text{KVA}}{(1.732 * 0.448)} = \frac{1500}{0.77} = 1948.05 \text{ Amp.}$$

Como dato, tomado en la prueba con el analizador **Fluke 435** tenemos un registro de corriente tomado de 1377 Amp, al dividir éste valor tomado para la corriente nominal a la que puede llegar que es de 1948.05Amp nos da 0.71. Este valor es la capacidad a la cual debería estar trabajando el transformador sin el efecto del armónico.

Más sin embargo si aplicamos el resultado del factor K, del transformador que según nuestro estudio es de 1034, el cual es la capacidad real a la cual se encuentra trabajando el transformador, entonces tenemos el siguiente cálculo.

$$I = \frac{\text{KVA}}{(1.732*0.448)} = \frac{1034}{0.77} = 1342.85 \text{ Amp.}$$

Con éste nuevo valor, el cual ya está considerando un factor K, realizamos la otra operación la cual tomamos el valor medido nuevamente de 1377 y lo dividimos para el nuevo valor 1342.85, lo cual nos da un valor de 1.02. Este valor lo que representa es que se encuentra trabajando sobre su valor nominal, es decir el transformador se encuentra sobre cargado, pero este efecto es más causado por las armónicas producidas en el sistema.

3.1.2 Distorsión Armónica en el Transformador de 1500 KVA.

Este siguiente punto de análisis hace referencia a la distorsión armónica que se está generando en el sistema, **Ver (Anexo 3-B)**. Como podemos darnos cuenta el quinto armónico es el que más incide y afecta al sistema, siguiéndole en afectación el séptimo armónico no sin antes tomar en cuenta que el neutro del sistema también se encuentra afectado por un tercer armónico.

Con el presente análisis se puede determinar que la presencia de la quinta armónica es la que se produce básicamente por equipos como variadores de frecuencia, equipos electrónicos y básicamente consisten en cargas no lineales.

Fuente: Los Autores.

Distorsión Armónica del Transformador de 1500 KVA						
	Armónicos de Voltajes			Armónicos de Corrientes		
Fase	Orden			Orden		
	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico
Fase 1	3.78	2.2	1.8	12.79	5	3
Fase 2	3.9	2.2	1.8	12.45	5	3
Fase 3	3.83	2.2	1.8	12.75	5	3
Neutro	30.14	12	8.5	15.66	10	6

Cuadro 3-5 Distorsión armónica en el transformador.

3.1.3 Mediciones de Potencia en el transformador de 1500 KVA.

El **Anexo 3-C**, muestra los valores receptados por el analizador de redes **Fluke 435** en el cual como primer detalle se puede mencionar, que se tiene un sistema equilibrado en sus potencias. Otro punto a observar es que se tiene un factor de potencia un poco bajo el cual podría ser mejorado mediante un sistema de banco de capacitores, para así poder ser a este sistema más eficiente. En el **Cuadro 3.6** se muestran los valores obtenidos, mediante las pruebas realizadas.

Fuente: Los Autores.

	L1	L2	L3	Total
Potencia Activa	308.5 Kw	318.7 Kw	302.8 Kw	0.93 MW
Potencia Aparente	345.8 Kw	359.2 Kw	347.6 Kw	1.053 MVA
Potencia Reactiva	156.2 Kvar	165.7 Kvar	170.6 Kvar	0.493 MVAR
Factor de Potencia	0.88	0.88	0.86	0.87

Cuadro 3-6 Valores de Potencias.

3.1.4 Resultados de análisis realizados por compañías externas a Holcim en cuanto a pruebas de aceite realizadas al transformador. [23]

Una de las principales razones del mantenimiento predictivo en cualquier equipo y más aún un transformador de potencia, a parte de la limpieza y ajustes de sus contactos son los análisis de aceite con sus pruebas físico-químicas, cromatográfico y de furanos, entre las más importantes para determinar la vida útil del transformador.

3.1.4.1 Análisis Cromatográfico.

En análisis cromatográfico realizado el 14/09/10 la compañía Brittransformadores S.A., determinó que existe una inestabilidad en el contenido de dióxido de carbono, como lo indica en la condición 3 de la tabla 8, lo cual deriva en un calentamiento del transformador y recomienda medir, controlar y normalizar el consumo de corriente, además de verificar las condiciones de ventilación y refrigeración del equipo. (Ver **Tabla 8, Foto 3 y 4**).

Como se puede observar en el **Cuadro 3.7** en cuanto al dióxido de carbono en la fecha 29/05/06 arrojó un resultado en rojo, luego del cual realizaron el mantenimiento del transformador realizando un filtrado del aceite y su mantenimiento respectivo dejando operativo al transformador, aunque con esto solo se logró la mejor calidad del aceite, pero el problema de la degeneración del transformador continuaba.

Fuente: Los Autores.

		29-may-06	04-sep-07	03-feb-09	20-ago-09	18-dic-09	18-feb-11	06-mar-12	12-abr-13
HIDROGENO (H2)	[ppm (v/v)]	8734,37	242,97	2849	1808	1598	138	16	5
OXIGENO (O2)	[ppm (v/v)]	59995,33	3253,27	14625	5712	4835	10164	27296	29602
NITROGENO (N2)	[ppm (v/v)]	266963,67	88978,18	84564	48693	44595	56367	89102	100004
MONOXIDO DE CARBONO (CO)	[ppm (v/v)]	148,76	319,52	100	102	84	147	171	139
METANO (CH4)	[ppm (v/v)]	16,32	26,42	17	21	21	5	4	4
DIOXIDO DE CARBONO (CO2)	[ppm (v/v)]	12845,93	4585,75	5978	7913	4883	7972	5052	4750
ACETILENO (C2H2)	[ppm (v/v)]	0	0	0	0	0	0	0	0
ETILENO (C2H4)	[ppm (v/v)]	24,04	9,92	23	23	22	9	15	11
ETANO (C2H6)	[ppm (v/v)]	17,87	18,21	24	27	28	10	5	3
GASES COMBUSTIBLES	[TGC]	8941,36	617,04	3013	1981	1753	309	211	162
CLASE DE CONDICION BAJO CRITERIO DE IEEE C57.104-2008		4	3	4	4	3	2	1	1

Cuadro 3-7 Resultado de cromatografía de gases.

Con este resultado del estudio de cromatografía de gases, es donde nos damos cuenta que el dióxido de carbono (CO₂) es el que más influye en cuanto a la quema del papel aislante entre las bobinas del transformador, lo que como resultado da que se puedan estar dando ciertos efectos de cortocircuito entre espiras, por efecto corona, lo que provoca más calentamiento al transformador.

El análisis cromatográfico nos indica la generación de gases dentro del transformador producto de las altas temperaturas, descargas parciales o efectos corona, en las gráficas se muestra el historial de las mediciones indicándonos que el gas que más se ha estado generando es el CO₂ producto de las sobre temperaturas a las que está sometido el transformador, en algún momento se encontró hidrogeno (H₂) junto con gases combustibles producto de descargas parciales que podían ser del TAP o entre espiras y a tierra, se realizó un ajuste de las partes internas del transformador y en un análisis después del mantenimiento estos gases desaparecieron.

3.1.4.2 Análisis Físico - Químico.

Para interpretar algunos parámetros de éste análisis, podemos ver que en el **Cuadro 3.8** el color del aceite, nos permite ver el grado de deterioro, aunque no es una guía para determinar la calidad del aceite.

Como patrón principal se compara con unos estándares que van numerados de 0.5 a 8.0 siendo éste ultimo el más oscuro.

Los valores típicos son:

Aceite nuevo 0.5

Aceite usado 1.5

Por otro lado el parámetro del contenido del agua está expresado en partes por millón (ppm), presentes en una muestra de aceite, como se observa los resultados del análisis muestran valores en rojo.

Fuente: Los autores.

		29-may-06	04-sep-07	03-feb-09	20-ago-09	18-dic-09	02-feb-11	29-feb-12	26-mar-13
GRAVEDAD ESPECIFICA	[60 / 60°F]	0,874	0,873	0,8701	0,8697	0,8701	0,8682	0,8684	0,8698
COLOR	[ASTM Color]	<0,5	0,5	0,5	<0,5	0,5	<1	<1	<1,5
PUNTO DE INFLAMACIÓN	[°C]	147	134	144,2	143,1	142			
CONTENIDO DE AGUA	[Ppm]	35,57	60,36	55,03	58,81	61,2	44,77	45,03	30,47
TENSIÓN INTERFACIAL	[DINA/cm]	33	35	38,52	40	40,88	41,5	42,49	41,42
# DE NEUTRALIZACIÓN	[mg KOH/g]	0,019	0,01	0,004	0,006	0,006	0,01	0,01	0,02
VISCOCIDAD 40 °C	[CST]	8,52	8,91	8,72	8,63	8,52			
INDICE DE CALIDAD (IC)	[°n (min 120)]	1736,842	3500	9630	6667	6813	4150	4249	2071
RIGIDEZ DIELECTRICA	[KV]	13,6	22	22	24	18	20,3	22,7	34,9
CLASE DE CONDICION BAJO CRITERIO DE IEEE C57.106-2002		I	I	I	I	I	I	I	M

Cuadro 3-8 Resultado análisis físico-químico.

En la norma **ASTM D-1533**, se muestran los valores permitidos de humedad en ppm en el aceite.

Aceite nuevo: 10 partes por millón

Aceite usado: 30 partes por millón

La rigidez dieléctrica, es otro de los parámetros que se muestra en la prueba y es la presencia de agentes contaminantes como (agua, polvo, partículas conductoras) en el aceite, las cuales pueden ser representativas si se producen valores bajos de rigidez. Cuando un aceite está muy contaminado tiende a presentar valores bajos de rigidez, los cuales disminuyen el aislamiento del transformador.

El análisis físico-químico nos indica la calidad del aceite del transformador, este parámetro es sumamente importante porque indica la degradación del aceite, hay que tener en cuenta que si la rigidez dieléctrica del transformador baja este puede llegar a estallar producto de un corto circuito interno, en el historial del análisis, nos indica que la mayor afectación que ha tenido este transformador ha sido el alto contenido de agua el mismo que sumado a las altas temperatura de trabajo llegaron a degradar el papel aislante a un punto de tener una vida útil remanente de 12% por lo que la recomendación que se ha hecho es cambiar el transformador por uno de mayor dimensión.

3.1.4.3 Análisis de furanos. [24]

El análisis de furanos se lo realiza básicamente para establecer el estado del papel aislante, este análisis me puede determinar la vetustez del papel aislante. Hay que tener presente que la vetustez de este papel aislante, me va a producir que se vayan cortocircuitando las espiras del cobre y produzca temperaturas altas fuera de lo normal, y que se produzcan gases como monóxido y dióxido de carbono lo que se traduce en degeneración del aceite.

En el **Cuadro 3.9** se muestra el resultado de las pruebas de aceite en base al análisis de furanos, lo que podemos determinar con estas pruebas es que el grado de

polimerización ha ido en aumento con respecto al tiempo, esto claramente nos indica daños del papel aislante.

Este resultado, también nos dice que el transformador se acorta su vida útil por problemas de sobrecalentamiento del transformador, producto de todos los factores antes mencionados.

Para muestra, podemos observar en el cuadro que la compañía contratista determina como resultados de los furanos, un alto nivel de envejecimiento.

El 04/01/2010, se realizó un análisis de furanos en laboratorios ecuatorianos dándonos como resultado un total de furanos de 36681ppb indicando que la vida útil del transformador ya había expirado, para corroborar estos valores se decidió realizar un segundo análisis el 24/02/2010 en los laboratorios SD MYERS de Canadá, obteniendo un valor de furanos de 1572ppb e indicando que en realidad el transformador tenía un 27% de vida útil remanente, adicional a esto en el análisis físico-químico que se había realizado, se obtuvieron valores de contenido de agua de 44.77ppm, para mitigar un poco el daño de la celulosa se realizó un termo filtrado del aceite del transformador para reducir el contenido de agua, el 05/03/2012, meses después del termo filtrado se realizó una nueva prueba de furanos obteniendo valores de 874ppb lo que en ese momento indicaba que al transformador le quedaba una vida útil remanente de 44%, al parecer el transformador se estaba regenerando pero esto es imposible y se llegó a la conclusión de que al realizar el termo filtrado se borró hasta ese momento la evidencia de furanos que había en el aceite y que este nuevo valor era el producto de la degradación del transformador desde el ultimo termo filtrado realizado el 20/10/2011 hasta la fecha de este análisis, es decir que a la fecha de 05/03/2012 la vida útil remanente del transformador era del 12%

Fuente: Los autores.

HISTORICO DE RESULTADOS						
	LABORAT.	ISA	SD MYERS	MORGAN S		
		04-ene-10	24-feb-10	05-mar-12	11-oct-12	
5 - HYDROXYMETHYL -2- FURALDEHYDE (5 - HMF)	[ppb]	7	0	5	0	
2 - FURYLOL (2 - FOL)	[ppb]	1968	0	37	0	
2 - FURALDEHYDE (2 - FAL)	[ppb]	34399	1448	740	0	
2 - ACETYL FURAN (2 - ACF)	[ppb]	47	0	25	0	
5 - METHYL -2- FURALDEHYDE (5 - MEF)	[ppb]	260	124	67	0	
TOTAL FURANOS (TOTAL)	[ppb]	36681	1572	874	0	
GRADO DE POLIMERIZACIÓN (GP)		-8	300	380	800	
% PROMEDIO DE VIDA YA USADA (%VU)		100	73	56	0	
EVALUACIÓN DE RESULTADOS						
FURANO		ORIGEN				
5 - HYDROXYMETHYL -2- FURALDEHYDE (5 - HMF)	[ppb]	Descomposición del papel en presencia de grandes cantidades de oxígeno				
2 - FURYLOL (2 - FOL)	[ppb]	Presencia de gran cantidad de humedad				
2 - FURALDEHYDE (2 - FAL)	[ppb]	Sobrecalentamiento general de la celulosa (papel)				
2 - ACETYL FURAN (2 - ACF)	[ppb]	Elevados niveles de esfuerzo eléctrico				
5 - METHYL -2- FURALDEHYDE (5 - MEF)	[ppb]	Sobrecalentamiento intenso y localizado				

TOTAL DE FURANOS			
CONCENTRACIÓN	UNIDAD	CONDICIÓN	DIAGNÓSTICO
0-20	ppb	BUENO	Representa básicamente un trafo nuevo
21-100	ppb	ACEPTABLE	Representa un ritmo de envejecimiento normal
101-250	ppb	CUESTIONABLE	Representa la probabilidad de un ritmo acelerado de envejecimiento
>251	ppb	INACEPTABLE	Representa un ritmo muy acelerado de envejecimiento

Cuadro 3-9 Resultado de análisis de furanos.

3.2 Datos y Mediciones Tomadas del Ventilador 471-VE4.

El análisis que se realizará a continuación, será básicamente de los equipos que utilizan variadores de frecuencia, ya que al momento son los que más problemas causan en la planta enfriadora 1.

A continuación en el **Cuadro 3.10** se detalla los datos del **Ventilador 471-VE4**.

Fuente: Los Autores.

471 - VE4					
MODEL	A18106				
Ph	3	Max. Amb.	40°C	Insul Class	F
Type	J	Frame	449T	ENCL	TF
DUTY CONT		Wt	1200 Kg	Code	B
HP	250	RPM	1785	S.F.	1,15
V	480	A	264	Hz	60
Max. KVAR	40	DES	B	P.F.	88,9
EMERSON					

Cuadro 3-10 Datos de Placa del Ventilador 471-VE4

Fuente: Los Autores.

VARIADOR ABB			
Nr.	ASC800-02-0260-5+E208+L509+P904		
Input	u	3ph	380 - 500 (480) V
	i		291 (267) A
	f		48 - 63 Hz
Output	u	3ph	0 - Vinput V
	i		289 (289) A
	f		0 - 300 Hz

Cuadro 3-11 Variador de Frecuencia de Ventilador 471-VE4.

3.2.1 Datos de Voltajes y Corrientes en el Ventilador 471-VE4.

A continuación, se muestra el **Cuadro 3.12** los valores tomados del analizador **Fluke 435**, para una mayor ilustración **Ver Anexo 4-A** en donde se puede observar los valores máximos y mínimos, en diferentes períodos de tiempo.

Fuente: Los Autores.

	Voltajes	Corrientes
Fase 1	259.78∠0°	175∠-14°
Fase 2	259.63∠-120°	168∠-134°
Fase 3	259.97∠-240°	174∠-253°
Neutro		
Fase 1-2	448	
Fase 1-3	447	
Fase 2-3	449	

Cuadro 3-12 Valores Tomados con Analizador Fluke 435.

3.2.2 Distorsión Armónica en el Ventilador 471-VE4.

Analizando el ventilador **471-VE4** de la subestación enfriadora 1, en cuanto a la producción de armónicos, nos encontramos que el nivel de armónicos ya sea en voltajes y corrientes son altas. Pero, más aún, si observamos que tenemos en las corrientes elevados porcentajes que llegan a cerca del 45 % de un armónico del quinto orden en la corriente del neutro y valores de hasta un 30 % en cada una de las fases. **Ver Anexo 4-B.**

Lo que sacamos como conclusión de esto, es que, el análisis más adelante debe estar concentrado en reducir el nivel de armónicos del quinto orden para mejorar la calidad de energía en éste ventilador.

El **Cuadro 3.13** se indican los resultados del analizador, donde se muestra la distorsión armónica existente en el ventilador 471-VE4.

Fuente: Los autores.

Distorsión Armónica Ventilador 471-VE4						
	Armónicos de Voltajes			Armónicos de Corrientes		
Fase	Orden			Orden		
	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico
Fase 1	4,42	2.5	1.8	34.39	14	6
Fase 2	4,45	2.5	1.8	36.22	14	6
Fase 3	4,37	2.5	1.8	34.91	14	6
Neutro	35.56	10	20	54.29	16	10

Cuadro 3-13 Distorsión Armónica del Ventilador 471-VE4.

Si observamos en la (**Foto 10 y 11**), tomada con la cámara termo gráfica marca **VISIR640**, se pueden apreciar claramente dos puntos o sectores del motor donde se están generando la mayor temperatura de la máquina.

En el punto 1, la cámara muestra un valor de 61.99° C, esto a la altura de los rodamientos del motor, en el punto 2 muestra otra temperatura de operación, que es de 56.81 ° C a un costado de la máquina. Para tener una mayor certeza de lo que puede estar produciendo estos valores en la temperatura de la máquina si sería importante que entre a un plan de mantenimiento preventivo, para así ir corrigiendo ciertas fallas y desgastes en la máquina lo que se traduce en un menor rendimiento de la misma por fallas mecánicas. La **foto 12**, muestra el gabinete donde se conecta el variador de frecuencia del ventilador **471-VE4** lo que nos muestra como está contribuyendo éste gabinete a las corrientes armónicas, dando como resultado del análisis de termo graffa valores de temperatura entre 60 y 61 °C.

3.2.3 Mediciones de Potencia en el Ventilador 471-VE4.

En el **Anexo 4-C**, se puede observar con mayor detalle la variación de los valores de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia a los que alcanza a consumir el ventilador en estudio. A continuación se muestra en un resumen, la tabla de potencias obtenidas para tener una mejor visualización de las mediciones.

Fuente: Los Autores.

	L1	L2	L3	Total
Potencia Activa	41.8 Kw	40 Kw	41.9 Kw	123.7 KW
Potencia Aparente	41.1 Kva	41.1 Kva	42.9 Kva	127 KVA
Potencia Reactiva	10.6 Kvar	9.4 Kvar	8.8 Kvar	28.8 KVAR
Factor de Potencia	0.92	0.92	0.93	0.92

Cuadro 3-14Valores de Potencias del Ventilador 471-VE4.

3.2.4 Prueba de Aislamiento del Motor del Ventilador 471-VE4.

Según los datos obtenidos de los registros de mantenimientos, por pruebas realizadas por compañías contratistas a las máquinas en estudio tenemos como resultado lo siguiente. La compañía, que realizó éste análisis realizó la prueba del índice de polarización, o de IP la cual consiste en una prueba de resistencia de aislamiento. En el se muestra un histórico del índice de polarización y en el análisis que ellos realizan llegan a la conclusión que los valores arrojados de las pruebas realizadas indica que el aislamiento de las bobinas del estator está cristalizado, pero que la forma exponencial de la curva indica que el aislamiento se encuentra en buen estado. **Ver Anexo 48**

En otro tipo de prueba que es la de voltaje de paso como se muestra en la figura que consiste en introducir un voltaje inicial de 500 V, incrementando en pasos de 125 V hasta llegar a 1000 V, nos da que la medición de la prueba de aislamiento en este caso está en buenas condiciones, ya como parte del mantenimiento en aquel momento se procedió al mantenimiento respectivo del estator. **Ver Anexo 49**

3.2.5 Pruebas de Vibración del Motor.

La figura que muestra el resultado de las pruebas de vibración obtenida durante el monitoreo, el equipo que se utilizó para dicho análisis fue un portátil para pruebas de vibración **DCX-DCA60** en el cual indican que hay un incremento de frecuencia en los rodamientos del motor originado por una holgura, los cuales muestran valores por encima de 85 VDB decibeles, la cual indica que existe una holgura entre la cara externa del rodamiento y la ceja de alojamiento del mismo, por tal motivo se recomienda aumentar la frecuencia de monitoreo para vigilar los rodamientos y realizar los cambios respectivos antes del daño completo de los mismos.

La **Foto 10**, se muestra la imagen termo gráfica con el incremento de la temperatura en el rodamiento de un lado de la cara del motor, es claro que esto se está generando por la holgura que existe en el rodamiento. **Ver Anexo 50**

Las pruebas realizadas en este ámbito el diagnóstico general, es que la holgura normalmente aparece por ajustes inadecuados o de un desgaste entre las partes de los componentes originando, altas temperaturas debido a la respuesta no lineal de las partes sueltas frente a las fuerzas dinámicas del rotor.

3.3 Datos y Mediciones Tomadas del Ventilador 471-VE5.

El análisis que se realizará a continuación, será básicamente de los equipos que utilizan variadores de frecuencia, ya que al momento son los que más problemas causan en la planta enfriadora 1.

A continuación en el **Cuadro 3.15** se detalla los datos del **Ventilador 471-VE5**.

Fuente: Los Autores.

471 - VE5					
MODEL	A17773				
Ph	3	Max. Amb.	40°C	Insul Class	F
Type	J	Frame	449T	ENCL	TE
DUTY	CONT	Wt	2400 Lbs.	Code	G
HP	250	RPM	1785	S.F.	1,15
V	480	A	285	Hz	60
Max. KVAR	70	DES	B	P.F.	83,8
EMERSON					

Cuadro 3-15 Datos de Placa del Ventilador 471-VE5.

Fuente: Los Autores.

VARIADOR ABB			
Nr.	ASC800-02-0260-5+E208+L509+P904		
Input	u	3ph	380 - 500 (480) V
	i		291 (267) A
	f		48 - 63 Hz
Output	u	3ph	0 - Vinput V
	i		289 (289) A
	f		0 - 300 Hz

Cuadro 3-16 Variador de Frecuencia de Ventilador 471-VE5.

3.3.1 Datos de Voltajes y Corrientes en el Ventilador 471-VE5.

A continuación se muestra el **Cuadro 3.17**, como resumen con valores tomados del analizador **Fluke 435**, para una mayor ilustración Ver **Anexo 5-A** en donde se puede observar los valores máximos y mínimos, en diferentes períodos de tiempo.

Fuente: Los autores.

	Voltajes	Corrientes
Fase 1	259.48∠0°	91∠ - 12°
Fase 2	259.93∠ - 240°	97∠ - 253°
Fase 3	259.87∠ - 120°	94∠ - 128°
Voltaje de Neutro	0.15	
Fase 1-2	449.51	
Fase 1-3	450.19	
Fase 2-3	450.09	
Corriente de Neutro		10

Cuadro 3-17 Valores de Voltajes y Corrientes Tomados con Analizador.

3.3.2 Distorsión Armónica en el Ventilador 471-VE5.

Como podemos darnos cuenta en la información obtenida en el **Anexo 5-B**. Lo que nos dicen los resultados es que en este ventilador, está presente el quinto armónico, siendo éste el más representativo con niveles de armónicos de hasta el 35 %, esto es un valor muy elevado en el sistema, lo que nos lleva a tratar éste quinto armónico, como objeto de estudio. En el Cuadro 3.10 muestra el resultado de la distorsión armónica en el ventilador en estudio.

Fuente: Los autores.

Distorsión Armónica Ventilador 471-VE5						
Fase	Armónicos de Voltajes			Armónicos de Corrientes		
	Orden			Orden		
	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico
Fase 1	4.61	2	1.5	44.91	20	3
Fase 2	4.53	2	1.5	43.57	20	3
Fase 3	4.5	2	1.5	43.83	20	3
Neutro	37	10	8	38.7	12	6

Cuadro 3-18 Distorsión Armónica del Ventilador 471-VE5.

Para el caso del motor del ventilador **471-VE5**, el cual según muestra el cuadro anterior las armónicas están en un nivel el cual se sale de lo que establece la norma **IEEE-519-1992** y también es un antecedente para las elevadas temperaturas del motor en mención, como podemos observar en la **(Foto 13 y 14)** que las

temperaturas en dos puntos del motor están claramente definidos, teniendo como punto 1 de referencia una temperatura máxima de 67.22° C y además otro punto de referencia el cual muestra una temperatura de 60.55° C, de la misma manera, que en el motor del ventilador 471-VE-4 el punto de mayor calentamiento, es el de los rodamientos y el otro punto es el de un costado de la máquina, así mismo se debería ejecutar un plan de mantenimiento preventivo del motor en mención para corregir fallas mecánicas que contribuyan a una disminución de la temperatura y por ende mejore su rendimiento.

Es de considerar que la temperatura que tiene en la parte central del motor, está siendo generada por la carga a la que se encuentra sometida el motor, deficiencia en el devanado del estator, además el otro punto importante de calentamiento es el del rodamiento de carga del motor, esto lo podemos observar con más detalle en el análisis de vibración y de resistencia de aislamiento de las bobinas.

La **Foto 15**, muestra el gabinete del variador de frecuencia el cual está acompañado del análisis termo gráfico el cual muestra los puntos en los cuales la temperatura está afectando en mayor grado, teniendo valores promedios de temperatura como los más altos entre 34 y 35 °C.

3.3.3 Mediciones de Potencia en el Ventilador 471-VE5.

El **Anexo 5-C**, se puede observar con mayor detalle la variación de los valores de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia a los que alcanza a consumir el ventilador en estudio. A continuación se muestra en un resumen, la tabla de potencias obtenidas para tener una mejor visualización de las mediciones.

Fuente: Los Autores.

	L1	L2	L3	Total
Potencia Activa	21.1 Kw	22.7 Kw	22.3 Kw	66.1 KW
Potencia Aparente	21.7 Kva	23.3 Kva	22.5 Kva	67.5 KVA
Potencia Reactiva	4.9 Kvar	5.2 Kvar	3.2 Kvar	13.3 KVAR
Factor de Potencia	0.89	0.9	0.91	0.9

Cuadro 3-19 Valores de Potencias del Ventilador 471-VE5.

3.3.4 Prueba de Aislamiento del Motor del Ventilador 471-VE5.

La **Figura 3.4** muestra el índice de polarización que en la última medición realizada el resultado de la prueba nos indica que el bobinado se encuentra bien y lo corrobora la gráfica que muestra una curva exponencial que indica que el bobinado está en buen estado. **Ver Anexo 51**

La figura, muestra el resultado de la prueba de voltaje de paso realizada con un voltaje de 500v terminando en 1000v con pasos de 125v, la curva de descarga a tierra nos muestra el buen estado del bobinado aunque durante la primera y segunda descarga la gráfica estuvo distorsionada, se presume que pudo haber algo de suciedad en el bobinado ya que la distorsión desapareció. **Ver Anexo 52**

3.3.5 Pruebas de Vibración del Motor.

La figura, muestra el análisis de vibración de éste motor en el cual no se encontró daño mecánico en los rodamientos, tanto en el rodamiento del lado libre como el de carga se encontró en perfectas condiciones, por lo tanto se descarta que la temperatura generada por el motor sea generada por estos elementos.

Se realiza el reporte para proceder con la medición de la fuente de alimentación, para verificar si la temperatura generada en este motor sea producto de armónicos de corriente o desbalance de voltaje en la alimentación. **Ver Anexo 53**

3.4 Datos y Mediciones Tomadas del Ventilador 471-VE6.

Otro de los ventiladores en estudio es el **471-VE6**, que usa variador de frecuencia lo que hace que se genere una cantidad considerable de armónicos en el sistema.

A continuación el **Cuadro 3.20**, detalla los datos de placa del **Ventilador 471-VE6**.

Fuente: Los Autores.

471 - VE6					
MODEL	5K447SN2645M				
Ph	3	Frame	447T TE	Insul Class	F
Type	K	DUTY	CONT	Code	G
HP	200	RPM	1780	S.F.	1,15
V	480	A	227	Hz	60
GENERAL ELECTRIC					

Cuadro 3-20 Datos de Placa del Ventilador 471-VE6.

Fuente: Los Autores.

VARIADOR SIEMENS				
SIMOVERT VC				
Nr.	6SE7032-3FG20-Z			
Serie	A-JO2447600004			
Input	3ph	380 - 500 V	225 A	50-60 Hz
Output	3ph		225 A	0-600 Hz

Cuadro 3-21 Variador de Frecuencia del Ventilador 471-VE6.

3.4.1 Datos de Voltajes y Corrientes en el Ventilador 471-VE6.

A continuación se muestra el **Cuadro 3.22**, como resumen con valores tomados del analizador **Fluke 435**, para una mayor ilustración **Ver Anexo 6-A**, en donde se puede observar los valores máximos y mínimos, en diferentes períodos de tiempo.

Fuente: Los Autores.

	Voltaje	Corriente
Fase 1	262.98∠0°	42∠ - 13°
Fase 2	263.25∠ - 240°	71∠ - 263°
Fase 3	263.26∠ - 120°	71∠ - 122°
Voltaje de Neutro		
Fase 1-2	455.48	
Fase 1-3	455.95	
Fase 2-3	455.96	
Corriente de Neutro		8

Cuadro 3-22 Valores de Voltaje y Corrientes Tomados con Analizador.

3.4.2 Distorsión Armónica en el Ventilador 471-VE6.

El **Anexo 6-B**, se puede observar el resultado de las pruebas realizadas del analizador **Fluke 435**, el cual nos muestra de forma gráfica los resultados, además en el **Cuadro 3.14**, se detallan estos valores en su orden, para mostrarnos a manera de resumen los datos obtenidos, los cuales podemos observar los siguientes valores, muy elevados de armónicos de corriente, del orden del quinto armónico, llegando a

un valor en promedio de más del 50 %. Además a diferencia de los otros ventiladores el nivel de armónicos de corriente en el neutro también es elevado llegando a bordear el 10 %.

Si observamos la distorsión en la forma de la onda, en el equipo analizador **Fluke 435** podemos observar en el **Anexo 6-A-1**, cómo se distorsiona la onda sinusoidal y los voltajes de línea se disminuyen por momentos, pero todo producto de una mala calidad de energía, producida por los armónicos en este punto.

Fuente: Los autores.

Distorsión Armónica Ventilador 471-VE6						
Fase	Armónicos de Voltajes			Armónicos de Corrientes		
	Orden			Orden		
	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico
Fase 1	4.5	2.2	2	90.78	38	18
Fase 2	4.39	2.2	2	87.51	38	18
Fase 3	4.37	2	2	63.27	32	8
Neutro	37.24	16	20	18.62	10	2

Cuadro 3-23 Distorsión Armónica Ventilador 471-VE6.

La **Foto 16**, muestra como en los casos anteriores, que los puntos de mayor calentamiento del motor, se encuentran en los rodamientos y en la parte de un costado de la carcasa del motor. Es importante destacar, que este segundo aspecto se deba a desbalances en la máquina y por tal motivo este presentando estos valores de temperatura, que al momento están oscilando ente un 43 y 49 °C en varios puntos de la máquina.

Esta temperatura, que se muestra en la parte central del motor, puede ser que esté siendo generada por la carga a la que se encuentra sometida el motor, deficiencias en el bobinado o deficiencias en la alimentación de voltaje del motor, se observa también que el incremento de temperaturas es uniforme hasta el rodamiento de carga del motor, dejando constancia de las novedades encontradas, más adelante se revisan los análisis de vibración, **PDMA** y un análisis de la fuente de alimentación del motor para determinar la causa raíz del problema.

En cuanto al gabinete del variador de frecuencia del ventilador en estudio, se puede observar en la **foto 17** como también aportan en valores de temperatura tales como valores entre los 32 y 33 °C, en ciertos puntos específicos de conexión.

3.4.3 Mediciones de Potencia en el Ventilador 471-VE6

El **Anexo 6-C**, se muestra con mayor detalle la variación de los valores de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia, a los que alcanza a consumir el ventilador **471-VE6** en estudio, en determinados periodos de tiempo. A continuación

se muestra en un resumen, en el **Cuadro 3.24** de potencias obtenidas para tener una mejor visualización y comprensión de las mediciones.

Fuente: Los Autores.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Total
Potencia Activa	8.2 kw	13.7 kw	16.1 kw	38 KW
Potencia Aparente	8.3 kva	15.6 kva	16.1 kva	40.1 KVA
Potencia Reactiva	1.5 kvar	7.5 kvar	-0.2 kvar	8.8KVAR
Factor de Potencia	0.75	0.73	0.86	0.78

Cuadro 3-24 Valores de Potencias del Ventilador 471-VE6.

3.4.4 Prueba de Aislamiento del Motor del Ventilador 471-VE6

La figura, se realiza al motor la prueba del índice de polarización del aislamiento igual que el caso anterior, según los reportes dados, se observa un incremento del desbalance de inductancia entre bobinas sobre todo entre la fase 1-2 con valores de 10.45% de desbalance lo que sumado a un desbalance de corriente sin lugar a dudas podría estar generando un incremento de temperatura en el motor. La figura, muestra el índice de polarización que en la última medición dio un valor de 4.419 lo que según tabla se valores indica que el bobinado se encuentra en buen estado y lo corrobora la figura, que muestra una curva exponencial que indica que el bobinado se encuentra en buen estado, aunque al inicio de la prueba la gráfica esta se mostró distorsionada se presume que pudo haber sido por suciedad en el bobinado. **Ver Anexo 54**

La figura, muestra la gráfica de la prueba de voltaje de paso realizada con un voltaje de 500v terminando en 1000v con pasos de 125v, la curva de descarga a tierra nos muestra el buen estado del bobinado aunque durante la segunda y tercera descarga la gráfica estuvo distorsionada, se presume que pudo haber algo de suciedad en el bobinado ya que la distorsión desapareció. **Ver Anexo 55**

3.4.5 Pruebas de Vibración del Motor.

El monitoreo de vibración, mostrado en la figura de este equipo no se encontró daño mecánico en los rodamientos del motor, mas sin embargo se pudo evidenciar un paso de corriente por el rodamiento del lado libre del motor, esto podría ser generado por un desbalance de corriente en el estator en donde las corrientes de fuga del entre hierro afectan a los rodamientos, se recomienda monitorear seguidamente el estado

de estos elementos para monitorear el daño que se está originando en ellos y realizar un monitoreo en la fuente de alimentación para verificar y eliminar el posible desbalance de corriente. **Ver Anexo 56**

3.5 Datos y Mediciones Tomadas del Punto 471-1VB.

Para el caso de ésta medición, se ha realizado la prueba en el breaker de 1600 Amp. En donde se encuentran varios breakers los cuales protegen a otros motores, a los que se menciona a continuación:

Fuente: Los Autores.

Referencia de Motores Instalados en el Sistema 471-1VB		
471-1V4	Breaker 600 Amp.	471-1M1
471-1V5	Breaker 600 Amp.	471-1M2
471-1V6	Breaker 600 Amp.	471-1M3

Cuadro 3-25 Motores Conectados al Punto 471-1VB.

1.1.1. Datos de Voltajes y Corrientes del Punto 471-1VB.

El **Anexo 7-A**, se muestran los valores analizados, con sus curvas donde se muestran valores bajos, medios y altos más sin embargo en el **Cuadro 3.26** se indican los valores como resumen, tomados del analizador **Fluke 435**. Dentro de los valores tomados, hay que tomar en cuenta que están medidos en un punto general, y por lo tanto los resultados obtenidos son los totales de éste sistema.

Fuente: Los Autores.

	Voltaje	Corriente
Fase 1	258.34∠0°	1140∠ - 27°
Fase 2	257.38∠ - 120°	1148∠ - 151°
Fase 3	257.33∠ - 240°	1058∠ - 270°
Voltaje de Neutro	0.17	
Fase 1-2	447.44	
Fase 1-3	445.78	
Fase 2-3	445.69	
Corriente de Neutro		27

Cuadro 3-26 Valores de Voltaje y Corrientes Tomados con Analizador.

3.5.1 Distorsión Armónica en el Punto 471-1VB. [17]

Si observamos el **Anexo 7-B**, se muestran los valores obtenidos en las pruebas de distorsión armónicas que se han realizado con el analizador **Fluke 435**, además en la siguiente tabla se muestra un resumen de los valores obtenidos tanto en el quinto y séptimo armónico, donde podemos darnos cuenta que en éste sistema, del punto **471-1VB** los valores que dan son relativamente bajos en cuanto a otras mediciones, de otros ventiladores que han sido medidos en forma individual, además con estos valores medidos es claro, que no requerimos en éste punto ningún filtro armónico ya que los valores obtenidos están por debajo de lo que se recomienda en la norma **IEC 61000 VER TABLA 9**

Fuente: Los autores.

Distorsión Armónica en el Punto 471-1VB						
Fase	Armónicos de Voltajes			Armónicos de Corrientes		
	Orden			Orden		
	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico
Fase 1	3.5	1.9	1.5	8	3	2
Fase 2	3.8	1.8	1.5	8	3	2
Fase 3	3.5	1.9	1.5	8	3	2
Neutro	18	12	20	9	4	3

Cuadro 3-27 Distorsión Armónica en el Punto 471-1VB.

A pesar, de que los valores que dieron como resultado en la tabla anterior para los valores armónicos, son relativamente bajos, o que guardan relación con las normas establecidas, en cuanto a los valores que se pueden admitir de armónicos. En las pruebas realizadas para el análisis termo gráfico, nos podemos dar cuenta en la transferencia que se encuentra aguas abajo del punto **471-1VB**, del variador de frecuencia que principalmente en los puntos de conexión más relevantes o donde pasa la mayor cantidad de corriente, existen temperaturas entre el orden de 43 a 51 °C, para una mejor visualización ver la **Foto 18**.

3.5.2 Mediciones de Potencia en el Punto 471-1VB.

Si observamos el **Anexo 7-C**, tenemos los valores de las curvas de potencia activa, reactiva, aparente, y factor de potencia, a los cuales se puede medir, mediante el analizador **Fluke 435** en el punto de medición **471-1VB**, el cual contiene los motores antes mencionados y que están siendo objeto de análisis en el presente estudio.

A continuación se muestra el **Cuadro 3.28** un resumen, la tabla de potencias obtenidas para tener una mejor visualización y comprensión de las mediciones.

Fuente: Los Autores.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Total
Potencia Activa	254	253,6	234,2	0,742 MW
Potencia Aparente	281.3	294,7	270,6	0,852 MVA
Potencia Reactiva	131	151,7	136,3	0,419MVAR
Factor de Potencia	0.88	0,85	0,86	0,87

Cuadro 3-28 Valores de Potencias en el Punto 471-1VB.

3.6 Datos y Mediciones Tomadas del Punto 471-1V9.

En éste punto de medición, no se trata de un motor específico sino de un conjunto de motores con sus respectivas protecciones, en este punto se decidió realizar el análisis para completar los puntos de análisis en la distribución de la subestación.

Ver Cuadro 3.29, para una mejor comprensión de la distribución en mención.

Fuente: Los autores.

Referencia de Equipos Instalados en el Sistema 471-1V9		
471-1V9	Breaker de 50A	492-BT1
	Breaker de 15A	492-CD1
	Breaker de 15A	492-GU2
	Breaker de 100A	492-TC3
	Breaker de 100A	492-TC4
	Breaker de 100A	492-VE2
	Breaker de 100A	492-VE3

Cuadro 3-29 Punto de Distribución de Referencia 471-1V9.

3.6.1 Datos de Voltajes y Corrientes del Punto 471-1V9.

Como ya lo mencionamos en el punto anterior, la medición en éste caso se está dando en el punto **471-1V9** el cual no es un motor, sino el punto de conexión de varios motores como lo indica en el **Cuadro 3.29**, para éste caso se presenta a continuación el **Cuadro 3.30**, que se refiere a los valores de voltajes y corrientes tomados por el analizador **Fluke 435**.

	Voltaje	Corriente
Fase 1	261.16∠0°	77∠ - 62°
Fase 2	261.16∠ - 120°	77∠ - 184°
Fase 3	260.88∠ - 240°	77∠ - 304°
Voltaje de Neutro	0.17	
Fase 1-2	452.32	
Fase 1-3	452.32	
Fase 2-3	451.84	
Corriente de Neutro		7

Cuadro 3-30 Valores de Voltaje y Corrientes Tomados con Analizador Fluke 435.

Para tener una visualización de cómo va la curva con respecto al tiempo, y además ver los puntos mínimos, medios y máximos de voltajes y corrientes, podemos observar el **Anexo 8-a**, en donde lo da con mayor detalles. Así mismo, se puede apreciar la onda de voltaje generada en el **Anexo 8 A-1** con voltaje de línea de 440, además en el **Anexo 8-A-2** también existe una onda tomada con un voltaje de línea a neutro, la forma de la onda no se encuentra tan distorsionada porque recordemos que éste ventilador, no tiene la cantidad de armónicos que tienen otros equipos en estudio.

Los **Anexos 8-A3 y 8-A4**, muestran los diagramas fasoriales con sus respectivos ángulos de fase, los cuales se encuentran en los cuadros de voltajes y certifican en su abertura, entre los ángulos de voltajes y corrientes el por qué éste punto, a pesar, de tener un bajo nivel de armónicos tiene un bajo factor de potencia, recordemos que este punto es carga motórica con una cantidad de 7 motores.

El **Anexo 8-A5**, muestra de una forma sucinta, los valores arrojados por el analizador **Fluke 435** con respecto a los voltajes y corrientes tanto rms, como valores pico, además valores de a qué frecuencia se encuentra trabajando el sistema.

3.6.2 Distorsión Armónica en el Punto 471-1V9.

El **Anexo 8-B**, encontramos los valores obtenidos en las pruebas de distorsión armónicas que se han realizado con el analizador **Fluke 435**, además en la siguiente tabla se muestra un resumen de los valores obtenidos tanto en el quinto, séptimo y décimo primer armónico, donde podemos darnos cuenta que en éste sistema, del punto **471-1V9**, los valores que dan son relativamente bajos en cuanto a otras mediciones, de otros ventiladores que han sido medidos en forma individual, además

con estos valores medidos es claro, que no requerimos en éste punto ningún filtro armónico ya que los valores obtenidos están por debajo de lo que se recomienda en la norma **IEC 61000 VER TABLA 9**

Fuente: Los autores.

Distorsión Armónica en el Punto 471-1V9						
Fase	Armónicos de Voltajes			Armónicos de Corrientes		
	Orden			Orden		
	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico
Fase 1	4	2	1.5	10	4	2
Fase 2	4	2	1.5	8	4	1.5
Fase 3	4	2	1.5	8	4	2
Neutro	18	12	18			

Cuadro 3-31 Distorsión Armónica en el Punto 471-1V9.

Si se observa el **Cuadro3.31**, los valores que dieron como resultado en la tabla anterior para los valores armónicos, son relativamente bajos, por lo que guardan relación con las normas establecidas, en cuanto a los valores que se pueden admitir de armónicos.

3.6.3 Mediciones de Potencia en el Punto 471-1V9.

Si observamos el **Anexo 8-C**, tenemos los valores de las curvas de potencia activa, reactiva, aparente, y factor de potencia, a los cuales se puede medir, mediante el analizador **Fluke 435** en el punto de medición **471-1V9**, el cual contiene los motores antes mencionados y que están siendo objeto de análisis en el presente estudio.

A continuación se muestra el **Cuadro 3.23**, un resumen la tabla de potencias obtenidas para tener una mejor visualización y comprensión de las mediciones.

Ver Anexo 57

3.7 Datos y Mediciones Tomadas del Ventilador 471-VE3.

El presente análisis corresponde a un motor cuya denominación es ventilador **471-VE3**, el cual se encuentra conectado en la misma barra de los ventiladores que usan variadores de frecuencia con la diferencia, que éste no usa variador de frecuencia, a continuación se muestran los datos de placa del motor en el **Cuadro 3.32**

A continuación en el **Cuadro 3.32**, se detalla los datos del **Ventilador 471-VE3**.

