



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Proyecto Final de graduación previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico.

ESPECIALIZACIÓN

Sistemas de Potencia y Diseño de Maquinarias.

TEMA:

ESTUDIO DE EFECTOS Y METODOS DE MINIMIZACION DE
DISTRORCIONES ARMÓNICAS EN EQUIPOS DE DISTRIBUCION
ELECTRICA, COMERCIAL E INDUSTRIAL.

AUTORES:

PROAÑO PÉREZ NOÉ FERNANDO.

VELASQUEZ ZHARATE VICTOR ADOLFO.

DIRECTOR:

ING. ORLY GUZMAN

Guayaquil, Marzo del 2010.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.

Los conceptos desarrollados, investigaciones realizadas, prácticas elaboradas, análisis y conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, Marzo del 2010.

AUTORES:

(F).....

Fernando Proaño.

(F).....

Adolfo Velásquez.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme todo lo que tengo y no dejarme caer nunca y por permitirme llegar hasta este momento tan importante para mí y mi familia y lograr una meta más en mi vida. Mil gracias a mi mamá Adela, que ha sido mi fortaleza con su cariño, comprensión y apoyo no existe otra madre igual. Gracias a mis hermanas Jessica y Cindy que son la luz de mi vida. A mi padre por guiarme desde el inicio por el camino de la educación. Agradezco infinitamente a mi abuelita Lucinda que ha esperado con vida este momento. A toda mi familia por la fe depositada en mí y por toda la ayuda brindada. Además quiero dar un millón de gracias a mis amigos que estuvieron conmigo y compartimos tantas odiseas, experiencia, desvelada, fracasos y éxitos, nadie tiene mejores amigos que yo. Y por último, pero no menos importante, estaré eternamente agradecido a mi amigo y compañero de tesis Adolfo Velásquez, por que juntos realizamos este sueño en realidad.

Fernando Proaño.

A todos los que confiaron en mí, a los que me brindaron una oportunidad, a mi madre, a mi tía, al Ing. Orlyn Guzmán quien tuvo siempre la mejor disposición de contestar y atender mis constantes dudas y visitas, además del apoyo didáctico y práctico suministrado pero en especial a Dios.

También debo expresar mis agradecimientos a todos los que forman la Universidad Politécnica Salesiana por aceptar ser miembro de esta importante institución.

Además a mi compañero de proyecto de grado Fernando Proaño, por el apoyo brindado.

Adolfo Velásquez.

DEDICATORIA

Durante mi vida universitaria de pocos o tantos años de lucha constante, de gratas experiencias y oportunidades, de momentos de éxitos y también de angustias para poder cumplir mis objetivos, en especial uno de mis más grandes anhelos, culminar mi carrera, mis deseos de superación y mi sed de triunfar eran tan grande que logre vencer todos los obstáculos que encontré en mi camino y es por ello que debo dedicar este triunfo a quienes en todo momento me llenaron de fuerzas, me brindaron su amistad y paciencia: a mis padres, mis hermanas, familiares, compañeros y a todos los que no creyeron hasta donde podría llegar. A todos ellos les dedico este proyecto.

Esto es por mí, pues fue un proyecto con el que siempre soñé y sé que lo hice muy bien.

Detrás de cada línea de llegada, hay una de partida, detrás de cada logro, hay otro desafío, sigue aunque todos esperen que abandones.

Fernando Proaño.

Este proyecto representa la culminación de una etapa importante de mi vida, a la cual no hubiera podido llegar sin el apoyo, ayuda, comprensión y paciencia de mi familia, compañeros, Dios y en especial a mi madre que me apoyo en todo lo humanamente posible para verme como ella quería como un gran profesional cumpliendo su sueño, a mi tía por darme aliento para poder seguir y ayudarme en momentos difíciles.

A todos ellos les dedico este proyecto.

Adolfo Velásquez.

RESUMEN

En este trabajo de investigación, se presenta uno de los problemas de distorsiones que en la actualidad es una problemática, ya que, altera la forma de onda sinusoidal original y perturban el buen funcionamiento de los mismos equipos, las señales armónicas son múltiplos integrales de la frecuencia fundamental de una onda sinusoidal, generadas por cargas no-lineales, estas se suman a la onda fundamental de 60-Hz, lo que provoca distorsiones en la onda.

Por tal motivo se llevó a cabo un estudio sobre las fuentes generadoras de armónicas y sus efectos en diferentes cargas eléctricas presentes comúnmente en instalaciones comerciales e industriales, Además se estudiaron los estándares que proporcionan las guías para limitar las distorsiones armónicas, en específico el estándar IEEE 519-1992, Así como también los equipos disponibles comercialmente para minimizarlas.

Se finalizo con el estudio tipo industrial en las instalaciones de SENEFELDER C.A., evaluando en primera instancia las características del equipo y la metodología para realizar las mediciones, seguidamente del aprendizaje práctico para realizarlas en campo. Las mediciones mostraron una presencia esporádica de picos de armónicos individuales que sumados para sacar el THD total este estaba dentro de la norma.