471 - VE3					
MODEL	A17772				
Ph	3	Max. Amb.	40°C	Insul Class	F
Type	FCT	Frame	447T	ENCL	TE
DUTY	CONT	Wt	1900 Lbs.	Code	G
HP	200	RPM	1785	S.F.	1,15
V	480	A	221	Hz	60
Max. KVAR	50	DES	B	P.F.	85,1
EMERSON					

Cuadro 3-32 Datos de Placa del Ventilador 471-VE3.

3.7.1 Datos de Voltajes y Corrientes en el Ventilador 471-VE3.

A continuación se muestra el **Cuadro 3.33**, los valores tomados del analizador **Fluke 435**, para una mayor ilustración **Ver Anexo 9-A**, en donde se puede observar los valores máximos y mínimos, en diferentes períodos de tiempo. Además el **Anexo 9-A-1**, muestra la curva de voltaje rms en éste caso particular se nota la curva casi normal en su forma de onda sinusoidal, esto se atribuye a que este motor no tiene tanta carga de armónicos.

Si observamos los **Anexos del 9-A-2 hasta el 9-A-5**, nos muestra las curvas de corrientes los ángulos de desfases en donde por cierto se muestran muy separados su ángulo de fase con respecto a la de corriente en retraso esto denota claramente que se trata de valores inductivos, por la carga motorica que además tiene un bajo factor de potencia en éste caso de 0.72, con lo que convendría realizar un estudio para mejorar el factor de potencia en este motor, é instalar un banco de capacitores como banco local.

Fuente: Los autores.

	Voltajes	Corrientes
Fase 1	271.3 $\angle 0^\circ$	123 $\angle -41^\circ$
Fase 2	272.2 $\angle -120^\circ$	124 $\angle -162^\circ$
Fase 3	271.3 $\angle -240^\circ$	115 $\angle -282^\circ$
Neutro		
Fase 1-2	472.2	
Fase 1-3	472	
Fase 2-3	470.6	

Cuadro 3-33 Valores Tomados con Analizador Fluke 435.

3.7.2 Distorsión Armónica en el Ventilador 471-VE3.

Al analizar el ventilador **471-VE3**, de la subestación enfriadora 1, en cuanto a la producción de armónicos, nos encontramos que el nivel de armónicos ya sea en voltajes y corrientes son relativamente bajas y están bajo las normas establecidas por lo que no se requiere de un análisis más profundo como la adaptación de un filtro para atenuar armónicos, como sí ha sido el caso de otros ventiladores.

El **Cuadro 3.34**, se indican los resultados del analizador donde se muestra la distorsión armónica existente en el ventilador 471-VE3.

Fuente: Los autores.

Distorsión Armónica Ventilador 471-VE3						
Fase	Armónicos de Voltajes			Armónicos de Corrientes		
	Orden			Orden		
	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico	% 5° Armónico	% 7° Armónico	% 11° Armónico
Fase 1	3.5	2	1.7	7.8	4.1	2.0
Fase 2	3.7	2	1.7	8.1	4.2	1.8
Fase 3	3.6	1.9	1.9	8.4	4.2	2.1
Neutro						

Cuadro 3-34 Distorsión Armónica del Ventilador 471-VE3.

Si observamos en la (**Foto 20**), tomada con la cámara termo gráfica marca **VISIR640**, se pueden apreciar claramente dos puntos o sectores del motor donde se están generando la mayor temperatura de la máquina.

El punto 1, la cámara muestra un valor de 52.14°C, esto a la altura de los rodamientos del motor, en el punto 2 muestra otra temperatura de operación, que es de 53.31°C a un costado de la máquina. Para tener una mayor certeza de lo que puede estar produciendo estos valores en la temperatura de la máquina si sería importante que entre a un plan de mantenimiento preventivo, para así ir corrigiendo ciertas fallas y desgastes en la máquina lo que se traduce en un menor rendimiento de la misma por fallas mecánicas. La imagen termo gráfica nos muestra uniformidad en la temperatura a lo largo del motor, se muestra claramente la corriente de aire fresco proveniente del ventilador del motor disipando la temperatura homogéneamente, además que la temperatura de esta máquina no se iguala a la de los otros motores.

3.7.3 Mediciones de Potencia en el Ventilador 471-VE3.

El **Anexo 9-C**, se puede observar con mayor detalle, en cuanto a las curvas, la variación de los valores de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia a los que alcanza a consumir el ventilador en estudio. A continuación se muestra en un resumen, la tabla de potencias obtenidas para tener una mejor visualización de las mediciones. **Ver Anexo 58**

3.7.4 Prueba de Aislamiento del Motor del Ventilador 471-VE3.

La **Figura 3.10**, muestra una historia del índice de polarización, en la última medición realizada. Esta dio un valor de 6.653 con un voltaje de 500v durante 600sg, este valor de 6.653 por tabla de valores nos indica que el aislamiento de las bobinas del estator esta cristalizado, pero la curva de la derecha correspondiente a esa medición se muestra de forma exponencial indicándonos que el aislamiento se encuentra en buen estado, después de haber obtenido esta medición, se recomendó realizar una limpieza al estator del motor y realizar una nueva medición para corroborar las mediciones. **Ver Anexo 59**

La figura se muestran los valores obtenido en la prueba de voltaje de paso, en la última medición dio valores muy buenos que indican que el aislamiento del motor está en buenas condiciones, la prueba fue realizada iniciando con un voltaje de 500v terminando en 1000v con pasos de 125v, la curva de descarga a tierra nos muestra el buen estado del bobinado. **Ver Anexo 60**

3.7.5 Pruebas de Vibración del Motor.

El análisis de vibración de este motor, nos indica que no hay daño en los rodamientos del motor, más sin embargo se detectó un incremento en la frecuencia de 120hz que nos indica que hay una ligera excentricidad en el rotor y estator, esto puede ser generado por un desbalance en el voltaje de alimentación o por una ligera deformación en el entre hierro del estator (deformación de fábrica), los niveles obtenidos no son alarmantes por lo que se generó un reporte de fallo para hacer una revisión en el voltaje de alimentación y descartar que la novedad sea generada por este factor. **Ver Anexo 61**

CAPITULO IV

4 FILTROS ARMÓNICOS. [16]

En los sistemas industriales, cada vez es más frecuente el uso de cargas no lineales conectadas a sistemas eléctricos de potencia, en donde se incluyen convertidores estáticos de potencia, dispositivos descargadores de arcos, etc.

Las cargas no lineales, cambian la naturaleza de la onda sinusoidal de la corriente de alimentación AC y esto como consecuencia lleva a una caída de voltaje en AC que como resultante da un flujo de corrientes armónicas en los sistemas de potencia de AC, lo que causa interferencia en los sistemas eléctricos.

Para contra restar este efecto que producen las cargas no lineales se utiliza un filtro armónico cuyo propósito es reducir el flujo de corriente ó voltaje armónico aplicado a las partes específicas de un sistema de potencia eléctrica.

4.1 Filtro Ajustado.

Se considera filtro ajustado cuando existe la combinación de condensadores, inductores y resistores que se calculan de tal forma que presenten una impedancia mínima ó máxima relativa a una o más frecuencias específicas

Para un filtro paralelo (serie), la impedancia es un mínimo (máximo). Los filtros ajustados generalmente tienen una relativamente alta Q (X/R).

4.2 Filtro Amortiguado.

Este filtro consiste en la combinación de condensadores, inductores, y resistores que han sido seleccionados de tal manera que presenten una impedancia baja, en un ancho rango de frecuencias. El filtro usualmente tiene una relatividad baja Q (X/R).

4.3 Filtro Paralelo.

Un tipo de filtro que reduce los armónicos proporcionando un camino de baja impedancia para desviar los armónicos lejos de la fuente del sistema a ser protegido.

4.4 Filtro Serie.

Un tipo de filtro que reduce los armónicos colocando una impedancia alta en serie entre la fuente armónica y el sistema a ser protegido.

4.5 Filtro Pasa Alto.

Un filtro que tiene una banda de transmisión sencilla extendida desde alguna frecuencia de corte, diferente de cero, hasta la frecuencia infinita.

4.6 Reactores de Línea.

Para diseñar un reactor de línea, se considera manejar corrientes distorsionantes, tanto la corriente fundamental como la armónica además del efecto de las frecuencias que esto implica, instalándose entre la alimentación y el VFD o grupos de estos. Si deseamos reducir el contenido de armónicos, se debe instalar un reactor de línea cuya corriente nominal fundamental se acerque a la de operación, ya que si se sobredimensiona, el THD que se conseguirá será muy por encima del calculado.

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

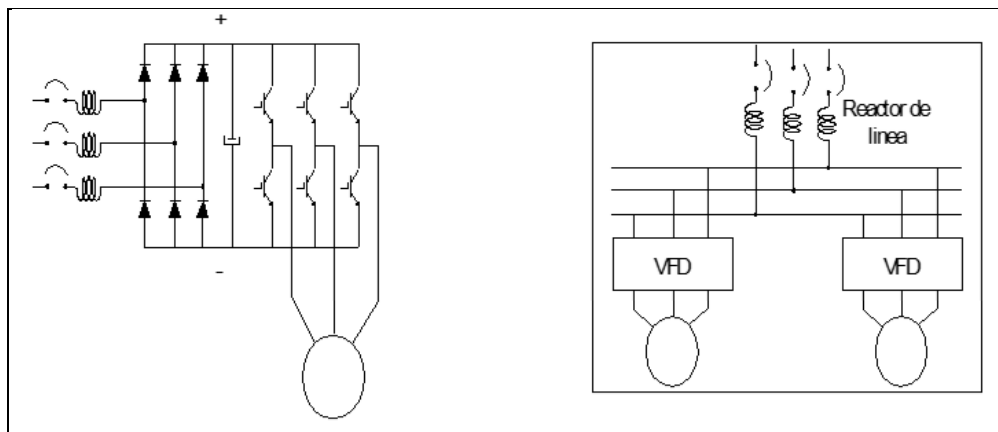


Fig. 4-1 Conexión de reactores de línea a) VFD individual b) Grupo de VFD.

Los efectos que se producen al instalar los reactores de línea son:

- Reducen la razón de crecimiento de la corriente di/dt , mejorando la forma de onda.
- Limitan la corriente de corto circuito en caso de que la falla ocurra en la alimentación del VFD.
- Amortiguan los picos generados por la conmutación de capacitores en la red, reduciendo los disparos y fallas de los VFD.
- Producen una caída de tensión proporcional a su impedancia, reduciendo el voltaje en la alimentación del VFD.

4.7 Filtros Sintonizados.

Estos filtros son pasivos y se conectan en paralelo al sistema de distribución general o a cargas individuales con la finalidad de reducir el nivel de armónicos producido por las cargas no lineales, además de estos proporciona potencia reactiva fundamental para compensar el factor de potencia.

Cuando los filtros se instalan en el bus principal de distribución, su potencia total está conformada por grupos o pasos y son accionados por contactores de acuerdo al requerimiento de potencia reactiva del sistema ante una condición dada.

En lugares donde existen diversas cargas no lineales de potencia y de funcionamiento prolongado, se puede instalar un filtro para cada una de estas cargas, coordinando su operación y reduciendo tanto la corriente fundamental como la distorsionante desde el punto de conexión.

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

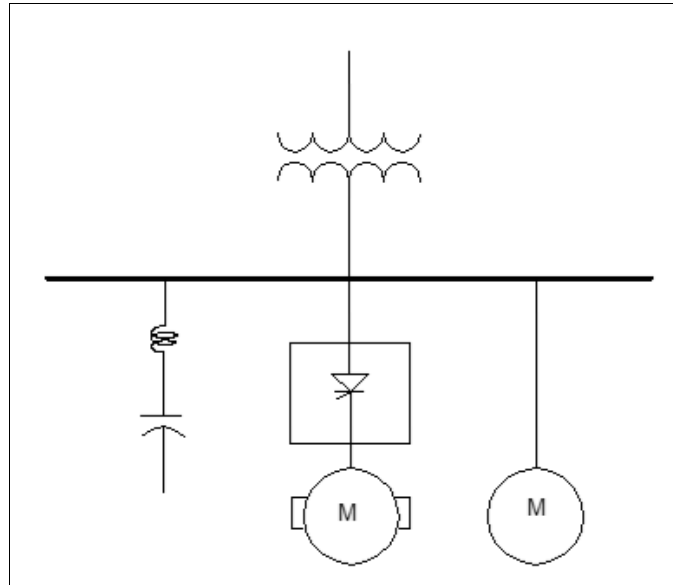


Fig. 4-2 Conexión del filtro desintonizado en paralelo al bus de distribución del sistema.

Están compuestos por una inductancia en serie con un capacitor que puede estar conectado en delta o en estrella y cuyos valores definen la frecuencia de sintonía.

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

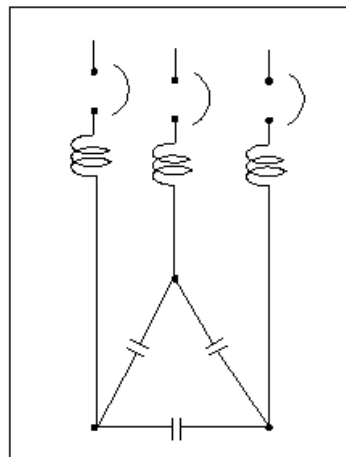


Fig. 4-3 Arreglo de Filtro sintonizado con capacitor en conexión delta.

Se denomina frecuencia de sintonía o frecuencia de resonancia serie cuando la impedancia de filtro se hace cero, lo que permite que las corrientes de esa frecuencia fluyan en su totalidad a través de él.

La frecuencia de sintonía debe ser inferior a la menor armónica dominante, para que atenúe a esta y a las de orden superior, comportándose el filtro como un elemento inductivo, por lo que las corrientes armónicas de mayor orden ya no estarán expuestas a condiciones de resonancia, reduciéndose la potencia distorsionante del sistema.

En los filtros sintonizados se debe considerar que la corriente está compuesta, por la corriente de la potencia reactiva fundamental y por la corriente distorsionante producida por las cargas no lineales.

4.8 Filtros Desintonizados.

Este tipo de filtros tiene el mismo arreglo y conexión a la red que el filtro sintonizado, la diferencia es que se sintonizan a una frecuencia que no se espera que exista en el sistema y muy por debajo de la armónica característica de menor orden esto es entre la tercera y cuarta armónica.

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

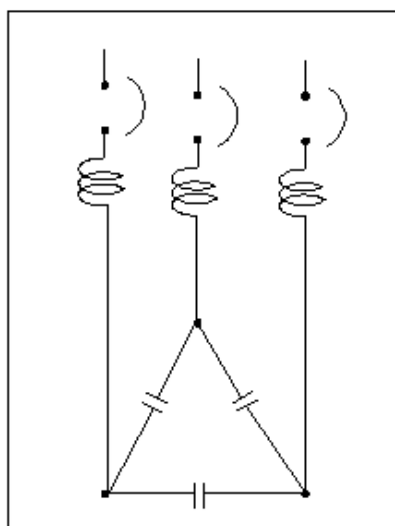


Fig. 4-4 Arreglo de Filtro desintonizado.

Se utiliza para compensar el factor de potencia, en un sistema donde la proporción de la carga no lineal con relación a la total es inferior al 40 % y se desea proteger a los capacitores contra sobre cargas armónicas.

Una de las ventajas de los filtros desintonizados es que son más económicos ya que sus componentes están expuestos a corrientes armónicas menores y pueden funcionar adecuadamente ante ciertos incrementos de carga no lineal, la desventaja es que su aplicación no será conveniente cuando la carga distorsionante exceda el 40 % de la total. Su funcionamiento debe estar coordinado con la demanda de potencia reactiva de la carga para evitar sobrecargar al transformador de distribución.

Los efectos más importantes de los filtros desintonizados en el sistema son:

- Proteger a los capacitores.
- Evitar resonancias.
- Compensar el factor de potencia de desplazamiento.

4.9 Filtros Pasivos. [18]

Los filtros pasivos se componen de inductancias y condensadores, conectados con una configuración del circuito resonante en el orden de las frecuencias armónicas a ser eliminadas. Estos dispositivos se conectan en paralelo con el generador de armónicos, con la finalidad de absorber las corrientes armónicas, evitando su circulación en el circuito.

Normalmente el filtro pasivo se limita a controlar las armónicas de 5, 7 y 11.

Las aplicaciones más frecuentes de los filtros armónicos son para instalaciones de potencias medias y altas, en donde incluye variadores de velocidad, hornos de inducción y rectificadores, además de sistemas donde requieran corregir el factor de potencia.

La **Fig. 4.5** muestra la conexión de un filtro pasivo

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

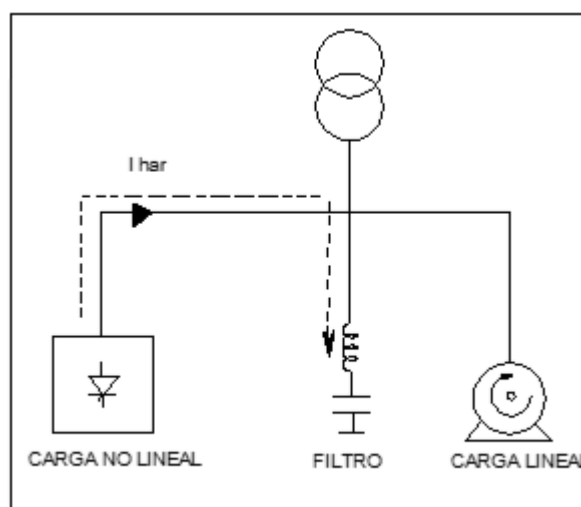


Fig. 4-5 Filtro Pasivo.

El filtro pasivo se utiliza con el fin de reducir las perturbaciones en las redes eléctricas, se lo utiliza de las siguientes formas:

- Reduciendo la perturbación que genera la carga no lineal en dirección de la fuente.
- Reduciendo la perturbación desde la fuente hacia la carga en el caso de que la fuente ya posea problemas con la calidad de su energía.

El filtro pasivo de potencia se caracteriza por estar compuesto de elementos pasivos como inductores y capacitores combinados de diferentes formas dependiendo de la necesidad. **Ver la Fig. 4.6**

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

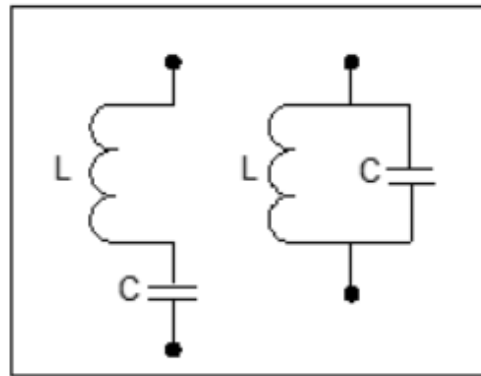
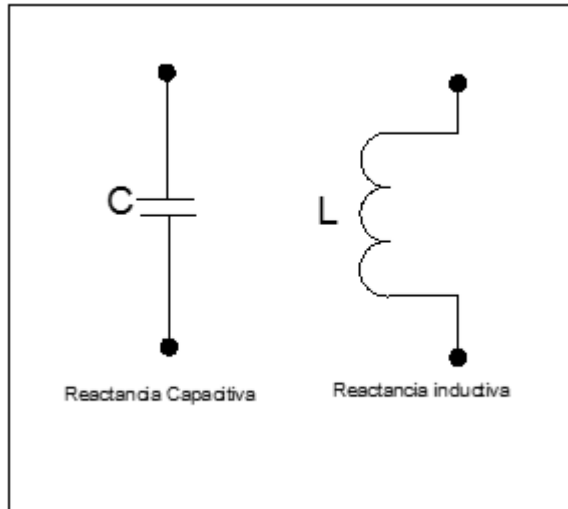


Fig. 4-6 Posibles combinaciones de elementos pasivos que pueden formar parte de un arreglo de un filtro pasivo.

Cada arreglo de filtros pasivos puede poseer más de una rama de elementos pasivos, ya que cada rama es sintonizada para suprimir la distorsión que ocasiona un armónico.

Como estos elementos inductivos y capacitivos trabajan con energía alterna estos presentan una impedancia al paso de la corriente en función de la frecuencia de la misma la que se la conoce como reactancia. **Ver Fig. 4.7**

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.



$$X_C = \frac{-j}{2\pi f n C} \quad X_L = j2\pi f n L$$

Fig. 4-7 Funciones matemáticas para elementos pasivos.

4.10 Tipos de Filtros Pasivos de Potencia.

Los filtros se diseñan de acuerdo al tipo de distorsión armónica ya sea para suprimir los armónicos que genera alguna carga no lineal para que la distorsión no llegue a la fuente, o para suprimir la distorsión armónica que se encuentran ya en el voltaje de la fuente para que no afecte a las cargas que se necesitan conectar en la red eléctrica, estos filtros pueden ser:

- Filtros Series.
- Filtros Paralelos.

4.10.1 Filtros Pasivos de Potencia Serie.

Se lo denomina serie ya que la implementación en el circuito se la realiza en serie a la carga no lineal. Ver Fig. 4.8

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

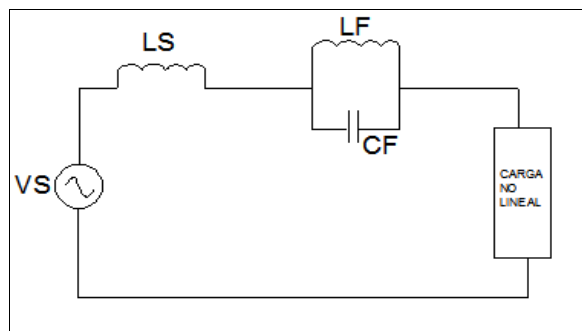


Fig. 4-8 Circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo de potencia serie.

La estructura de un filtro en serie consta de un elemento inductivo y un capacitivo en paralelo. (Ver Fig. 4.8)

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

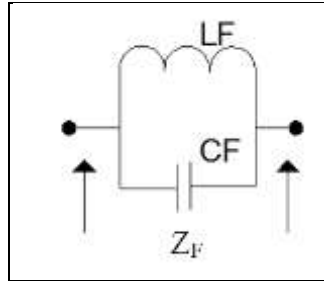


Fig. 4-9 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo de potencia serie.

Esto viene dado por la siguiente ecuación para su impedancia Z_F

$$Z_F = \frac{X_{LF} * X_{CF}}{X_{LF} + X_{CF}}$$

Ecuación 4-1 (Impedancia)

Si en el denominador de la ecuación se iguala a cero el filtro presentaría un valor de impedancia infinita, de esta forma podemos calcular nuestro filtro para que se comporte como un circuito abierto, evitando así el paso de la perturbación.

$$X_{LF} + X_{CF} = 0$$

Ecuación 4-2

Ecuación para encontrar la frecuencia que hará resonar el filtro.

$$\omega_n = 2 * \pi * F * N$$

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{L * C}}$$

Ecuación 4-3

De esta forma el filtro serie evita el paso de la señal que esté compuesta por la frecuencia a la que el filtro se encuentre sintonizado, disminuyendo así la circulación de la perturbación de la señal que se encuentra en la fuente hasta la carga.

4.10.2 Filtro Pasivo de Potencia Paralelo.

Se lo denomina paralelo porque el filtro va en paralelo con la carga no lineal. (Ver Fig. 4.10)

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

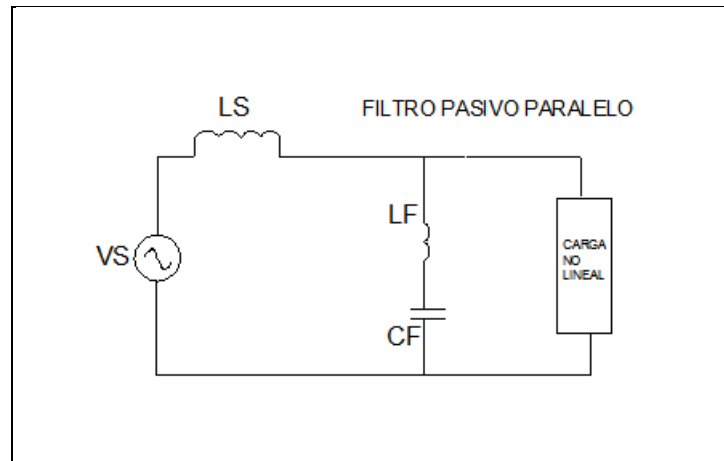


Fig. 4-10 Circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo de potencia paralelo.

La estructura de una rama del filtro es como muestra la (Figura 4.11).

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

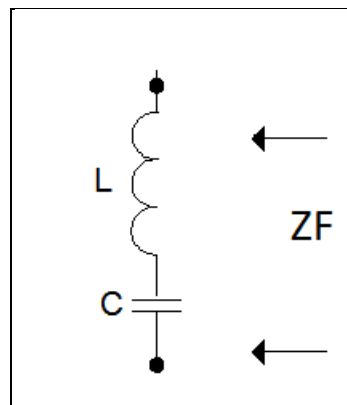


Fig. 4-11 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo de potencia paralelo.

La ecuación de la impedancia Z_F del filtro paralelo es como muestra la **ecuación 4.4**.

$$Z_F = X_{LF} + X_{CF}$$

Ecuación 4-4

El propósito del filtro paralelo es de servir como camino de descarga hacia la tierra para las señales armónicas, la impedancia total del filtro debería ser 0. **Ver ecuación 4.5**

$$X_{LF} = X_{CF}$$

Ecuación 4-5

Para disminuir la perturbación de varias componentes armónicas se deberá utilizar varias ramas, cada rama del filtro se debe sintonizar a una frecuencia de las corrientes armónicas que conforman la perturbación, de esta manera se forma un camino de mínima impedancia para que la corriente armónica sea descargada hacia la tierra, así se evitan que las señales de perturbación viajen hacia la fuente, estas perturbaciones son conocidas como armónicas de corriente.

4.11 Filtros Activos. [18]

Está compuesto por un generador de señales eléctricas conocido como inversor, este inversor forma parte de un sistema electrónico de control, en el cual indica la forma de onda que debe generar.

La finalidad de este filtro activo, es el de reducir los problemas de tal forma que la corriente que circule por la red sea sinusoidal y que la tensión aplicada a las cargas también lo sean, mejorando la eficiencia del sistema. (Ver Fig. 4.13)

Este filtro está diseñado desde la óptica de la electrónica de potencia, con controladores y sensores digitales que verifican la corriente de carga de la línea, con la finalidad de calcular la cantidad de corriente y el orden de la armónica del sistema.

La unidad de potencia genera la corriente activa en oposición a las corrientes armónicas de la carga. La corriente resultante de este proceso será una corriente armónica con un bajo contenido de las mismas. Esta reducción puede estar en el orden del 10 o 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.

En la Fig. 4.12 tenemos la representación gráfica del filtro activo.

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

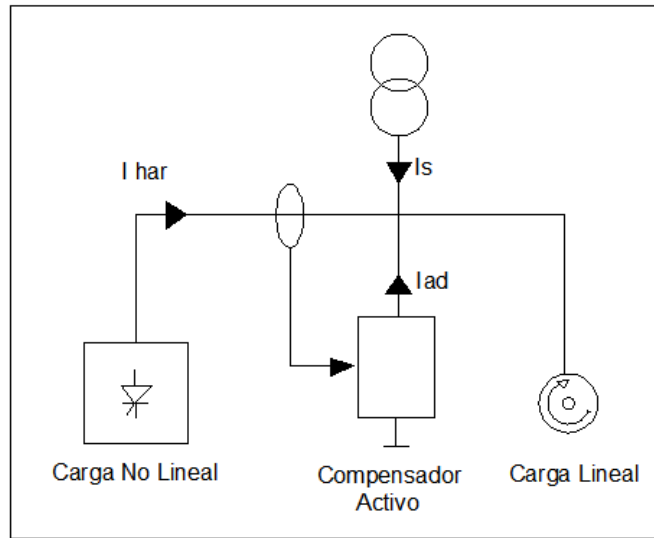


Fig. 4-12 Representación Gráfica de la Conexión del Filtro Activo

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

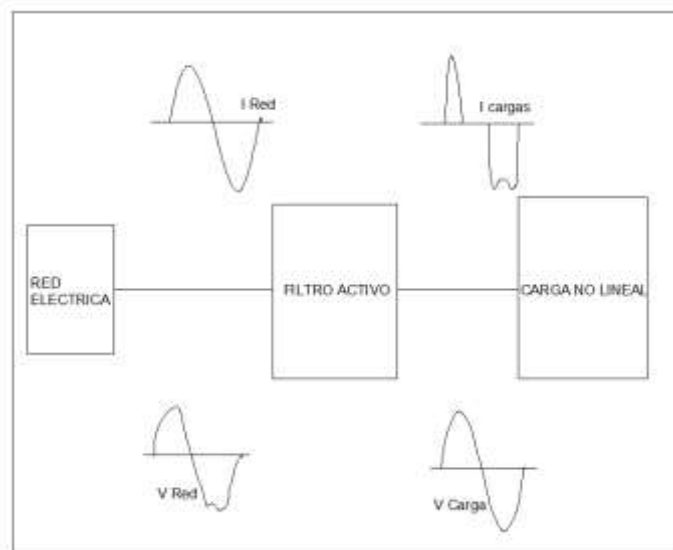


Fig. 4-13 Representación de la operación un filtro activo de potencia.

Se clasifican en filtros activos paralelo y filtro activo serie. (Ver Fig. 4.14)

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

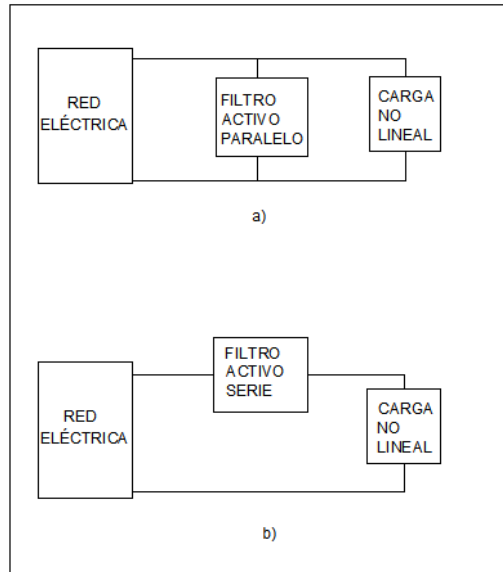


Fig. 4-14

a) Bosquejo de la conexión de un filtro activo de potencia paralelo.

b) Bosquejo de la conexión de un filtro activo de potencia serie.

Como se puede apreciar el nombre del filtro dependerá de cómo esté conectado a la carga.

4.11.1 Filtros Activos de Potencia Serie.

Se usa este tipo de filtros cuando el voltaje de la red se encuentra distorsionado, por causa de las corrientes armónicas. (Ver Fig. 4.15)

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

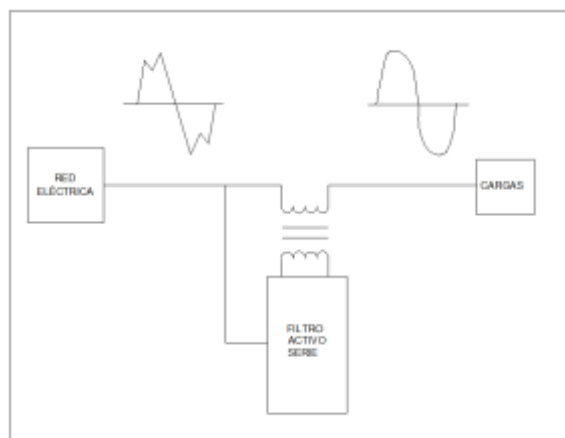


Fig. 4-15 Representación Gráfica de la acción de un filtro activo de potencia serie.

Éste filtro tiene como característica bloquear el paso hacia la fuente de las corrientes armónicas que se generan en la carga.

4.11.2 Filtro Activo de Potencia Paralelo.

El filtro en mención se usa para cuando tenemos una carga no lineal que genera una distorsión armónica de corriente. (Ver Fig. 4.16)

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

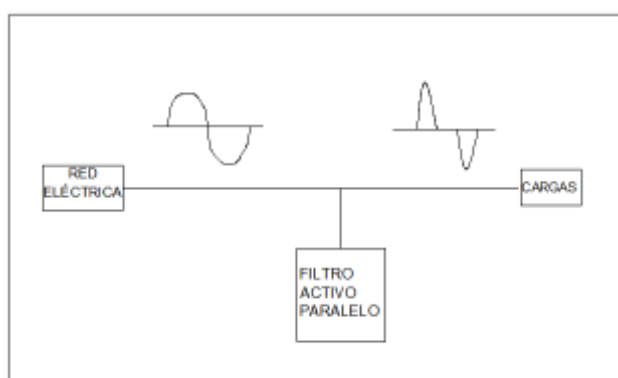


Fig. 4-16 Representación gráfica de la acción de un filtro activo de potencia paralelo.

El filtro está constituido por cinco bloques bien definidos. El propio convertidor de potencia, el enlace de corriente entre el convertidor y el punto de conexión a la red, el elemento almacenador de energía del filtro activo, los dispositivos de acondicionamiento de las señales de potencia y el controlador. (Ver Fig. 4.17)

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

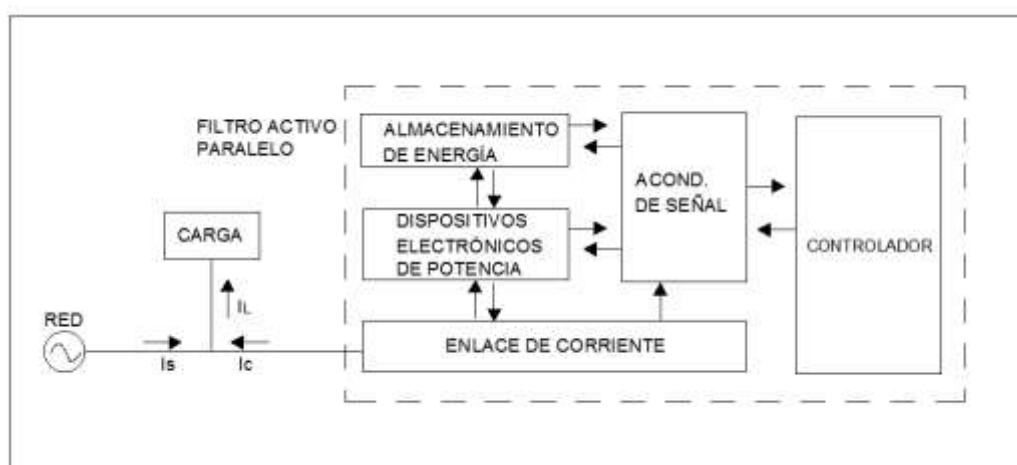


Fig. 4-17 Estructura básica de un filtro paralelo.

El convertidor está constituido por dispositivos electrónicos, de potencia que mediante su conmutación permite controlar el flujo de energía entre elemento

almacenador del filtro activo de potencia y la red. Esto debería funcionar como interruptores bidireccionales que permitan el flujo de potencia en ambos sentidos.

4.12 Filtros Híbridos.

Este filtro es la combinación de un filtro pasivo y un filtro activo, ésta combinación permite reducir el tamaño y costos de los filtros.

En general las aplicaciones de las estructuras son las siguientes:

Filtro Serie:

- Reducción de armónicos de tensión en la carga.
- Regulación de la tensión.
- Reducción del Flicker y los micros cortes de tensión.

Filtros Paralelos:

- Reducción de los armónicos de corriente.
- Compensación del factor de potencia.
- Reducción de la corriente por el neutro.

4.12.1 Filtro Híbrido Serie.

Este filtro se compone de un filtro activo conectado en serie con la impedancia de fuente y el filtro pasivo en paralelo a la carga. (Ver Figura 4.18).

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

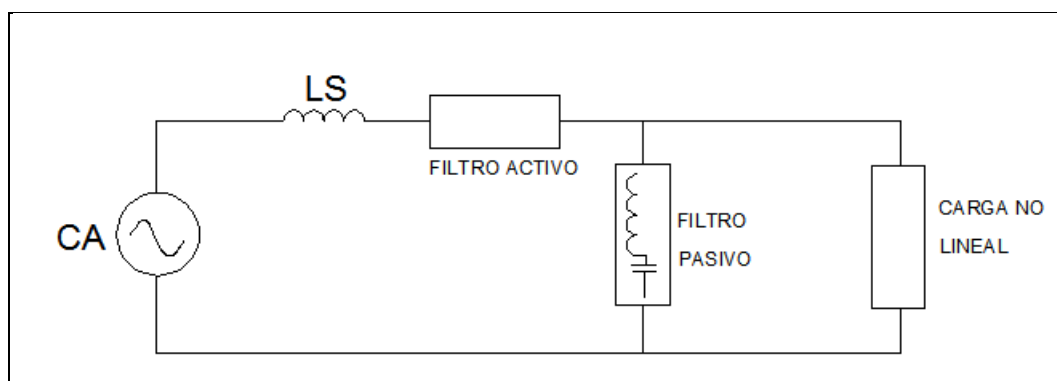


Fig. 4-18 Bosquejo de conexión de un filtro híbrido de potencia serie.

4.12.2 Filtro Híbrido Paralelo.

La configuración de un filtro híbrido paralelo consta de un filtro activo y un filtro pasivo que se conectan en serie formando un híbrido, para conectarse luego en paralelo con la carga no lineal. (Ver Figura 4.19)

Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad de Cantabria.

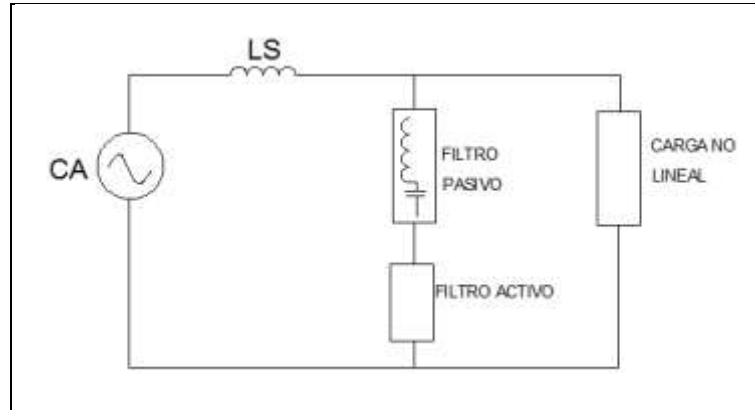


Fig. 4-19 Bosquejo de conexión de un filtro híbrido de potencia paralelo.

CAPITULO V

5 CÁLCULO DE FILTROS ARMÓNICOS. [19]

5.1 Introducción.

Lo que se pretende establecer en este capítulo, es poder determinar mediante cálculos sugeridos a lo largo de este estudio a cuales ventiladores o partes del sistema, se colocarían los filtros de distorsión armónicas además, de poder determinar el tipo de filtro armónico a utilizar. Habrá que mencionar el porqué no se colocará filtros a todos los ventiladores, haciendo mención de las deferentes normas existentes.

Lo estudiado hasta el momento, ha sido la parte teórica en donde se ha realizado el estudio y análisis de los diferentes filtros utilizados en la industria, con la finalidad de atenuar los armónicos generados en un sistema eléctrico producidos por cargas no lineales. En la actualidad es imprescindible el uso de estos equipos ya que ayudan a mantener un sistema eléctrico más estable y con equipos con una mayor vida útil, ya que los armónicos en la actualidad son el enemigo silencioso de los sistemas eléctricos.

Es por ello que éste estudio va dedicado especialmente a mejorar la calidad de energía de la fábrica de cemento Holcim Ecuador Planta Guayaquil Subestación Enfriadora 1, como resultado de las pruebas, análisis y la comprensión de ciertos parámetros que los determinan las normas internacionales establecidas a lo largo del desarrollo de esta se ha podido determinar que los filtros a instalarse serán filtros sintonizados pasivos ya que son los que se ajustan y requieren en el sistema eléctrico en mención, es lo que se ha podido determinar a lo largo de este estudio.

5.2 Filtro Pasivo Sintonizado. [20]

Este filtro es el más usado comúnmente en las aplicaciones industriales, el cual, representa muy baja impedancia al cambio de frecuencia. En este filtro se debe tomar en cuenta el crecimiento de las fuentes de corriente armónicas, porque si no, puede ser expuesto a sobrecargas, lo cual fácilmente puede producir un sobrecalentamiento externo é interno y causar un daño térmico.

Para diseñar un filtro pasivo sintonizado se requiere un conocimiento preciso de la carga de producción armónica y del sistema de potencia.

Los filtros pasivos siempre proveen compensación reactiva determinada por la capacidad y la tensión usada en el banco de capacitores. En hecho pueden ser diseñados para el doble objetivo de provisión de acción filtradora y compensación del factor de potencia al nivel deseado.

Este filtro es una combinación serie de una inductancia y una capacitancia. En realidad, en la ausencia de un resistor diseñado físicamente, estará siempre una resistencia serie, la cual es la resistencia intrínseca del reactor serie, algunas veces usado como un punto para evitar sobrecalentamiento del filtro. Todas las corrientes

armónicas cuya frecuencia coincide con la del filtro encontrarán un camino de baja impedancia a través del filtro.

En los filtros sintonizados el circuito serie se compone de una inductancia en serie a una resistencia de bajo valor. Aquí muestra una curva característica de este tipo de filtro. **Ver Anexo 62**

5.3 Ventajas del Filtro Pasivo Sintonizado.

- Mejora el factor de potencia en el circuito secundario de baja tensión lo que hace que mejore el sistema de distribución aguas arriba.
- Reducción de pérdidas técnicas en redes de distribución secundarias de baja y media tensión, transformadores de distribución, transformadores de media tensión y subestaciones de frontera
- Reducción de carga en transformadores de distribución
- Reducción de distorsión armónica de tensión y corriente en circuitos de baja tensión.
- Reducción de corriente de neutro causada por tercer armónico.
- Mejora de la regulación de tensión en las redes de baja tensión
- Disminución de temperatura en los transformadores de distribución.
- Recuperación de la capacidad de transformación, perdida por la distorsión armónica.
- Optimización de la capacidad de entrega de energía a un mayor número de usuarios por transformador.
- Aumento de la vida útil del transformador y de equipos.
- Mejora la calidad de potencia de suministro en especial de la forma de onda de la señal de tensión y regulación de tensión.
- Mínimos requeridos en mantenimiento, sistema robusto y sencillo.
- Facilita el diagnóstico de fallas en el sistema eléctrico.
- Fabricación nacional y apoyo técnico.
- Bajo costo de implementación.

El implementar un sistema de este tipo para atenuar los armónicos del sistema tiene muchos efectos positivos por la reducción de pérdidas, mejorando la calidad de energía y la potencia de suministro.

5.4 Ecuaciones a Considerar para el Cálculo del Filtro Pasivo Sintonizado. [21]

El diseño de éste cálculo se lo considera en varias etapas las cuales van a ser mencionadas por bloques. A pesar que se indicarán fórmulas de las cuales no las vamos utilizar por el momento en este cálculo, sí es importante detallarlas por que forman parte de nuestro análisis. Estas fórmulas no se las utilizaran en el cálculo porque son datos que fueron obtenidos en las mediciones.

5.4.1 Triángulos de Potencia. [22]

El llamado triángulo de potencias es la mejor forma de ver y comprender de forma gráfica qué es el factor de potencia o coseno de “Fi” (Cos) y su estrecha relación con los restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna. Ver **Figura 5.1**. Representa en forma gráfica el triángulo de potencias.

Fuente: Facultad de Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

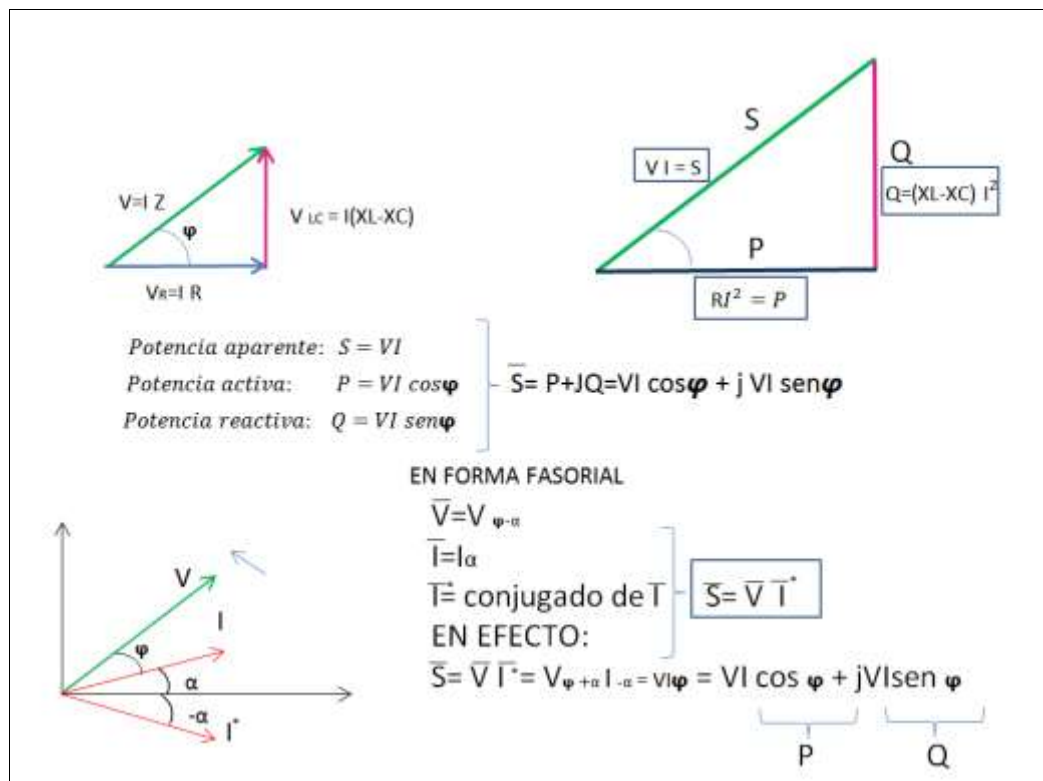


Fig. 5-1 Representación Gráfica del Triángulo de Potencias.

De donde aparece la manera de calcular la potencia aparente en la siguiente ecuación.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Ecuación 5-1

Por lo que se puede conocer la potencia aparente aplicando el teorema de Pitágoras.

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente y describe la relación entre la potencia de trabajo real y la potencia consumida.

El factor de potencia está definido por la siguiente ecuación.

$$Fp = \frac{P}{S}$$

Ecuación 5-2

Es importante llevar estos valores de factor de potencia lo más cercano a 1, para evitar penalizaciones por parte de las empresas distribuidoras de energía.

Como siguiente paso hay que calcular la potencia reactiva que se necesita para compensar el sistema de donde:

$$\text{Var} \quad \Rightarrow \quad Q_{\text{eff}} = (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) * P$$

Ecuación 5-3

θ_1 = Angulo del factor de potencia actual

θ_2 = Angulo del factor de potencia deseado

El diseño de éstos capacitores se establecen bajo las normas internacionales como la **IEEE-18-2002**.

Se calcula la reactancia efectiva del filtro

$$X_{\text{eff}} = \frac{(V_{\text{ll sist}})^2}{Q_{\text{eff}}}$$

Ecuación 5-4

Teniendo identificada la armónica que se desea filtrar, se debe de considerar un porcentaje menor de la frecuencia de sintonía, como lo sugiere la norma **IEEE-1531-2003** para evitar posibles resonancias de sintonía en el sistema. En ésta tesis se manejará el 6% menor de la frecuencia de sintonía para los cálculos a realizar.

$$X_c = \frac{(h * 0,6)^2}{(h * 0,6) - 1} * X_{\text{eff}}$$

Ecuación 5-5

5.4.2 Capacitores.

Los bancos de capacitores son componentes de los filtros sensibles a la tensión por lo siguiente:

- Los capacitores pueden exponerse a incrementos de tensiones durante la distorsión de la forma de la onda producida por armónicas.
- La tensión puede ser incrementada como pico de tensión, existiendo un incremento de los valores rms.
- La potencia reactiva de salida del capacitor cambiará con el cuadrado de la relación de la tensión rms distorsionada al rms no distorsionado.
- Cuando la entrada y salida de tensiones es frecuente, los capacitores del filtro pueden ser expuestos a daños.

Según la norma **IEEE-18-2002** para la operación de capacitores en derivación en sistemas de potencia se muestra en el **Cuadro 5.1**, los capacitores diseñados bajo esta norma operan a un valor menor de la tensión nominal y pueden ser capaces de operar bajo condiciones de contingencia.

VAR	135%
Tensión RMS	110%
Nivel de tensión, incluyendo armónicas	120%
Corriente RMS	135%

Cuadro 5-1 Límites Máximos Recomendados Para Operación Continua de Capacitores en Paralelo Bajo Condiciones de Contingencia.

En la ecuación que se muestra a continuación realizamos el cálculo del capacitor, su unidad de medida es el faradio.

$$C = \frac{1}{2\pi F X_c}$$

Ecuación 5-6

5.4.3 Reactor.

Para sacar valores de impedancia, nos remitimos a la ecuación que se muestra a continuación.

$$Z = R + \left[wL - \frac{1}{wC} \right]$$

Ecuación 5-7

Donde R, L, C son la resistencia, inductancia y capacitancia de los elementos del filtro, respectivamente, y ω es la frecuencia angular del sistema de potencia.

La impedancia es igual a cero, cuando la parte imaginaria de la resonancia serie es excitada.

Si hacemos h la relación entre la armónica y la frecuencia fundamental del sistema, la reactancia inductiva y capacitiva a la frecuencia armónica puede ser expresada como:

$$X_{Lh} = h\omega L$$

Ecuación 5-8

$$X_{ch} = \frac{1}{h\omega C}$$

Ecuación 5-9

Si asumimos una resistencia cero en la **Ecuación 5.7** cae a cero la frecuencia sintonizada.

$$X_{Lh} = X_{ch}$$

Ecuación 5-10

Sustituyendo en 5.8 y 5.9 y resolviendo tenemos

$$h^2 = \frac{XC}{XL}$$

$$h = \sqrt{\frac{XC}{XL}}$$

Ecuación 5-11

Si necesitamos XL

$$XL = \frac{Xc}{h^2}$$

Ecuación 5-12

Para el cálculo del inductor, expresado en henrios

$$L = \frac{XL}{2\pi F}$$

Ecuación 5-13

5.4.4 Factor de Calidad.

Dentro del análisis de los filtros pasivos sintonizados, un parámetro muy importante es el factor de calidad, el cual relaciona la habilidad de un filtro para disipar energía absorbida a la frecuencia sintonizada.

$$Q_F = \frac{W\theta}{(W1 - W2)}$$

Ecuación 5-14

En un circuito serie RLC podemos definir Q como:

$$Q_F = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{X_{Lh}}{R} = \frac{X_{Ch}}{R}$$

Ecuación 5-15

Donde X_{Lh} y X_{Ch} son reactancias inductivas y capacitivas, respectivamente a la frecuencia de resonancia del filtro serie.

Un valor grande de Q_f implica un valle a la frecuencia resonante de un filtro y por lo tanto captura el amontonamiento de frecuencia armónica.

Para una mejor reducción de distorsión armónica será lograda con grandes valores de Q_f del filtro. Sin embargo, se debe tener cuidado con las corrientes armónicas de otras frecuencias para las cuales el filtro es sintonizado porque ellas también encuentran un camino de impedancia reducida. Estas corrientes proveerán incremento en la disipación de calor. A menudo será necesario conducir estudios computarizados de simulación de armónicas para predecir el desempeño de los filtros, especialmente cuando múltiples armónicas existen en la fuente.

El cálculo de la resistencia de un filtro esta dado por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{Xl * h * 0,6}{Q_f}$$

Ecuación 5-16

Donde

H= es el orden armónico a que se encuentra.

6% = es el porcentaje en que debe disminuirse el valor del orden armónico para evitar resonancia esto lo recomienda la norma **IEEE-519-1992**.

Q_f = Factor de calidad debe considerarse entre 20 a 30 la **Figura 5.3** muestra con más claridad lo que se refiere a factor de calidad. (**Ver Anexo 63-Figura 5.3**).

Para que el filtro se sintonice a la frecuencia requerida se debe cumplir la siguiente condición.

$$X_c = X_L$$

Ecuación 5-17

Para comprobar que el filtro no vaya a sufrir daño por posibles sobre corrientes debido a la presencia de corrientes armónicas, se procede a corroborar que no rebase un 1.35% de la corriente fundamental como lo establece la norma **IEEE-18 2002**.

$$I_{fund} = \frac{VLL_{sist} \div \sqrt{3}}{X_C - X_L}$$

Ecuación 5-18

Para el cálculo de las corrientes armónicas inyectadas por la carga no lineal se usa el porcentaje de la corriente fundamental.

$$I_h = \% I_{fund}$$

Ecuación 5-19

Donde

h= armónica inyectada por la carga no lineal

%= porcentaje de la corriente armónica con respecto a la fundamental, obtenido del espectro armónico de corriente de la carga no lineal, proporcionado como dato de sistema.

Si observamos la ecuación que sigue nos da la corriente total que circula por el filtro, la cual viene dada por:

$$I_{total\ rms} = \sqrt{I_h^2 + \dots + I_n^2}$$

Ecuación 5-20

Donde:

h = armónica inyectada por la carga no lineal

n = Numero armónicas inyectadas por la carga no lineal

Se verifica que se cumpla lo establecido en la norma **IEEE-18 2002**

$$\% \text{ Margen de Corriente} = \frac{I_{total\ rms}}{I_{fund(1)}} * 100 \leq 135 \% I_{fund}$$

Ecuación 5-21

Con esto podemos demostrar que el nivel de tensión no pase la tensión de diseño de los capacitores, siempre en base a la norma **IEEE-18-2002**

1.1.2. Voltajes de Diseño del Capacitor.

Como siguiente paso está el cálculo de la tensión a frecuencia fundamental, además de las tensiones provocadas por los armónicos.

$$V_{c(1)} = I_{f(1)} * X_c$$

Ecuación 5-22

Cálculo de las tensiones provocadas por las armónicas.

$$V_{c(h)} = \sum_h^n I(h) * \frac{X_c}{h}$$

Ecuación 5-23

Verificar lo que establece la norma **IEEE-18-2002** para los límites

Para tensiones pico.

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{V_{CL-N \text{ total pico}}}{V_{L-N \text{ pico del sistema}}} * 100 \leq 120 \% V_{\text{pico L-N del Sistema}}$$

Ecuación 5-24

Para tensiones RMS

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{V_{CL-N \text{ total rms}}}{V_{L-N \text{ rms sistema}}} * 100 \leq 110 \% V_{\text{pico L-N del Sistema}}$$

Ecuación 5-25

5.5 Cálculo Para Diseño del Filtro Armónico del Ventilador 471-VE4.

Dato medido con analizador de redes Fluke 435

Factor de potencia 0.92

KVA consumidos en ventilador 127

Lo primero que se procede a realizar es el cálculo de los ángulos, utilizado como datos el valor medido del factor de potencia y como segundo dato el valor al cual deseo llevar el factor de potencia.

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1}(0.92) = 23.07$$

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1}(0.99) = 8.11$$

Con los datos de los ángulos saco los KVAR efectivos (Q_{eff}) mediante la aplicación de la formula ya establecida.

$$Q_{\text{eff}} = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$Q_{\text{eff}} = 123.7(\tan 23.07 - \tan 8.11)$$

$$Q_{\text{eff}} = 35 \text{ KVAR}$$

Este valor en KVAR es el que se deberá instalar en total del sistema en el punto de conexión del ventilador **471-VE4**.

El siguiente paso es calcular la reactancia efectiva del filtro.

$$X_{\text{eff}} = \frac{(V_{\text{ll sist}})^2}{Q_{\text{eff}}}$$

$$X_{\text{eff}} = \frac{(448)^2}{35 * 10^3} = 5.73 \text{ } \Omega * \text{ Fase}$$

La armónica a la cual vamos a filtrar es la quinta armónica la cual trabaja a una frecuencia de 300 Hz esto según la norma **IEEE-1531-2003**.

Una vez que sabemos y tenemos identificada la armónica que deseamos filtrar, entonces aplicamos en el cálculo correspondiente aplicando un 6 % menos, según la misma norma, la cual será usada a lo largo de esta tesis, para no caer en el efecto de resonancia con otras armónicas al aumento o disminución de la carga.

$$h = \frac{F_{\text{arm}}}{F_{\text{fun}}}$$

$$h = \frac{300}{60} = 5$$

$$5 * 6\% = 0,3$$

$$5 - 0,3 = 4,7$$

$$X_c = \frac{(h * 0,6)^2}{(h * 0,6)^2 - 1} * X_{\text{eff}}$$

$$X_c = \frac{(4.7)^2}{(4.7)^2 - 1} * 5.73$$

$$X_c = 6 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

$$C = \frac{1}{2\pi * 60 * 6} = 4.4209 * 10^{-4}$$

$$C = 442.09 \mu\text{f}$$

$$X_L = \frac{X_c}{h^2}$$

$$X_L = \frac{6}{5^2} = 0.24 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{0.24}{2\pi * 60} = 0.6366 \text{mH}$$

$$R = \frac{X_L * h * 0,6}{Q_f}$$

$$R = \frac{0.24 * 4.7}{20} = 0.0564 \Omega$$

Para que el filtro pasivo serie RLC se sintonice a la frecuencia requerida, se debe cumplir la siguiente condición:

$$X_C = X_L$$

$$X_c = \frac{6}{4.7} = 1.2765 \Omega$$

$$X_L = X_L * h = 0.24 * 4.7$$

$$X_L = 1.128 \Omega$$

Corriente Fundamental

$$I_{\text{fund}} = \frac{V_{LL_{\text{sist}}} \div \sqrt{3}}{X_c - X_L}$$

$$I_{\text{fund}} = \frac{448 \div \sqrt{3}}{6 - 0.24} = 44.9 \text{ Amp.}$$

Corrientes Harmónicas

$$I_5 = 35\% = 44.9 * 35\% = 15.71 \text{ Amp}$$

$$I_7 = 14\% = 44.9 * 14\% = 6.286 \text{ Amp}$$

$$I_{11} = 6\% = 44.9 * 6\% = 2.694 \text{ Amp}$$

$$I_{\text{Total rms}} = \sqrt{I_f^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2}$$

$$I_{\text{Total rms}} = \sqrt{44.9^2 + 15.71^2 + 6.286^2 + 2.69^2}$$

$$I_{\text{Total rms}} = 48.05$$

$$\% \text{ Margen de Corriente} = \frac{I_{\text{Total rms}}}{I_{\text{fund}}} * 100$$

$$\% \text{ Margen de Corriente} = \frac{48.05}{44.9} * 100 = 107.01\%$$

$I_{\text{Total rms}} = 107.01\% I_{\text{fund}} \leq 135\% I_{\text{fund}}$ Se encuentra dentro de la norma

$$V_{C_1} = I_f * X_c$$

$$V_{C_1} = 44.9 * 269.4 \text{ V}$$

$$V_{\text{ch}} \sum_h^n I(h) * \frac{X_c}{h}$$

$$V_{C_5} = I(5) * \frac{6}{5} = \left(15.71 * \frac{6}{5}\right) = 18.85 \text{ V}$$

$$V_{C_7} = I(7) * \frac{6}{7} = \left(6.286 * \frac{6}{7}\right) = 5.388 \text{ V}$$

$$V_{C_{11}} = I(11) * \frac{6}{11} = \left(2.694 * \frac{6}{11}\right) = 1.469 \text{ V}$$

$$V_c = 25.7 \text{ V}$$

$$V_{C_1}((L - N) \text{ total pico}) = \sqrt{2} * (V_{C_1} + V_{\text{ch}})$$

$$V_{C_1}((L - N) \text{ total pico}) = \sqrt{2} * (269.4 + 25.7) = 417.33 \text{ V}$$

$$V_{(L-N \text{ sistema})} = \frac{V_{\text{L sistema}}}{\sqrt{3}} = \frac{448}{\sqrt{3}} = 258.65 \text{ V}$$

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * V_{L-N \text{ sistema}}$$

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * 258.65 = 365.78 \text{ V}$$

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{V_{\text{CL-N total pico}}}{V_{L-N \text{ pico del sistema}}} * 100 = \frac{417.3}{365.78} * 100 = 114.7\%$$

V_{L-N} es $\leq 120\%$ V_{L-N} pico del sistema, establecido en la norma IEEE-18-2002, se encuentra dentro de la norma.

$$V_{CL-N \text{ Total rms}} = \sqrt{Vc1^2 + Vc5^2 + Vc7^2 + Vc11^2}$$

$$V_{CL-N \text{ Total rms}} = \sqrt{269.4^2 + 18.85^2 + 5.388^2 + 1.469^2}$$

$$V_{CL-N \text{ Total rms}} = 270.11 \text{ V}$$

$$V_{(L-N \text{ rms sistema})} = \frac{V_{ll \text{ sistema}}}{\sqrt{3}} = \frac{448}{\sqrt{3}} = 258.65 \text{ V}$$

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{V_{CL-N \text{ total rms}}}{V_{L-N \text{ rms del sistema}}} * 100 = \frac{270.11}{258.65} * 100 = 104.43 \%$$

$$V_{CL-N \text{ Total rms}} = 104,43\% \leq 110\% V_{L-N \text{ rms sistema}}$$

Establecido en la norma IEEE-18-1992. Se encuentra dentro de la norma

$$Q_{3\phi} \text{ recalentada} = \frac{V^2 C_{(L-N) \text{ Total rms}}}{X_c} * 3$$

$$Q_{3\phi} \text{ recalentada} = \frac{270.11^2}{6} * 3 = 36.479 \text{ KVAR}$$

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{Q_{3\phi} \text{ recalculada}}{Q_{3\phi}} * 100 = \frac{36.479}{35} * 100 = 104.22\%$$

$$Q_{3\phi} \text{ recalculada} = 104.22 \% \leq 135\% \text{ del } Q \text{ establecido en la norma IEEE-18-2002}$$

Se encuentra dentro de lo establecido.

Calentamiento de dieléctrico.

$$|\sum \downarrow h \equiv (V(h) * I(h))| \leq 1.35 Q_{3\phi} \text{ recalculada}$$

$$= 3[(269,4)*(44,9)+ (18,85)*(15,71)+ (5,388)*(6,286)+ (1,469)*(2,694)]$$

$$= 3*[12096,06+296,13+33,86+3,95]$$

$$= 37290 \text{ VAR}$$

$$= 37,29 \text{ KVAR}$$

$$1,35 * 35 = 47,25$$

$$37,29 \leq 47,25$$

La desigualdad satisface el margen substancial que establece la norma IEEE-18-2002 por tal motivo el diseño se considera satisfactorio.

El filtro para el ventilador **471-VE4** se formará, por un banco de capacitores trifásico de 37.5 KVAR conectado en estrella y reactores de $0,24\Omega$ (0.63 mH) por fase. El banco de capacitores estará formado por un capacitor de 12.5 KVAR por fase y a una tensión de 277 V por fase, y 480 V entre fases. **Ver Anexo 10 para diagrama eléctrico.**

5.5.1 Cálculo de la Pérdida en Kilovatios, Energía y dólares en el Ventilador 471-VE4.

Si tomamos del cálculo anterior la corriente $I_{\text{Total rms}} = 48.05$ y partimos de ahí para el cálculo de las pérdidas producidas por cada ventilador, mediante la fórmula para calcular potencias trifásicas.

$$P = V * I * \sqrt{3} * \cos\phi$$

Ecuación 5-26

Tenemos lo siguiente

Cálculo de Potencia

$$P = 448 * 48.05 * \sqrt{3} * 0.92$$

$$P = 37097 \text{ w}$$

$$P = 37.1 \text{ KW} \quad \text{Valor de perdida en Kw}$$

Cálculo de Energía

$$\text{Valor en Kw } 37.1 * 30 \text{ días} * 24 \text{ Horas} = 26712 \text{ Kwh/mes.}$$

Se toman para el cálculo 30 días y 24 horas por que las máquinas en este punto son de trabajo constante.

Cálculo de valores de pérdida en dólares.

$26712 \text{ Kwh/mes} * 0.1 \text{ centavos (costo del Kwh)} = 2671.2 \text{ dólares por mes de perdida en el ventilador 471-VE4.}$

5.6 Cálculo Para Diseño del Filtro Armónico del Ventilador 471-VE5.

Dato medido con analizador de redes Fluke 435

Factor de potencia 0.90

KW medido 66.1

KVA consumidos en ventilador 67.5

Lo primero que se procede a realizar es el cálculo de los ángulos, utilizado como datos el valor medido del factor de potencia y como segundo dato el valor al cual deseo llevar el factor de potencia.

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1}(0.90) = 25.84$$

$$\theta_2 = \text{Cos}^{-1}(0.99) = 8.11$$

Con los datos de los ángulos saco los KVAR efectivos (Q_{eff}) mediante la aplicación de la formula ya establecida.

$$Q_{\text{eff}} = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$Q_{\text{eff}} = 66.1(\tan 25.84 - \tan 8.11)$$

$$Q_{\text{eff}} = 22.59 \text{ KVAR}$$

Este valor en KVAR es el que se deberá instalar en total del sistema en el punto de conexión del ventilador **471-VE5**.

El siguiente paso es calcular la reactancia efectiva del filtro

$$X_{\text{eff}} = \frac{(V_{\text{ll sist}})^2}{Q_{\text{eff}}}$$

$$X_{\text{eff}} = \frac{(450)^2}{22 * 10^3} = 9.04 \text{ } \Omega * \text{ Fase}$$

La armónica a la cual vamos a filtrar es la quinta armónica la cual trabaja a una frecuencia de 300 Hz esto según la norma **IEEE-1531-2003**.

Una vez que sabemos y tenemos identificada la armónica que deseamos filtrar, entonces aplicamos en el cálculo correspondiente aplicando un 6 % menos, según la misma norma, la cual será usada a lo largo de esta tesis, para no caer en el efecto de resonancia con otras armónicas al aumento o disminución de la carga.

$$h = \frac{F_{\text{arm}}}{F_{\text{fun}}}$$

$$h = \frac{300}{60} = 5$$

$$5 * 6\% = 0,3$$

$$5 - 0,3 = 4,7$$

$$X_c = \frac{(h * 0,6)^2}{(h * 0,6)^2 - 1} * X_{eff}$$

$$X_c = \frac{(4,7)^2}{(4,7)^2 - 1} * 9,04$$

$$X_c = 6 \, \Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi F X_c}$$

$$C = \frac{1}{2\pi * 60 * 9,46} = 2,8039 * 10^{-4}$$

$$C = 280,39 \, \mu\text{f}$$

$$X_L = \frac{X_c}{h^2}$$

$$X_L = \frac{9,46}{4,7^2} = 0,4282 \, \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi F} = \frac{0,435}{2\pi * 60} = 1,1358 * 10^{-3} \text{mH}$$

$$L = 1,13 \text{mH}$$

$$R = \frac{X_L * h * 0,6}{Q_f}$$

$$R = \frac{0,4282 * 4,7}{20} = 0,10062 \, \Omega$$

Para que el filtro pasivo serie RLC se sintonice a la frecuencia requerida, se debe cumplir la siguiente condición:

$$X_C = X_L$$

$$X_c = \frac{9.46}{4.7} = 2.0127 \Omega$$

$$L = X_L * h = 0.4282 * 4.7$$

$$X_L = 2.0125 \Omega$$

Corriente Fundamental

$$I_{fund} = \frac{V_{LL_{sist}} \div \sqrt{3}}{X_c - X_L}$$

$$I_{fund} = \frac{450 \div \sqrt{3}}{9.46 - 0.4282} = 28.76 \text{ Amp.}$$

Corrientes Harmónicas

$$I_5 = 44\% = 28.76 * 44\% = 12.65 \text{ Amp}$$

$$I_7 = 20\% = 28.76 * 20\% = 5.752 \text{ Amp}$$

$$I_{11} = 3\% = 28.76 * 3\% = 0.863 \text{ Amp}$$

$$I_{Total \text{ rms}} = \sqrt{I_f^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2}$$

$$I_{Total \text{ rms}} = \sqrt{28.76^2 + 12.65^2 + 5.752^2 + 0.863^2}$$

$$I_{Total \text{ rms}} = 31.95 \text{ Amp.}$$

$$\% \text{ Margen de Corriente} = \frac{I_{Total \text{ rms}}}{I_{fund}} * 100$$

$$\% \text{ Margen de Corriente} = \frac{31.95}{28.76} * 100 = 111.09 \%$$

$I_{Total \text{ rms}} = 111.09\% I_{fund} \leq 135\% I_{fund}$ Se encuentra dentro de la norma

$$V_{c_1} = I_f * X_c$$

$$V_{c_1} = 28.76 * 9.46 = 272.06 \text{ V}$$

$$V_{ch} = \sum_h^n I(h) * \frac{X_c}{h}$$

$$V_{c_5} = I(5) * \frac{9.46}{5} = (12.65 * 1.89) = 23.91 \text{ V}$$

$$V_{c_7} = I(7) * \frac{9.46}{7} = (5.752 * 1.351) = 7.77 \text{ V}$$

$$V_{C11} = I(11) * \frac{9.46}{11} = (0.863 * 0.86) = 0.74 \text{ V}$$

$$V_C = 32.44 \text{ V}$$

$$V_{C1}((L - N)\text{total pico}) = \sqrt{2} * (V_{C1} + V_{Ch})$$

$$V_{C1}((L - N)\text{total pico}) = \sqrt{2} * (272.06 + 32.44) = 430.63 \text{ V}$$

$$V_{(L-N \text{ sistema})} = \frac{V_{ll \text{ sistema}}}{\sqrt{3}} = \frac{450}{\sqrt{3}} = 259.81 \text{ V}$$

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * V_{L-N \text{ sistema}}$$

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * 259.81 = 367.43 \text{ V}$$

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{V_{CL-N \text{ total pico}}}{V_{L-N \text{ pico del sistema}}} * 100 = \frac{430.63}{367.43} * 100 = 117.2\%$$

$V_{C(L-N)}=117.2 \%$, V_{L-N} es $\leq 120\%$ V_{L-N} pico del sistema, establecido en la norma IEEE-18-2002, se encuentra dentro de la norma.

$$V_{C_{L-N} \text{ Total rms}} = \sqrt{V_{C1}^2 + V_{C5}^2 + V_{C7}^2 + V_{C11}^2}$$

$$V_{C_{L-N} \text{ Total rms}} = \sqrt{272^2 + 23.93^2 + 7.77^2 + 0.74^2}$$

$$V_{C_{L-N} \text{ Total rms}} = 273.16 \text{ V}$$

$$V_{(L-N \text{ rms sistema})} = \frac{V_{ll \text{ sistema}}}{\sqrt{3}} = \frac{450}{\sqrt{3}} = 259.81 \text{ V}$$

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{V_{C_{L-N} \text{ total rms}}}{V_{L-N \text{ rms del sistema}}} * 100 = \frac{273.16}{259.81} * 100 = 105.13 \%$$

$V_{C_{L-N} \text{ Total rms}}=105.13\% \leq 110\%$ $V_{L-N \text{ rms sistema}}$ establecido en la norma IEEE-18-1992.

Se encuentra dentro de la norma

$$Q_3 \emptyset \text{ recalentada} = \frac{V^2 C_{(L-N) \text{ Total rms}}}{X_c} * 3$$

$$Q_{3\phi} \text{ recalculada} = \frac{273.16^2}{9.46} * 3 = 23.66 \text{ KVAR}$$

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{Q_{3\phi} \text{ recalculada}}{Q_{3\phi}} * 100 = \frac{23.66}{22.59} * 100 = 104.74 \%$$

$Q_{3\phi}$ recalculada = 104.74 % \leq 135% del Q establecido en la norma IEEE-18-2002

Se encuentra dentro de lo establecido.

Calentamiento de dieléctrico.

$$|\sum \downarrow h \equiv (V(h) * I(h))| \leq 1.35 Q_{3\phi} \text{ recalculada}$$

$$= 3[(272.06)*(28.76) + (23.93)*(12.65) + (7.77)*(5.752) + (0.74)*(0.863)]$$

$$= 3*[7824.44 + 302.71 + 44.69 + 0.63]$$

$$= 24517,41 \text{ VAR}$$

$$= 24,51 \text{ KVAR}$$

$$1,35 * 22.59 = 30.49$$

$$24.51 \leq 30.49$$

La desigualdad satisface el margen substancial que establece la norma IEEE-18-2002 por tal motivo el diseño se considera satisfactorio.

El filtro para el ventilador **471-VE5** se formará, por un banco de capacitores trifásico de 24 KVAR conectado en estrella y reactores de 0,428 Ω (1.13 mH) por fase. El banco de capacitores estará formado por un capacitor de 8 KVAR por fase y a una tensión de 277 V por fase, y 480 V entre fases. **Ver Anexo 11 para diagrama eléctrico.**

5.6.1 Cálculo de la Pérdida en Kilovatios, Energía y dólares en el Ventilador 471-VE5.

Si tomamos del cálculo anterior la corriente $I_{\text{Total rms}} = 31.95$ y partimos de ahí para el cálculo de las pérdidas producidas por cada ventilador, mediante la fórmula para calcular potencias trifásica.

$$P = V * I * \sqrt{3} * \text{Cos}\phi$$

Ecuación 5-27

Tenemos lo siguiente

Cálculo de Potencia

$$P = 450 * 31.95 * \sqrt{3} * 0.9$$

$$P = 22411.65 \text{ w}$$

$$P = 22.4 \text{ KW} \quad \text{Valor de perdida en Kw}$$

Cálculo de Energía

$$\text{Valor en Kw } 22.4 * 30 \text{ días} * 24 \text{ Horas} = 16128 \text{ Kwh/mes.}$$

Se toman para el cálculo 30 días y 24 horas por que las máquinas en este punto son de trabajo constante.

Cálculo de valores de pérdida en dólares.

16128 Kwh/mes * 0.1 centavos (costo del Kwh) = 1612.8 dólares por mes de perdida en el ventilador 471-VE5.

5.7 Cálculo Para Diseño del Filtro Armónico del Ventilador 471-VE6.

Dato medido con analizador de redes Fluke 435

Factor de potencia 0.78

KW medido 38

KVA consumidos en ventilador 40.1

Lo primero que se procede a realizar es el cálculo del los ángulos, utilizado como datos el valor medido del factor de potencia y como segundo dato el valor al cual deseo llevar el factor de potencia.

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1}(0.78) = 38.73$$

$$\theta_2 = \text{Cos}^{-1}(0.99) = 8.11$$

Con los datos de los ángulos saco los KVAR efectivos (Q_{eff}) mediante la aplicación de la formula ya establecida.

$$Q_{\text{eff}} = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$Q_{\text{eff}} = 38(\tan 38.73 - \tan 8.11)$$

$$Q_{\text{eff}} = 25.06 \text{ KVAR}$$

Este valor en KVAR es el que se deberá instalar en total del sistema en el punto de conexión del ventilador **471-VE6**.

El siguiente paso es calcular la reactancia efectiva del filtro.

$$X_{\text{eff}} = \frac{(V_{\text{ll sist}})^2}{Q_{\text{eff}}}$$

$$X_{\text{eff}} = \frac{(455)^2}{25.06 * 10^3} = 8.26 \text{ } \Omega * \text{ Fase}$$

La armónica a la cual vamos a filtrar es la quinta armónica la cual trabaja a una frecuencia de 300 Hz esto según la norma **IEEE-1531-2003**.

Una vez que sabemos y tenemos identificada la armónica que deseamos filtrar, entonces aplicamos en el cálculo correspondiente aplicando un 6 % menos, según la misma norma, la cual será usada a lo largo de esta tesis, para no caer en el efecto de resonancia con otras armónicas al aumento o disminución de la carga.

$$h = \frac{F_{\text{arm}}}{F_{\text{fun}}}$$

$$h = \frac{300}{60} = 5$$

$$5 * 6\% = 0,3$$

$$5 - 0,3 = 4,7$$

$$X_c = \frac{(h * 0,6)^2}{(h * 0,6)^2 - 1} * X_{\text{eff}}$$

$$X_c = \frac{(4,7)^2}{(4,7)^2 - 1} * 8.26$$

$$X_c = 8.65 \text{ } \Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi F X_c}$$

$$C = \frac{1}{2\pi * 60 * 8.65} = 3.0665 * 10^{-4}$$

$$C = 306.65 \mu\text{f}$$

$$X_L = \frac{X_C}{h^2}$$

$$X_L = \frac{8.65}{4.7^2} = 0.39 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi F} = \frac{0.39}{2\pi * 60} = 1.0345 * 10^{-3} \text{ H}$$

$$L = 1.03 \text{ mH}$$

$$R = \frac{X_L * h * 0.6}{Q_f}$$

$$R = \frac{0.39 * 4.7}{20} = 0.091 \Omega$$

Para que el filtro pasivo serie RLC se sintonice a la frecuencia requerida, se debe cumplir la siguiente condición:

$$X_C = X_L$$

$$X_C = \frac{8.65}{4.7} = 1.84 \Omega$$

$$X_L = X_L * h = 0.39 * 4.7$$

$$X_L = 1.83 \Omega$$

Corriente Fundamental

$$I_{\text{fund}} = \frac{V_{LL_{\text{sist}}} \div \sqrt{3}}{X_C - X_L}$$

$$I_{\text{fund}} = \frac{455 \div \sqrt{3}}{8.65 - 0.39} = 31.8 \text{ Amp.}$$

Corrientes Harmónicas

$$I_5 = 70\% = 31.8 * 70\% = 22.26 \text{ Amp}$$

$$I_7 = 38\% = 31.8 * 38\% = 12.08 \text{ Amp}$$

$$I_{11} = 18\% = 31.8 * 18\% = 5.724 \text{ Amp}$$

$$I_{\text{Total rms}} = \sqrt{I_f^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2}$$

$$I_{\text{Total rms}} = \sqrt{31.8^2 + 22.26^2 + 12.08^2 + 5.724^2}$$

$$I_{\text{Total rms}} = 41.05 \text{ Amp.}$$

$$\% \text{ Margen de Corriente} = \frac{I_{\text{Total rms}}}{I_{\text{fund}}} * 100$$

$$\% \text{ Margen de Corriente} = \frac{41.05}{31.8} * 100 = 129.1 \%$$

$I_{\text{Total rms}} = 129.1 \% I_{\text{fund}} \leq 135\% I_{\text{fund}}$ Se encuentra dentro de la norma

$$V_{C_1} = I_f * X_c$$

$$V_{C_1} = 31.8 * 8.65 = 275.07 \text{ V}$$

$$V_{ch} \sum_h^n I(h) * \frac{X_c}{h}$$

$$V_{C_5} = I(5) * \frac{8.65}{5} = (22.26 * 1.73) = 38.51 \text{ V}$$

$$V_{C_7} = I(7) * \frac{8.65}{7} = (12.08 * 1.235) = 14.93 \text{ V}$$

$$V_{C_{11}} = I(11) * \frac{8.65}{11} = (5.724 * 0.786) = 4.5 \text{ V}$$

$$V_{ch} = 57.94 \text{ V}$$

$$V_{C_1}((L - N)\text{total pico}) = \sqrt{2} * (V_{C_1} + V_{ch})$$

$$V_{C_1}((L - N)\text{total pico}) = \sqrt{2} * (275.07 + 57.94) = 470.95 \text{ V}$$

$$V_{(L-N \text{ sistema})} = \frac{V_{ll \text{ sistema}}}{\sqrt{3}} = \frac{455}{\sqrt{3}} = 262.69 \text{ V}$$

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * V_{L-N \text{ sistema}}$$

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * 262.69 = 371.49 \text{ V}$$

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{V_{CL-N \text{ total pico}}}{V_{L-N \text{ pico del sistema}}} * 100 = \frac{470.95}{371.49} * 100 = 126.77 \%$$

$V_{C_{L-N} \text{ Total rms}} = 126.77 \%$, V_{L-N} es ligeramente mayor a $120\% V_{L-N}$ pico del sistema, establecido en la norma IEEE-18-2002, se encuentra dentro de la norma.

$$V_{C_{L-N} \text{ Total rms}} = \sqrt{V_{C1}^2 + V_{C5}^2 + V_{C7}^2 + V_{C11}^2}$$

$$V_{C_{L-N} \text{ Total rms}} = \sqrt{275.07^2 + 38.51^2 + 14.93^2 + 4.5^2}$$

$$V_{C_{L-N} \text{ Total rms}} = 278.19 \text{ V}$$

$$V_{(L-N \text{ rms sistema})} = \frac{V_{ll \text{ sistema}}}{\sqrt{3}} = \frac{455}{\sqrt{3}} = 262.69 \text{ V}$$

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{V_{C_{L-N} \text{ total rms}}}{V_{L-N \text{ rms del sistema}}} * 100 = \frac{278.19}{262.69} * 100 = 105.9 \%$$

$V_{C_{L-N} \text{ Total rms}} = 105.9 \% \leq 110\% V_{L-N \text{ rms sistema}}$ establecido en la norma IEEE-18-1992.

Se encuentra dentro de la norma

$$Q_3 \emptyset \text{ recalentada} = \frac{V^2 C_{(L-N) \text{ Total rms}}}{X_c} * 3$$

$$Q_3 \emptyset \text{ recalentada} = \frac{278.19^2}{8.65} * 3 = 26.84 \text{ KVAR}$$

$$\% \text{ Margen de Tensión} = \frac{Q_3 \emptyset \text{ recalculada}}{Q_3 \emptyset} * 100 = \frac{26.84}{25.06} * 100 = 107.1 \%$$

$Q_3 \emptyset \text{ recalculada} = 107.1 \% \leq 135\%$ del Q establecido en la norma IEEE-18-2002

Se encuentra dentro de lo establecido.

Calentamiento de dieléctrico.

$$|\sum \downarrow h \equiv (V(h) * I(h))| \leq 1.35 Q_3 \emptyset \text{ recalculada}$$

$$= 3[(275.07)*(31.8) + (38.51)*(22.26) + (14.93)*(12.08) + (4.5)*(5.724)]$$

$$= 3*[8747.22 + 857.23 + 180.35 + 25.75]$$

$$= 29431.65 \text{ VAR}$$

=29.43 KVAR

$1,35 * 25.06 = 33.83$

$29.43 \leq 33.83$

La desigualdad satisface el margen substancial que establece la norma IEEE-18-2002 por tal motivo el diseño se considera satisfactorio.

El filtro para el ventilador **471-VE6** se formará, por un banco de capacitores trifásico de 30 KVAR conectado en estrella y reactores de $0,39 \Omega$ (1.03 mH) por fase. El banco de capacitores estará formado por un capacitor de 10 KVAR por fase y a una tensión de 277 V por fase, y 480 V entre fases. **Ver Anexo 12 para diagrama eléctrico.**

5.7.1 Cálculo de la Pérdida en Kilovatios, Energía y dólares en el Ventilador 471-VE6.

Si tomamos del cálculo anterior la corriente $I_{\text{Total rms}} = 41.05$ y partimos de ahí para el cálculo de las pérdidas producidas por cada ventilador, mediante la fórmula para calcular potencias trifásicas.

$$P = V * I * \sqrt{3} * \text{Cos}\phi \quad \text{Ecuación 5.27}$$

Tenemos lo siguiente

Cálculo de Potencia

$$P = 455 * 41.05 * \sqrt{3} * 0.78$$

$$P = 25232.89 \text{ w}$$

$$P = 25.2 \text{ KW} \quad \text{Valor de pérdida en Kw}$$

Cálculo de Energía.

$$\text{Valor en Kw } 25.2 * 30 \text{ días} * 24 \text{ Horas} = 18144 \text{ Kwh/mes.}$$

Se toman para el cálculo 30 días y 24 horas por que las máquinas en este punto son de trabajo constante.

Cálculo de valores de pérdida en dólares.

$18144 \text{ Kwh/mes} * 0.1 \text{ centavos (costo del Kwh)} = 1814.4 \text{ dólares por mes de pérdida en el ventilador 471-VE6.}$

5.8 Cálculo de Banco de Capacitores a Instalar en el Punto 471-1VB.

El resultado de las pruebas con el analizador **Fluke 435** en el punto de conexión **471-1VB** nos damos cuenta, que a pesar que el nivel de armónicos tanto en corriente como en voltaje son relativamente bajos y se ajustan a las normas establecidas por la **IEEE**, el valor del factor de potencia se encuentra en un valor de 0.87. El objetivo del presente análisis es colocar un banco de capacitores en el punto en estudio, con la finalidad de mejorar y corregir el factor de potencia, llevándolo a un 0.99 con un banco de capacitores a instalar.

Cálculo corrigiendo el factor de potencia del 0.87 al 0.99

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1}(0.87) = 29.54$$

$$\theta_2 = \text{Cos}^{-1}(0.99) = 8.11$$

Con los datos de los ángulos saco los KVAR mediante la aplicación de la formula ya establecida.

$$\text{KVAR} = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$\text{KVAR} = 742(\tan 29.54 - \tan 8.11)$$

$$\text{KVAR} = 314.75$$

Debido a la carga instalada en este arrancador, el arranque de cada uno de ellos se la hace en forma de escalera comandada por un PLC, por este motivo, el banco de condensadores estar comandado por un controlador programable que permita corregir el factor de potencia en 8 pasos de acuerdo al requerimiento de la carga, y quedaría formado por:

7 bancos de condensadores trifásicos de 40KVAR conectados en estrella

1 banco de condensadores trifásico de 30KVAR conectados en estrella.

5.9 Cálculo de Banco de Capacitores a Instalar en el Punto 471-1V9.

El resultado de las pruebas con el analizador **Fluke 435** en el punto de conexión **471-1V9** nos damos cuenta que a pesar que el nivel de armónicos tanto en corriente como en voltaje son relativamente bajos y se ajustan a las normas establecidas por la **IEEE**, el valor del factor de potencia se encuentra en un valor de 0.45. El objetivo del presente análisis es colocar un banco de capacitores en el punto en estudio, con la finalidad de mejorar y corregir el factor de potencia, llevándolo a un 0.99 con un banco de capacitores a instalar.

Cálculo corrigiendo el factor de potencia del 0.45 al 0.99.

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1}(0.45) = 63.25$$

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1}(0.99) = 8.11$$

Con los datos de los ángulos saco los KVAR mediante la aplicación de la formula ya establecida.

$$\text{KVAR} = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$\text{KVAR} = 25.4(\tan 63.25 - \tan 8.11)$$

$$\text{KVAR} = 46.77$$

Debido a la carga instalada en este arrancador, el arranque de cada uno de ellos se la hace en forma de escalera comandada por un PLC, por este motivo, el banco de condensadores estar comandado por un controlador programable que permita corregir el factor de potencia en 3 pasos de acuerdo al requerimiento de la carga, y quedaría formado por:

3 bancos de condensadores trifásicos de 15KVAR conectados en estrella.

5.10 Cálculo de Banco de Capacitores a Instalar en el Ventilador 471-VE3.

El resultado de las pruebas con el analizador **Fluke 435** en el punto de conexión **471-VE3** nos damos cuenta que a pesar que el nivel de armónicos tanto en corriente como en voltaje son relativamente bajos y se ajustan a las normas establecidas por la IEEE, el valor del factor de potencia se encuentra en un valor de 0.72. El objetivo del presente análisis es colocar un banco de capacitores en dicho ventilador, con la finalidad de mejorar y corregir el factor de potencia, llevándolo a un 0.99 con un banco de capacitores a instalar.

Cálculo corrigiendo el factor de potencia del 0.72 al 0.99

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1}(0.99) = 43.94$$

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1}(0.99) = 8.11$$

Con los datos de los ángulos saco los KVAR mediante la aplicación de la formula ya establecida.

$$\text{KVAR} = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$\text{KVAR} = 25.4(\tan 43.94 - \tan 8.11)$$

$$\text{KVAR} = 20.85$$

CAPITULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Introducción del Capítulo.

Siempre que se trate de hablar, de conclusiones y recomendaciones en circuitos eléctricos, será lo mismo que hablar, de los circuitos que se encuentran al momento en funcionamiento, se sometan a los cambios y ajustes necesarios de acuerdo a las normas internacionales establecidas y además que mediante el estudio realizado se logre determinar los puntos de mayores problemas, en cuanto a la generación de las armónicas.

A través, del presente estudio hay varios parámetros que se analizaron y de los cuales han salido muchos casos para resolver, comparar, dar nuestra apreciación en cada uno de los aspectos, para que el personal a cargo de la empresa cementera Holcim, estudie las conclusiones y recomendaciones a las que hemos llegado y las hacemos extensivas en la presente tesis.

6.2 Conclusiones y Recomendaciones.

6.2.1 Caso de Ventiladores.

En el presente análisis, se pudo determinar que existen tres ventiladores principales estos son:

- 471-VE4
- 471-VE5
- 471-VE6

De los cuales cada uno de ellos usa variadores de frecuencia, cuyos datos se los puede observar en la placa característica de cada uno de ellos, pero como antecedente principal de éstos variadores de frecuencia es que son obsoletos. Es importante mencionar que el variador del ventilador 471-VE6, es el que se encuentra en estado más crítico, en las **Fotos 9 y 9-a** se muestra al motor y el gabinete del variador de frecuencia con las altas temperaturas que se están generando en los mismos.

Es importante que quede claro, que los armónicos se están generando en los tres ventiladores que usan variadores de frecuencia y de los tres el 471-VE6 es el más afectado.