INDICE

RESUMEN.....	i
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
III. CAPITULO I: DESARROLLO TEORICO.....	4
3.1. INTRODUCCION.....	4
3.2. ORIGEN DE LOS ARMONICOS.....	4
3.2.1. Carga lineal.....	5
3.2.2. Carga no lineal.....	6
3.2.3. Concepto de las distorsiones armónicas.....	7
3.2.4. Índices de las distorsiones armónicas.....	11
3.3 PRINCIPALES PERTURBANCIAS CAUSADAS ARMONICOS DE CORRIENTES Y VOLTAJE.....	13
3.4. FRECUENCIA DE LOS ARMONICOS.....	14
3.5. RESONANCIA ARMONICA.....	15
3.5.1. Resonancia paralelo.....	15
3.5.2. Resonancia serie.....	17
3.6. NORMATIVA SOBRE LAS DISTORCIONES ARMONICAS.....	19
IV. CAPITULO II: FUENTES DE ARMONICAS.....	23
4.1. INTRODUCCION.....	23
4.2. FUENTES EMISORAS DE ARMÓNICAS EN PLANTAS INDUSTRIALES.....	23
4.2.1. Motores de corriente Directa.....	23
4.2.2. Convertidores de frecuencia (variadores).....	26

4.2.3. Traforrectificadores (En procesos químicos).....	26
4.2.4. Reactores controlados por tiristores (compensadores estáticos).....	26
4.2.5. Interruptores gobernadores por tiristores.....	27
4.2.6. Hornos de Arco.....	27
4.2.7. Equipos de soldadura.....	28
4.2.8. Transformadores sobreexcitados.....	28
4.2.9. Molinos de laminación y trituradores.....	28
4.2.10. Generadores de Emergencia.....	28
4.3. FUENTES EMISORAS DE ARMÓNICAS EN OFICINAS U OTROS ESTABLECIMIENTO COMERCIALES.....	29
4.3.1. Alumbrado fluorescente.....	29
4.3.2. Equipos de telecomunicaciones.....	29
4.3.3. Controladores para edificios inteligentes.....	29
4.3.4. Grandes computadoras.....	29
4.3.5. PC's, impresoras, computadoras portátiles.....	30
4.3.6. Sistemas de poder ininterrumpido (UPS's).....	32
4.3.7. Elevadores accionados por medio de control electrónico.....	32
V. CAPITULO III: EFECTOS DE LOS ARMONICOS EN LOS EQUIPOS DE DISTRIBUCION ELECTRICA COMERCIAL E INDUSTRIAL.....	33
5.1. INTRODUCCION.....	33
5.2. EFECTO EN MAQUINAS ROTATORIAS Y MOTORES DE INDUCCIÓN.....	34
5.2.1. Efecto en los Motores de Inducción.....	34
5.2.2. Efectos En Generadores Sincrónicos.....	35
5.3. TRANSFORMADORES.....	36
5.4. CABLES DE POTENCIA.....	38

5.5. CAPACITORES.....	39
5.6. EQUIPO ELECTRONICO.....	41
5.7. EQUIPOS DE MEDICIONES E INSTRUMENTACION.....	42
5.8. ACTUADORES DE CONMUTACION Y EQUIPOS DE PROTECCION.....	42
5.9. INTERFERENCIA TELEFONICA.....	42
5.10. CONVERTIDORES DE PODER ESTATICO.....	44
VI. CAPITULO IV: METODOS DE MINIMIZACION DE LAS DISTORCIONES ARMONICAS.....	46
6.1. INTRODUCCION.....	46
6.2. REACTORES DE LINEA.....	46
6.3. FILTROS DE ARMONICAS.....	49
6.3.1. Filtros pasivos.	49
6.3.2. Filtro activo.....	52
6.4. CONEXIONES DE TRANSFORMADORES PARA EVITAR LAS DISTORCIONES ARMONICAS.....	53
6.5. OTRAS MEDIDAS.....	56
VII. CAPITULO V: ESTUDIO DEL NIVEL DE ARMÓNICAS EN LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA ARTES GRAFICAS SENEFELDER.....	57
7.1. INTRODUCCION.....	57
7.2. EMPRESA ARTES GRAFICAS SENEFELDER C.A.....	57
7.3. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELECTRICOS DE LA EMPRESA ARTES GRAFICAS SENEFELDER.....	58
7.3.1. Diagrama unifilar.....	59
7.4. HIPÓTESIS.....	60
7.5. METODOLOGÍA.....	60
7.6. EQUIPO A UTILIZAR.....	60
7.6.1. El analizador de red.....	60