Dentro del estudio realizado, se pudo determinar y diseñar por medio de cálculos los filtros armónicos que se deberían de instalar, los cuales el capítulo cuatro de esta tesis analiza ampliamente y determina el filtro a ser construido, con la finalidad de atenuar los armónicos.

Otro problema que resultado del análisis, es que el problema no solo se da por armónicos sino también por fallas en los motores producidos por daños mecánicos

6.2.2 Recomendación al caso de Ventiladores.

Lo que podemos sugerir, para llegar a una solución factible, son dos opciones:

- Cambiar todos los variadores de frecuencia por otros de última tecnología, los cuales no generan armónicos al sistema.
- Aplicar el filtro armónico calculado en ésta tesis.

Se debe también programar el mantenimiento respectivo a los motores, para atenuar el problema de calentamiento del motor por desgaste en los rodamientos, lo que nos hace presentar los problemas de vibración en la máquina, éste análisis esta descrito en el capítulo 3 del presente estudio.

De lo que hasta ahora se ha encontrado en los diversos análisis, es fundamental que personal de mantenimiento de la planta realice un cronograma de actividades en cuanto a generar un plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, no solo en los tres principales motores de los ventiladores sino también a nivel general de la planta.

6.3 Puntos de Mayor Calentamiento.

Hasta ahora, muy a parte de la generación de armónicos, el otro problema encontrado en el análisis de la subestación es la generación de temperaturas fuera de lo normal, en varios de los equipos analizados.

Como se podrá observar en la sección de fotos, se tienen varios puntos o equipos los cuales se deben considerar con atención, ya que el conjunto de todos ellos en su operación determinan en gran medida la buena utilización de la energía, lo que evitaría perdidas innecesarias de energía y dinero por los altos costos de operación en perdidas técnicas, relacionadas a fallas en los planes de mantenimiento de los equipos. Para más detalles se puede mencionar los siguientes equipos como puntos más calientes.

- Transformador de 1500 KVA
- Motor del ventilador 471-VE4
- Motor del ventilador 471-VE5
- Motor del ventilador 471-VE6
- Variador de Frecuencia del ventilador 471-VE6

En el caso del transformador, son varias las causas que hacen que éste equipo ya haya cumplido con su vida útil, como así lo dicen los resultados de los estudios realizados por las compañías especializadas en estos temas, y que ya han dado su recomendación de cambiar el equipo a uno de mayor capacidad. Como antecedente se puede mencionar que las causas de daño del transformador han sido:

- Exceso de carga instalada (incrementos de carga a través del tiempo).
- Generación de gases en exceso de monóxido y dióxido de carbono.
- Daño en el papel (determinada por prueba de furanos).
- Degradación del aceite, (a pesar de los filtrados realizados).
- A pesar que no hay datos del año de fabricación, se estima que el tiempo de uso es de más de 40 años.

6.3.1 Recomendación a los Puntos de Mayor Calentamiento.

- Cambiar de Transformador (Urgente).
- Corregir los problemas de los motores de vibración.
- Dar mantenimiento a las bobinas del estator.
- Cambiar lo variadores de frecuencia a otros de mejor tecnología los cuales no producen armónicas.

6.4 Principales Motivos de la Generación de Armónicos.

Lo primero que debemos tener claro, es que al punto de medición del transformador de 1500 KVA el total de la distorsión armónica en promedio, solo está llegando el 12% en el quinto armónico. Es decir la temperatura generada en el transformador, no es por armónicos sino más bien por problemas y daños del mismo equipo, los cuales ya fueron mencionados en párrafos anteriores.

Lo que sí podemos afirmar es que la generación de los principales puntos de los armónicos nace en los variadores de frecuencia, que como ya se mencionó son obsoletos y están generando problemas en los circuitos, tanto así que en el **Cuadro 6.1** se muestra; en síntesis, como están afectando en términos generales.

Fuente: Los autores.

Cuadro General de la Afectación de Armónicos en los Ventiladores		
Ventilador 471-VE4	5° armónico	35%
Ventilador 471-VE5	5° armónico	43%
Ventilador 471-VE6	5° armónico	80%

Cuadro 6-1 Afectación de Armónicos en los Ventiladores.

Si notamos, el mayor problema se encuentra en el quinto armónico, pero esto tiene su razón y es debido a que según las normas internacionales los variadores de frecuencia afectan directamente al quinto armónico, porque en su sistema de construcción usan muchos elementos de electrónica de potencia y es lo que hace que produzca armónicos al sistema.

Si nos damos cuenta, el ventilador 471-VE6 tiene el más alto porcentaje de armónicas y si vemos las **Fotos 9 y 9-a** que son del motor y el gabinete del variador de frecuencia, nos daremos cuenta que son los equipos con más altas temperaturas de todo el sistema de la subestación en estudio.

Una mayor certificación de los armónicos del ventilador en mención, nos da el **Anexo 6-A-1** en cuanto a la distorsión puesta de manifiesto en la curva sinusoidal de voltaje, llegando por momentos a producir caídas bruscas de voltajes, lo que coadyuva al incremento de la temperatura en éste ventilador.

A éste problema de los variadores de frecuencia, hay que sumarle el hecho de los problemas de los motores por efectos de vibración.

En cuanto a los otros puntos de medición analizados se pudo determinar un bajo factor de potencia registrados en los sistemas de los puntos mencionados a continuación:

Fuente: Los autores.

Valores de Factor de Potencia en Otros Puntos de Estudio		
Ventilador 471-1VB	Factor de Potencia	0.87
Ventilador 471-1V9	Factor de Potencia	0.45
Ventilador 471-VE3	Factor de Potencia	0.75

Cuadro 6-2 Factor de Potencia en Otros Puntos.

6.4.1 Recomendaciones a realizar para atenuar el problema de armónicos.

Es claro, que el problema de armónicos, no es de fácil solución, pero sí es de consideración el bajar los niveles de armónicos a estándares, que permitan funcionar los equipos bajo los criterios de las normas internacionales antes mencionadas a lo largo de éste estudio. Para ello es importante tener a consideración varios aspectos relevantes para atenuar los armónicos, como son los siguientes:

- Cambiar urgentemente los variadores de frecuencia a unos de nueva tecnología, los cuales me permita mejorar en términos de reducción de los mismos al sistema.
- Hasta realizar el cambio antes mencionado, implementar los filtros armónicos calculados en el capítulo cinco, los cuales van a atenuar la generación de armónicos al sistema.

- Dar el respectivo mantenimiento a los motores, como ya se mencionó en puntos anteriores.
- Se recomienda también implementar en los otros puntos de estudio bancos de capacitores, porque a pesar que en las otras mediciones no presentan altos índices de armónicas y están bajo los niveles y estándares internacionales de aceptación, el factor de potencia es bajo, por tratarse de cargas puramente inductivas.

6.5 Corrientes de Neutro.

En cuanto a éste tema, se puede manifestar que según las mediciones realizadas los resultados han sido muy satisfactorios, encontrándose valores muy bajos ya que dentro del análisis por lo general no se encontró armónicos de tercer orden, que son los que por lo general atacan al neutro enviando altas corrientes al mismo. En éste caso particular las armónicas que han predominado son las de quinto armónico, que son producidas por elementos de electrónica de potencia, como carga no lineal.

6.6 Pérdidas del Transformador.

En nuestro caso específico, el transformador en estudio por las circunstancias en que se encuentra, no es tan fácil determinar la cantidad que se está perdiendo en KW, pero si podemos considerar un valor referencial sacado de tablas ya pre-establecidas, en donde nos indica en valores promedios de cuanto estaría produciéndose en pérdidas por transformación. Si observamos la tabla 11 podemos darnos cuenta que aproximadamente un transformador de 1500 KVA, estaría generando en pérdidas del hierro alrededor de 2.75 KW, además las pérdidas del cobre estarían llegando alrededor de 12.5 KW dando una pérdida total aproximada de 15.25 KW total en el transformador.

Esto hablando en caso de un transformador estándar, con una carga aceptable, no así el transformador en estudio que se pudo determinar se encuentra sobre cargado, con problemas de aceite, de papel aislante y de temperaturas no adecuadas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.cre.com.bo/webcre/empresas/todoenergia.htm>
- [2] <http://www.mty.itesm.mx/decic/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/armonic as/07Efectarm.PDF>
- [3] <http://www.dispositivosfacts.com.mx/doctos/doctorado/DVR%20based%20on% 20matrix%20converter.pdf>
- [4] http://www.prolyt.com/archivosprolyt/na_distarmonica.pdf
- [5] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/09/Analisis_de_Armonic os.pdf
- [6] <http://html.rincondelvago.com/ruido-electrico.html>
- [7] <http://www.monografias.com/trabajos21/armonic os/armonic os.shtml#origen>
- [8] Libro Distorsión Armónica por Ing. Eugenio Téllez Ramírez
- [9] http://jaimevp.tripod.com/Electricidad/armonico519_pag3.htm
- [10] <http://www.ecamec.com/newsletter/bajarnotab0110.pdf>
- [11] Libro análisis y propuesta al problema de alta distorsión armónica
- [12] Libro calidad de energía eléctrica.
- [13] http://www.aeselsalvador.com/grandesclientes/images/BoletinAESoluciones_Ar monicos.pdf
- [14] http://www.procobre.org/archivos/peru/calidad_de_energia.pdf
<http://www.donsion.org/calidad/cc9/C9-10.pdf>
- [15] Archivos de la compañía
- [16] <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10632/3de8.APLcap3.pdf;jsessionid =073FC5CDF09CC3298D133811D51899CC.tdx2?sequence=4>
- [17] http://www.schneiderelectric.com.ar/documents/recursos/cuadernostecnicos/ct_1 52m.pdf
- [18] <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=121>
- [19] <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2009/11/filtros-pasivos-de- armonic os.html>

[20]http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S181559012012000200006&script=sci_arttext.

[21][http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/\\$file/1TXA007107G0701_CT8.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/$file/1TXA007107G0701_CT8.pdf)

[22] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/mendez_s_j/capitulo1.pdf

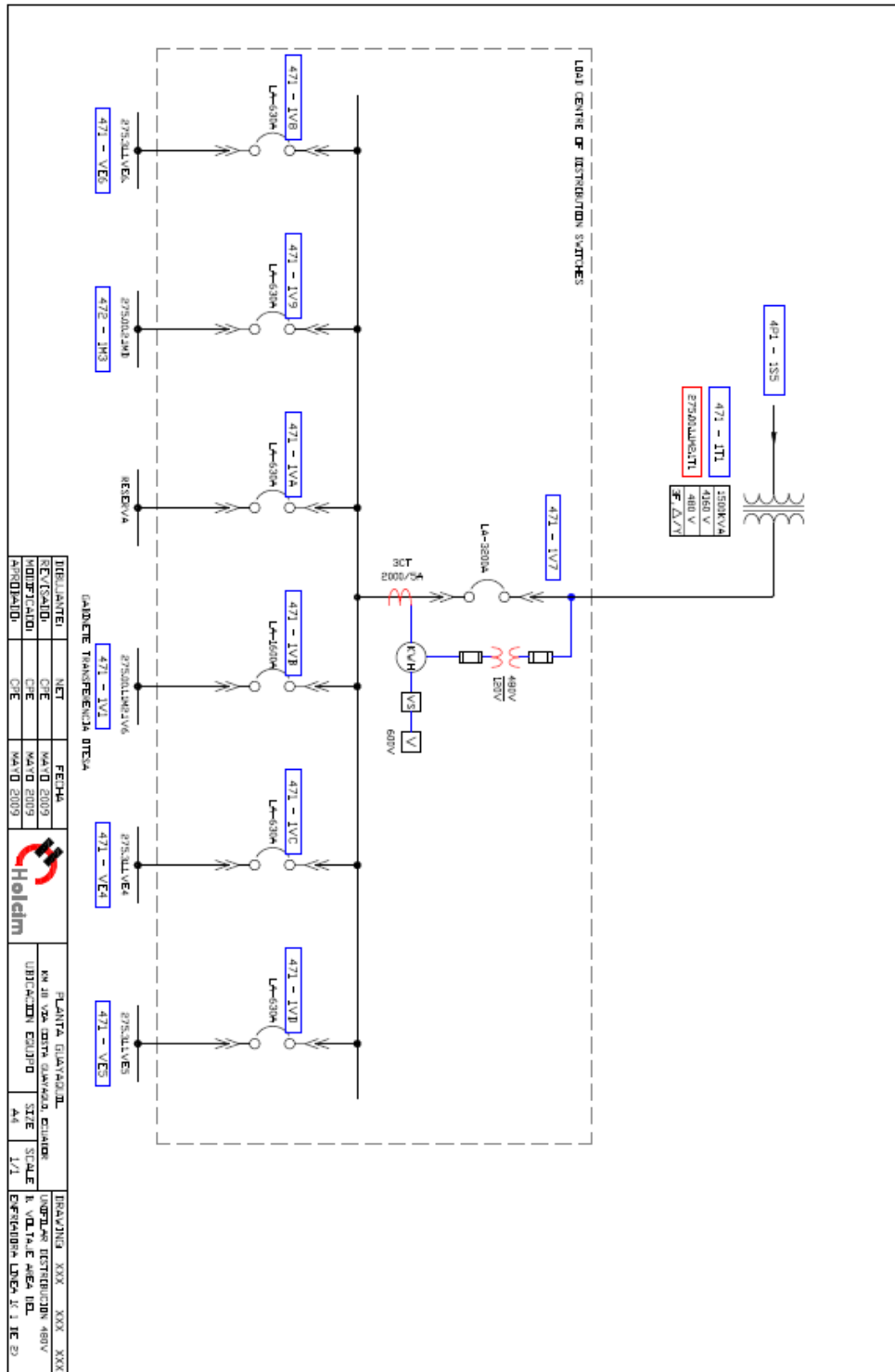
[23]eGruposDMime.cgi

[24]http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol05/vol5issue8Dec.2007/5TLA8_07Flores.pdf

ANEXOS

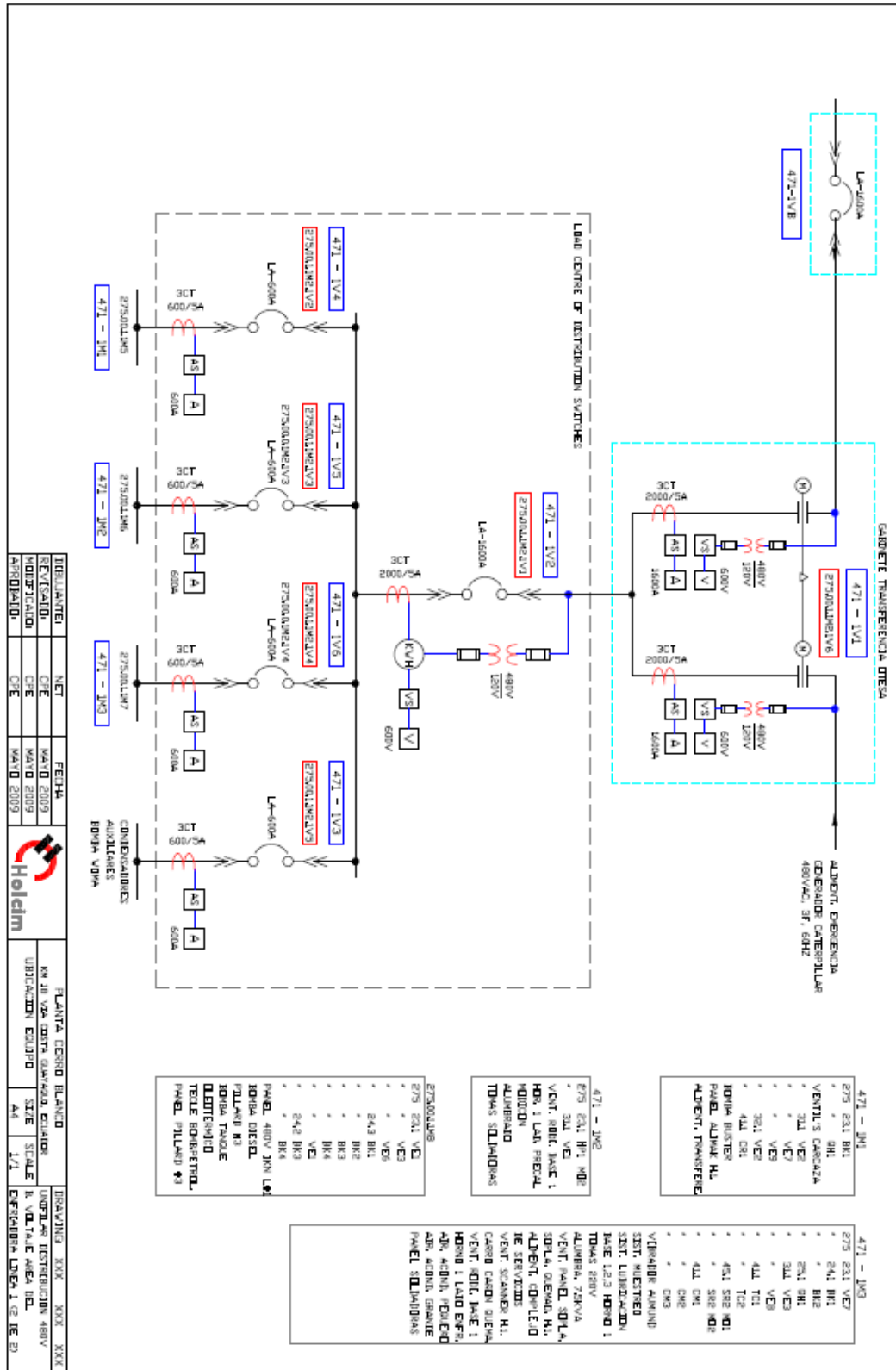
Anexo 1. Diagrama Eléctrico de la Subestación

Fuente: Departamento de Planificación de Holcim Ecuador.



Anexo 2. Diagrama Eléctrico de la Subestación.

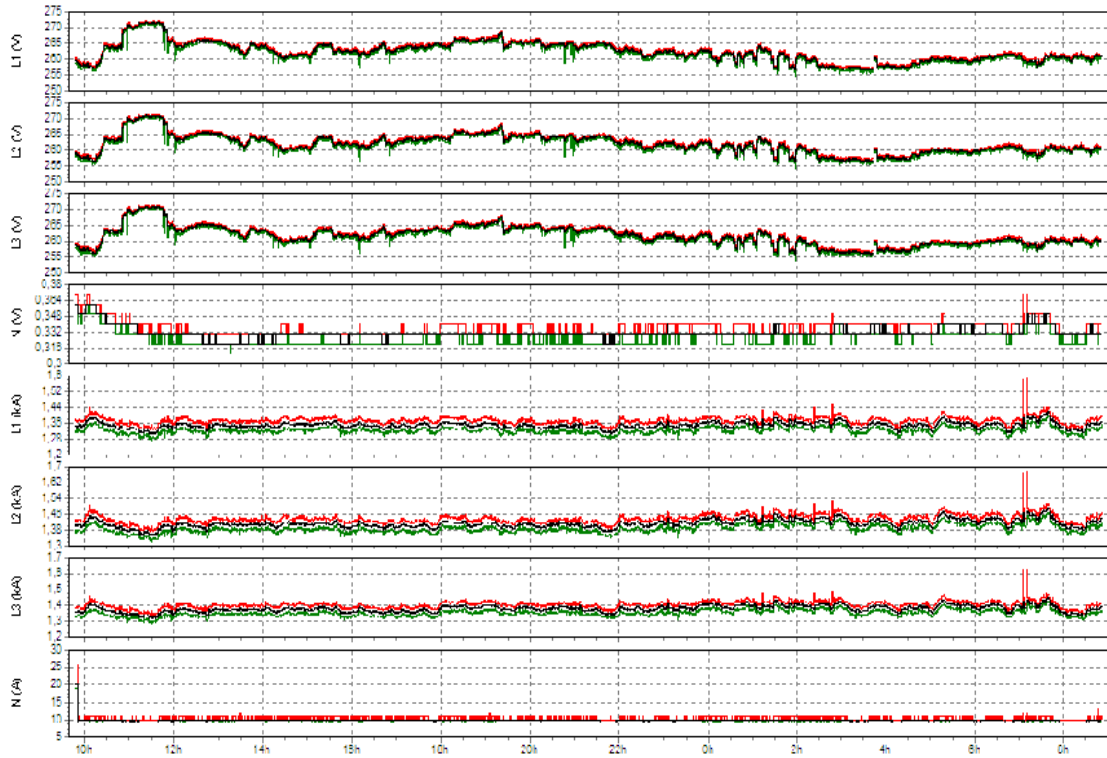
Fuente: Departamento de Planificación de Holcim Ecuador.



Anexo 3. Valores Del Transformador de 1500 KVA.

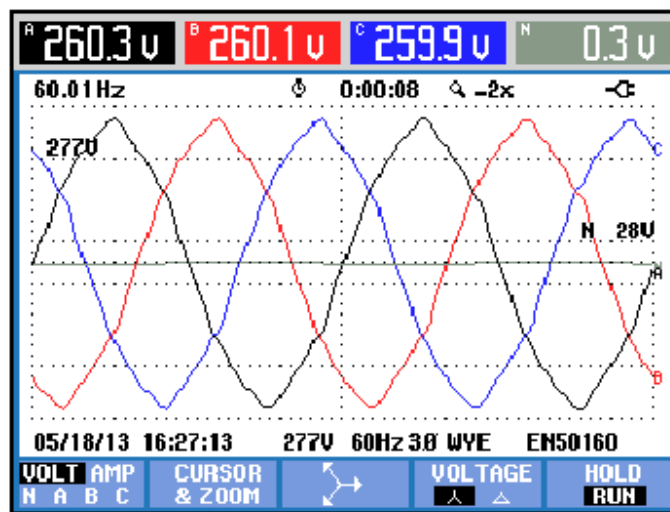
Anexo 3-A- 1 (Curvas de Voltaje y Corriente con Máximos y Mínimos).

Fuente: Los Autores.



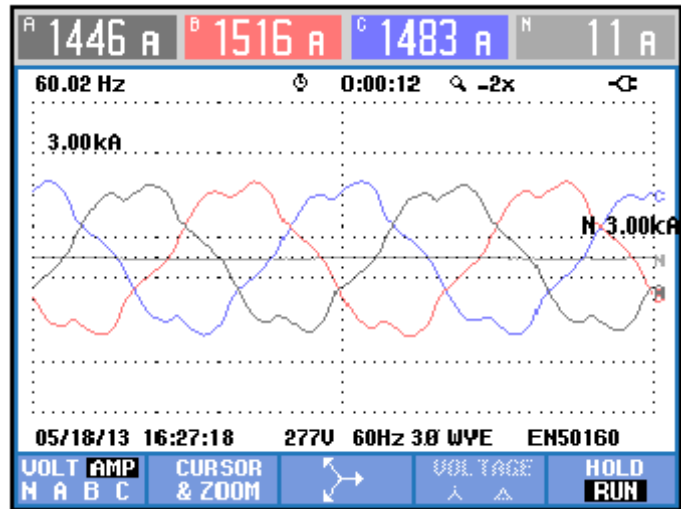
Anexo 3-A- 2 (Curvas de Voltajes RMS).

Fuente: Los Autores



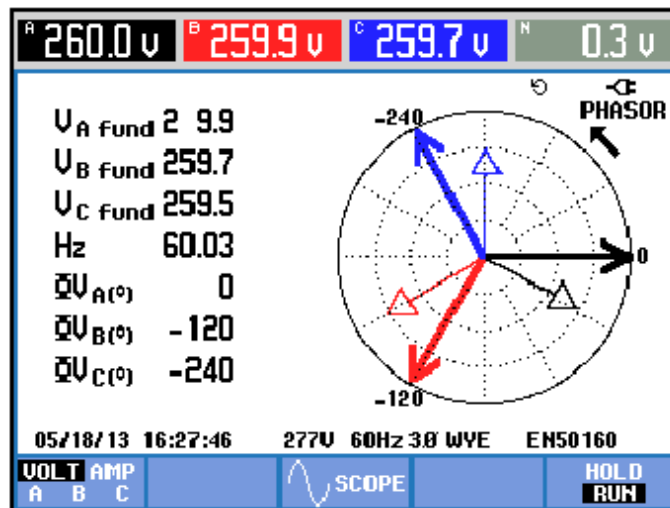
Anexo 3-A- 3 (Curvas de Corriente).

Fuente: Los Autores



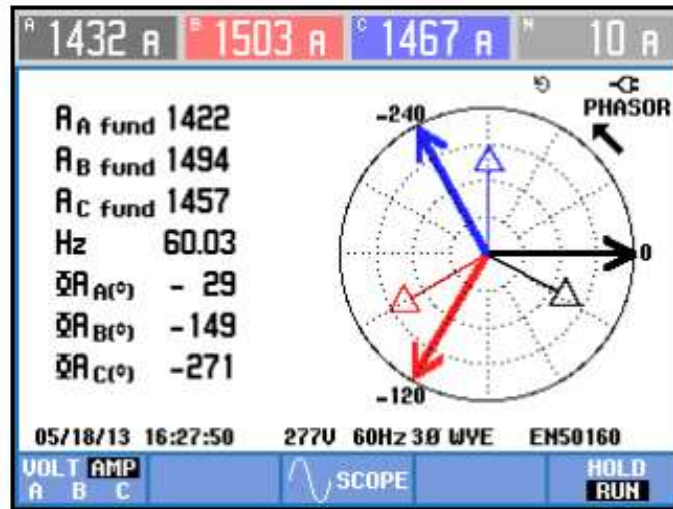
Anexo 3-A- 4 (Ángulos Fasoriales de Voltaje).

Fuente: Los Autores



Anexo 3-A- 5 (Ángulos Fasoriales de Corriente).

Fuente: Los Autores



Anexo 3-A- 6 (Valores de Voltaje y Corriente RMS y Picos).

Fuente: Los Autores

Volts/Amps/Hertz				
	A	B	C	N
V_{rms}	260.10	259.95	259.63	0.35
V_{pk}	389.8	389.8	389.1	0.6
CF	1.50	1.50	1.50	OL
Hz	60.062			
	A	B	C	N
I_{rms}	1455	1529	1492	11
I_{pk}	2207	2314	2331	19
CF	1.52	1.51	1.56	OL

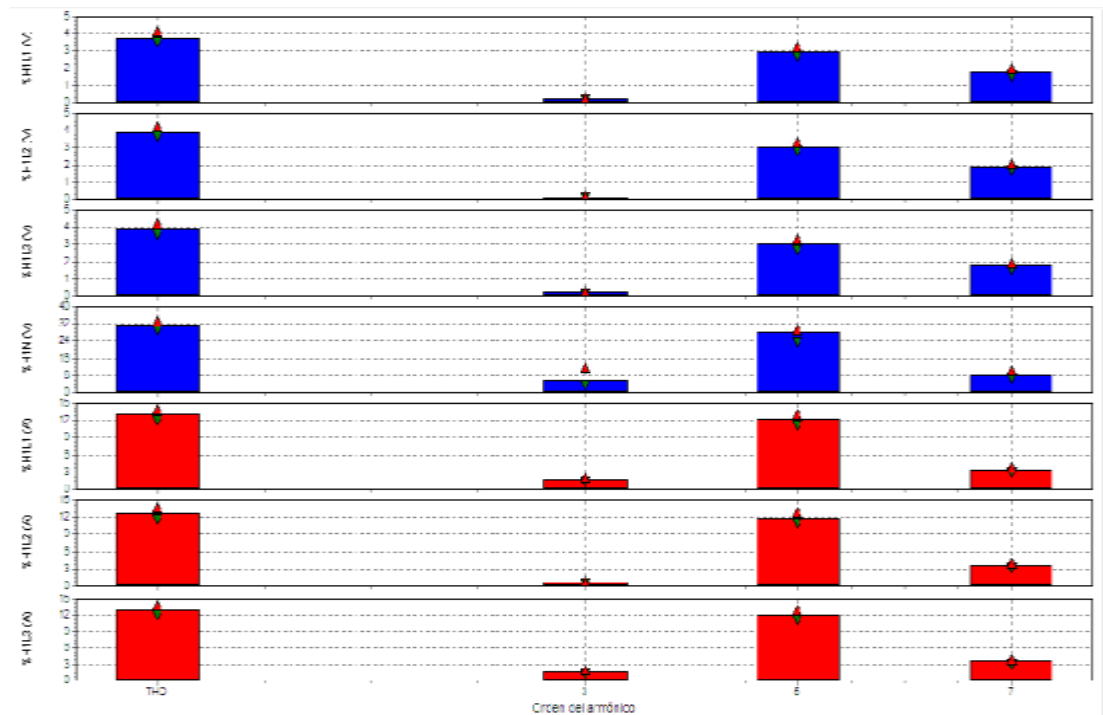
Anexo 3-A- 7 (Valores de Desbalances).

Fuente: Los Autores

Unbalance				
	Uneg.	Uzero	Aneg.	Azero
Unbal.(%)	0.2	0.0	2.9	0.1
	A	B	C	N
Vfund	265.8	265.2	265.1	0.3
Hz	59.960			
	A	B	C	N
$\bar{\alpha}V(^{\circ})$	0.0	-120.1	-239.9	-157.0
$\bar{\alpha}A(^{\circ})$	-27.6	-147.7	-270.3	-303.4
Afund	1361	1430	1392	12
05/20/13 18:01:41 277V 60Hz 3Ø WYE ENS0160				

Anexo 3-B- 1 (Grafica de Armónicos del Sistema).

Fuente: Los Autores



Anexo 3-B- 2 (Valores de Armónicos de Corriente del Sistema).

Fuente: Los Autores

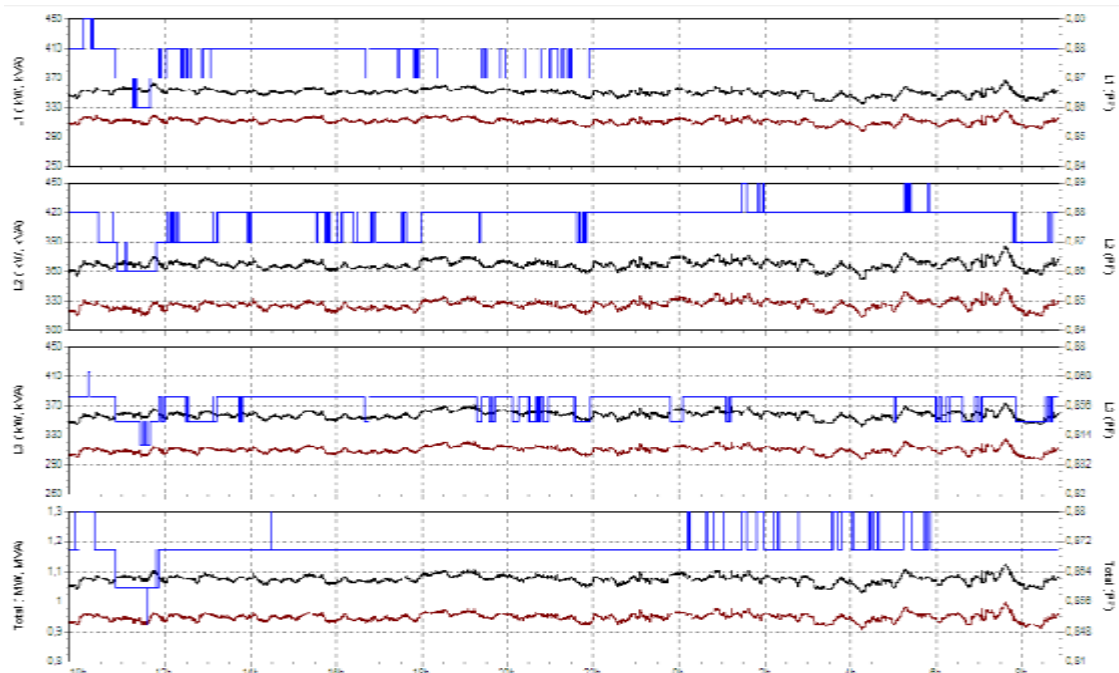
HARMONICS TABLE				
Amp	A	B	C	N
THD%f	11.7	11.2	11.6	19.5
H3%f	1.4	0.7	1.7	11.3
H5%f	11.1	10.7	11.0	13.4
H7%f	3.0	3.2	3.0	7.8
H9%f	0.5	0.4	0.5	4.1
H11%f	1.8	1.5	1.8	4.2
H13%f	0.5	0.6	0.6	3.0
H15%f	0.5	0.5	0.6	3.2

05/18/13 16:25:13 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160

U U&A HARMONIC GRAPH TREND HOLD RUN

Anexo 3-C- 1 (Curva de Potencia del Sistema).

Fuente: Los Autores



Anexo 3-C- 2 (Tabla de Valores de Potencia y Factor de Potencia).

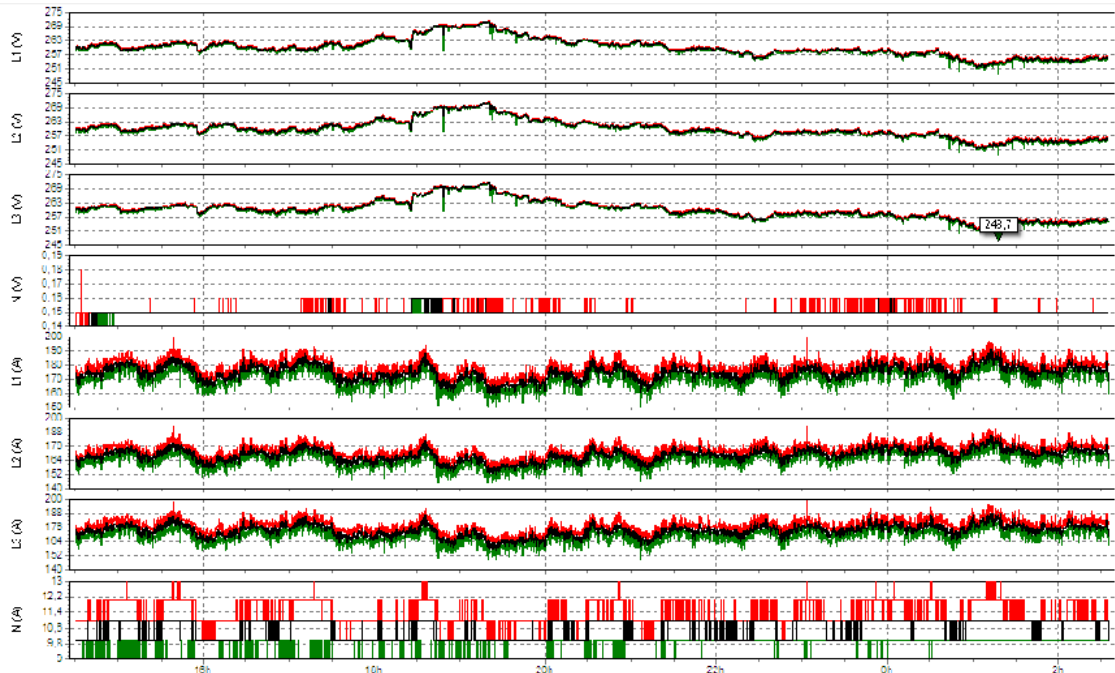
Fuente: Los Autores

Power & Energy				
FUND	0:00:08			
	A	B	C	Total
kW	323.2	341.1	324.0	988.2
kVA	369.5	388.4	379.4	1137
kVAR	179.1	185.8	197.4	562.4
PF	0.86	0.87	0.84	0.86
DPF	0.87	0.88	0.85	0.87
A rms	1433	1507	1473	
	A	B	C	
V rms	259.90	259.73	259.45	
05/18/13 16:26:00 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

Anexo 4 Valores del Ventilador 471-VE4.

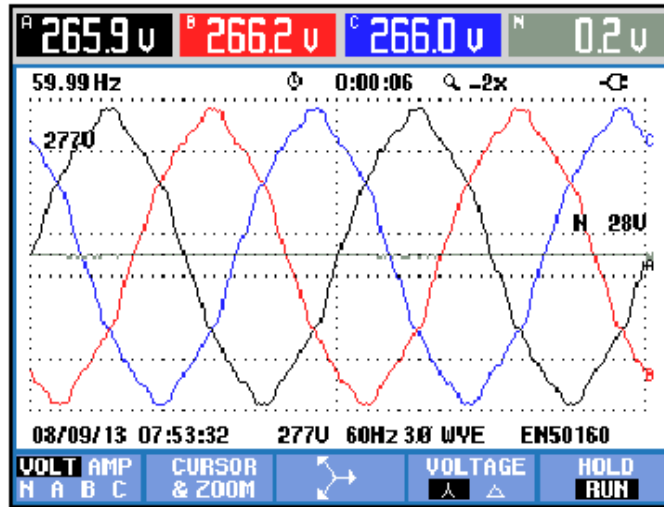
Anexo 4-A- 1 (Curvas de Voltaje y Corriente con Máximos y Mínimos).

Fuente: Los Autores



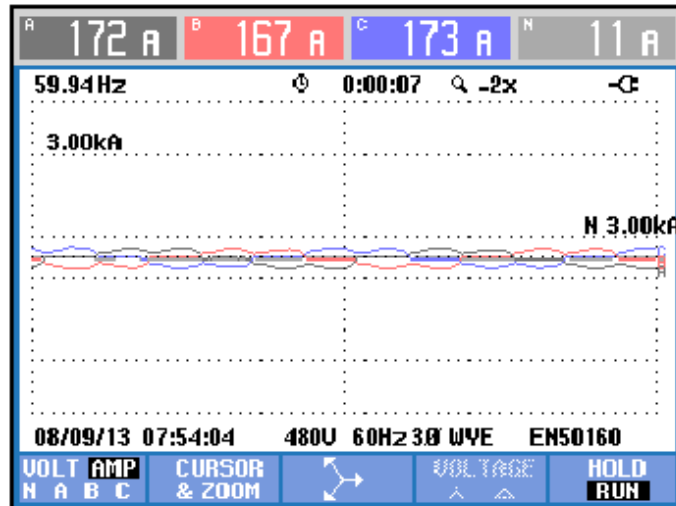
Anexo 4-A- 2 (Curvas de Voltaje RMS).

Fuente: Los Autores



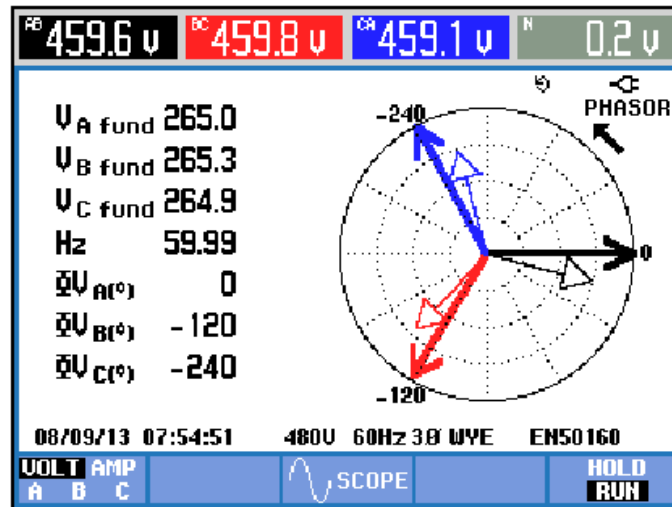
Anexo 4-A- 3 (Curvas de Corriente).

Fuente: Los Autores



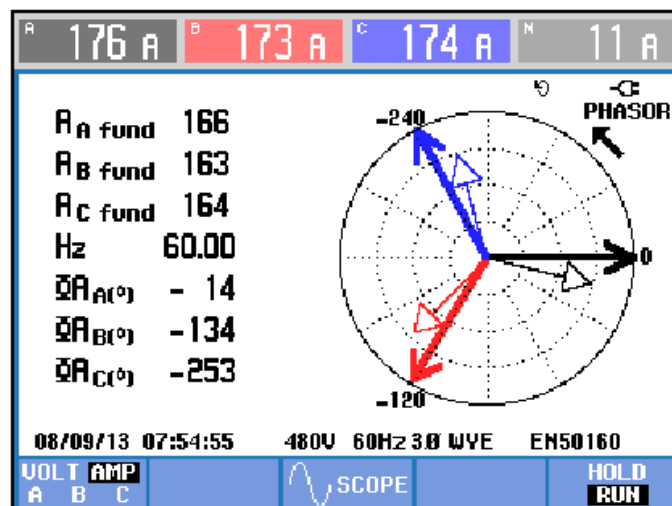
Anexo 4-A- 4 (Ángulos Fasoriales de voltaje).

Fuente: Los Autores



Anexo 4-A- 5 (Ángulos Fasoriales de Corriente).

Fuente: Los Autores



Anexo 4-A- 6 (Valores de Voltaje y Corriente RMS y Picos).

Fuente: Los Autores

Volts/Amps/Hertz				
	A	B	C	N
Vrms	265.41	265.62	265.58	0.16
Vpk	397.7	397.2	397.6	0.6
CF	1.50	1.50	1.50	OL
Hz	59.984			
	A	B	C	N
Arms	174	167	173	11
Apk	296	286	296	27
CF	1.70	1.71	1.71	OL
08/09/13 07:55:26 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE		TREND		HOLD RUN

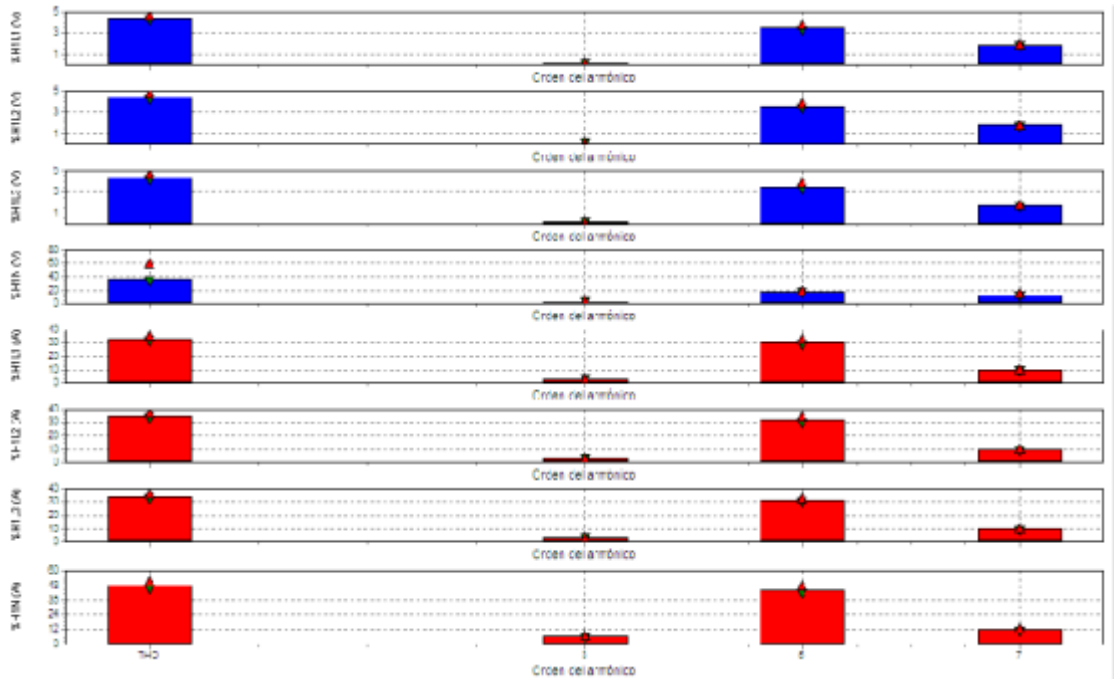
Anexo 4-A- 7 (Valores de Desbalances).

Fuente: Los Autores

Unbalance				
	Vneg.	Vzero	Aneg.	Azero
Unbal.(%)	0.0	0.0	1.9	0.4
	A	B	C	N
Vfund	264.5	264.6	264.5	0.1
Hz	59.974			
	A	B	C	N
$\phi V(^{\circ})$	0.0	-120.0	-240.1	-155.2
$\phi A(^{\circ})$	-13.8	-134.2	-252.7	-282.7
Afund	176	169	171	9
08/09/13 07:58:19 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
		TREND		HOLD RUN

Anexo 4-B- 1 (Graficas de armónicas del Ventilador 471-VE4).

Fuente: Los Autores



Anexo 4-B- 2 (Valores de Armónicos de Voltaje).

Fuente: Los Autores

HARMONICS TABLE				
	A	B	C	N
THD%f	4.6	4.7	4.6	43.8
H3%f	0.2	0.1	0.1	2.7
H5%f	3.6	3.7	3.7	18.8
H7%f	1.7	1.6	1.5	10.6
H9%f	0.1	0.1	0.1	2.2
H11%f	1.6	1.8	1.8	19.6
H13%f	0.9	0.9	0.9	12.7
H15%f	0.2	0.1	0.1	2.7
08/09/13 07:57:23 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
U A U U&A	HARMONIC GRAPH		TREND	HOLD RUN

Anexo 4-B- 3 (Valores de Armónicos de Corriente).

Fuente: Los Autores

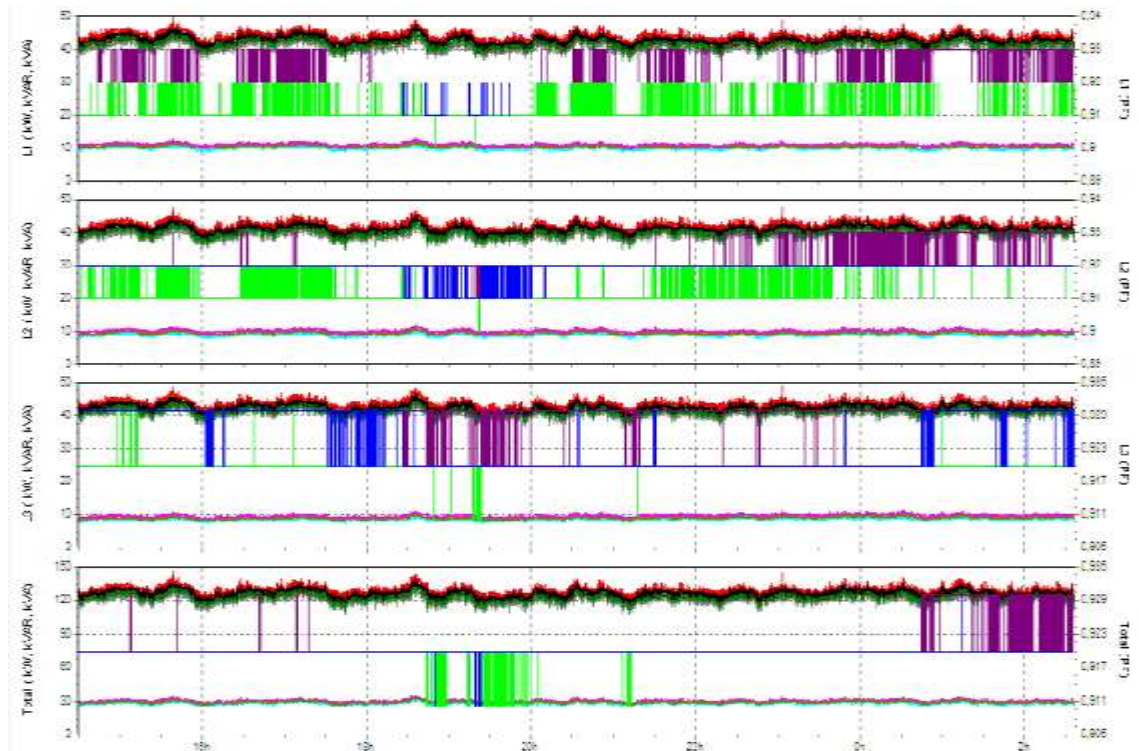
HARMONICS TABLE				
Amp	A	B	C	N
THD%f	34.3	34.0	34.5	51.2
H3%f	2.8	2.5	2.7	4.9
H5%f	31.4	31.8	31.9	44.3
H7%f	9.0	8.8	8.7	11.1
H9%f	0.7	0.7	0.6	1.4
H11%f	7.1	7.1	7.1	9.1
H13%f	4.4	4.5	4.2	4.2
H15%f	0.4	0.4	0.3	0.9

08/09/13 07:57:29 277V 60Hz 3Ø WYE ENS0160

U U U HARMONIC GRAPH TREND HOLD RUN
U&A

Anexo 4-C- 1 (Curva de Potencia del Ventilador 471-VE4).

Fuente: Los Autores



Anexo 4-C- 2 (Valores de Potencia y Factor de Potencia).

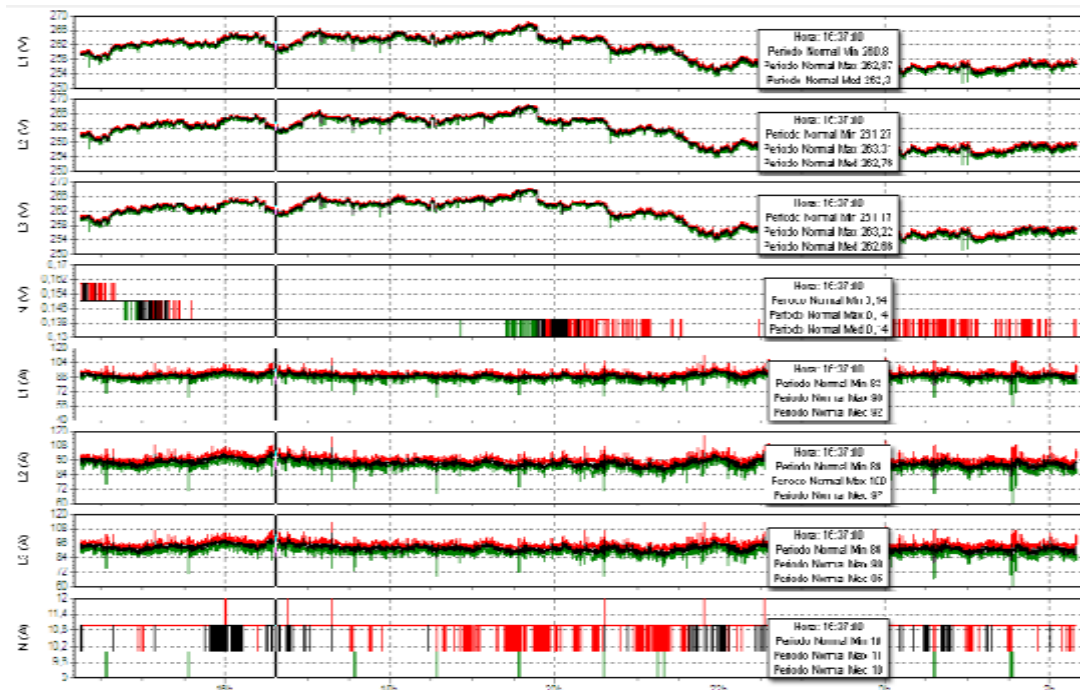
Fuente: Los Autores

Power & Energy				
	FUND			0:00:00
	A	B	C	Total
kW	43.6	43.0	43.3	129.9
kVA	44.9	44.2	44.6	133.7
kVAR	10.9	10.4	10.4	31.7
PF	0.92	0.92	0.92	0.92
DPF	0.97	0.97	0.97	0.97
A rms	180	177	179	
	A	B	C	
U rms	264.63	264.76	264.53	
08/09/13 07:57:50 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE		ENERGY		TREND
HOLD		RUN		

Anexo 5 Valores del Ventilador 471-VE5.

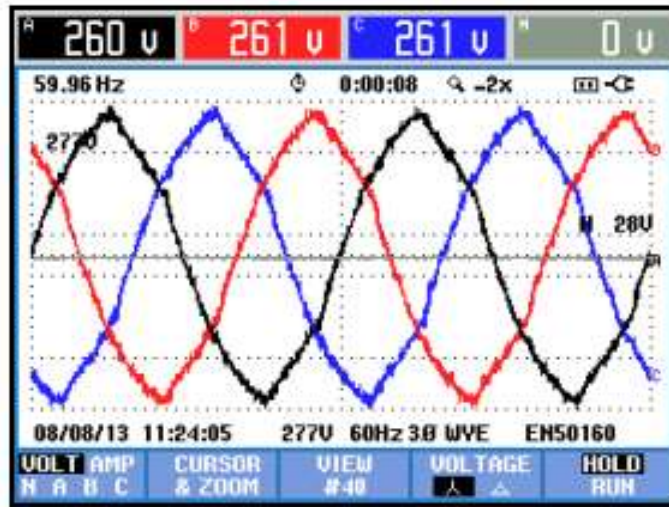
Anexo 5-A- 1 (Curvas de Voltaje y Corriente con Máximos y Mínimos).

Fuente: Los Autores



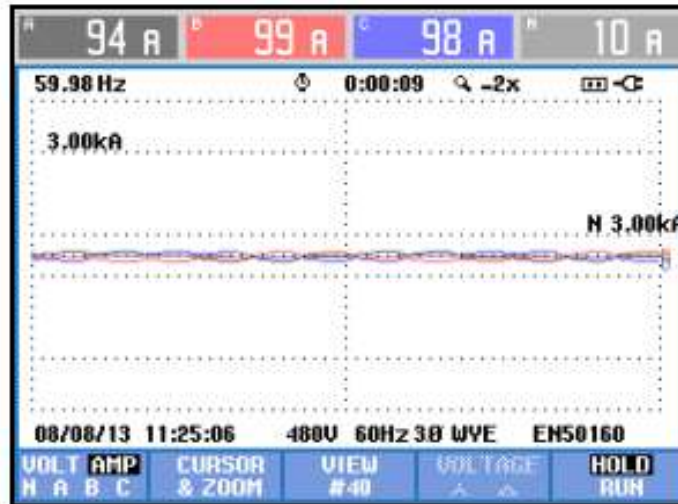
Anexo 5-A- 2 (Curvas de Voltaje RMS).

Fuente: Los Autores



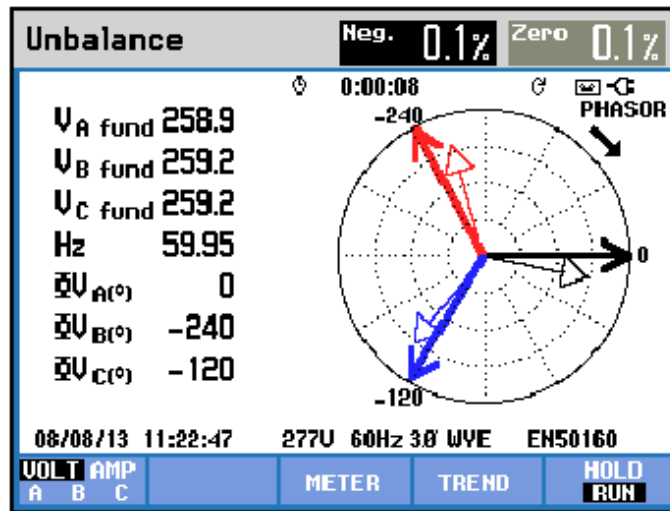
Anexo 5-A- 3 (Curvas de Corriente).

Fuente: Los Autores



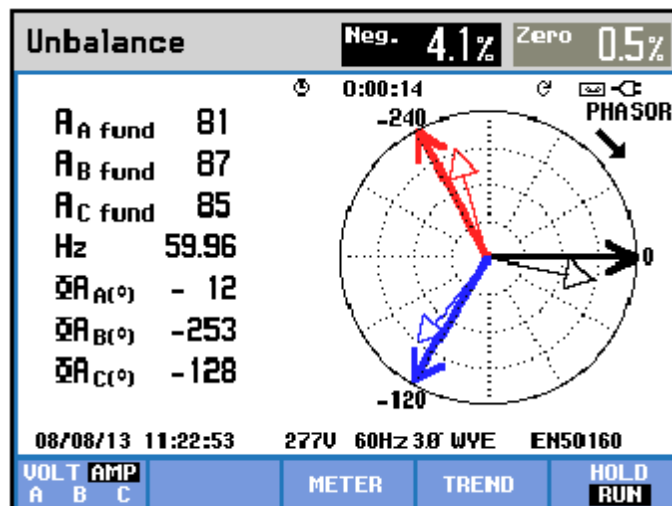
Anexo 5-A- 4 (Ángulos Fasoriales de voltaje).

Fuente: Los Autores



Anexo 5-A- 5 (Ángulos Fasoriales de Corriente).

Fuente: Los Autores



Anexo 5-A- 6 (Valores de Voltaje y Corriente RMS y Picos).

Fuente: Los Autores

Volts/Amps/Hertz				
	A	B	C	N
U _{rms}	261.86	262.23	262.24	0.13
U _{pk}	394.4	395.5	395.2	0.5
CF	1.51	1.51	1.51	OL
Hz	60.009			
A _{rms}	89	94	92	10
A _{pk}	156	166	168	21
CF	1.76	1.77	1.82	OL
08/08/13 11:17:28 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE			TREND	HOLD RUN

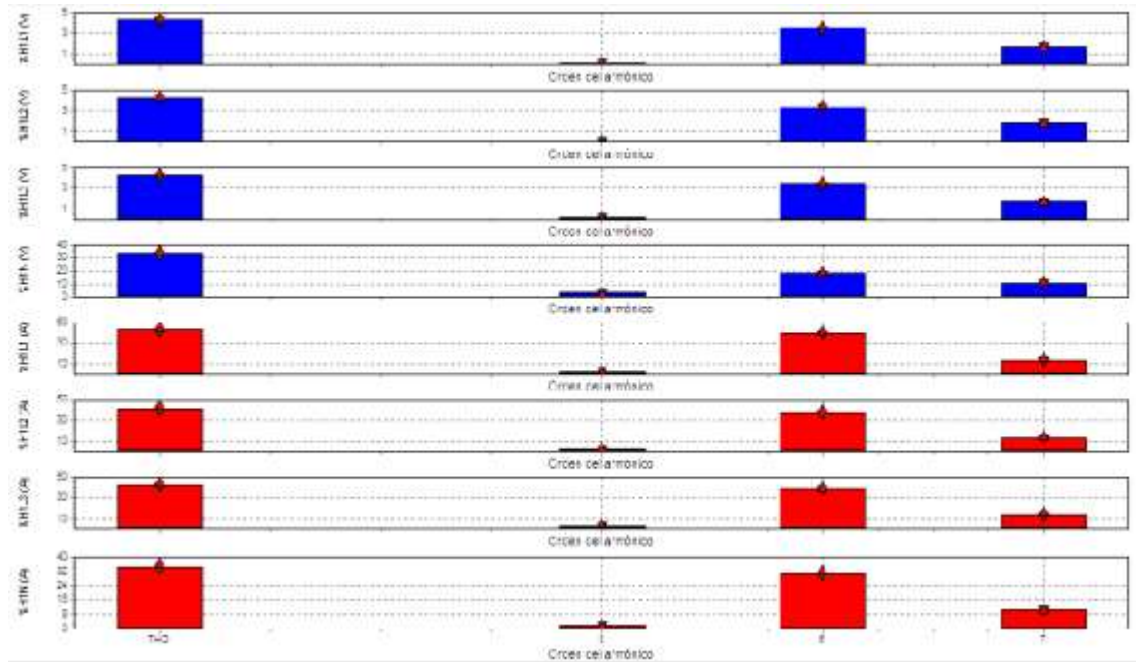
Anexo 5-A- 7 (Valores de Desbalances).

Fuente: Los Autores

Unbalance				
	Uneg.	Uzero	Aneg.	Rzero
Unbal.(%)	0.1	0.1	4.8	0.6
	A	B	C	N
U _{fund}	259.3	259.6	259.6	0.1
Hz	59.934			
$\phi U(^{\circ})$	0.0	-240.1	-120.1	- 42.5
$\phi A(^{\circ})$	- 12.6	-252.6	-128.0	- 87.0
A _{fund}	86	92	90	10
08/08/13 11:22:41 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
			TREND	HOLD RUN

Anexo 5-B- 1 (Graficas de armónicas del Ventilador 471-VE5).

Fuente: Los Autores



Anexo 5-B- 2 (Valores de Armónicos de Voltaje).

Fuente: Los Autores

HARMONICS TABLE				
0:00:00				
Volt	A	B	C	H
THD%f	4.4	4.3	4.2	32.3
H3%f	0.2	0.1	0.2	2.9
H5%f	3.5	3.4	3.3	16.2
H7%f	1.8	1.9	1.8	11.5
H9%f	0.1	0.1	0.1	2.4
H11%f	1.6	1.4	1.4	15.6
H13%f	0.4	0.4	0.4	5.9
H15%f	0.1	0.1	0.0	1.9
08/08/13 11:20:31 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
U A U V2A	HARMONIC GRAPH		TREND	HOLD RUN

Anexo 5-B- 3 (Valores de Armónicos de Corriente).

Fuente: Los Autores

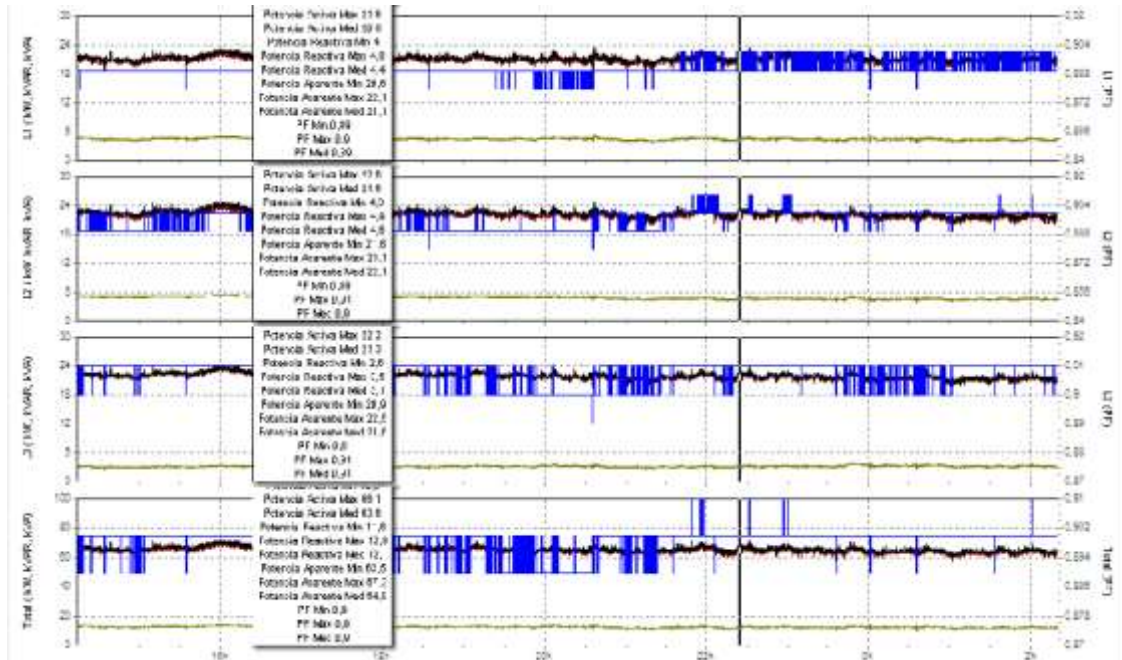
HARMONICS TABLE				
Amp	A	B	C	N
THD%f	44.1	41.2	41.6	35.7
H3%f	3.0	3.4	4.6	2.0
H5%f	40.4	38.0	38.8	31.8
H7%f	13.7	13.7	13.7	11.3
H9%f	0.7	0.7	1.0	0.9
H11%f	7.5	6.9	7.1	5.8
H13%f	3.6	3.7	3.3	2.9
H15%f	0.4	0.3	0.3	0.4

08/08/13 11:20:41 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160

U A W HARMONIC GRAPH TREND HOLD RUN

Anexo 5-C- 1 (Curva de Potencia del Ventilador 471-VE5).

Fuente: Los Autores



Anexo 5-C- 2 (Valores de Potencia y Factor de Potencia).

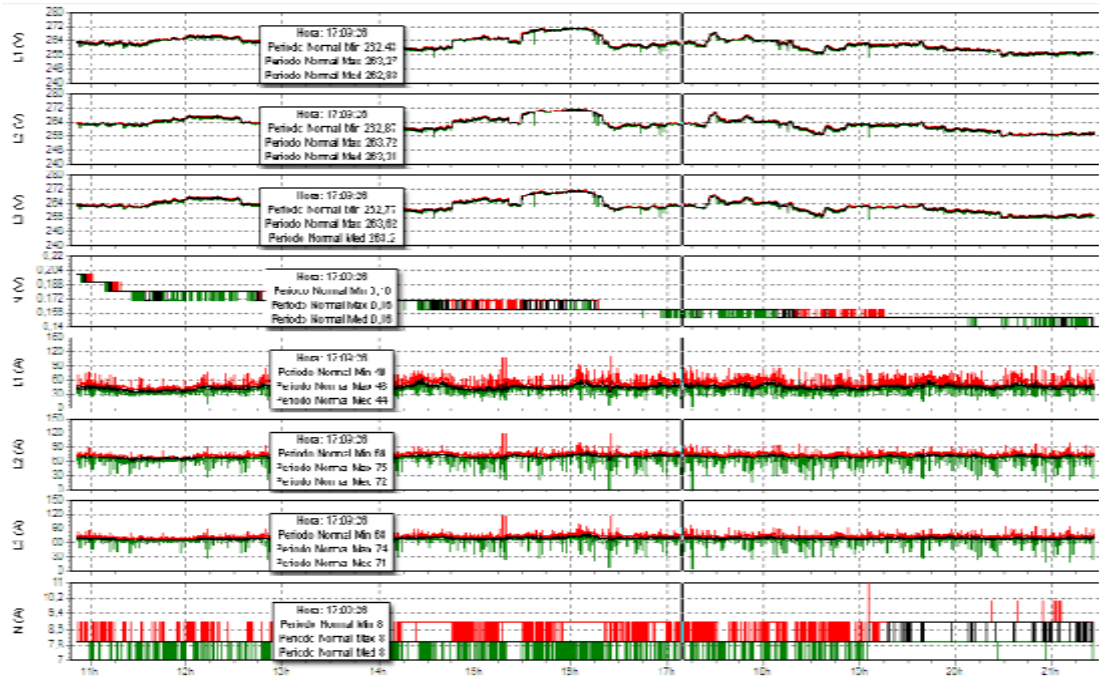
Fuente: Los Autores

Power & Energy					
	FUND	A	B	C	Total
kW		20.8	22.8	22.1	65.7
kVA		21.3	23.4	22.3	67.1
kVAR		4.7	5.1	3.1	12.9
PF		0.89	0.89	0.91	0.90
DPF		0.98	0.98	0.99	0.98
A rms		90	97	93	
U rms		260.96	261.24	261.28	
08/08/13 11:21:17 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160					
VOLTAGE		ENERGY		TREND	HOLD RUN

Anexo 6 Valores del Ventilador 471-VE6.

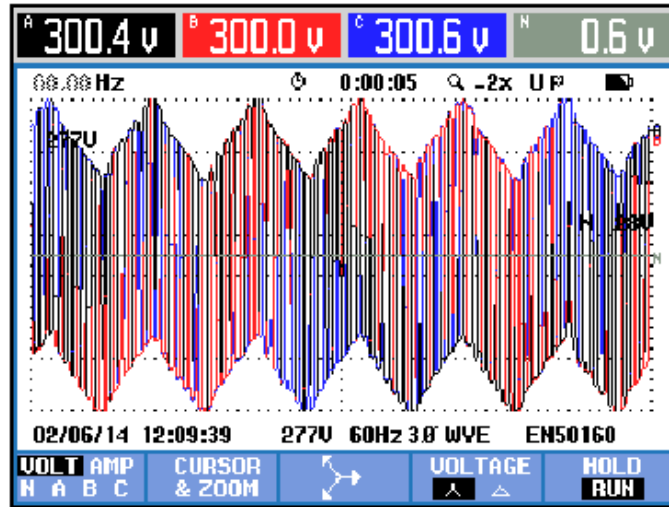
Anexo 6-A- 1 (Curvas de Voltaje y Corriente con Máximos y Mínimos).

Fuente: Los Autores



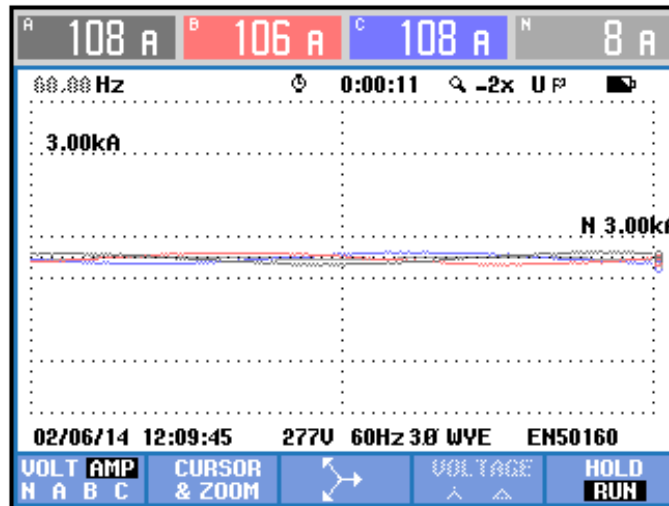
Anexo 6-A- 2 (Curvas de Voltaje RMS).

Fuente: Los Autores



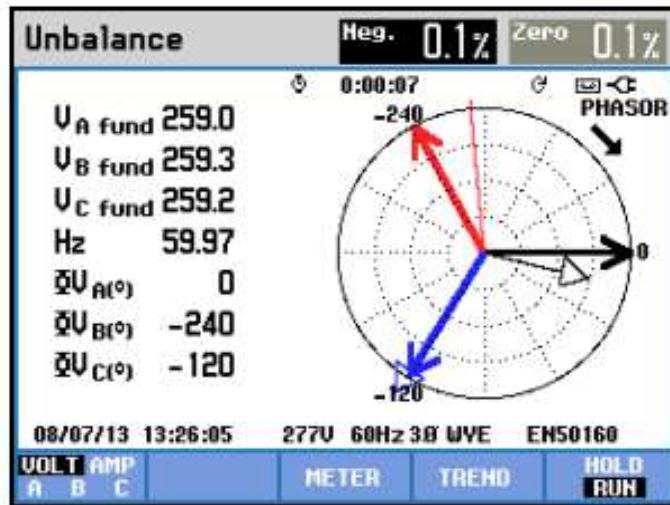
Anexo 6-A- 3 (Curvas de Corriente).

Fuente: Los Autores



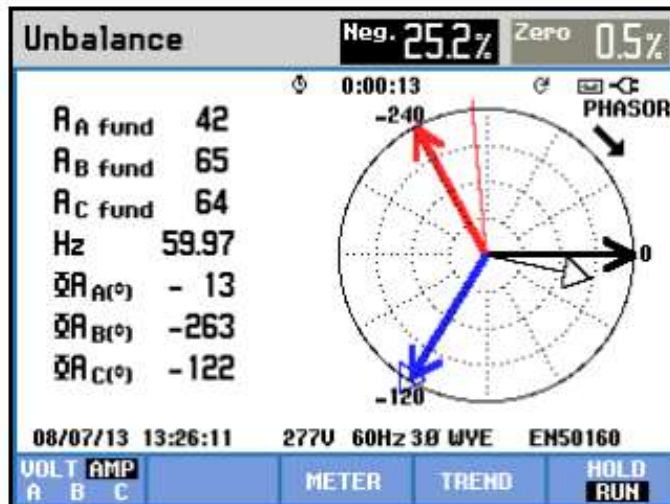
Anexo 6-A- 4 (Ángulos Fasoriales de voltaje).

Fuente: Los Autores



Anexo 6-A- 5 (Ángulos Fasoriales de Corriente).

Fuente: Los Autores



Anexo 6-A- 6 (Valores de Voltaje y Corriente RMS y Picos).

Fuente: Los Autores

Volts/Amps/Hertz				
	A	B	C	N
U _{rms}	259.19	259.72	259.61	0.14
U _{pk}	388.9	389.0	389.9	0.5
CF	1.50	1.50	1.50	OL
Hz	59.960			
A _{rms}	47	75	72	8
A _{pk}	103	168	168	15
CF	2.18	2.23	2.32	OL
08/07/13 13:20:30 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE			TREND	HOLD RUN

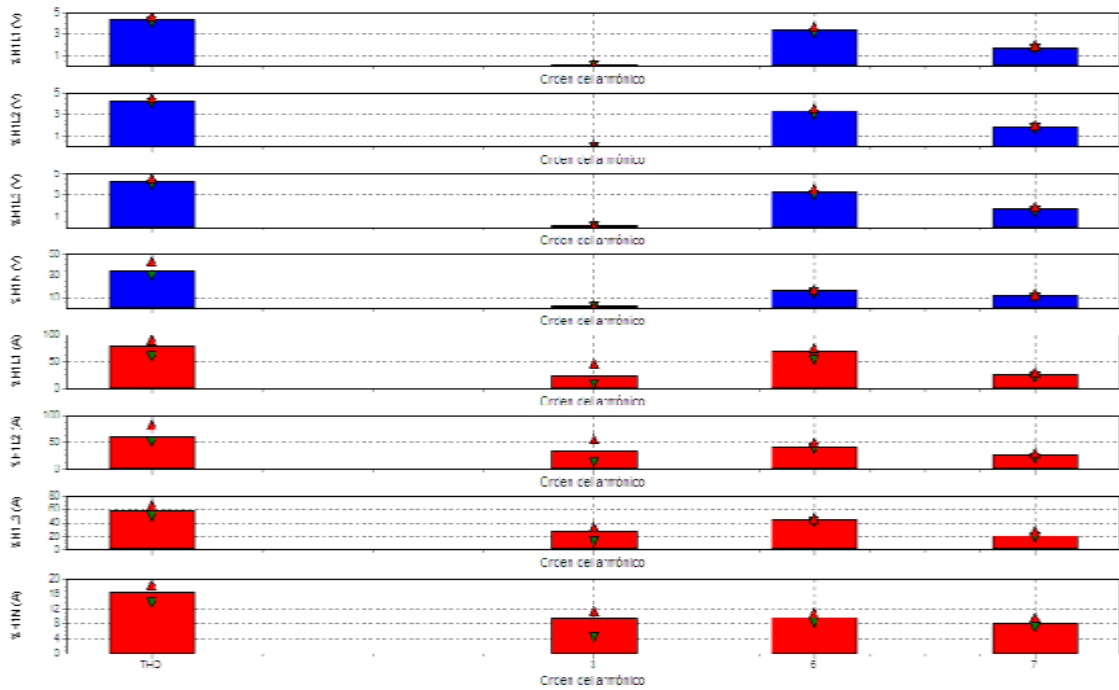
Anexo 6-A- 7 (Valores de Desbalances).

Fuente: Los Autores

Unbalance				
	Uneg.	Uzero	Aneg.	Rzero
Unbal.(%)	0.1	0.1	29.8	0.5
	A	B	C	N
U _{fund}	258.8	259.2	259.2	0.1
Hz	60.009			
$\phi U(^{\circ})$	0.0	-240.1	-120.1	- 43.0
$\phi R(^{\circ})$	- 14.5	-264.7	-119.7	- 24.8
R _{fund}	38	65	62	8
08/07/13 13:25:59 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
			TREND	HOLD RUN

Anexo 6-B- 1 (Graficas de armónicas del Ventilador 471-VE6).

Fuente: Los Autores



Anexo 6-B- 2 (Valores de Armónicos de Voltaje).

Fuente: Los Autores

HARMONICS TABLE				
0:00:00				
Volt	A	B	C	N
THD%f	4.4	4.3	4.3	34.1
H3%f	0.2	0.1	0.3	2.3
H5%f	3.5	3.4	3.4	16.6
H7%f	1.7	1.9	1.8	11.7
H9%f	0.1	0.1	0.2	2.5
H11%f	1.8	1.7	1.8	19.1
H13%f	0.6	0.6	0.6	8.6
H15%f	0.1	0.1	0.1	2.6
08/07/13 13:24:30 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
U A W	HARMONIC GRAPH		TREND	HOLD RUN
U&A				

Anexo 6-B- 3 (Valores de Armónicos de Corriente).

Fuente: Los Autores

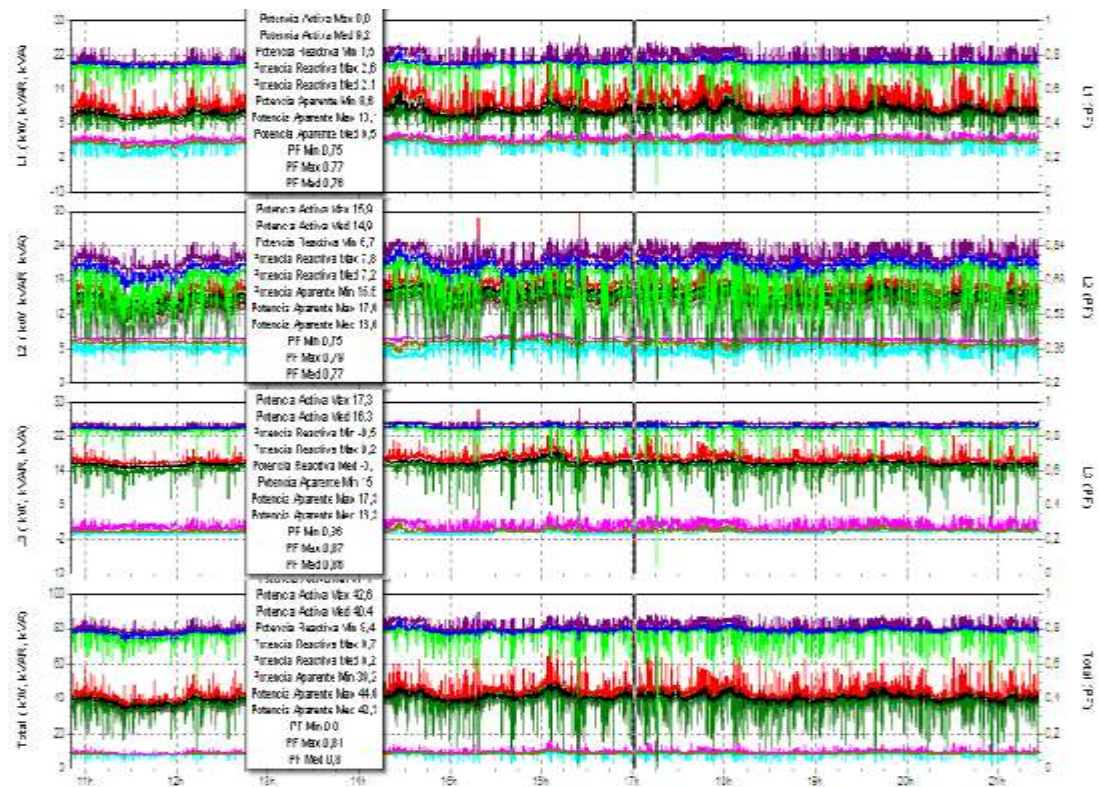
HARMONICS TABLE				
Amp	A	B	C	N
THD%f	79.6	59.7	57.3	16.1
H3%f	22.4	32.1	27.4	9.4
H5%f	68.4	39.7	43.8	9.8
H7%f	26.2	25.4	19.9	8.0
H9%f	5.3	3.6	4.8	1.7
H11%f	10.5	7.9	5.7	1.8
H13%f	2.0	4.8	4.2	1.5
H15%f	3.6	0.8	2.6	0.9

08/07/13 13:24:36 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160

U V&A HARMONIC GRAPH TREND HOLD RUN

Anexo 6-C- 1 (Curva de Potencia del Ventilador 471-VE6).

Fuente: Los Autores



Anexo 6-C- 2 (Valores de Potencia y Factor de Potencia).

Fuente: Los Autores

Power & Energy				
FUND	A	B	C	Total
kW	9.9	15.7	16.8	42.3
kVA	10.2	17.2	16.8	44.2
kVAR	2.5	7.2	0.1	9.5
PF	0.76	0.78	0.87	0.81
DPF	0.97	0.91	1.00	0.96
Arms	50	76	74	
Urms	259.31	259.70	259.63	
08/07/13 13:25:03 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE	ENERGY	TREND	HOLD RUN	

Anexo 7 Valores del Punto 471-1VB.

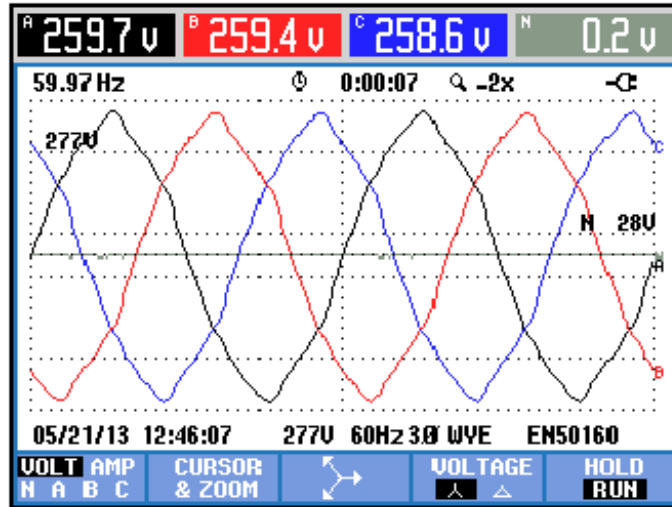
Anexo 7-A- 1 (Curvas de Voltaje y Corriente con Máximos y Mínimos).

Fuente: Los Autores



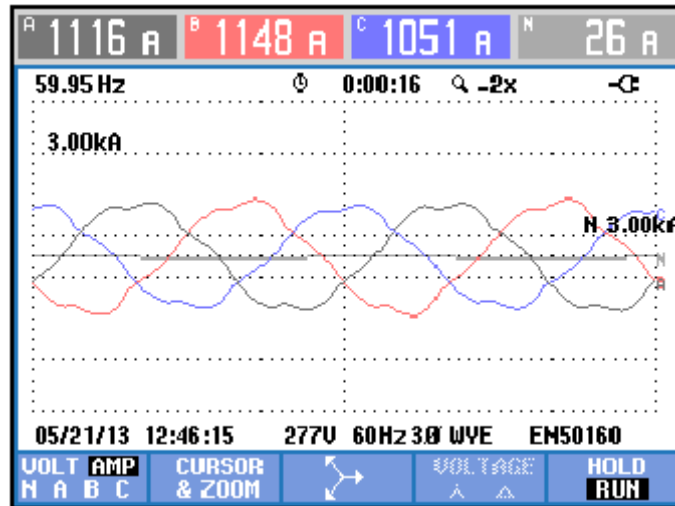
Anexo 7-A- 2 (Curvas de Voltaje RMS).

Fuente: Los Autores



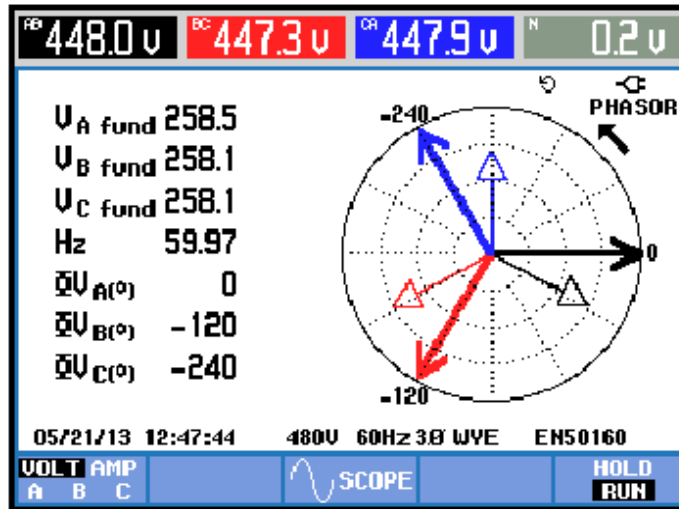
Anexo 7-A- 3 (Curvas de Corriente).

Fuente: Los Autores



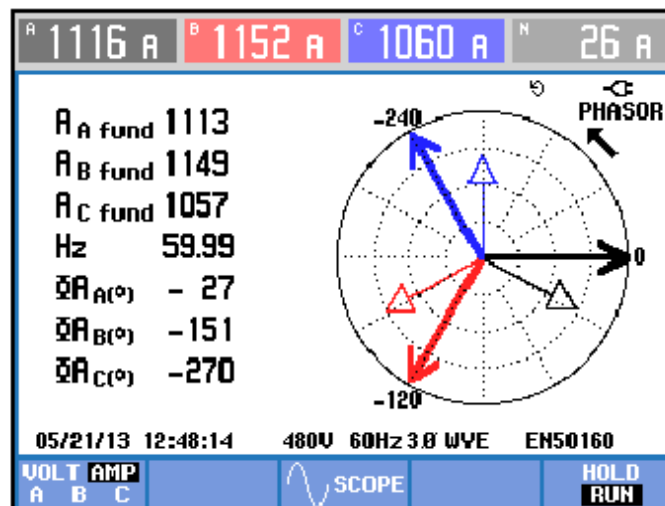
Anexo 7-A- 4 (Ángulos Fasoriales de voltaje).

Fuente: Los Autores



Anexo 7-A- 5 (Ángulos Fasoriales de Corriente).

Fuente: Los Autores



Anexo 7-A- 6 (Valores de Voltaje y Corriente RMS y Picos).

Fuente: Los Autores

Volts/Amps/Hertz				
	A	B	C	N
Urms	259.97	259.54	258.91	0.15
Upk	392.2	392.1	390.9	0.6
CF	1.51	1.51	1.51	OL
Hz	60.002			
Arms	1111	1149	1053	26
Apk	1587	1715	1560	42
CF	1.43	1.49	1.48	OL
05/21/13 12:37:03 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE			TREND	HOLD RUN

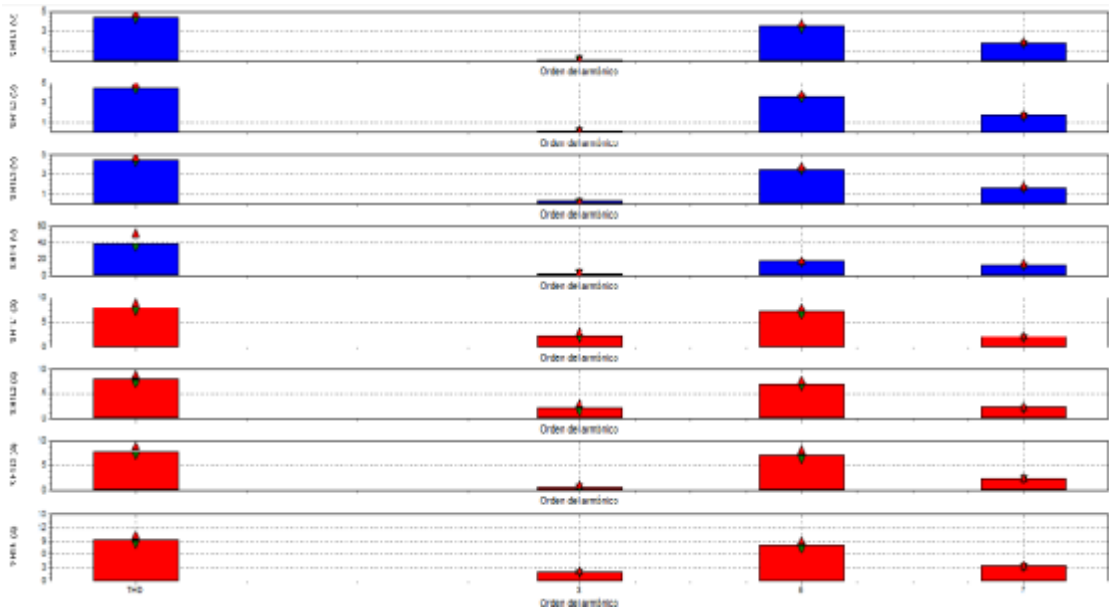
Anexo 7-A- 7 (Valores de Desbalances).

Fuente: Los Autores

Unbalance				
	Uneg.	Uzero	Aneg.	Azero
Unbal.(%)	0.1	0.2	4.8	0.6
	A	B	C	N
Ufund	259.4	258.9	258.3	0.1
Hz	59.959			
$\phi U(^{\circ})$	0.0	-119.9	-239.9	-155.7
$\phi A(^{\circ})$	-27.3	-151.2	-270.3	-309.6
Afund	1101	1137	1036	26
05/21/13 12:42:56 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
			TREND	HOLD RUN

Anexo 7-B- 1 (Graficas de armónicas del Punto 471-1VB).

Fuente: Los Autores



Anexo 7-B- 2 (Valores de Armónicos de Voltaje).

Fuente: Los Autores

HARMONICS TABLE				
Volt	A	B	C	N
THD%f	4.4	4.5	4.5	36.3
H3%f	0.1	0.1	0.2	2.2
H5%f	3.5	3.6	3.6	17.6
H7%f	1.9	1.8	1.8	12.6
H9%f	0.2	0.1	0.1	2.6
H11%f	1.5	1.6	1.6	17.8
H13%f	0.5	0.5	0.5	7.2
H15%f	0.1	0.1	0.1	2.6

05/21/13 12:40:10 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160

U A U HARMONIC TREND HOLD
V&A GRAPH RUN

Anexo 7-B- 3 (Valores de Armónicos de Corriente).