7.6.2. Requerimientos del equipo a utilizar.....	61
7.7. EQUIPO UNIPOWER UNILYZER 901.....	62
7.7.1. CARACTERISTICAS Y CAPACIDAD.....	63
7.7.1.1. Características generales.....	63
7.7.1.2. Capacidad de medición.....	63
7.7.1.3. Característica de seguridad.....	64
7.7.1.4. Equipamiento adicional.....	69
7.8. MEDICIONES Y ADQUISICIONES DE DATOS.....	69
7.8.1. Intervalo de medición.....	70
7.8.2. Periodo de medición.....	70
7.9. PRESENTACION DE MEDICIONES.....	70
VIII. CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....	98
IX. BIBLIOGRAFIA.....	104
ÍNDICE DE TABLAS, ILUSTRACIONES Y GRÁFICOS	
TABLAS:	
Tabla 1: Detalle de la secuencias de los distintos órdenes de armónicas.....	9
Tabla 2: Base para los límites de corriente armónica (IEEE 519-1992).....	20
Tabla 3: Límites de distorsión de corriente para Sistemas de Distribución Generales de 120V a 69 000 V (IEEE 519-1992).....	20
Tabla 4: Límites de Distorsión de Voltaje (IEEE 519-1992).....	21
Tabla 5: Tolerancias para la Distorsión Armónica de Voltaje (IEEE 519- 1992).....	22
Tabla 6: Detalle de efecto de piel en los conductores.....	39
Tabla 7: Coeficientes de peso del factor de influencia telefónica.....	44
Tabla 8: Distorsión de corriente armónica esperada para un variador de frecuencia de seis pulsos para varias cantidades de reactancia total de entrada...	47
Tabla 9: Niveles de distorsión de corriente esperada en el PCC para varias combinaciones de cargas lineales y no lineales.....	48

Tabla 10: Características generales del UniPower Unilyzer 901.....	63
Tabla 11: Índices de Protección del UniPower Unilyzer 901.....	65
Tabla 12: Registro de parámetros básicos.....	71
Tabla 13: Registro diario de armónicos.....	84
Tabla 14: Normativa con la cual se evalúa la presencia de armónicas en la red.....	96
Tabla 15: Base para los límites de corriente armónicas (IEEE 519-1992).....	97
Tabla 16: Límites de distorsiones de voltajes (IEEE 519-1992).....	97
Tabla 17: Resultados de THDv y THDi totales.....	95

ILUSTRACIONES:

Ilustración: 1 Formación de la distorsión de la onda de armónicas.....	2
Ilustración 2: Ejemplo del comportamiento de una carga Resistiva de 1kw (carga línea).....	5
Ilustración 3: Ejemplo del comportamiento de una carga Inductiva (carga línea).....	5
Ilustración 4: Ejemplo de un dispositivo para controlar la corriente en un consumo lineal constituido por una inductancia y una resistencia.....	6
Ilustración 5: Comportamiento de corriente y voltajes de la carga.....	6
Ilustración 6: Detalle la corriente total, la fundamental y las armónicas.....	7
Ilustración 7: Ejemplo de intensidad afectada por armónicas.....	8
Ilustración 8: Trayectoria de las armónicas en un sistema inductivo.....	9
Ilustración 9: Detalle del efecto de los capacitores en las trayectorias de las armónicas.....	10
Ilustración 10: Detalle de la onda sinusoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2do, 3ro, 4to, y 5to armónicos.....	14
Ilustración 11: Descomposición de una onda deformada.....	15
Ilustración 12: Esquema de un circuito resonante paralelo.....	15
Ilustración 13: Efecto del sistema a la resonancia paralelo.....	16
Ilustración 14: Esquema de un sistema resonante serie.....	17

Ilustración 15: Efecto del sistema a la resonancia serie.....	18
Ilustración 16: Configuración de un rectificador de 6 pulsos (IEEE 519).....	23
Ilustración 17: Forma de onda de la corriente rectificada (IEEE 519).....	24
Ilustración 18: Espectro de corrientes armónicas emitidas por un motor de corriente directa operando con un rectificador de 6 pulsos.....	25
Ilustración 19: Corrientes emitido un variador de frecuencia.....	26
Ilustración 20: Espectro armónico emitido un variador de frecuencia.....	26
Ilustración 21: Espectro armónico emitido por un reactor controlado por tiristores.....	27
Ilustración 22: Corrientes y espectro armónico emitido por hornos de arco para fundición de acero.....	27
Ilustración 23: Corrientes y espectro armónico emitido por transformadores.....	28
Ilustración 24: Distorsión armónica típica provocada en la onda de corriente por diferentes diseños de fuentes de poder para computadoras.....	30
Ilustración 25: Fuente de Poder Convencional.....	30
Ilustración 26: Fuente de Poder de Conmutación.....	31
Ilustración 27: Forma de onda y espectro armónico de corriente emitido por fuentes de poder de conmutación.....	31
Ilustración 28: Espectro de armónico emitido por la combinación de sistemas de poder ininterrumpido (UPS's).....	32
Ilustración 29: Par eléctrico de un motor ante condiciones desbalanceadas.....	34
Ilustración 30: Onda de corriente de un generador al alimentar una carga desbalanceada.....	36
Ilustración 31. Densidad de corriente de un mismo conductor.....	38
Ilustración 32: Circuito con resonancia paralelo y en resonancia serie.....	39
Ilustración 33: Circuito equivalente para el análisis del sistema a frecuencias armónica.....	40
Ilustración 34: Curva de límites de los armónicos de un generador.....	43
Ilustración 35: Topología de conexión de los reactores de línea.....	46
Ilustración 36: Comportamiento de un reactor línea.....	48
Ilustración 37: Esquemático de los filtros en serie.....	50
Ilustración 38: Esquemático de los filtros en paralelo.....	51