Fuente: Los Autores

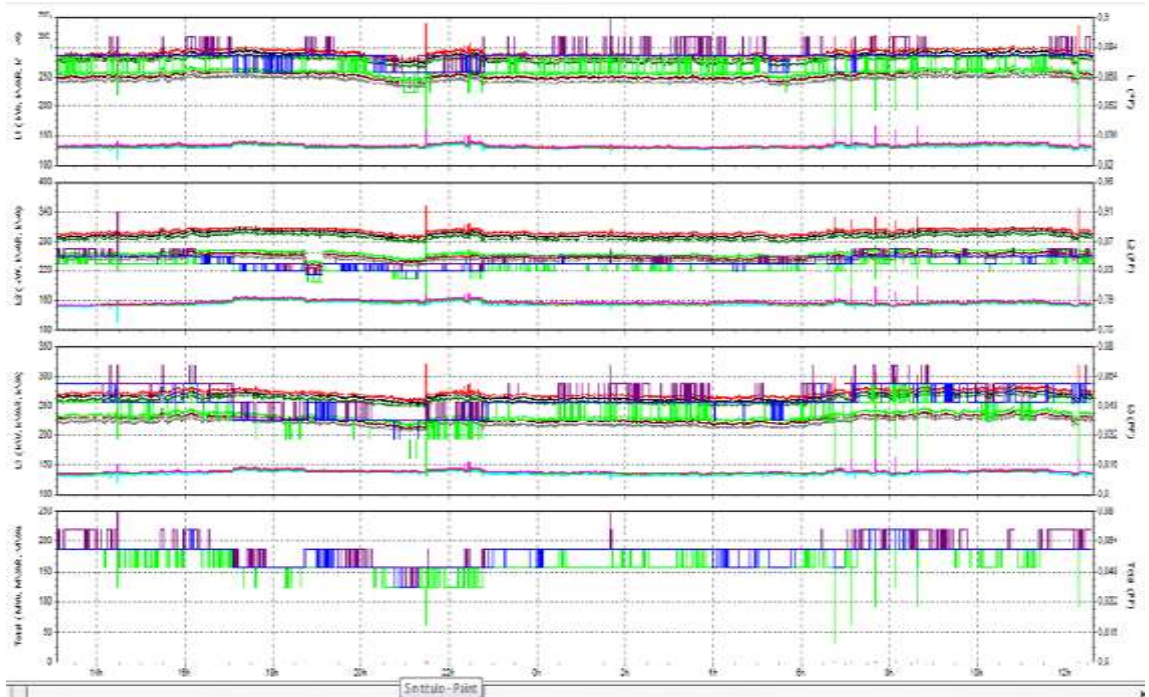
HARMONICS TABLE				
Amp	A	B	C	N
THD%f	7.9	7.7	7.8	9.1
H3%f	2.2	1.8	0.6	2.1
H5%f	7.3	7.1	7.2	7.8
H7%f	1.9	2.1	2.2	3.3
H9%f	0.3	0.3	0.3	0.8
H11%f	1.1	1.5	1.4	1.9
H13%f	0.6	0.6	0.7	1.2
H15%f	0.2	0.1	0.1	0.4

05/21/13 12:40:18 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160

U A W HARMONIC TREND HOLD
U&A GRAPH RUN

Anexo 7-C- 1 (Curva de Potencia del Punto 471-1VB).

Fuente: Los Autores



Anexo 7-C- 2 (Valores de Potencia y Factor de Potencia).

Fuente: Los Autores

Power & Energy				
FUND	0:00:00			
	A	B	C	Total
kW	258.4	257.1	236.0	751.5
kVA	290.3	299.5	273.0	862.9
kVAR	132.4	153.7	137.3	423.4
PF	0.88	0.85	0.86	0.86
DPF	0.89	0.86	0.86	0.87
A rms	1121	1159	1059	
	A	B	C	
V rms	260.10	259.57	258.92	
05/21/13 12:40:36 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

Anexo 8 Valores del Punto 471-1V9.

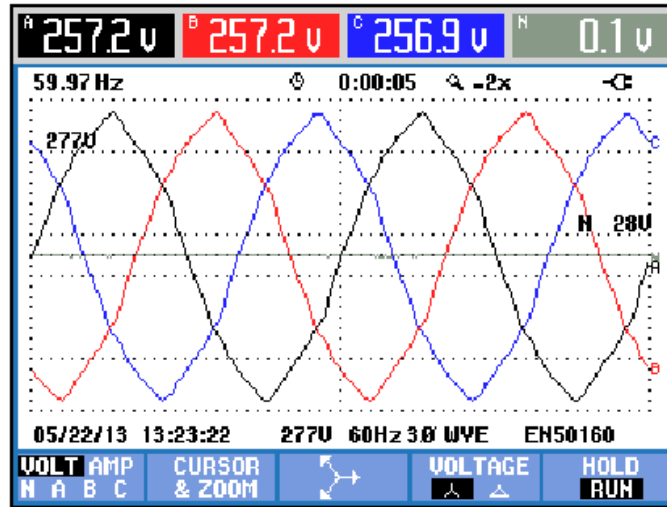
Anexo 8-A- 1 (Curvas de Voltaje y Corriente con Máximos y Mínimos).

Fuente: Los Autores



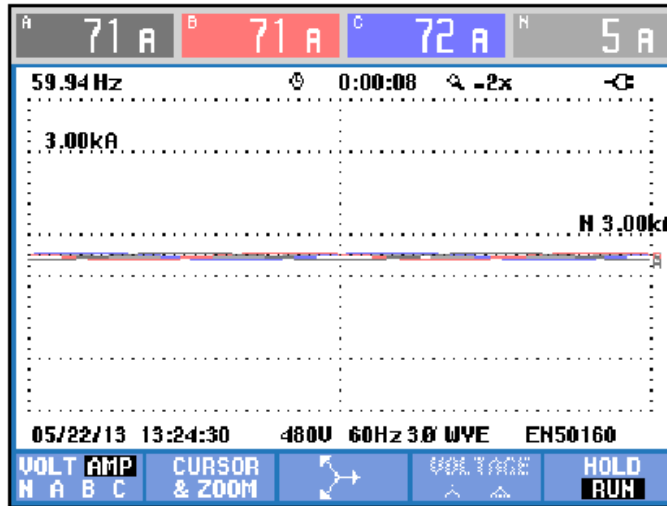
Anexo 8-A- 2 (Curvas de Voltaje RMS).

Fuente: Los Autores



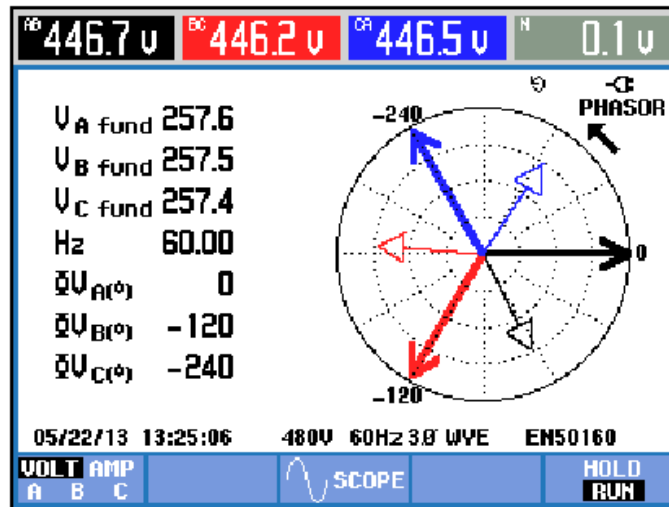
Anexo 8-A- 3 (Curvas de Corriente).

Fuente: Los Autores



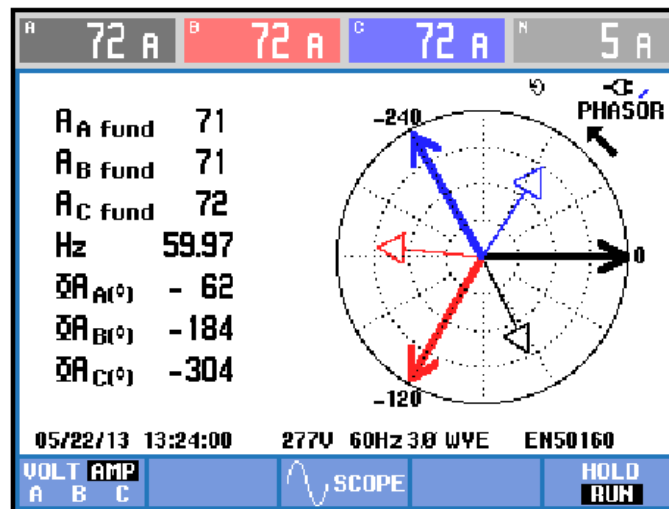
Anexo 8-A- 4 (Ángulos Fasoriales de voltaje).

Fuente: Los Autores



Anexo 8-A- 5 (Ángulos Fasoriales de Corriente).

Fuente: Los Autores



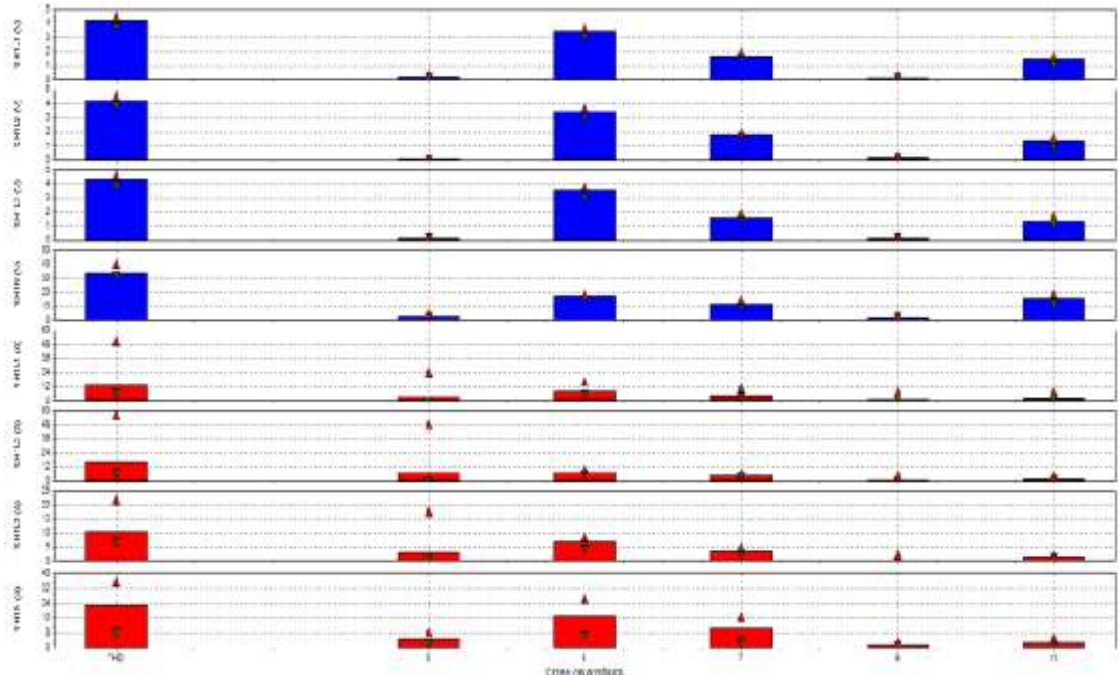
Anexo 8-A- 6 (Valores de Voltaje y Corriente RMS y Picos).

Fuente: Los Autores

Volts/Amps/Hertz				
	A	B	C	N
Vrms	257.68	257.60	257.45	0.14
Vpk	387.8	386.2	385.5	0.5
CF	1.50	1.50	1.50	OL
Hz	59.986			
	A	B	C	N
Arms	71	71	71	5
Apk	111	111	113	10
CF	1.56	1.56	1.57	OL
05/22/13 13:26:12 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE		TREND		HOLD RUN

Anexo 8-B- 1 (Graficas de armónicas del Punto 471-1V9).

Fuente: Los Autores



Anexo 8-B- 2 (Valores de Armónicos de Voltaje).

Fuente: Los Autores

Logger				
24:06:56				
Volt	A	B	C	N
H2%f	0.1	0.0	0.1	5.3
Volt	A	B	C	N
H3%f	0.1	0.1	0.1	2.7
Volt	A	B	C	N
H4%f	0.1	0.1	0.1	2.4
Volt	A	B	C	N
H5%f	2.9	2.9	3.0	14.9
05/22/13 13:22:43 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
PREV. NEXT		TREND	EVENTS 0	OPEN MENU...

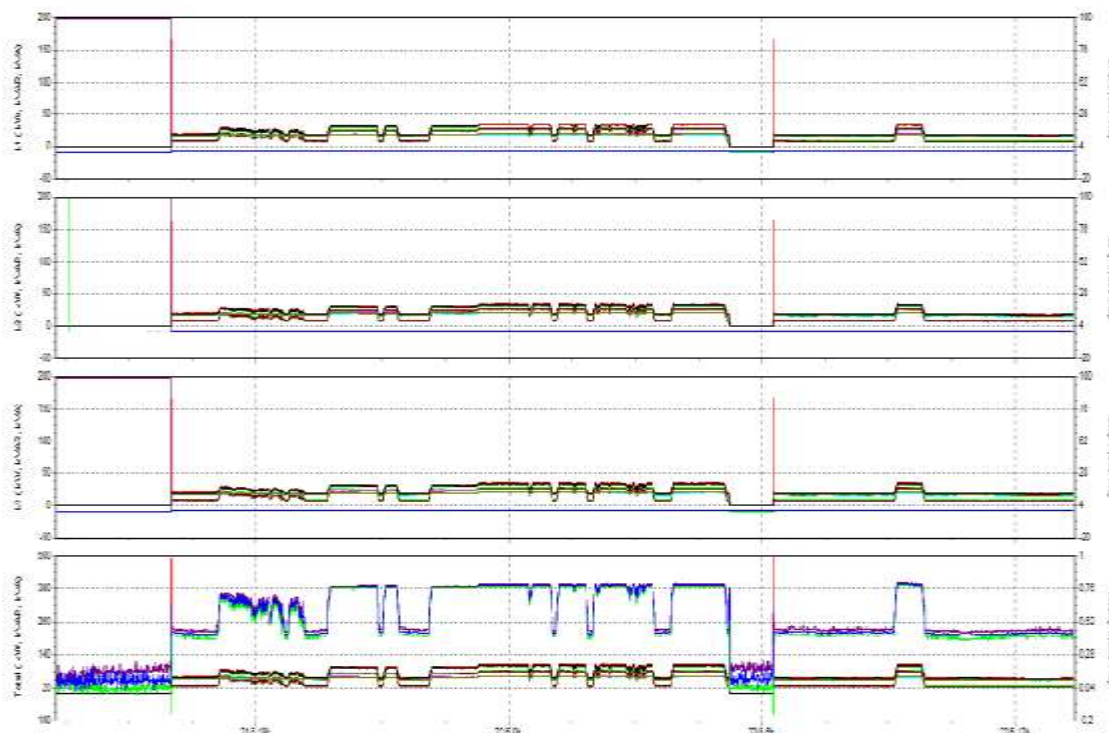
Anexo 8-B- 3 (Valores de Armónicos de Corriente).

Fuente: Los Autores

Logger				
24:07:10				
Amp	A	B	C	N
H4%f	0.2	0.2	0.2	2.2
Amp	A	B	C	N
H5%f	7.2	7.4	7.1	13.4
Amp	A	B	C	N
H6%f	0.1	0.1	0.1	2.2
Amp	A	B	C	N
H7%f	4.6	4.7	4.4	10.8
05/22/13 13:22:56 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
PREV. NEXT		TREND	EVENTS 0	OPEN MENU...

Anexo 8-C- 1 (Curva de Potencia del Punto 471-1V9).

Fuente: Los Autores



Anexo 8-C- 2 (Valores de Potencia y Factor de Potencia).

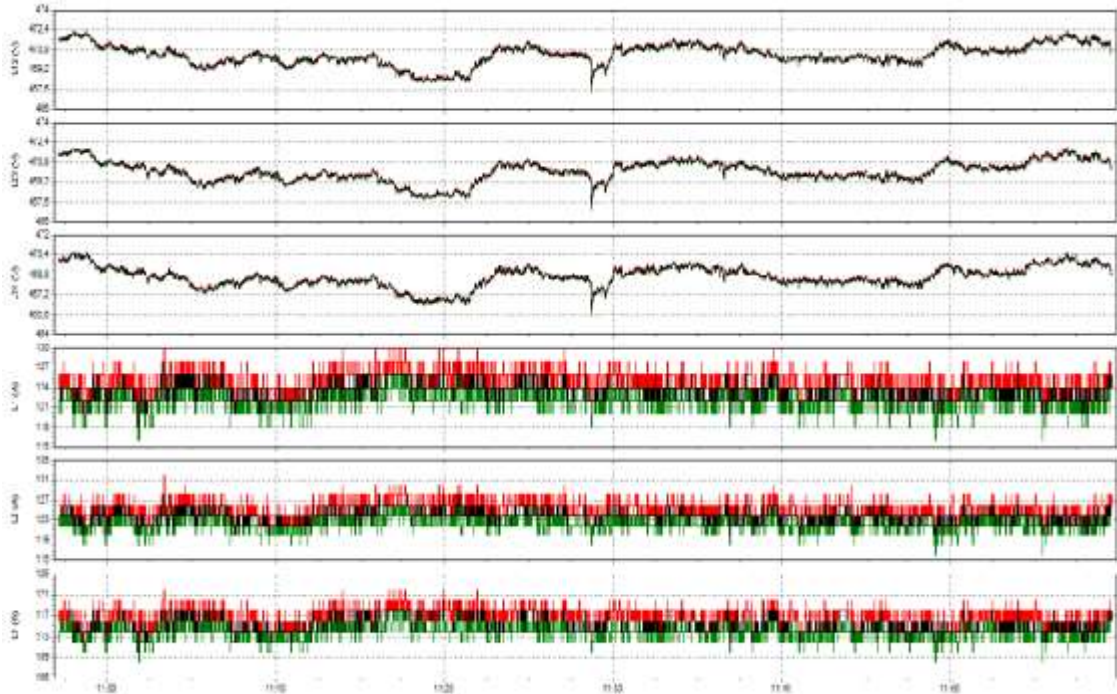
Fuente: Los Autores

Power & Energy				
FUND	0:00:00			
	A	B	C	Total
kW	8.7	8.1	8.6	25.4
kVA	18.6	18.4	18.7	55.6
kVAR	16.4	16.5	16.5	49.5
PF	0.46	0.43	0.45	0.45
DPF	0.47	0.44	0.46	0.46
A rms	72	72	73	
	A	B	C	
V rms	257.90	257.77	257.66	
05/22/13 13:28:07 277V 60Hz 3Ø WYE ENS0160				
VOLTAGE		ENERGY		TREND
HOLD		RUN		

Anexo 9 Valores del Ventilador 471-VE3.

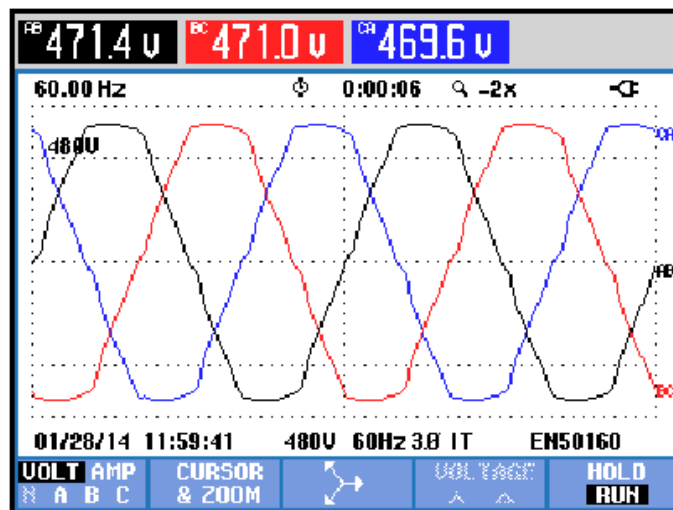
Anexo 9-A- 1 (Curvas de Voltaje y Corriente con Máximos y Mínimos).

Fuente: Los Autores



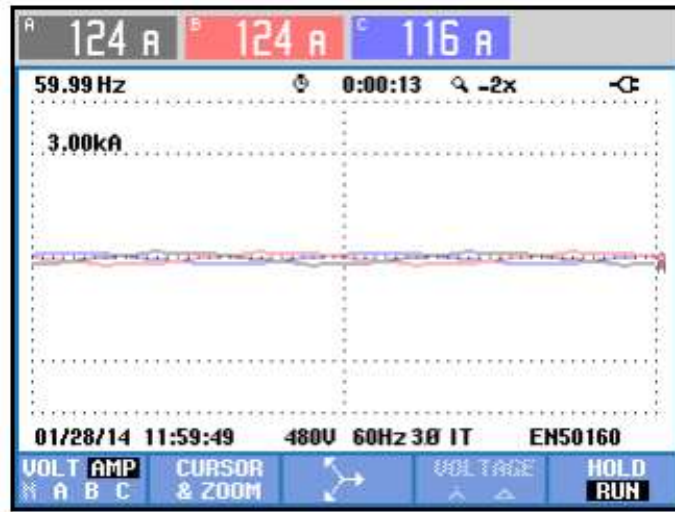
Anexo 9-A- 2 (Curvas de Voltaje RMS).

Fuente: Los Autores



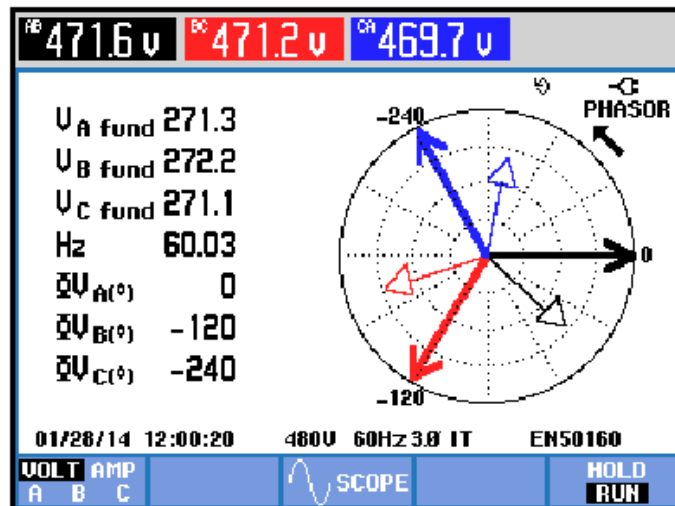
Anexo 9-A- 3 (Curvas de Corriente).

Fuente: Los Autores



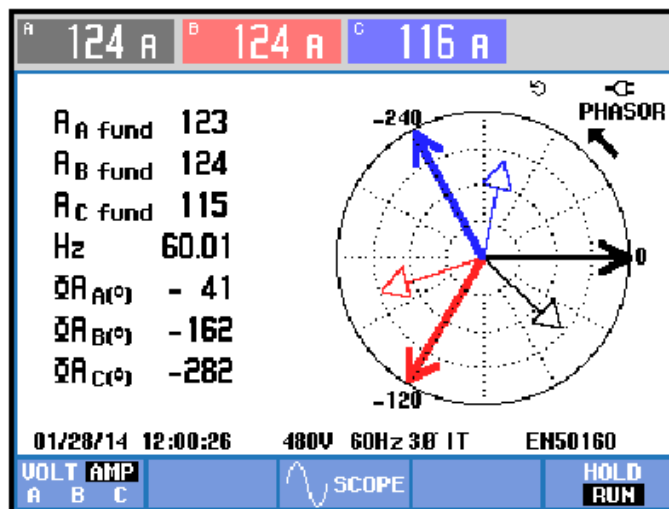
Anexo 9-A- 4 (Ángulos Fasoriales de voltaje).

Fuente: Los Autores



Anexo 9-A- 5 (Ángulos Fasoriales de Corriente).

Fuente: Los Autores



Anexo 9-A- 6 (Valores de Voltaje y Corriente RMS y Picos).

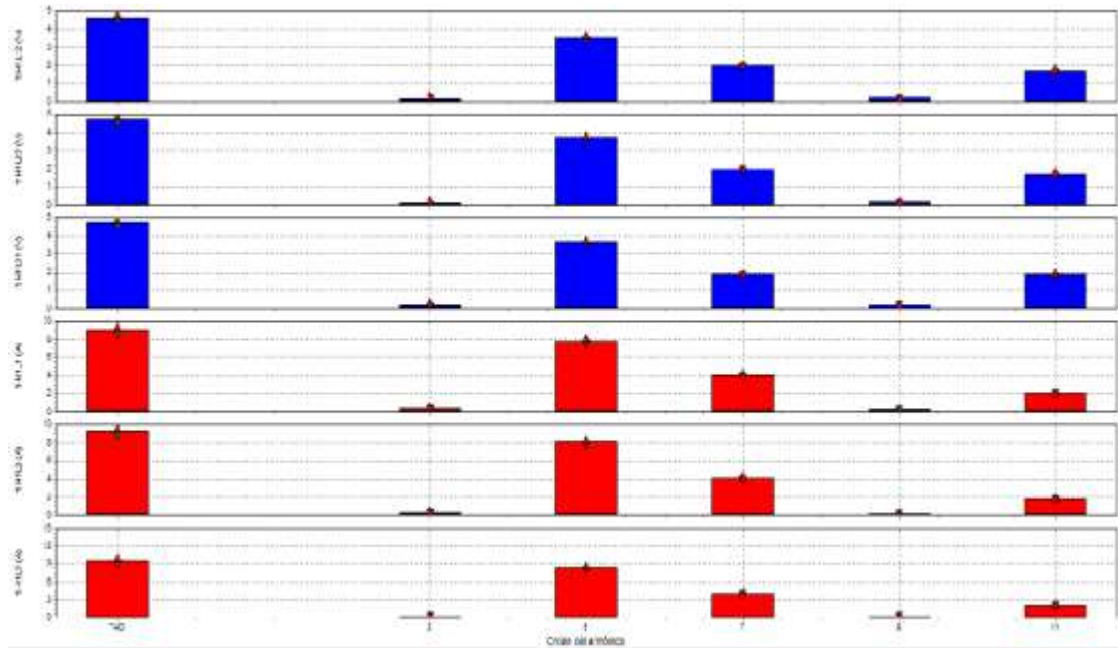
Fuente: Los Autores

Volts/Amps/Hertz			
	AB	BC	CA
U_{rms}	472.58	472.19	470.73
U_{pk}	642.9	642.2	642.8
CF	1.36	1.36	1.37
Hz	60.013		
	A	B	C
I_{rms}	125	126	117
I_{pk}	193	195	179
CF	1.54	1.55	1.53

System parameters: 01/28/14 12:01:12, 480V 60Hz 3Ø 1T, EN50160

Anexo 9-B- 1 (Graficas de armónicas del Ventilador 471-VE3).

Fuente: Los Autores



Anexo 9-B- 2 (Valores de Armónicos de Voltaje).

Fuente: Los Autores

Logger			
		0:59:08	
Volt	AB	BC	CA
H5%f	3.5	3.7	3.6
Volt	AB	BC	CA
H6%f	0.1	0.1	0.0
Volt	AB	BC	CA
H7%f	2.0	2.0	1.9
Volt	AB	BC	CA
H8%f	0.0	0.0	0.0
01/28/14 11:56:16 480V 60Hz 3Ø IT EN50160			
PREV. NEXT	TREND	EVENTS 0	OPEN MENU...

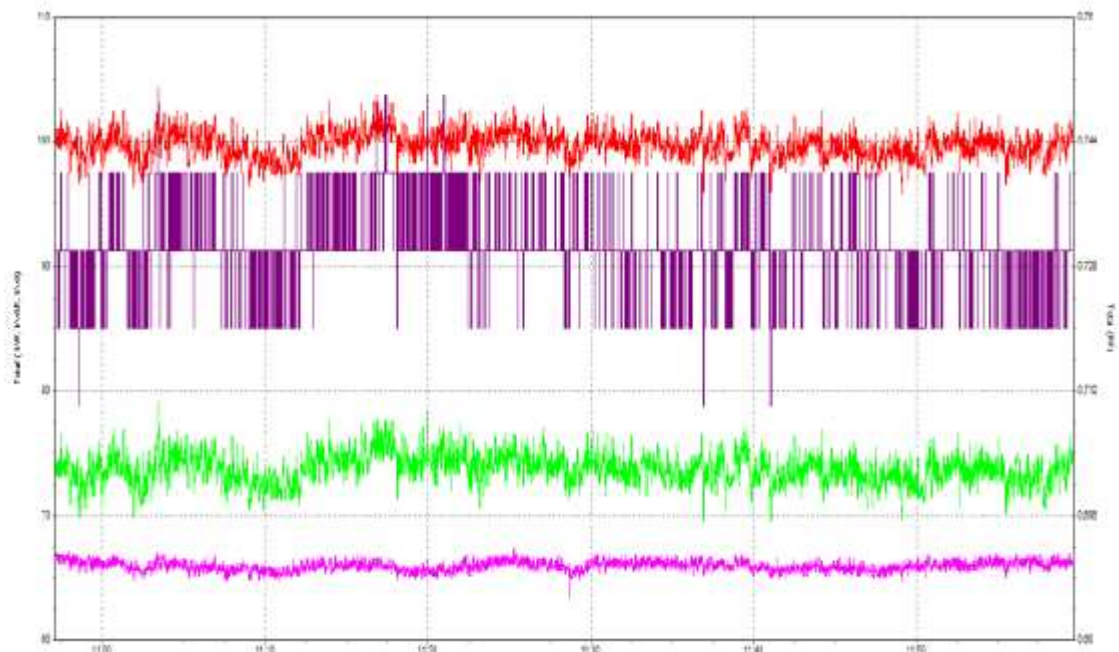
Anexo 9-B- 3 (Valores de Armónicos de Corriente).

Fuente: Los Autores

Logger			
0:59:35			
Amp	A	B	C
H3%f	0.5	0.3	0.2
Amp	A	B	C
H4%f	0.1	0.1	0.1
Amp	A	B	C
H5%f	7.8	8.1	8.4
Amp	A	B	C
H6%f	0.1	0.1	0.1
01/28/14 11:56:43 480V 60Hz 3Ø IT EN50160			
PREV. NEXT	TREND	EVENTS 0	OPEN MENU...

Anexo 9-C- 1 (Curva de Potencia del Ventilador 471-VE3).

Fuente: Los Autores



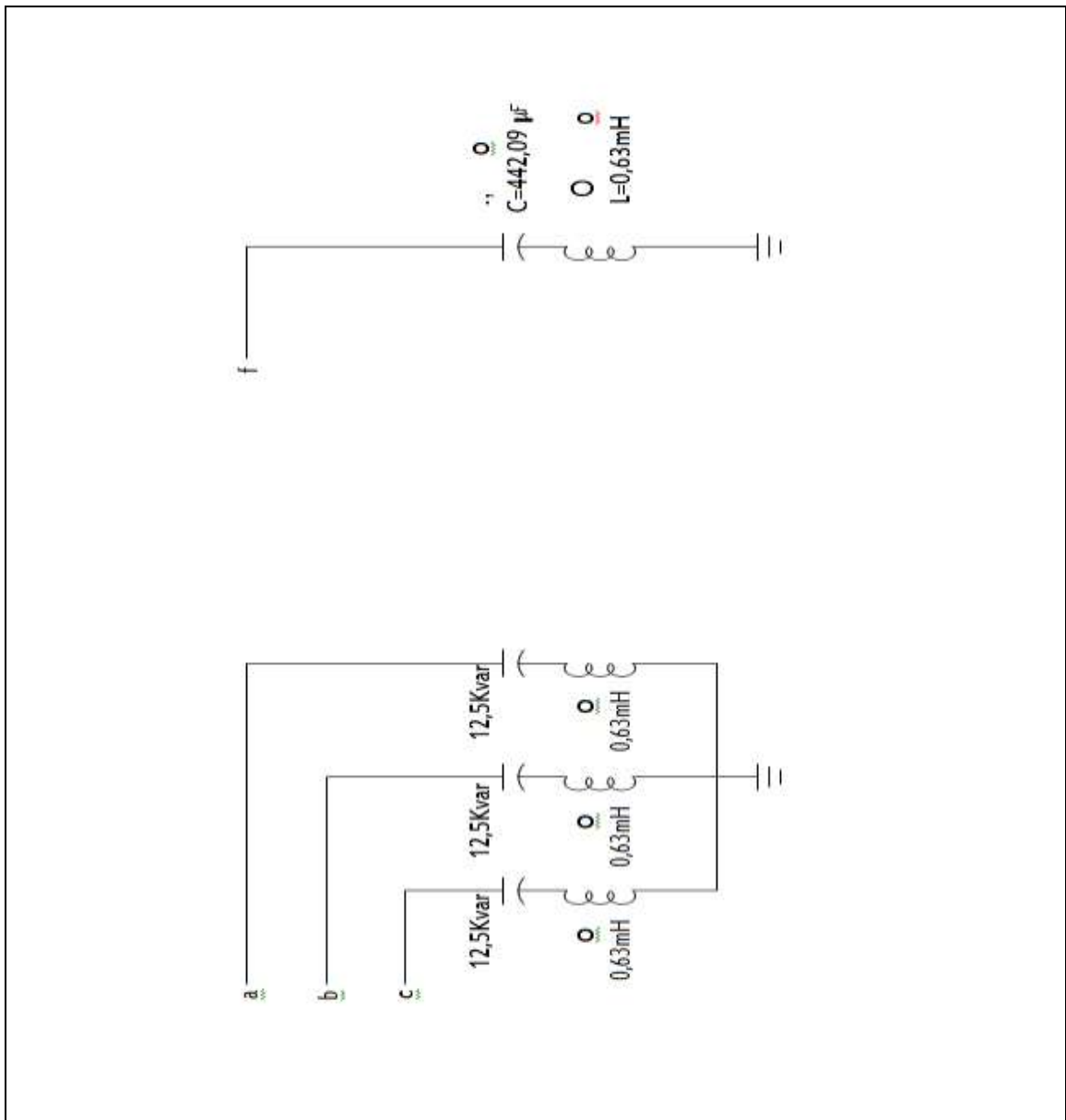
Anexo 9-C- 2 (Valores de Potencia y Factor de Potencia).

Fuente: Los Autores

Power & Energy				
FUND	0:00:02			
	A	B	C	Total
kW				71.5
kVA				98.1
kVAR				65.7
PF				0.72
DPF				0.73
A rms	123	124	115	
	AB	BC	CA	
V rms	472.38	472.23	470.75	
01/28/14 12:02:30 480V 60Hz 3Ø 1T EN50160				
VOLTAGE		ENERGY	TREND	HOLD RUN

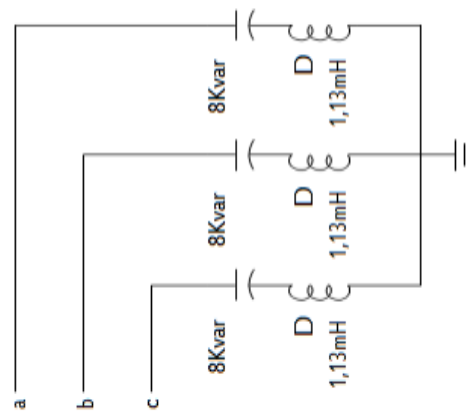
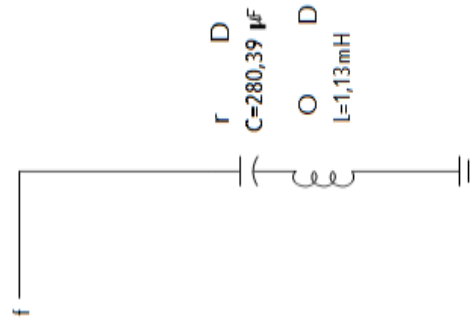
Anexo 10. Diseño de Filtro Para el Ventilador 471-VE4.

Fuente: Los Autores



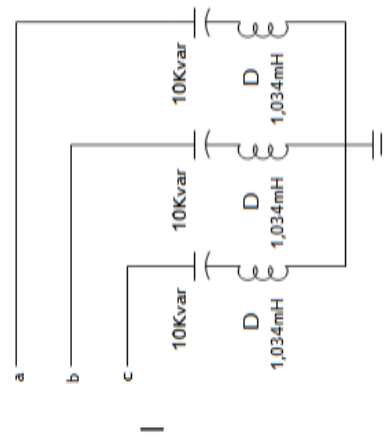
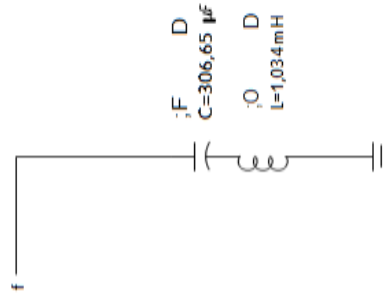
Anexo 11. Diseño de Filtro Para el Ventilador 471-VE5.

Fuente: Los Autores



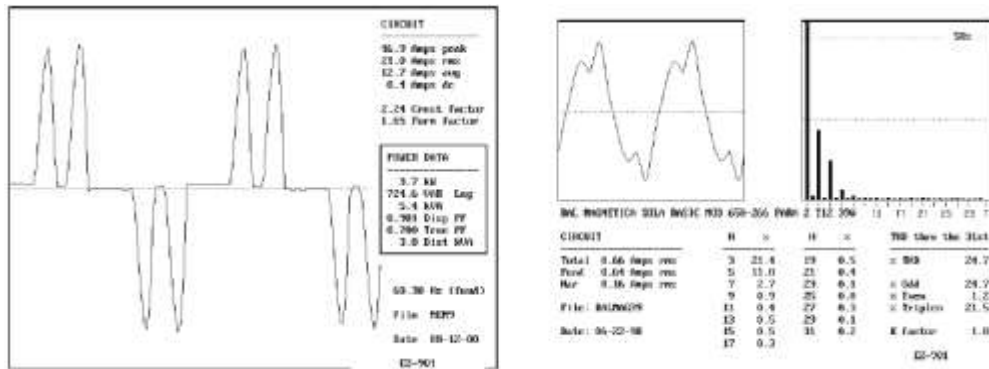
Anexo 12. Diseño de Filtro Para el Ventilador 471-VE6.

Fuente: Los Autores



Anexo 13. Distorsión Armónica

Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.



(a)

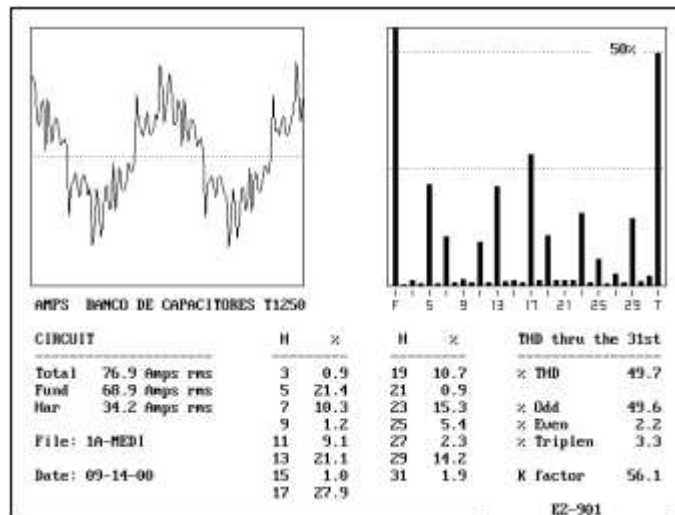
(b)

Forma de onda de corriente en.

- a) variador de velocidad.
- b) balastro magnética.

Anexo 14. Corriente en capacitor instalado en sistema con cargas no lineales.

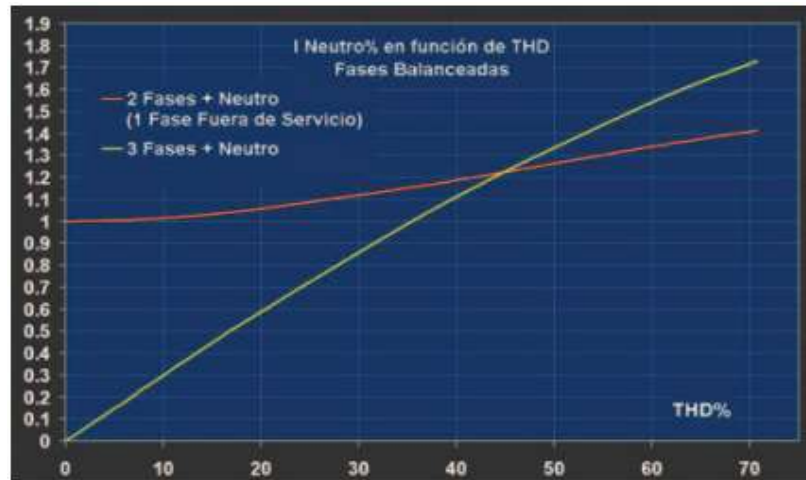
Fuente: Libro Distorsión Armónica por Eugenio Téllez.



Corriente en capacitor instalado en sistema con cargas no lineales.

Anexo 15. Neutro en Función de THD Balanceadas

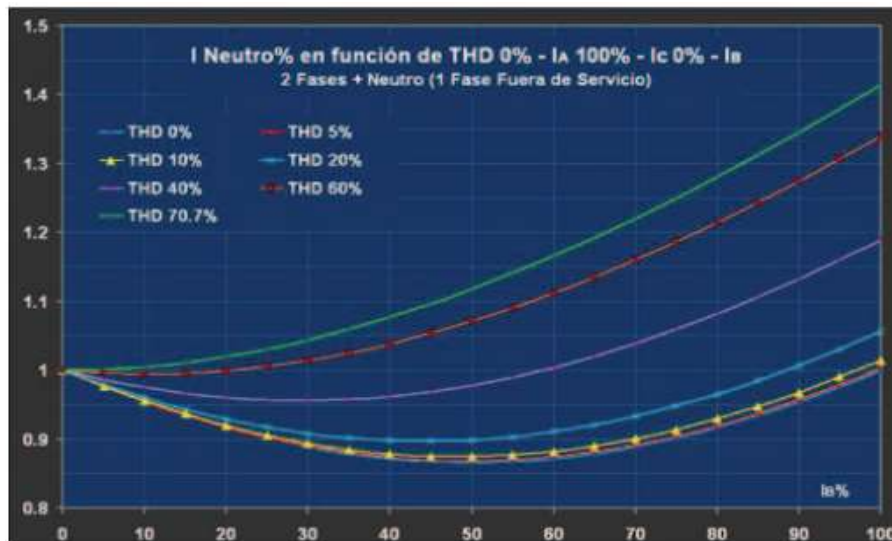
Fuente: "Neutral Current in Three Phase Wye System" Robert Arthur and R. A. Shanahan.



I Neutro en función de THD Balanceadas.

Anexo 16. Neutro en función de THD al 10%.

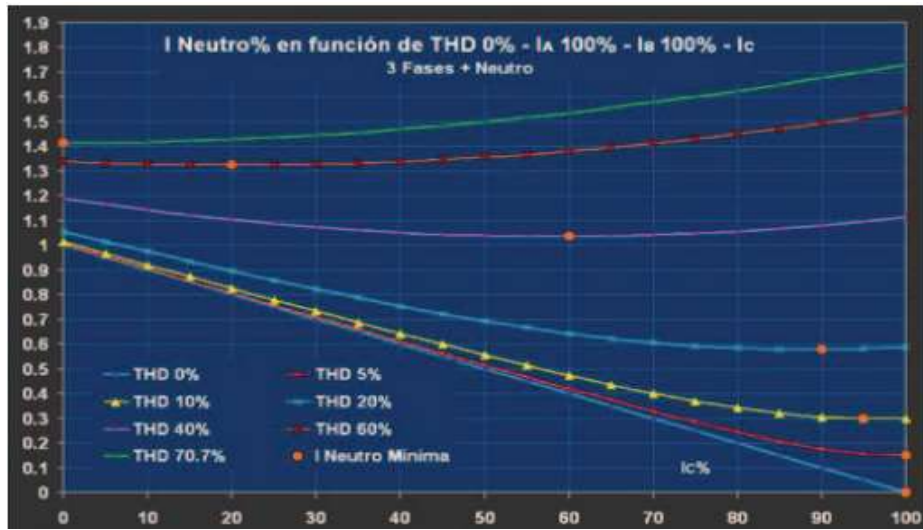
Fuente: "Neutral Current in Three Phase Wye System" Robert Arthur and R. A. Shanahan.



I Neutro en función de THD al 10%.

Anexo 17. Neutro en función de THD cargadas en 2 fases.

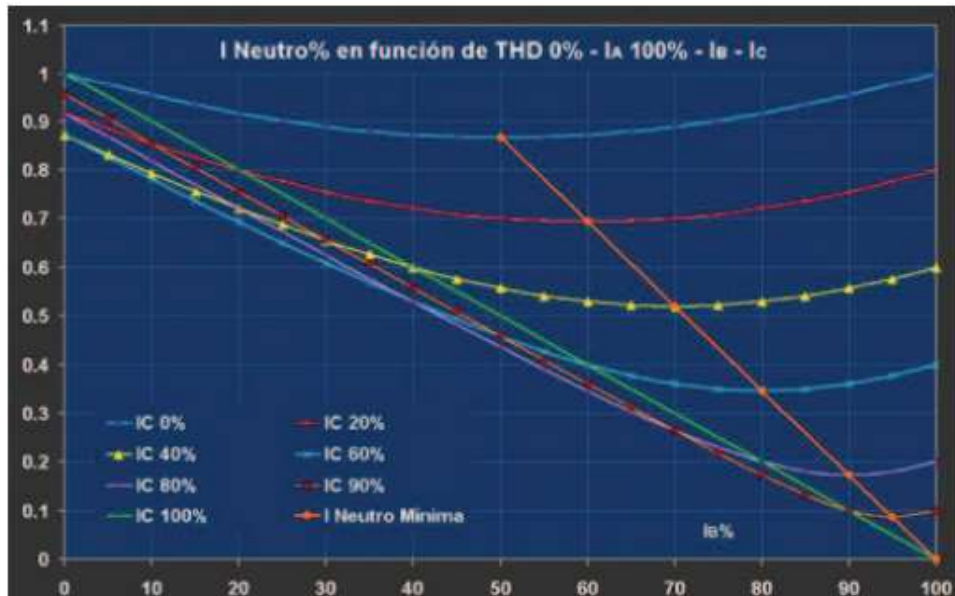
Fuente: “Neutral Current in Three Phase Wye System” Robert Arthur and R. A. Shanahan.



I Neutro en función de THD cargadas en 2 fases.

Anexo 18. Neutro en función de THD cero.

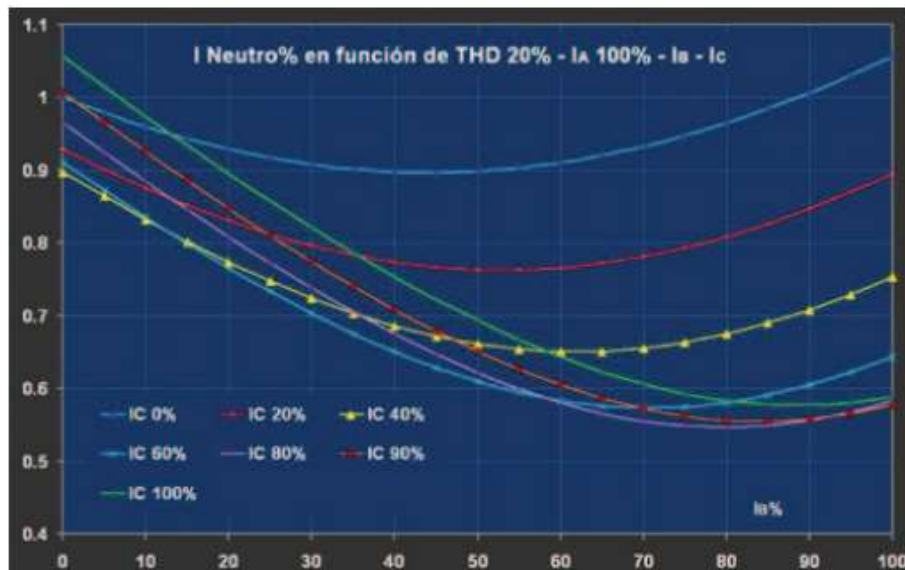
Fuente: “Neutral Current in Three Phase Wye System” Robert Arthur and R. A. Shanahan.



I Neutro en función de THD cero.

Anexo 19. I Neutro en función de THD 20%.

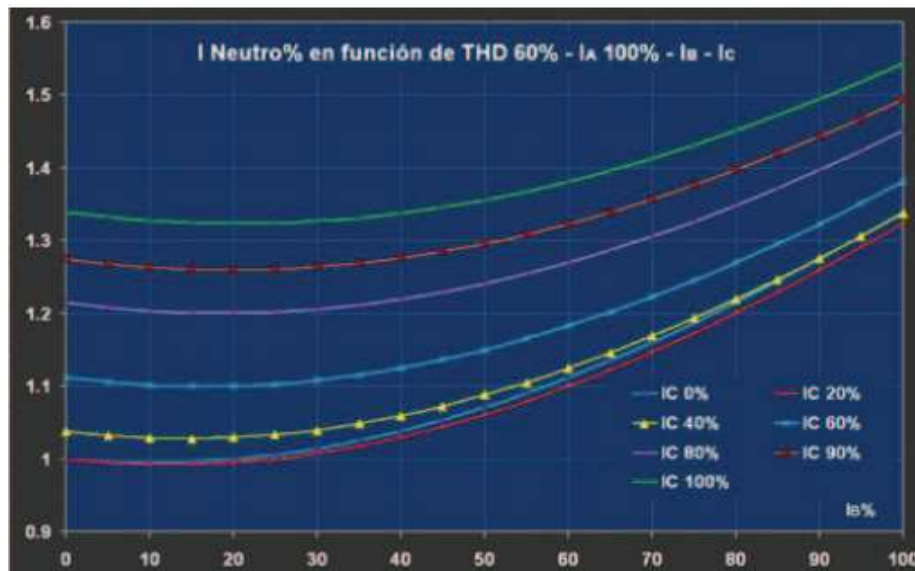
Fuente: "Neutral Current in Three Phase Wye System" Robert Arthur and R. A. Shanahan.



I Neutro en función de THD 20%.

Anexo 20. I Neutro en función de THD 60%.

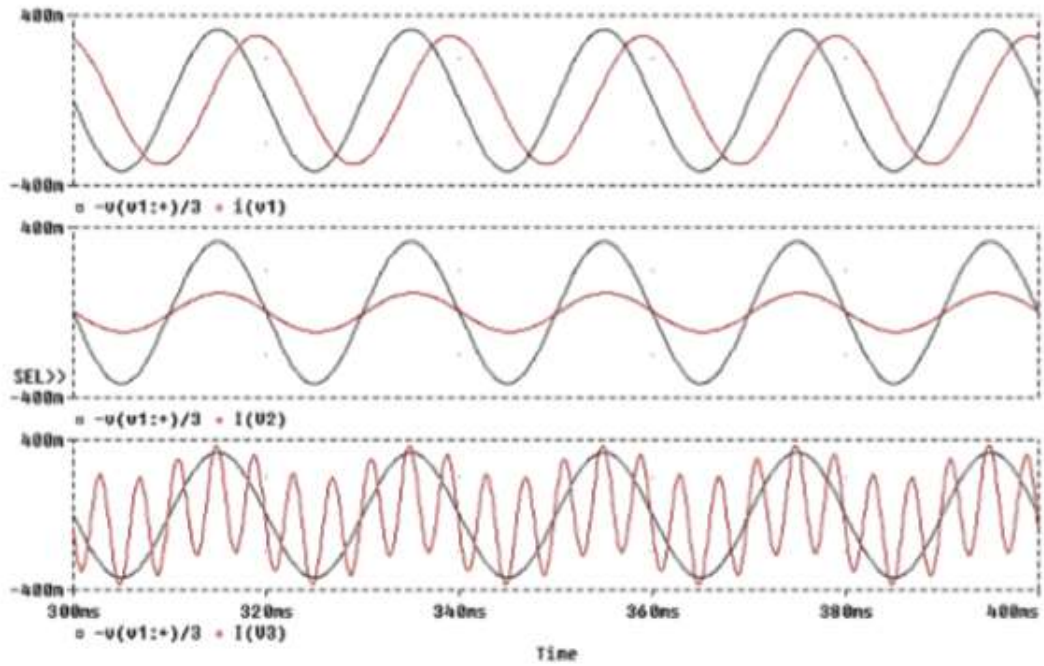
Fuente: "Neutral Current in Three Phase Wye System" Robert Arthur and R. A. Shanahan.



I Neutro en función de THD 60%.

Anexo 21. Formas de onda relativa a los circuitos de la figura (a) superior (b) intermediario (c) inferior.

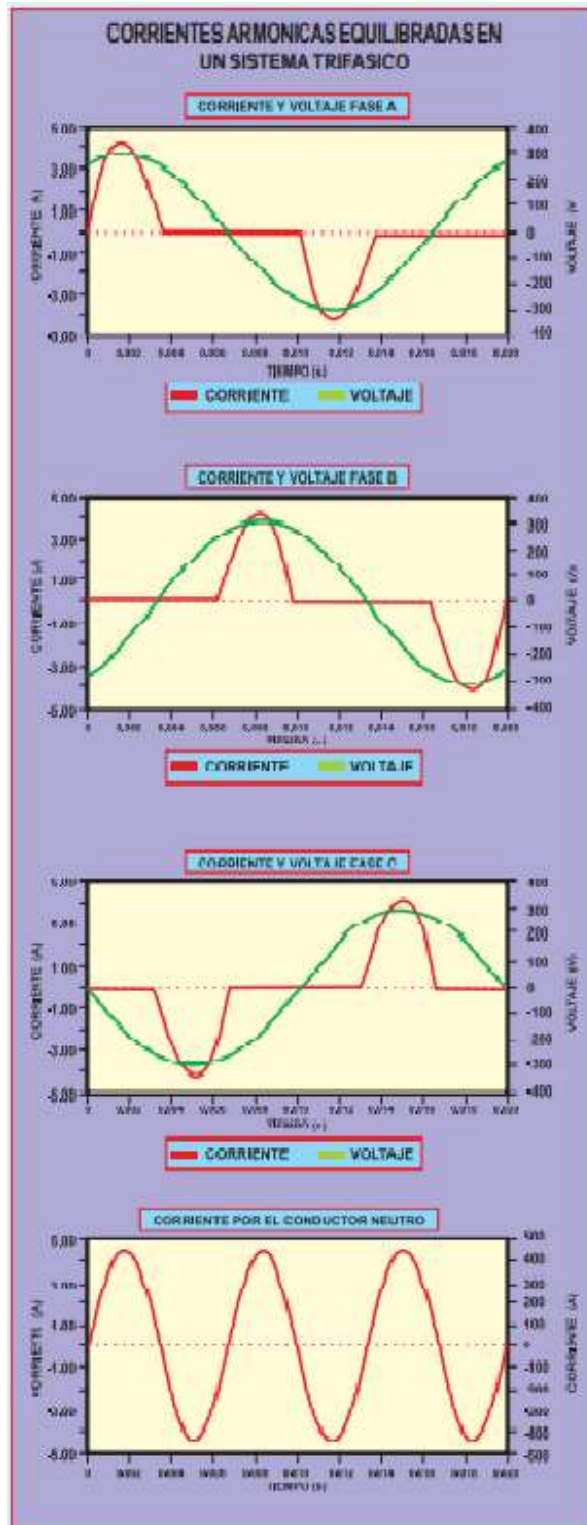
Fuente: "Neutral Current in Three Phase Wye System" Robert Arthur and R. A. Shanahan.



Formas de onda relativa a los circuitos de la figura 1.x (a) superior (b) intermediario (c) inferior.

Anexo 22. Corrientes armónicas equilibradas en un sistema trifásico.








Fuente: Centro de Promoción del uso del Cobre.






Corrientes armónicas equilibradas en un sistema trifásico.

Anexo 23. Ajuste de la Fecha

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.

	Aparece el menú CONFIGURAR.
	Utilice las teclas de flecha hacia arriba/hacia abajo para seleccionar 'Fecha'. Aparece la fecha actual.
	Pulse esta tecla para acceder al submenú AJUSTAR FECHA.
	Seleccione 'Día'.
	Ajuste la fecha.
	Utilice las teclas de flecha para seleccionar la representación de fecha que prefiera: Día/Mes/Año o Mes/Día/Año.
	Pulse la tecla de función F5 tres veces para confirmar las selecciones y volver al menú CONFIGURAR.

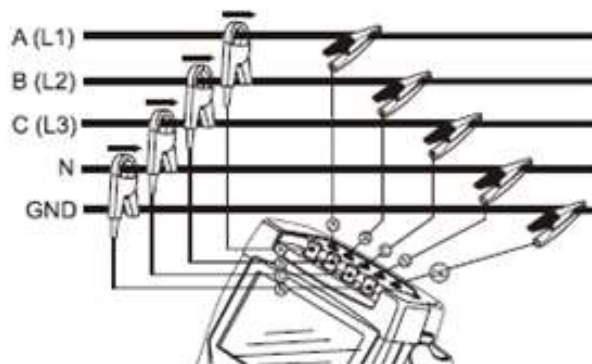
Ajuste de la fecha.

	Pulse la tecla de función F4 para acceder al submenú de ajuste del contraste.
	Ajuste el valor de CONTRASTE como desee.
	Pulse esta tecla varias veces para desplazarse hacia arriba a través de los menús.

Ajuste del contraste.

Anexo 24. Conexión del Analizador







Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.



Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico.







Anexo 25. Indicadores de estado en la zona superior de la pantalla

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.

	Indicación de que el intervalo de agregación de 150/180 ciclos (3 s) (50/60 Hz) está activo.
	Indica el tiempo que se ha empleado para realizar una medida. Formato: horas, minutos, segundos. Cuando se espera un inicio programado, se muestra una cuenta atrás del tiempo con el prefijo -.
	La medida puede ser inestable. Por ejemplo, puede ser el caso de una lectura de frecuencia sin tensión en la fase de referencia A (L1).
	Indica, conforme a las convenciones de indicación de la norma IEC 61000-4-30, que se ha producido una fluctuación o interrupción durante el intervalo de agregación mostrado. Indica que un valor agregado puede no ser fiable.
	ZOOM horizontal activado.
	Se ha activado la grabación de los datos de medida.
	Indicador de rotación de fases / secuencia de fase.
	Indicación de alimentación con batería/toma de red. Durante el funcionamiento con batería, se muestra su estado de carga.
	Teclado bloqueado. Pulse ENTER durante 5 segundos para bloquear/desbloquear.

Indicadores de estado en la zona superior de la pantalla.

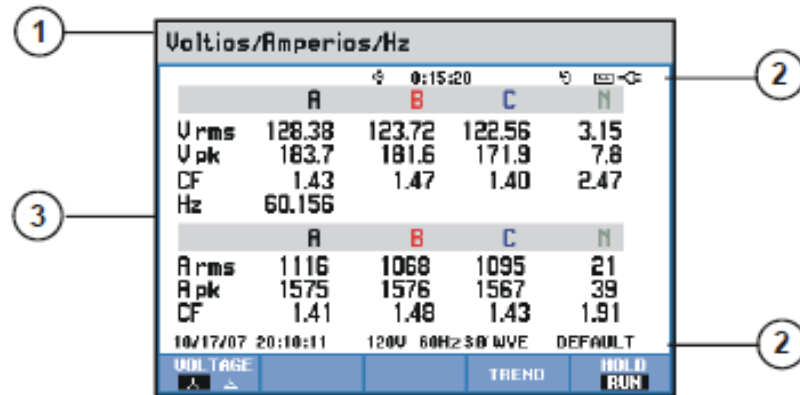
Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.

	Fecha del reloj de tiempo real del analizador. El formato de fecha puede ser mes-día-año o día-mes-año.
	Hora del día o tiempo del cursor.
	Frecuencia y tensión nominal de red: la referencia para las medidas.
	Indicador de potencia de señal GPS.
	Número de fases y configuración de cableado para la medida.
	Nombre de los valores límite utilizados para la supervisión de la calidad eléctrica, las fluctuaciones, las interrupciones y los cambios rápidos de tensión.

Línea de estado en la zona inferior de la pantalla.

Anexo 26. (Pantalla de muestra de parámetros básicos).

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.



Pantalla de muestra de parámetros básicos.

Anexo 27. (Teclas de Función)

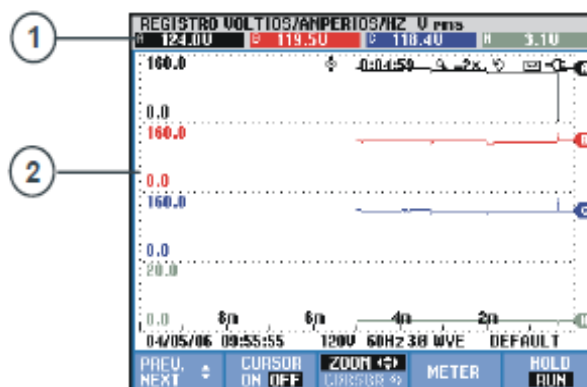
Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.

①	Encabezado con el modo de medida activo.
②	Indicadores de estado y línea de estado.
③	Campo con valores de medida. El contenido depende del modo de medida, el número de fases y la configuración de cableado.
F1	Posibilidad de cambiar entre lectura de tensión por fase (A/L1,B/L2,C/L3,N) o fase a fase (AB,BC,CA) para la configuración Y trifásica.
F4	Acceso a la pantalla de TENDENCIA. Consulte el siguiente apartado para obtener más información.
F5	Esta tecla cambia entre los modos RETENCIÓN y EJECUCIÓN para la actualización de la forma de onda. Si cambia de RETENCIÓN a EJECUCIÓN, se abrirá un menú para seleccionar un inicio inmediato (AHORA) o PROGRAMADO, que le permite definir la hora de inicio y la duración de la medida.

Teclas de Función.

Anexo 28. (Muestra la tendencia de los parámetros analizados).

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.



Muestra la tendencia de los parámetros analizados.

Anexo 29. (Información en pantalla).

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.

①	Presenta los valores del gráfico de tendencias en el lado derecho de la pantalla. Si CURSOR está ACTIVADO, aparecerán en el cursor los valores de tendencias.
②	Área de visualización de tendencias.

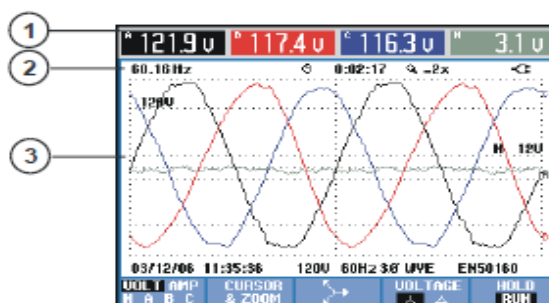
Información en pantalla.

F1	Permite asignar las teclas de flecha hacia arriba/hacia abajo para seleccionar una fila de la pantalla Multímetro y mostrarla como tendencia. La fila seleccionada se indica en el encabezado de la pantalla.
F2	CURSOR ACTIVADO/DESACTIVADO.
F3	Esta tecla asigna las teclas de flecha para CURSOR o ZOOM. Si mueve el cursor a lo largo del extremo izquierdo o derecho de la pantalla, se mostrará la pantalla siguiente, hasta un máximo de 5. ZOOM le permite ampliar o reducir la pantalla para ver detalles o el gráfico completo dentro del área de pantalla.
F4	Esta tecla le permite volver a la pantalla anterior.
F5	Esta tecla cambia entre RETENCIÓN y EJECUCIÓN.

Teclas de Función.

Anexo 30. Formas de Ondas

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.



Pantalla de forma de Onda.

①	Los valores RMS de las formas de onda aparecen en el encabezado.
②	Visualización de la frecuencia medida.
③	Área de visualización de la forma de onda con líneas de indicación en los niveles importantes de tensión/corriente.

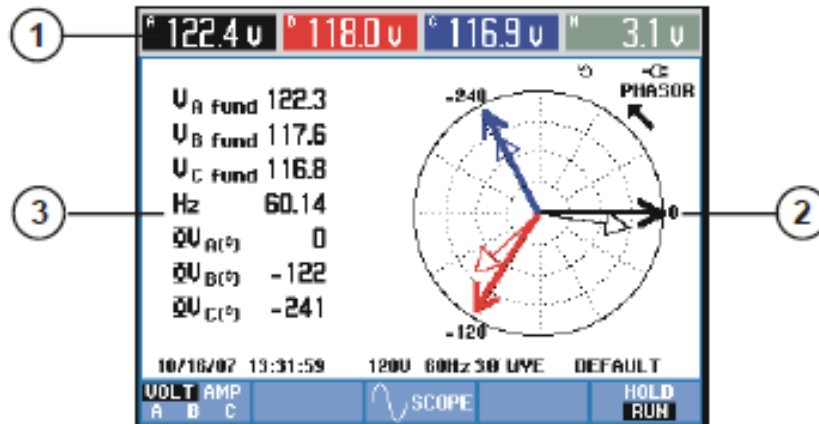
Información en Pantalla.

F1	Esta tecla permite seleccionar el conjunto de formas de onda mostrado: V muestra todas las tensiones, A muestra todas las corrientes. A (L1), B (L2), C (L3), N (neutro) muestran simultáneamente la tensión y corriente de la fase seleccionada.
F2	Esta tecla abre el submenú para CURSOR y ZOOM.
F3	Esta tecla cambia a la pantalla de Diagrama fasorial. Consulte el siguiente apartado para obtener más información.
F4	Posibilidad de cambiar entre lectura de tensión por fase (A/L1,B/L2,C/L3,N) o fase a fase (AB,BC,CA) para la configuración Y trifásica.
F5	Esta tecla cambia entre RETENCIÓN y EJECUCIÓN.

Teclas de Función.

Anexo 31. Pantalla de Diagrama Fasorial

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.



Pantalla de Diagrama Fasorial.

- | | |
|---|--|
| ① | Los valores RMS de las formas de onda aparecen en el encabezado. |
| ② | Diagrama fasorial. El vector de la fase A (L1) de referencia se sitúa sobre el eje X. |
| ③ | Datos adicionales como las tensiones de fase fundamentales, la frecuencia y los ángulos de fase. |

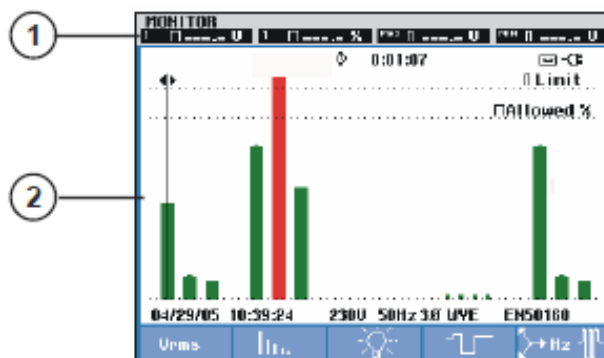
Información en Pantalla.

- | | |
|----|---|
| F1 | Esta tecla permite seleccionar el conjunto de datos mostrado. |
| F3 | Esta tecla le permite volver a la pantalla Forma de onda de Osciloscopio. |
| F5 | Esta tecla cambia entre RETENCIÓN y EJECUCIÓN. |

Teclas de Función.

Anexo 32. (Pantalla de Grafico de Barras).

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.



Pantalla de Grafico de Barras.

①	Valores extremos de la barra gráfica seleccionada con el cursor. Utilice la tecla de flecha hacia la izquierda y hacia la derecha para mover el cursor hacia otra barra gráfica.
②	Pantalla de Supervisión de la calidad eléctrica con barras que muestran el periodo de tiempo durante el cual los parámetros se encuentran dentro de la tolerancia máxima y mínima.

Información en Pantalla.

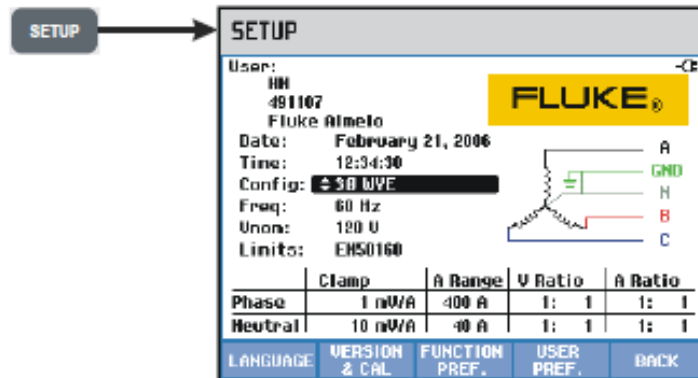
Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.

F1	Tensión RMS: tabla de eventos, tendencias.
F2	Armónicos: gráfico de barras, tabla de eventos, tendencias.
F3	Flicker: tabla de eventos, tendencias.
F4	Bajadas, Interrupciones, Cambios rápidos de tensión y Subidas: tabla de eventos, tendencias.
F5	Desequilibrio, Frecuencia y Transmisión de señales: tabla de eventos, tendencias y gráficos de barra para cada fase.

Las teclas de función proporcionan acceso a submenús con información.

Anexo 33. (Pantalla de configuración del analizador)

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.



Pantalla de configuración del analizador.

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.

Utilice las teclas de flecha para seleccionar el elementos que desea ajustar: fecha, hora, sincronización de hora GPS con el adaptador opcional, configuración del cableado, frecuencia nominal, tensión nominal, límites, tipo de sonda de tensión y de corriente. Puede ajustar los datos de usuario pulsando F4 ID DE USUARIO.

ENTER Pulse ENTER para abrir el menú de ajuste del elemento seleccionado.

Información en Pantalla.






Utilice las teclas de flecha para seleccionar y ajustar el elemento seleccionado.

F5 Pulse F5 para confirmar la selección y volver al menú CONFIGURACIÓN.

Teclas de Configuración del Equipo.

Anexo 34. Teclas de configuración del equipo




Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.

	Idioma del texto en pantalla.
	Información de la versión del analizador, opciones y fecha de calibración.
	Desviación, nivel, persistencia de la forma de onda y otros valores para optimizar las medidas. Es posible realizar ajustes durante un proceso de medida para una mejor visualización de las tendencias y formas de onda. F2 : INTERVALO DE AGREGACIÓN
	Identificación y colores de fase, tipo de impresora, interfaz RS232, atenuación automática de pantalla, configuración de la memoria, restablecimiento de los ajustes predeterminados de fábrica, identificación de usuario, contraste de pantalla, CLEAR ALL MEMORY / BORRAR LA MEMORIA. Configuración de la memoria: permite optimizar la configuración de la memoria para el registro o el almacenamiento de pantallas y datos.
	Confirmación de las selecciones y vuelta a la medida anterior.

Teclas de Configuración del Equipo.

Anexo 35. (Teclas para Guardar Información)

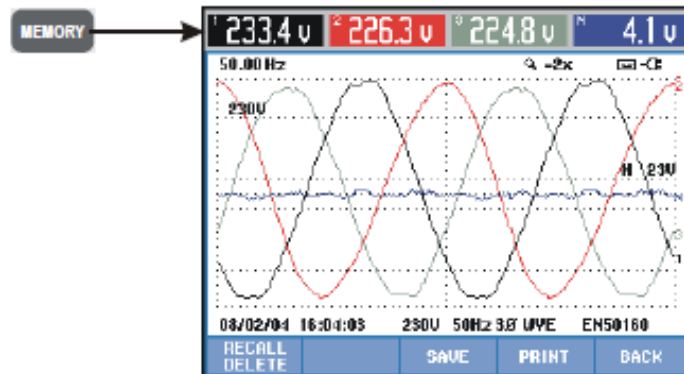
Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.

	Pulse esta tecla para guardar una copia de la pantalla. Para recuperar una pantalla, pulse la tecla MEMORY (Memoria).
	Seleccione un nombre de archivo para la pantalla que va a guardar: utilice las teclas de flecha para seleccionar los caracteres y su posición.
	Confirmación de las selecciones y vuelta a la medida anterior.

Teclas para Guardar información.

Anexo 36. (Permite Acceder al Menú)

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.



Permite Acceder a Menú.

F1	Acceder a un submenú para recuperar/eliminar pantallas o datos.
F3	Guardar la medida actual como archivo de datos.
F4	Imprimir la pantalla actual.
F5	Volver a la última medida realizada.

Teclas de Acceso a Menú.

Anexo 37. Imagen Infra roja

Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.

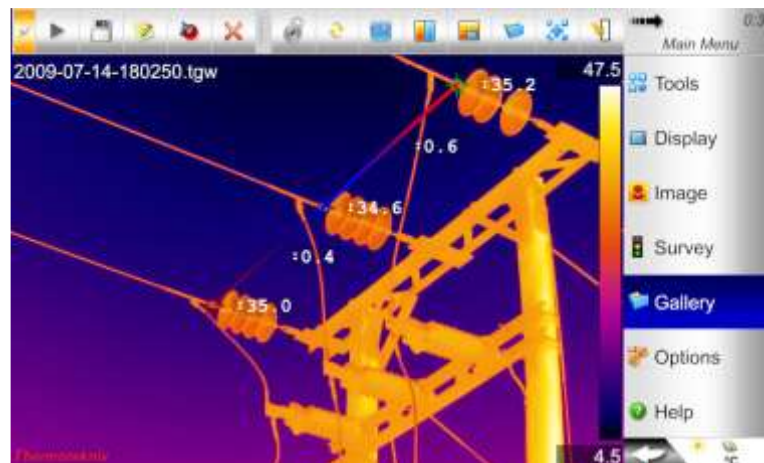


Imagen infrarroja.

Anexo 38. Programación Básic

18:15

Alarm for Spot 1

Alarm On/Off Reset this alarm

Alarm Type
High (fires when too Reset all alarms Switch off all alarms

Target Temperature *Alarm Duration (seconds)*
146.2 30

Reset Temperature *Raise Alarm (no. of times)*
101.7 30

Alarm Action *Choose Sound*
 Make sound alarm.wav

a

Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.

18:15

Alarm for Spot 1

Alarm On/Off Reset this alarm

Alarm Type
High (fires when too Reset all alarms Switch off all alarms

Target Temperature *Alarm Duration (seconds)*
146.2 30

Reset Temperature *Raise Alarm (no. of times)*
101.7 30

Alarm Action *Choose Sound*
 Make sound alarm.wav

Programación básica.

Anexo 39. Configuración de Alarma

Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.



Configuración de Alarma.

Anexo 40. Herramienta Diferencia.

Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.



Herramienta Diferencia.

Anexo 41. (Herramienta Perfil)

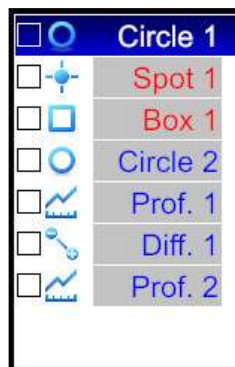
Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.



Herramienta Perfil.

Anexo 42. Eliminar Herramientas

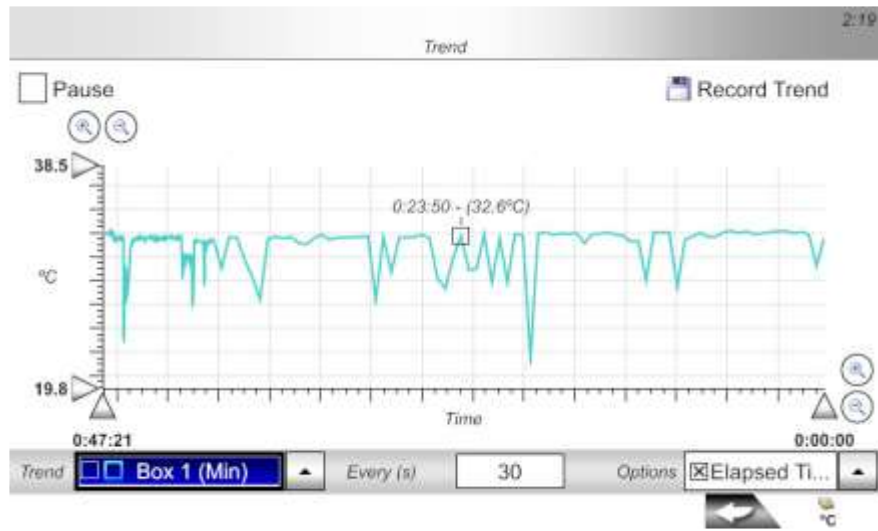
Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.



Eliminar Herramientas.

Anexo 43. Herramienta Tendencias.

Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.



Herramienta Tendencias.

Anexo 44. Partes de la cámara

Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.



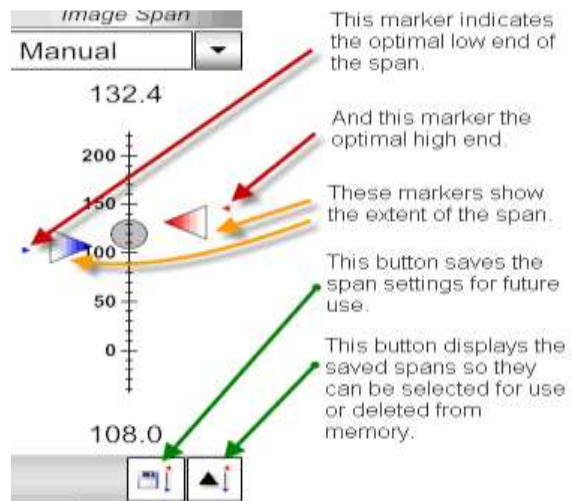
Vista lateral de la cámara Termo gráfica.



Vista Frontal de la cámara Termo gráfica.

Anexo 45. Herramienta rango de visualización.

Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.



Herramienta rango de visualización.

Anexo 46. Filtro de Alta Temperatura.

Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.



Filtro de Alta Temperatura.

Anexo 47 Instalación de Filtro.

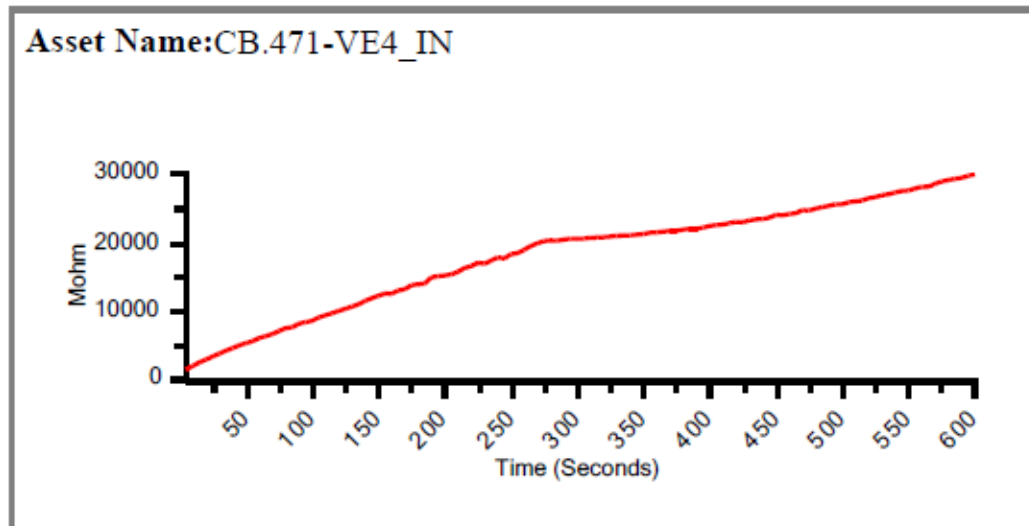
Fuente: Manual del usuario CAMARA VISIR 640.



Instalación de Filtro.

Anexo 47. Índice de polarización del aislamiento del motor.

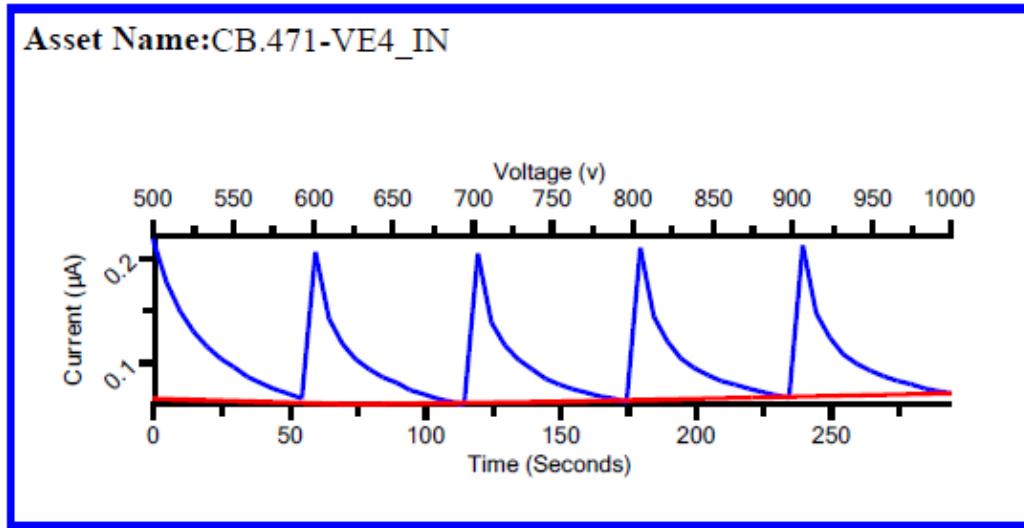
Fuente: Los autores.



Índice de polarización del aislamiento del motor.

Anexo 48. Prueba de voltaje de paso del aislamiento.

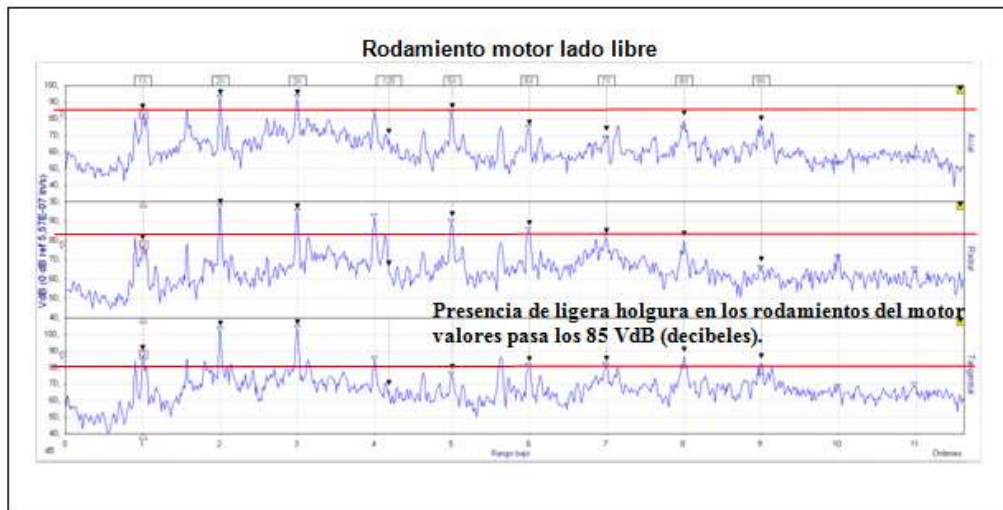
Fuente: Los autores.



Prueba de voltaje de paso del aislamiento.

Anexo 49. Prueba de vibración del motor.

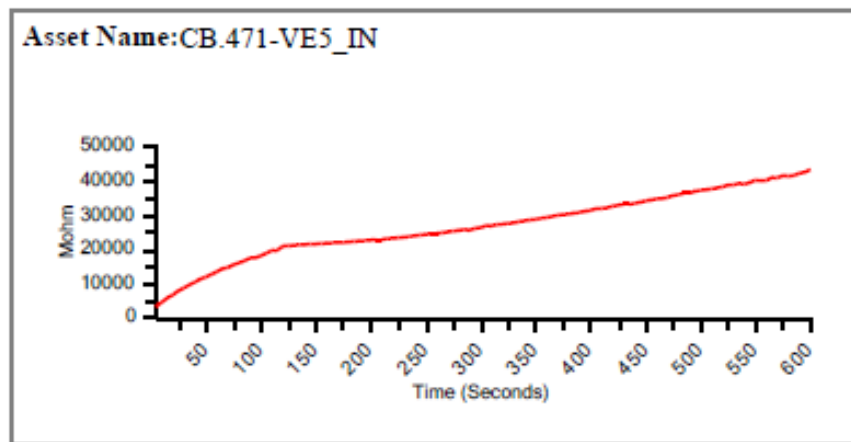
Fuente: Los autores.



Prueba de vibración del motor.

Anexo 50. Índice de polarización del aislamiento del motor.

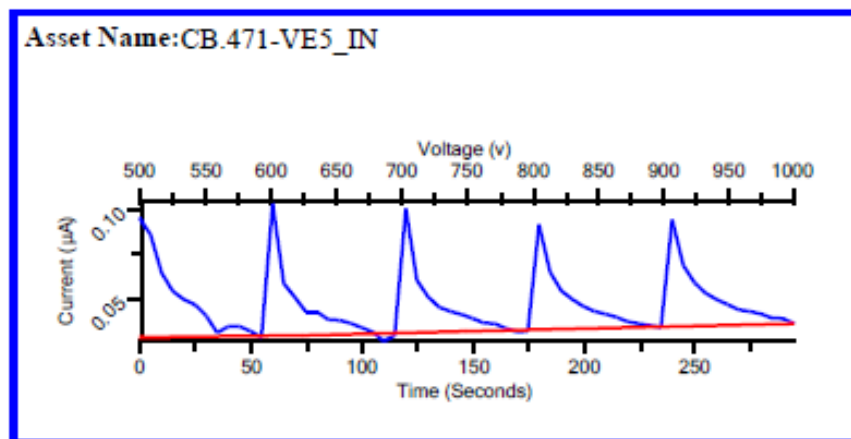
Fuente: Los autores.



Índice de polarización del aislamiento del motor.

Anexo 51. Prueba de voltaje de paso del aislamiento.

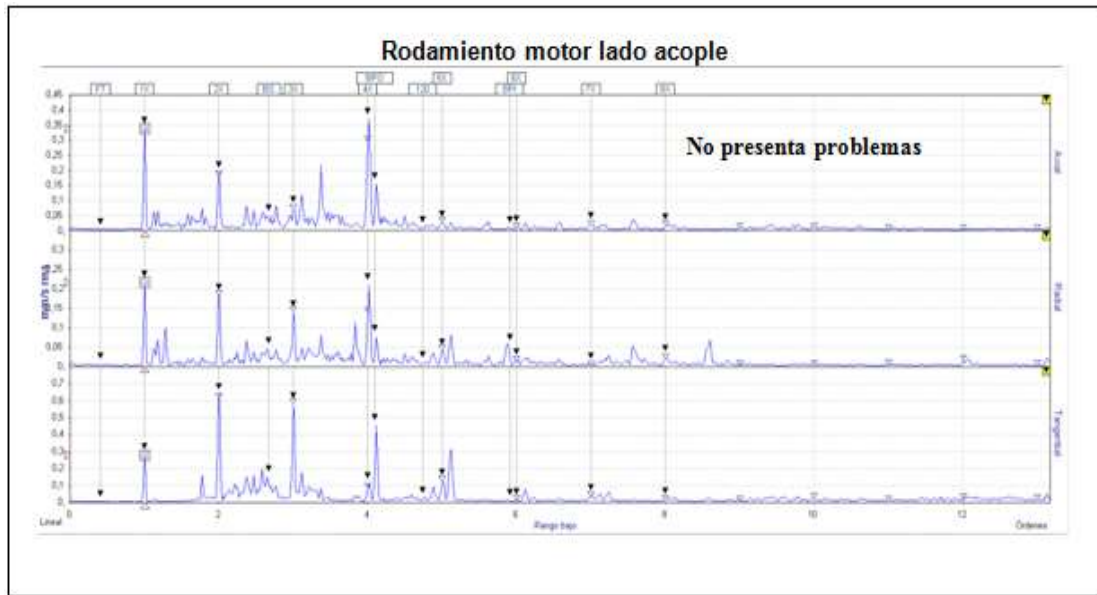
Fuente: Los autores.



Prueba de voltaje de paso del aislamiento.

Anexo 52. Prueba de vibración del motor.

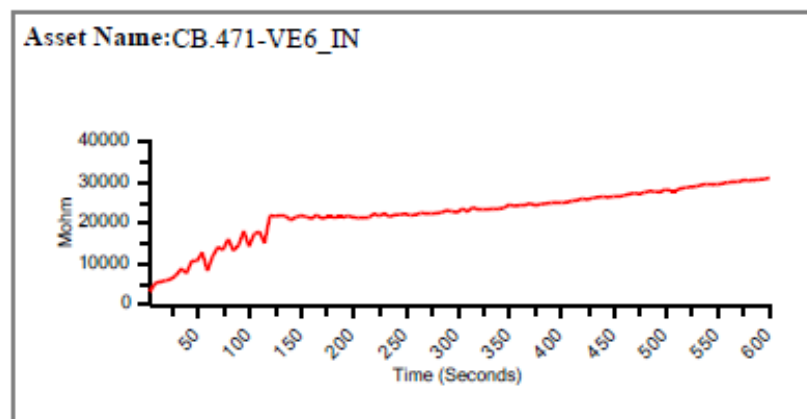
Fuente: Los autores.



Prueba de vibración del motor.

Anexo 53. Índice de polarización del aislamiento del motor.