Ilustración 39: Topología de Filtro Paso Bajo de Banda Ancha.....	52
Ilustración 40: Diagrama de bloques de los filtros activos.....	53
Ilustración 41. Conexión delta- triangulo de un transformador trifásico.....	54
Ilustración 42.Conexion en zig-zag de un transformador trifásico.....	54
Ilustración 43: Transformador con devanado terciario.....	54
Ilustración 44: Transformador con múltiples devanados.....	55
Ilustración 45: Instalaciones de la empresa SENEFELDER C.A.....	57
Ilustración 46: Plano eléctrico Unifilar de las instalaciones de SENEFELDER C.A.....	59
Ilustración 47: Imagen de diferentes analizadores de redes del mercado.....	61
Ilustración 48: Equipo UniPower Unilyzer 901.....	62
Ilustración 49: Categorías de protección contra sobre-tensiones.....	67
 GRÁFICOS:	
Grafico 1: Grafica de corrientes armonicas generales en las tres fases.....	94
Grafica 2: Espectro de armonicas en magnitud.....	96
Grafica 3: Espectro de armonicas en la fase A.....	99
Grafica 4: Espectro de armonicas en la fase B.....	100
Grafica 5: Espectro de armonicas en la fase C.....	101
Grafica 6: Espectro de armonicas en el neutro.....	102
 ANEXO A:	
Grafica 7: Onda de corriente del Neutro.....	106
Grafica 8: Onda de Corriente y Voltaje Fase A.....	107
Grafica 9: Onda de Corriente y Voltaje Fase B.....	108

Grafica 10: Onda de Corriente y Voltaje Fase C.....	109
Grafica 11: Ondas de Corrientes Trifásicas.....	110
Grafica 12: Ondas de Voltajes Trifásicas.....	111
Grafica 13: Fasores Trifásicos de Corrientes.....	112
Grafica 14: Fasores Trifásicos de Voltajes.....	113
Grafica 15: Registro Factor de Potencia.....	114
Grafica 16: Registro de frecuencia.....	115
Grafica 17: Registro de Potencia.....	116
Grafica 18: Distorsión Total de Armónicas de Voltaje.....	117
Grafica 19: Distorsión Total de Armónicas de Corriente.....	118

ANEXO B:

Ilustración 50: Cuarto de transformadores.....	120
Ilustración 51: Banco de transformadores de 3 x 333Kva / 13.8Y v. / 220v. C/U	120
Ilustración 52: Tablero principal.....	121
Ilustración 53: Conductor de tierra.....	122
Ilustración 54: Elementos del analizador.....	122
Ilustración 55: Preparación del analizador, en la foto Fernando Proaño.....	123
Ilustración 56: Preparación del analizador, en la foto Adolfo Velásquez.....	123
Ilustración 57: Instalación del analizador, en la foto Adolfo Velásquez.....	124
Ilustración 58: Instalación de ganchos para medición de corriente, en la foto Fernando Proaño.....	124
Ilustración 59: Verificación de todas las conexiones del analizador.....	125
Ilustración 60: Analizador conectado y listo iniciar la toma de lectura.....	125

I. INTRODUCCION.

Para el desarrollo de este proyecto de grado, hemos investigado los temas principales de armónicos, como por ejemplo: en qué consiste un armónico, tipos de armónicos, características y teoría de los mismos, y dentro de los más frecuentes mencionaremos los efectos causados por mismos y las consecuencia que estos traen consigo al momento de producirse.

También hablaremos de lo que son los efectos de los armónicos en los sistemas eléctricos, ya que estos entran a jugar un papel primordial en los problemas que se presentan en la red o en un sistema eléctrico, tanto por las distorsiones como los daños que causan los mismos, de este manera ilustraremos como influyen en la curva de tensión y cuáles son sus variaciones en la misma, además de esto hablaremos un poco de que hacer para evitar los efectos de los mismos y qué hacer para disminuirlos.

Muchos se preguntan, **¿Que son los Armónicos?**

Los armónicos son distorsiones de las ondas sinusoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas no lineal, a materiales ferro magnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal. La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

En un sistema de potencia eléctrica, los aparatos y equipos que se conectan a él, tanto por la propia empresa como por los clientes, están diseñados para operar a 50 ó 60 ciclos, con una tensión y corriente sinusoidal.

Por diferentes razones, se puede presentar un flujo eléctrico a otras frecuencias de 50 ó 60 ciclos sobre algunas partes del sistema de potencia o dentro de la instalación de un usuario.

La forma de onda existente está compuesta por un número de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias, incluyendo una referida a la frecuencia fundamental.

El término componente armónico o simplemente armónico, se refiere a cualquiera de las componentes sinusoidales mencionadas previamente, la cual es múltiplo de la fundamental.

La amplitud de los armónicos es generalmente expresada en por ciento de la fundamental.

La ilustración 1, podemos ver la formación de la distorsión de la onda de armónicas.

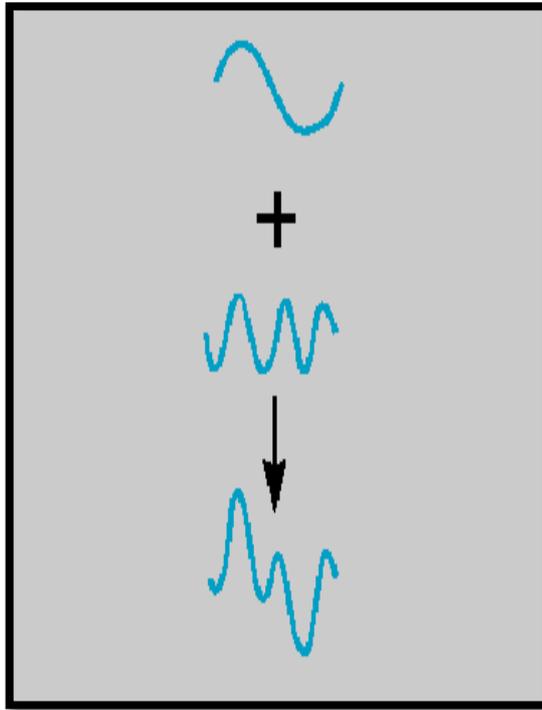


Ilustración 1: Formación de la distorsión de la onda de armónicas. Fuente: Autor.

Los armónicos se definen habitualmente con los dos datos más importantes que les caracterizan, que son:

- 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 orden 3 tiene una frecuencia 3 veces superior a la fundamental, es decir $3 * 60 \text{ Hz} = 180 \text{ Hz}$.

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

II. OBJETIVOS.

2.1 OBJETIVO GENERAL:

Realizar una investigación sobre los efectos que producen las distorsiones armónicas en los equipos de distribución eléctrica y métodos de minimización de este efecto, con el fin de realizar un estudio de este fenómeno en una instalación industrial.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Investigar origen, causa, efecto y tipos de distorsiones armónicas en los equipos de distribución eléctrica.

Investigar los equipos disponibles comercialmente para corregir este fenómeno.

Realizar un estudio del nivel de armónicas dentro de una instalación industrial existente y presentar un informe con las recomendaciones pertinentes a la empresa analizada, según las conclusiones alcanzadas después del estudio.

III. CAPITULO I: DESARROLLO TEORICO.

3.1 INTRODUCCION.

Desde algunas décadas se ha dado un uso más eficiente de la energía eléctrica y se han logrado aumentos considerables en la productividad de los procesos industriales, gracias al incremento de la tecnología y el uso de cargas no lineales en los sistemas eléctricos.

Esta situación ha provocado una problemática, corrientes armónicas generadas por los propios equipos electrónicos distorsionan la onda de corriente sinusoidal original y perturban la operación de estos mismos equipos, provocando además, calentamientos excesivos y pérdidas de energía en máquinas eléctricas, conductores y demás equipos del sistema eléctrico.

El problema no sólo puede afectar al usuario propietario de los equipos generadores de corrientes armónicas, sino que a través de las líneas de distribución y de transmisión pueden propagarse a otros usuarios de la red eléctrica.

A continuación se estudiarán los fundamentos teóricos y la descripción matemática de las distorsiones armónicas.

3.2 ORIGEN DE LOS ARMONICOS.

Los armónicos son producidos por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante (está en función de la tensión). Estas cargas no lineales a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal adsorben una intensidad no sinusoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo ϕ respecto a la tensión.

Existen dos categorías generadoras de armónicos.

La primera es simplemente las cargas no lineales en las que la corriente que fluye por ellas no es proporcional a la tensión.

Como resultado de esto, cuando se aplica una onda sinusoidal de una sola frecuencia, la corriente resultante no es de una sola frecuencia, transformadores, reguladores y otros equipos conectados al sistema pueden presentar un comportamiento de carga no lineal y ciertos tipos de bancos de transformadores multifases conectados en estrella-estrella con cargas desbalanceadas o con problemas en su puesta a tierra, diodos, elementos semiconductores y transformadores que se saturan son ejemplos de equipos generadores de armónicos, estos elementos se encuentran en muchos aparatos eléctricos modernos, invariablemente esta categoría de elementos generadores de armónicos, lo harán siempre que estén energizados con una tensión alterna, estas son las fuentes originales de armónicos que se generan sobre el sistema de potencia.