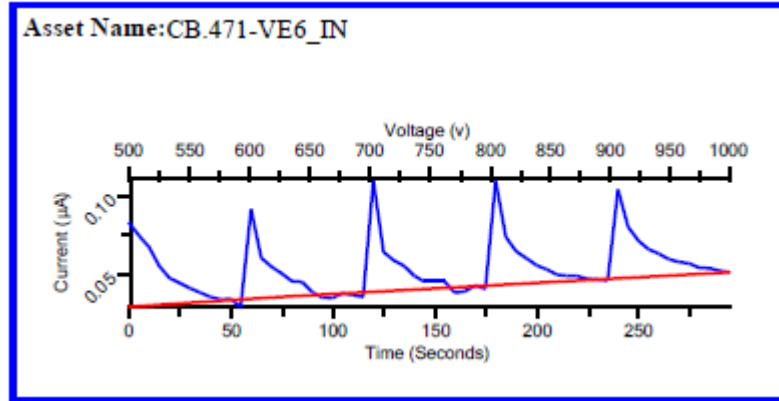
Fuente: Los autores.



Índice de polarización del aislamiento del motor.

Anexo 54. Prueba de voltaje de paso del aislamiento.

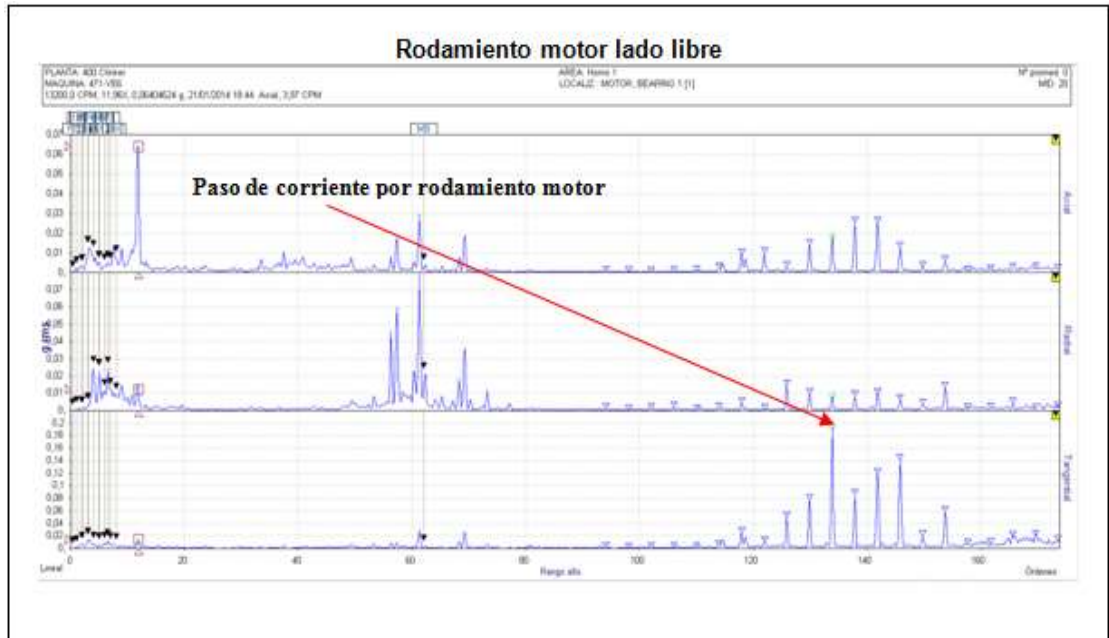
Fuente: Los autores.



Prueba de voltaje de paso del aislamiento.

Anexo 55. Prueba de vibración del motor.

Fuente: Los autores.



Prueba de vibración del motor.

Anexo 56. Valores de Potencias en el Punto 471-1V9.

Fuente: Los autores.

Power & Energy				
FUND	0:00:00			
	A	B	C	Total
kW	8.7	8.1	8.6	25.4
kVA	18.6	18.4	18.7	55.6
kVAR	16.4	16.5	16.5	49.5
PF	0.46	0.43	0.45	0.45
DPF	0.47	0.44	0.46	0.46
A rms	72	72	73	
	A	B	C	
V rms	257.90	257.77	257.66	
05/22/13 13:28:07 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE		ENERGY		HOLD RUN

Valores de Potencias en el Punto 471-1V9.

Anexo 57. Valores de Potencias del Ventilador 471-VE3.

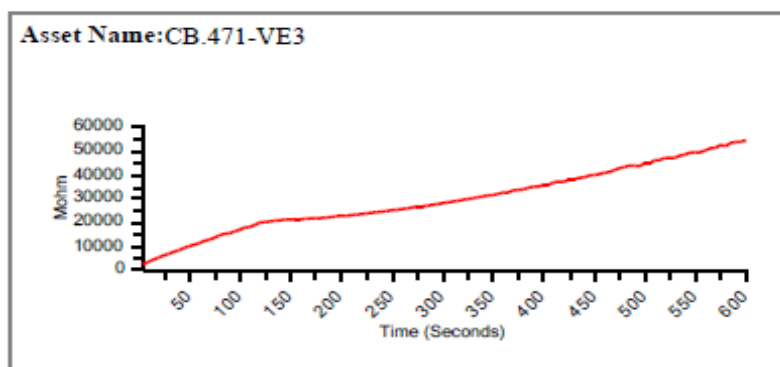
Fuente: Los autores.

Power & Energy				
FUND	0:00:02			
	A	B	C	Total
kW				71.5
kVA				98.1
kVAR				65.7
PF				0.72
DPF				0.73
A rms	123	124	115	
	AB	BC	CA	
V rms	472.38	472.23	470.75	
01/28/14 12:02:30 480V 60Hz 3Ø IT EN50160				
VOLTAGE		ENERGY		HOLD RUN

Valores de Potencias del Ventilador 471-VE3.

Anexo 58. Índice de polarización del aislamiento del motor.

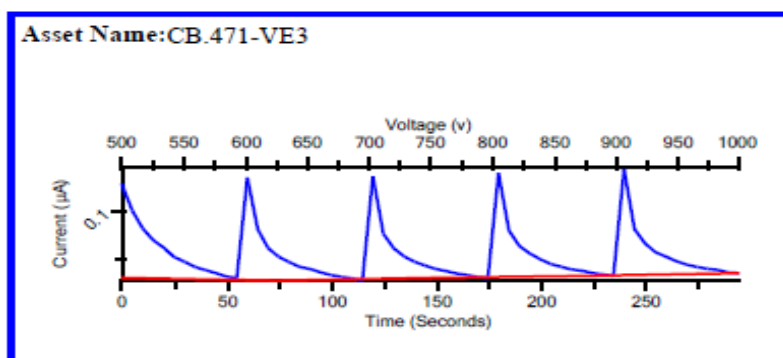
Fuente: Los autores.



Índice de polarización del aislamiento del motor.

Anexo 59. Prueba de voltaje de paso del aislamiento.

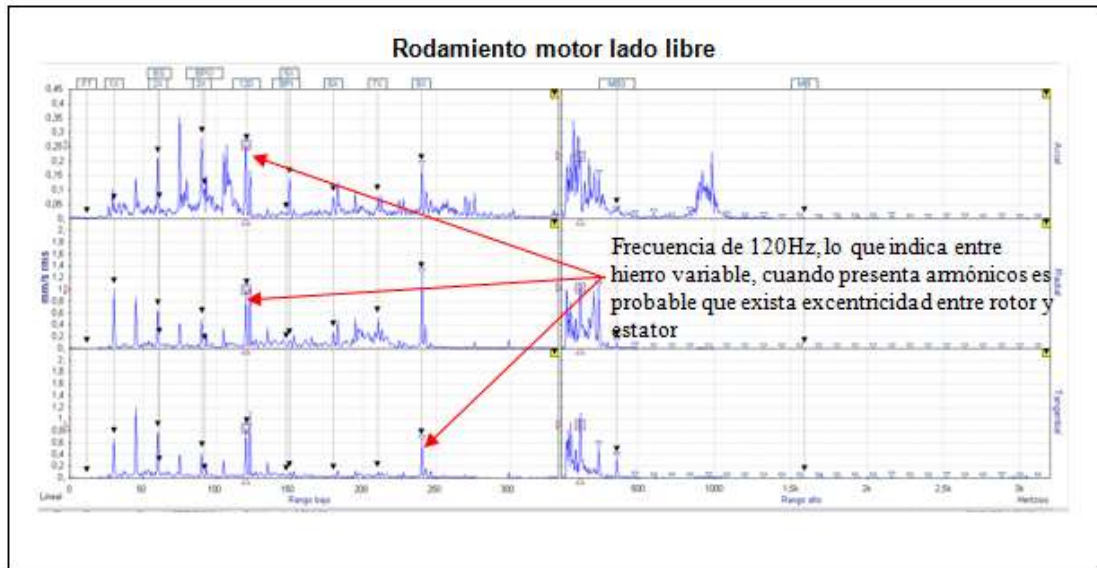
Fuente: Los autores.



Prueba de voltaje de paso del aislamiento.

Anexo 60. Prueba de vibración del motor.

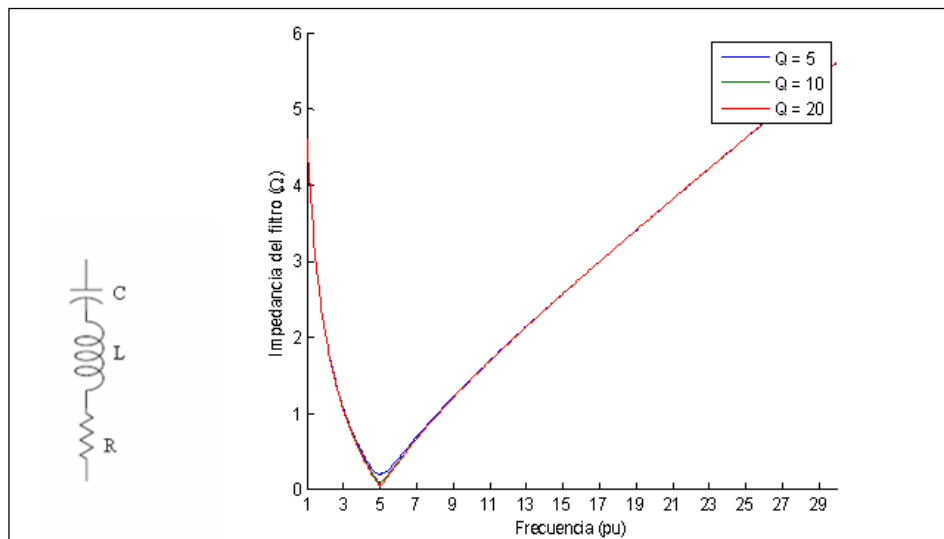
Fuente: Los autores.



Prueba de vibración del motor.

Anexo 61. Filtro Sintonizado.

Fuente: Facultad de Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

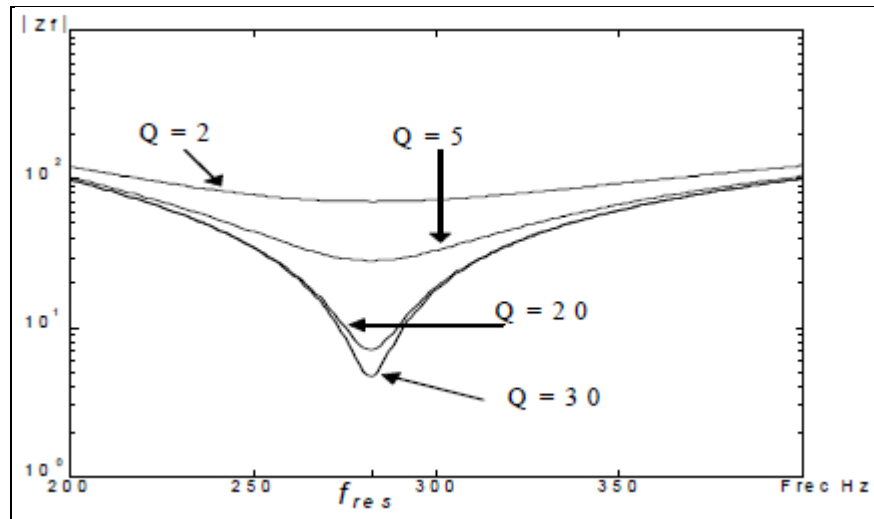


Filtro Sintonizado.

a) Circuito. b) Impedancia contra Frecuencia en 5° Armónico.

Anexo 62. Muestra la respuesta del filtro sintonizado ante diferentes factores de calidad.

Fuente: Facultad de Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.



Muestra la respuesta del filtro sintonizado ante diferentes factores de calidad.

FOTOS

Foto 1. Tablero de Distribución 1.

Fuente: Los Autores



Foto 2. Tablero de Distribución 2

Fuente: Los Autores



Foto 3. Bushing de Baja del Transformador.

Fuente: Los Autores



Foto 4. Datos de Placa del transformador.

Fuente: Los Autores

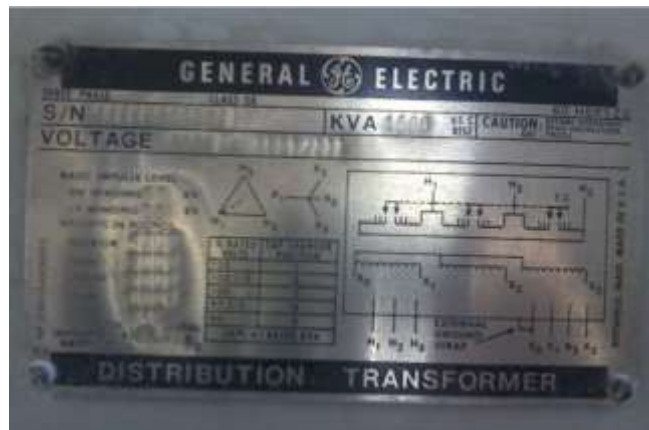


Foto 5. Imagen Termo gráfica - Digital del Radiador del Transformador.

Fuente: Los Autores

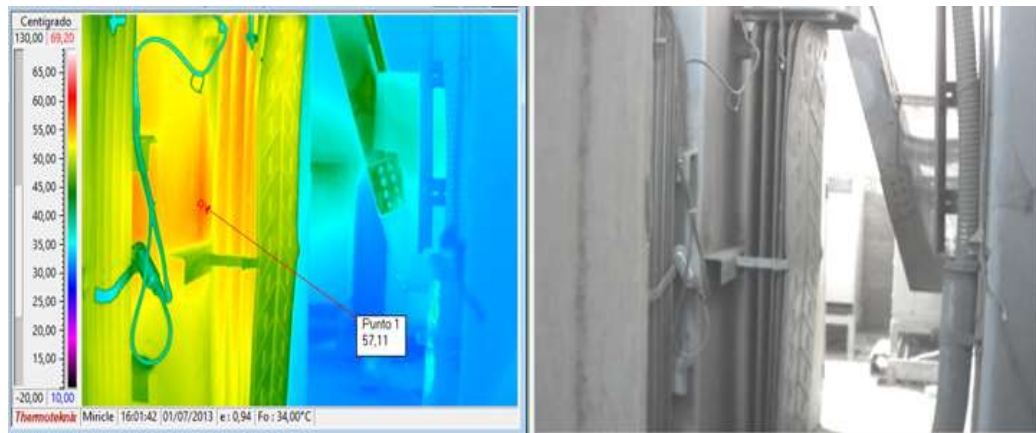


Foto 6. Imagen Termo gráfica - Digital de Bushing de alta del Transformador.

Fuente: Los Autores

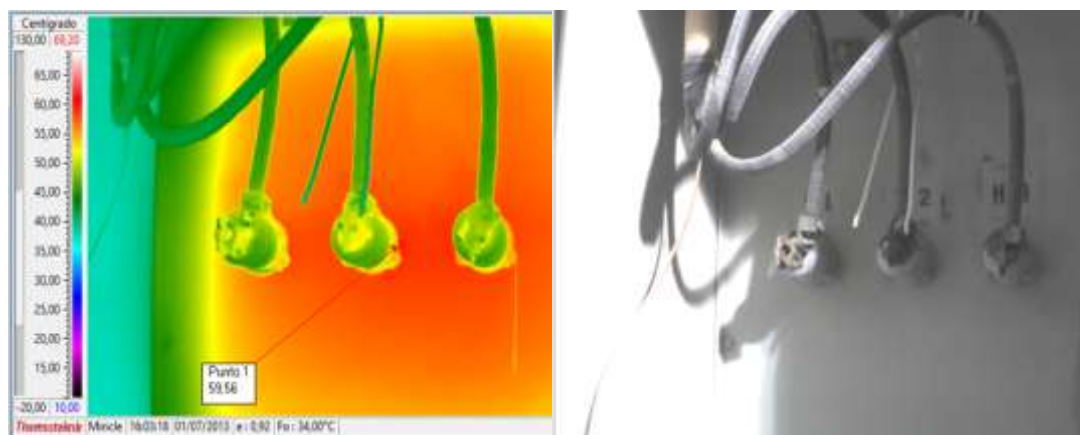


Foto 7. Vista Externa de un Filtro de Armónico Pasivo.

Fuente: Los Autores



Foto 8. Vista Interna 1 de un Filtro de Armónico Pasivo.

Fuente: Los Autores



Foto 9. Vista Interna 2 de un Filtro de Armónico Pasivo.

Fuente: Los Autores



Foto 10. Imagen Termo gráfica – Digital del Motor del Ventilador 471-VE4.

Fuente: Los Autores

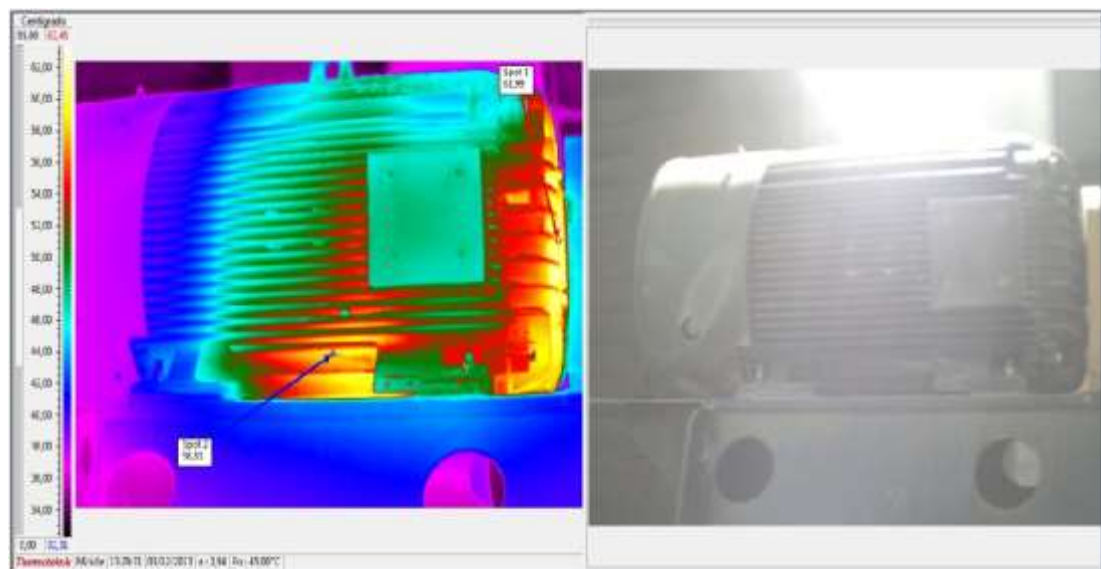


Foto 11. Datos de Placa del Motor del Ventilador 471-VE4.

Fuente: Los Autores



Foto 12. Imagen Termo gráfica – Digital del Variador de Frecuencia del Motor.

Fuente: Los Autores

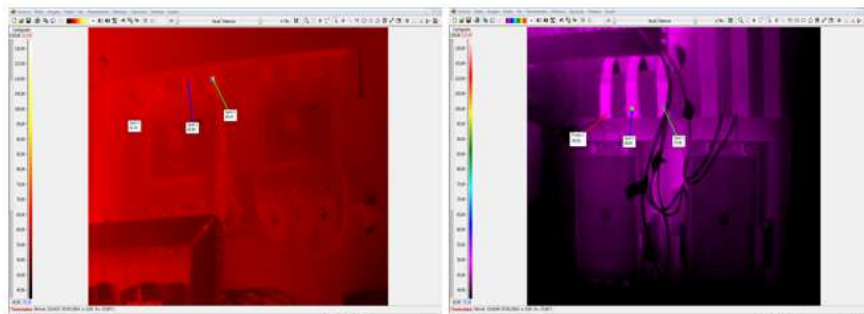


Foto 13. Imagen Termo gráfica – Digital del Motor del Ventilador 471-VE5.

Fuente: Los Autores



Foto 14. Datos de Placa del Motor del Ventilador 471-VE5.

Fuente: Los Autores



Foto 15. Imagen Termo gráfica – Digital del Variador de Frecuencia del Motor.

Fuente: Los Autores

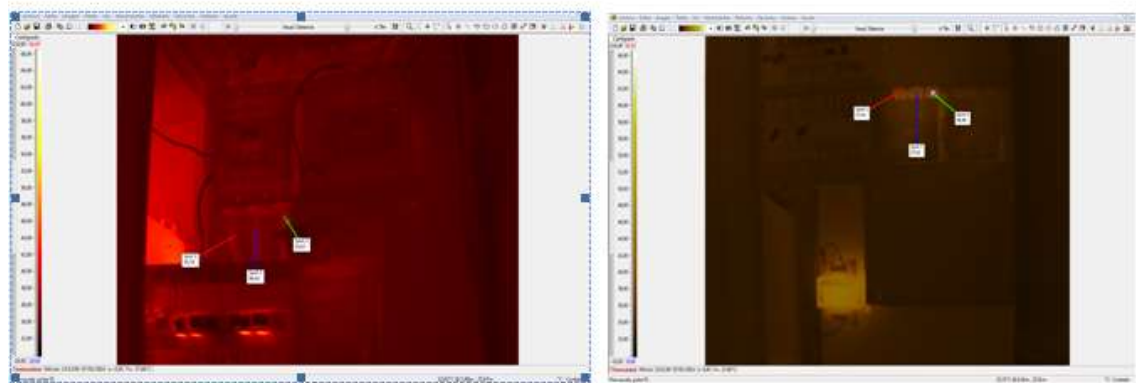


Foto 16. Imagen Termo gráfica – Digital del Motor del Ventilador 471-VE6.

Fuente: Los Autores



Foto 17. Imagen Termo gráfica – Digital del Variador de Frecuencia del Motor.

Fuente: Los Autores



Foto 18. Imagen Termo gráfica del Panel de Transferencia 471-1VB.

Fuente: Los Autores

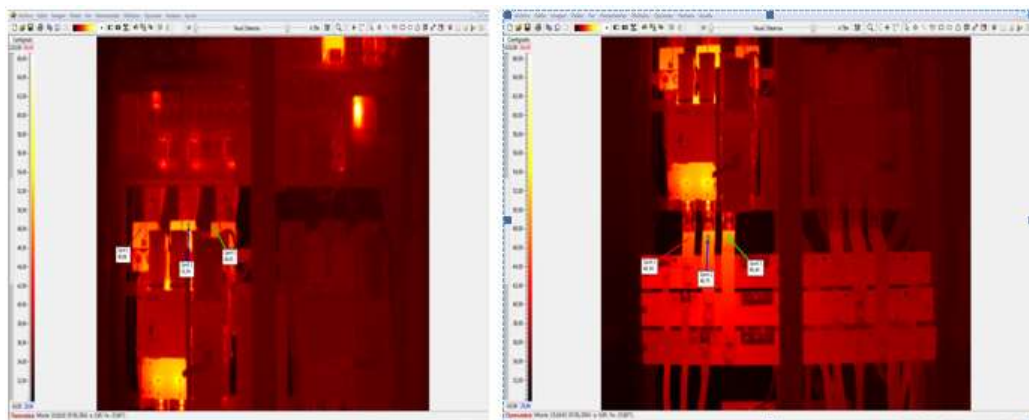


Foto 19. Imagen Termo gráfica – Digital del Panel de Transferencia 471-1VB.

Fuente: Los Autores

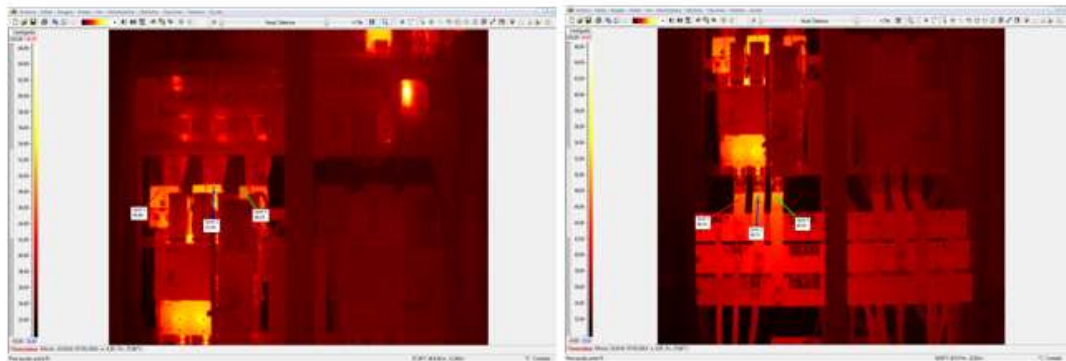
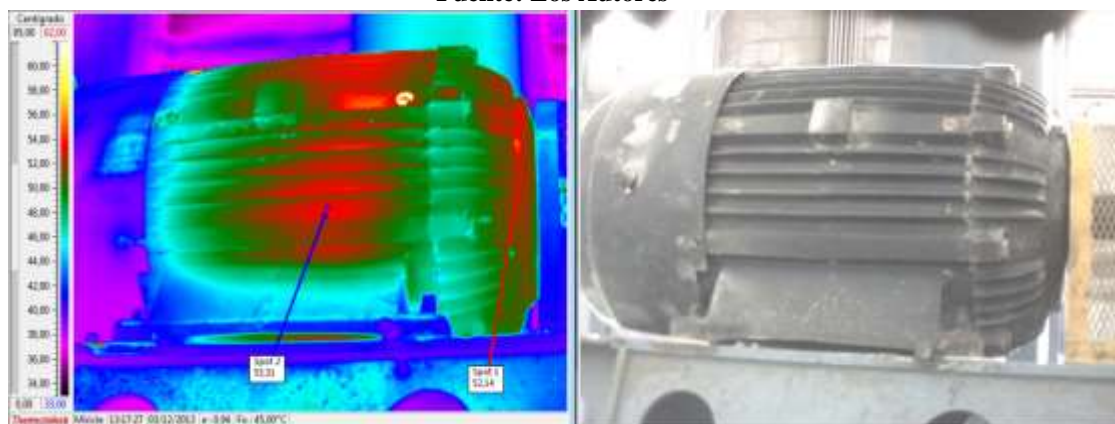


Foto 20. Imagen Termo gráfica – Digital del Motor 471-VE3.

Fuente: Los Autores



TABLAS

Tabla 1. Efecto de una carga no lineal en niveles de voltaje.

Fuente: Los Autores

Valor Eficaz de Tensión (Vca)	Distorsión Armónica Total	Valor (Ec)*	Tensión a la que la computadora deja de operar (Vca)
120	0%	338.0	96.0
120	3%	310.9	103.8
120	5%	304.4	106.0
120	8%	298.7	108.0
120	10%	291.7	110.5
120	15%	283.7	113.7
120	20%	267.4	No opera
120	25%	255.2	No opera
120	30%	246.7	No opera
120	33%	243.0	No opera

Tabla 2. IEEE 519 Límites en la distorsión de la corriente [9]

Para condiciones con duración superior a una hora. Para períodos más cortos el límite aumenta un 50 %.

Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 120 - 69,000 volts.						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 69,000 - 161,000 volts.						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20<50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50<100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100<1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes > 161,000 volts.						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<50	2.0	1.0	0.75	0.30	0.15	2.5
50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75
Los armónicos pares se limitan al 25% de los límites de los armónicos impares mostrados anteriormente						
* Todo equipo de generación se limita a estos valores independientemente del valor de Isc/Il que presente						
Donde ISC = corriente Máxima de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.						
IL = Máxima demanda de la corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común.						
TDD = Distorsión total de la demanda (RSS) en % de la demanda máxima.						

Tabla 3. Diferencia de Mediciones Realizadas con Medidores de dos Tipos.

Fuente: Centro de Promoción del uso del Cobre.

Mediciones en un edificio de oficinas con dos tipos de instrumentos			
	Valor efectivo [A rms]	Valor medido* [A]	Error [%]
FASE A	410	328	- 20,0
FASE B	445	346	- 22,2
FASE C	435	355	- 18,4
NEUTRO	548	537	- 2,0

[*] Instrumento digital con rectificador a la entrada

Tabla 4. Características Límites de las Perturbaciones.

Fuente: Centro de Promoción del uso del Cobre.

Características límites de las perturbaciones	
Término empleado	Descripción
Distorsión armónica	El voltaje deja de ser sinusoidal: la distorsión de voltaje total es mayor que un 5%. La corriente consumida por el usuario es fuertemente no sinusoidal: la distorsión total de corriente es superior al 20%.
Diferencial de voltaje entre	Por el conductor de neutro circula la corriente debida a los desequilibrios entre cada fase y a componentes armónicas principalmente de orden 3. El voltaje en el conductor de neutro no debe ser superior a 0,6 V. Puede medirse como voltaje entre neutro y tierra.

Tabla 5. Efectos de las Perturbaciones.

Fuente: Centro de Promoción del uso del Cobre.

Efectos de la distorsión armónica	
Equipo	Efectos observados
Transformador	Sobrecalentamiento si el factor K es elevado (superior a 2,7) y la carga es superior al 90% de la nominal.
Condensadores	Los condensadores (de compensación de factor de potencia, de iluminación, por ejemplo) se queman si la corriente por ellos es más que 1,3 veces su corriente nominal.
Motores de inducción	Sobrecalentamiento y vibraciones excesivas si la distorsión de tensión es superior al 5%.
Cables de conexión	Sobrecalentamiento si el valor efectivo de la corriente (medido con un instrumento true rms) es superior al que soporta el cable.
Equipos de computación	Pérdidas de algunos datos y daños en algunas componentes electrónicas debido a que el voltaje máximo es superior al nominal o a que existe un diferencial de voltaje entre neutro y tierra.

Tabla 6. Medidas de Mejoras de Instalaciones Contaminadas por Armónicos.

Fuente: Centro de Promoción del uso del Cobre.

Medidas de Mejoramiento de instalaciones eléctricas contaminadas por armónicas	
Equipo o instalación	Proyecto o mejoramiento
Distribución de electricidad	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento de conductores considerando armónicas. • Disminución de las corrientes por el neutro mediante balance de cargas. • Disminución de las corrientes armónicas mediante filtros y transformadores de aislación.
Condensadores	<ul style="list-style-type: none"> • Tableros separados para equipos sensibles. • Sustitución por condensadores antiresonantes.
Equipos contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento de los equipos (exigencia a los fabricantes de ubicar filtros de línea o reactancias serie). • Ejemplo de transformadores de aislación

Tabla 7. Menú del Analizador FLUKE 435.

Fuente: Manual del usuario FLUKE 435.

SCOPE MODO OSCILOSCOPIO. Están disponibles las siguientes funciones:

Modo de medida	Tipo de pantalla	Representación de los resultados de las medidas	Cursor/Zoom
Osciloscopio	Forma de onda	Gráficas de las formas de onda de la tensión/corriente + valores numéricos.	Sí / Sí
Diagrama fasorial	Diagrama vectorial	Relación de fases tensión/corriente + valores numéricos.	No / No

MENU MENÚ DE MEDIDAS. Se puede acceder a las funciones de medida por medio de la tecla MENU (MENÚ). Están disponibles las siguientes funciones:

Modo de medida	Tipo de pantalla	Representación de los resultados de las medidas	Cursor/Zoom
V/A/Hz	Pantalla Multímetro	Valores numéricos: tensión, corriente, frecuencia, factor de cresta.	No / No
	Tendencia	Tendencia de los valores durante un periodo de tiempo en la pantalla Multímetro.	Sí / Sí
Fluctuaciones	Tendencia	Tendencia a lo largo del tiempo con rápida velocidad de actualización: tensión/corriente.	Sí / Sí
	Tabla de eventos	Registra los eventos que superan los límites: tablas normales/detalladas disponibles.	No / No
Armónicos	Gráfico de barras	CC, THD (distorsión armónica total), interarmónicos y armónicos de tensión/ corriente/potencia.	Sí / No

	Pantalla Multímetro	Valores numéricos de un conjunto de (inter)armónicos.	No / No
Potencia y energía	Pantalla Multímetro	Valores numéricos: potencia activa/potencia aparente/potencia reactiva/factor de potencia/factor de potencia de desplazamiento/tensión/corriente/utilización de la energía, contador de los pulsos de salida del medidor de energía.	No / No
	Tendencia	Tendencia de los valores durante un periodo de tiempo en la pantalla Multímetro.	Sí / Sí
Parpadeo (Flicker) de tensión	Pantalla Multímetro	Valores numéricos: flicker a corto/largo plazo, CC, Dmax, TD.	No / No
	Tendencia	Tendencia de los valores durante un periodo de tiempo en la pantalla Multímetro.	Sí / Sí
Desequilibrio	Pantalla Multímetro	Valores numéricos: desequilibrio (% relativo, absoluto) tensión/corriente, fundamental de la tensión/corriente, ángulo de fase.	No / No
	Tendencia	Tendencia de los valores durante un periodo de tiempo en la pantalla Multímetro.	Sí / Sí
	Diagrama fasorial	Relación de fases tensión/corriente + valores numéricos.	No / No
Transitorios	Forma de onda	Formas de onda de tensión/corriente + valores numéricos; registra los eventos que superan los límites ajustables.	Sí / Sí
Corriente de arranque	Tendencia	Registra los eventos que superan los límites ajustables.	Sí / Sí

Modo de medida	Tipo de pantalla	Representación de los resultados de las medidas	Cursor/Zoom
Transmisión de señales a través de la alimentación	Tendencia	Tendencia durante un periodo de tiempo de la aparición de señales de control de la frecuencia 1 y 2 (amplitud, duración).	Sí / Sí
	Tabla de eventos	Permite registrar la fecha, hora, tipo, nivel y duración de los eventos.	No / No
Registrador	Tendencia	Tendencia durante un periodo de tiempo de las lecturas seleccionadas (mínima, máxima, media).	Sí / Sí
	Pantalla Multímetro	Valores numéricos: todas las lecturas seleccionadas.	No / No
	Tabla de eventos	Permite registrar eventos que superan los límites: tablas normales o detalladas disponibles.	No / No

MONITOR

SUPERVISIÓN DE LA CALIDAD ELÉCTRICA. Están disponibles las siguientes funciones:


Pantalla principal	Gráfico de barras	En el menú de inicio: resumen de las medidas de calidad eléctrica principales. Información detallada mediante las teclas de función F1 (Vrms), F2 (armónicos), F3 (Flicker), F4 (fluctuaciones, interrupciones, cambios rápidos de tensión) y F5 (desequilibrio, frecuencia, transmisión de señales).	Sí / No
	Tabla de eventos	Registra los eventos que superan los límites: tablas normales/detalladas disponibles.	No / No
	Tendencia	Tendencia a lo largo del tiempo de los grupos de datos seleccionados por medio de F1 ... F5.	Sí / Sí
	Gráfico de barras	Gráfico de barras detallado para armónicos	Sí / No

Tabla 8. Reporte de Análisis Cromatografico del Transformador de 1500KVA.

Fuente: Departamento de Planificación de Holcim Ecuador.



LAB-08
Revisión 10
28.XI.2010

Pág. 1 de 2

PRUEBAS Acreditadas
BYC BORDO 1705



REPORTE DE ANALISIS DE CROMATOGRAFIA DE GASES DISUELTOS EN ACEITE
NORMA ASTM D-3612 : 02 MÉTODO C

REPORTE	CGD-14435-10	VOL. ACEITE (GALONES)	
MUESTRA N°	C-1300Y10	AÑO DE FAB.	
POTENCIA (KVA)	1.500	FECHA DE ANÁLISIS	2010-09-14
MARCA	General Electric	FECHA DE REPORTE	2010-09-16
N° DE SERIE	H011391TESA	EQUIPO DE PRUEBA	CROMATÓGRAFO HP 6890
VOLTAJES	4160/1480-277 V	FECHA DE RECEPCIÓN	2010-08-14
OBSERVACIONES			

FECHA DE MUESTREO	2010-09-08	MUESTREADO POR	Ciencia	TEMP. AMBI (°C)	26,0	HUMEDAD REL. (%)	48,0
JERONDA #	4.055	PUNTO DE MUESTREO		P. BAROMÉTRICA (mm Hg)			870,5
GASES		CONCENTRACIÓN (ppm en aceite)	% TDGC*	LÍMITES DE CONCENTRACION DE GASES CLASE DISUELTOS (PPM)			
				C1	C2	C3	C4 Condición
Oxígeno (O2)	80.935,9			-	-	-	-
Nitrógeno (N2)	128.821,9			-	-	-	-
Hidrógeno (H2)		7,4	3,6	100	101-700	701-1800	>1500 1
Monóxido de Carbono (CO)		167,1	80,7	350	351-570	571-1400	>1400 1
Metano (CH4)		0,0	0,0	120	121-400	401-1000	>1000 1
Etileno (C2H4)		32,5	15,7	50	51-100	101-200	>200 1
Etano (C2H6)		0,0	0,0	65	66-100	101-150	>150 1
Acetileno (C2H2)		0,0	0,0	1	2-8	10-35	>35 1
Dióxido de Carbono (CO2)	4.214,8			2.500	2501-400	4000-100	>10000 3
				0	00		
SUBTOTAL GASES COMBUSTIBLES (ppm)		207,0	100,0%	720	721-1820	1821-463	>4630 1
				0	0		
TOTAL DE GASES (ppm)		194.079,6					

RELACIONES			
DORNENBURG		ROGERS	
CH4/H2	0,000	CH4/H2	0,000
C2H2/C2H4	0,000	C2H6/CH4	1,000
C2H6/C2H2	1,000	C2H4/C2H6	32,500,000
C2H2/CH4	1,000	C2H2/C2H4	0,000

*NOTA: Tabla N°1 Norma IEEE C57-104-2008
Toma de muestra según Norma ASTM D-3612/07

*TDGC: totales de gases combustibles

NORMA IEEE C57-104-2008 NUMERAL 4.4 EVALUACION DE LA CONDICION DE TRANSFORMADORES USANDO LA CONCENTRACION INDIVIDUAL Y EL TOTAL DE GASES COMBUSTIBLES DISUELTOS

CONDICION 1 (C1): El total de gases combustibles (TDGC) por debajo de este nivel indican que el transformador está operando satisfactoriamente.
CONDICION 2 (C2): El total de gases combustibles (TDGC) dentro de este rango indica nivel de gases combustibles mayor que el normal. Se debe establecer tendencia, puede haber presencia de falla.

CONDICION 3 (C3): El total de gases combustibles (TDGC) dentro de este rango indica un alto nivel de descomposición. Debe tomarse una acción inmediata para establecer una tendencia.

CONDICION 4 (C4): El total de gases combustibles (TDGC) dentro de este rango indican descomposición excesiva. La operación continua podría resultar en la falla del transformador. Procédase inmediatamente y con precaución.

CONDICIÓN QUE APLICA: CONDICION 1

REPORTE ORIGINAL FIRMADO - LOS RESULTADOS CONTENIDOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO AFECTAN ÚNICAMENTE AL ACEITE SOMETIDO A ENSAYO. PROPIEDAD INTELECTUAL DE TRANS EQUIPOS LTDA. NO PODRÁ SER COPIADO SIN AUTORIZACIÓN DE TRANS EQUIPOS LTDA.

Tabla 9. Características de los Armónicos.

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 10. Cuadro de Potencias Instalada KVA Vs. Consumida KW.

Fuente: Los Autores.

Cuadro de Potencias Instalada kva Vs. Consumida kw			
Transformador de 1500 KVA Instalado			
Cantidad	Código	Capacidad en HP	Capacidad en KW
1	441-VE1	7,50	5,60
2	441-VE2	25,00	18,65
3	461-AK1	60,00	44,76
4	461-BM1	3,00	2,24
5	461-VE1	15,00	11,19
6	461-VE2	15,00	11,19
7	461-VE4	10,00	7,46
8	461-VE5	10,00	7,46
9	461-VE6	10,00	7,46
10	461-VE7	10,00	7,46
11	461-VE8	10,00	7,46
12	461-VE9	10,00	7,46
13	461-VEA	10,00	7,46
14	461-VEB	10,00	7,46
15	461-VEC	10,00	7,46
16	461-VED	10,00	7,46
17	461-VEE	10,00	7,46
18	461-VEF	10,00	7,46
19	461-VEG	10,00	7,46
20	461-VEH	10,00	7,46
21	461-VEI	10,00	7,46
22	461-VEJ	10,00	7,46
23	461-VEK	10,00	7,46
24	461-VEL	10,00	7,46
25	461-VEM	10,00	7,46
26	461-VEN	10,00	7,46
27	471-TK1	15,00	11,19
28	471-VE1	60,00	44,76
29	471-VE2	115,28	86,00
30	471-VE3	200,00	149,20
31	471-VE4	200,00	149,20
32	471-VE5	250,00	186,50
33	471-VE6	200,00	149,20

Cuadro de Potencias Instalada kva Vs. Consumida kw			
Transformador de 1500 KVA Instalado			
Cantidad	Código	Capacidad en HP	Capacidad en KW
34	471-VE7	100,00	74,60
35	471-VE8	200,00	149,20
36	471-VE9	15,00	11,19
37	471-BZ2	0,30	0,22
38	471-EV1	88,47	66,00
39	471-IKN-MO1	17,69	13,20
40	471-IKN-MO2	17,69	13,20
41	471-IKN-MO3	17,69	13,20
42	471-IKN-MO4	17,69	13,20
43	481-BM1	5,00	3,73
44	481-BM2	5,00	3,73
45	481-DY1	7,37	5,50
46	481-SR1	100,54	75,00
47	481-SR2	100,00	
48	491-CQ6	2,01	1,50
49	491-CQ7	2,01	1,50
50	491-CQ9	2,01	1,50
51	491-TC1	134,05	100,00
52	491-TC2	134,05	100,00
53	491-VE3	40,00	29,84
54	491-VE4	40,00	29,84
55	492-BT1	20,00	14,92
56	492-CD1	3,00	2,24
57	492-GU2	3,00	2,24
58	492-TC3	40,00	29,84
59	492-TC4	40,00	29,84
60	492-VE2	40,00	29,84
61	492-VE3	40,00	29,84
62	L1X-BM1	10,00	7,46
63	L1X-BM2	10,00	7,46
64	L9X-BM3	10,00	7,46
65	L9X-BM4	10,00	7,46
66	L9X-BM5	10,00	7,46
67	L9X-BM6	10,00	7,46
68	L9X-BM8	10,00	7,46
Total en KW			1916,00

Tabla 11. Perdida Estimada en lo Transformadores.

Perdida Estima en los Transformadores

Potencia (KVA)	Clase (kV)	Pfe (W)	Pcu (W)	Vcc	lo %	Lwa (dB)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Peso (kg)
100	12 24	420 460	1880 1960	6	1,68 2,10	59	1120 1120	670	1100	520	510 550
160	12 24	580 650	2550 2700	6	1,60 2,00	62	1230 1230	670	1150	520	720 760
200	12 24	700 750	2900 3100	6	1,50 1,87	64	1230 1270	670	1200	520	840 880
250	12 24	800 880	3400 3300	6	1,42 1,78	65	1230 1300	670	1300	520	970 1020
315	12 24	950 1000	4100 4100	6	1,40 1,65	67	1300 1330	820	1300	670	1100 1160
400	12 24	1150 1200	4850 4800	6	1,18 1,48	68	1330 1380	820	1400	670	1290 1360
500	12 24	1300 1400	5700 6000	6	0,96 1,20	69	1380 1410	820	1500	670	1530 1610
630	12 24	1450 1600	6700 6900	6	0,85 1,06	70	1410 1460	820	1550	670	1760 1850
800	12 24	1750 2000	8300 8300	6	0,72 0,90	72	1460 1530	1000	1650	820	2080 2190
1000	12 24	2000 2300	8800 9600	6	0,64 0,80	73	1530 1620	1000	1750	820	2480 2610
1250	12 24	2400 2700	11200 11500	6	0,56 0,70	75	1530 1640	1000	1850	820	2870 3020
1600	12 24	2800 3100	12700 14000	6.5	0,52 0,65	76	1640 1700	1000	2150	820	3350 3530
2000	12 24	3400 3650	16000 16500	6.5	0,48 0,60	78	1700 1790	1300	2200	1070	3950 4610