El segundo tipo de elementos que pueden generar armónicos son aquellos que tienen una impedancia dependiente de la frecuencia.

3.2.1. Carga lineal.

Una carga es Lineal cuando la corriente que ella absorbe tiene la misma forma de onda que la tensión que la alimenta. Además, esta corriente, no posee contenido armónico.

Los resistores, inductores, y los condensadores son dispositivos lineales.

Cuando se conecta una carga resistiva en el sistema de potencia AC, se obtiene una corriente sinusoidal como se muestra en la ilustración 2.

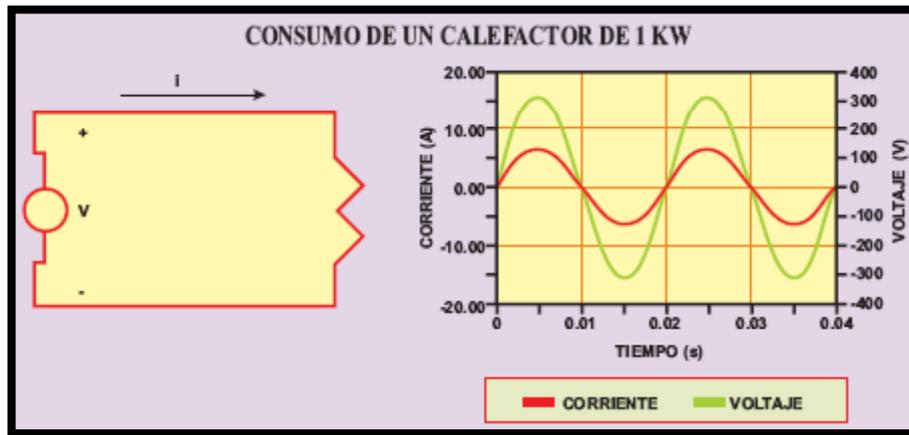


Ilustración 2: Ejemplo del comportamiento de una carga Resistiva de 1kw. Fuente: Autor

Cuando se conecta una carga inductiva, se observan corrientes sinusoidales aunque con fase diferente a la carga resistiva como se muestra en la ilustración 3.

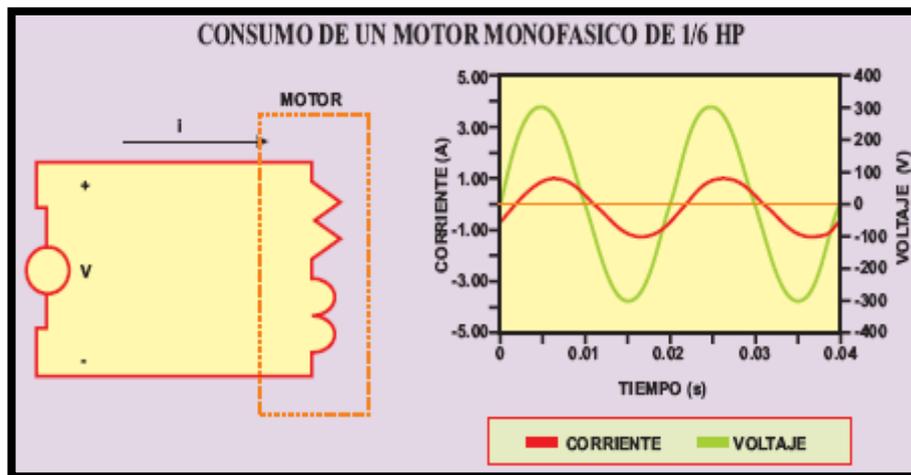


Ilustración 3: Ejemplo del comportamiento de una carga Inductiva. Fuente: Autor

3.2.2. Carga no lineal.

Una carga es No Lineal cuando la corriente que ella absorbe no tiene la misma forma de onda que la tensión que la alimenta. Además, esta corriente, es rica en componentes armónicos por lo que su espectro será función de las características de carga que alimenta, como se muestra en las ilustraciones 4 y 5.

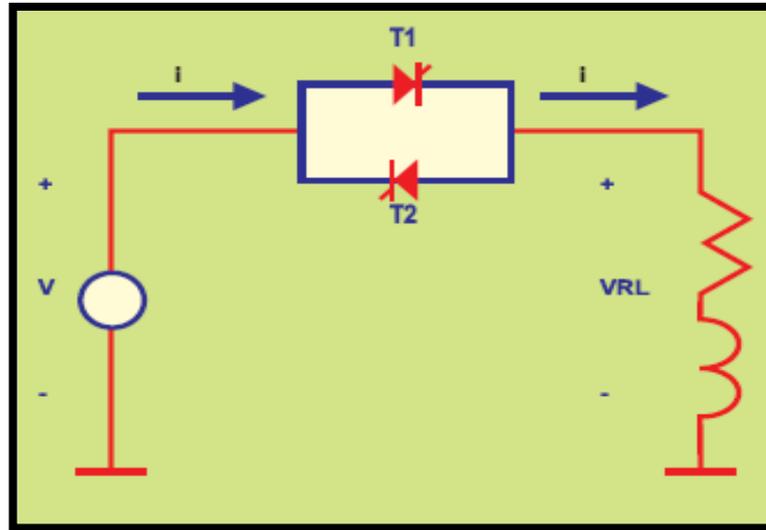


Ilustración 4: Ejemplo de un dispositivo para controlar la corriente en un consumo lineal constituido por una inductancia y una resistencia. Fuente: Autor

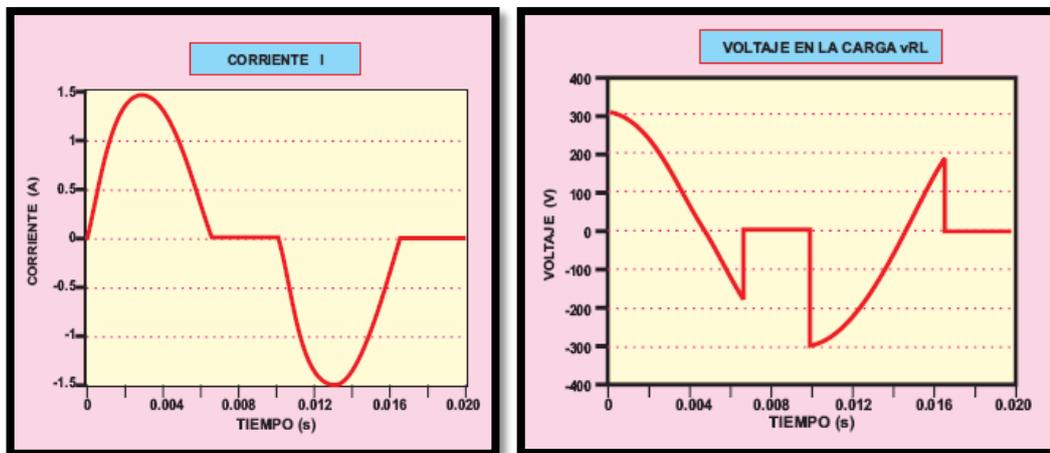


Ilustración 5: Comportamiento de corriente y voltajes de la carga. Fuente: Autor

Hay muchos tipos de cargas no lineales que producen armónicos, la fuente más grande de armónicos son los convertidores.

Otras fuentes no lineales de armónicos incluyen dispositivos de arco tales como: hornos de arco, impedancia magnetizante de transformadores y luces fluorescentes.

Además debemos mencionar que, la corriente armónica ocasionada por las fuentes no lineales puede ocasionar la distorsión armónica en el voltaje del sistema, lo que puede ocasionar problemas para otros dispositivos.

Las cargas no lineales se pueden clasificar en:

- Dispositivos controlados electrónicamente o equipos electrónicos de potencia.
- Dispositivos productores de arcos eléctricos.
- Dispositivos ferro magnéticos.
- Motores eléctricos que mueven cargas de par torsor bruscamente variable.

3.2.3. Concepto de las distorsiones armónicas.

Las distorsiones armónicas son los cambios en la forma de onda de voltaje y corriente de los sistemas eléctricos, provocados por cargas no lineales en general, convirtiendo la onda sinusoidal normal en una forma de onda compleja.

Las armónicas son múltiplos integrales de la frecuencia fundamental de la onda sinusoidal mostrada en la ilustración 6, es decir, las armónicas son múltiplos del voltaje y corriente fundamental de 60-Hz, estas se suman a la onda fundamental de 60-Hz, lo que provoca distorsiones en la onda, estas pueden tener una frecuencia equivalente a 2, 3, 4, 5, 6, 7, etc., veces la frecuencia de la onda fundamental.

Por ejemplo, la frecuencia de la tercera armónica se obtiene multiplicando 60 Hz por 3, lo que equivale a 180 Hz, así mismo la sexta armónica tiene una frecuencia equivalente a la multiplicación de 60 Hz por 6, o sea, 360 Hz.

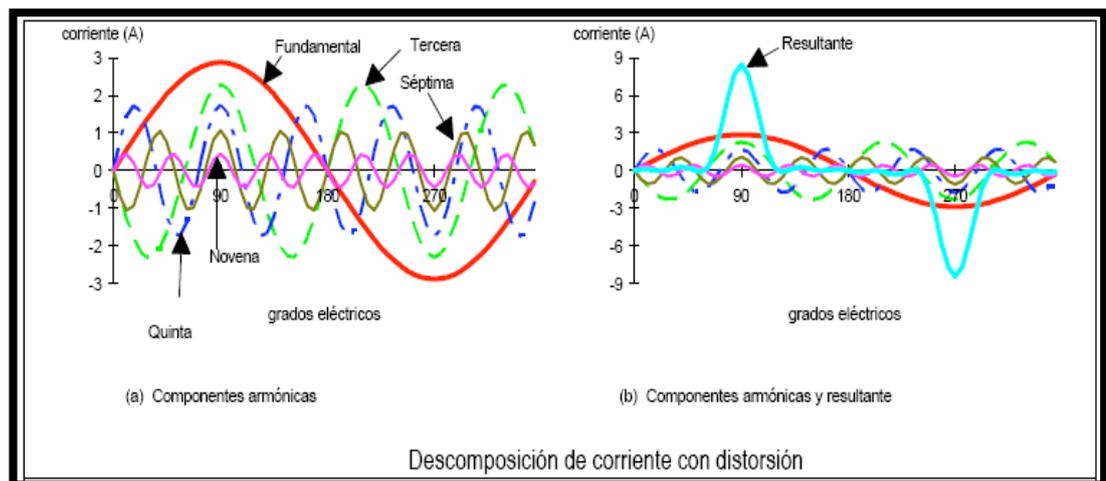


Ilustración 6: Detalle la corriente total, la fundamental y las armónicas. Fuente: Autor

Las cargas no lineales generan corrientes armónicas que hacen de la onda fundamental una onda no sinusoidal, emitiendo pequeños aumentos de corrientes en cada ciclo ó interrumpiendo la corriente durante un ciclo.

Lo que produce que la onda sinusoidal de la corriente se vea distorsionada, la forma de la onda no sinusoidal resultante será la combinación de la onda fundamental de 60-Hz y las diferentes armónicas.

La ilustración 7, muestra una onda distorsionada y sus componentes armónicas, en estos casos, utilizando el teorema de análisis matemático de Fourier, se dice que la onda viene “contaminada” con componentes armónicas.

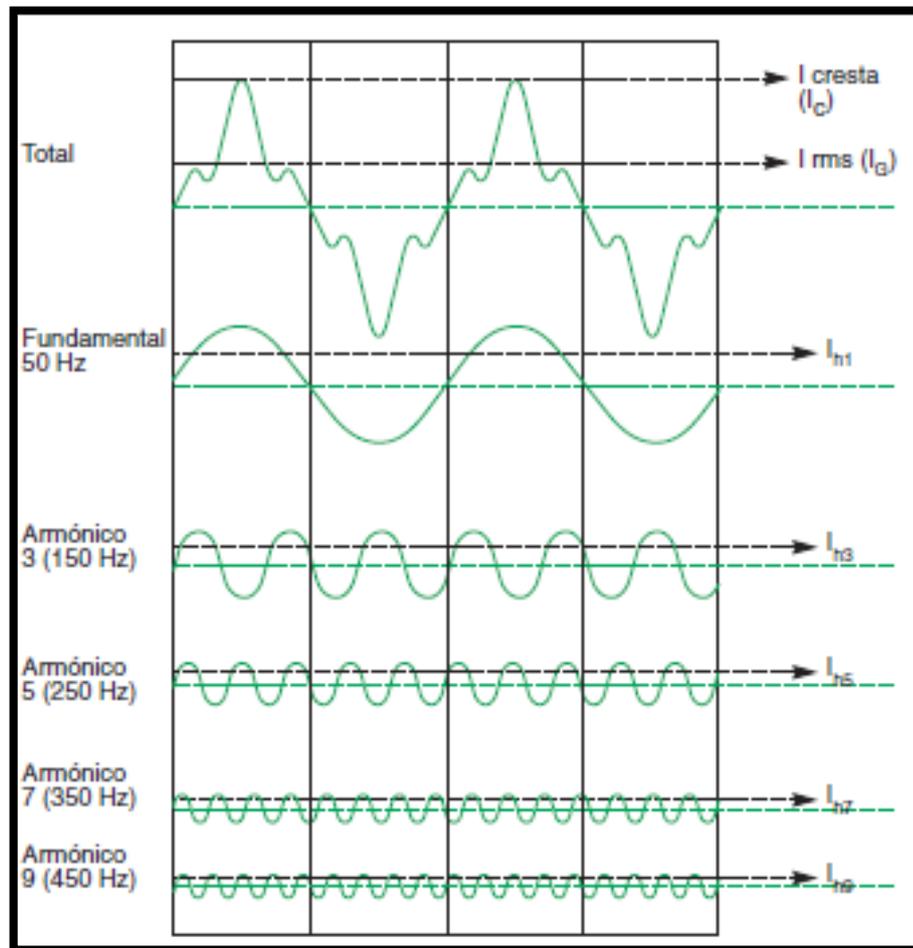


Ilustración 7: Ejemplo de intensidad afectada por armónicas. Fuente: Autor

La aplicación del teorema de Fourier, permite efectuar el análisis de la onda distorsionada original determinando las amplitudes y los desfases de cada una de las ondas sinusoidales que constituyen las armónicas, así como la amplitud de la onda sinusoidal fundamental y la posible presencia de una componente continua, determinada por una simple constante.

A la relación de órdenes de armónicas contenidas en la onda fundamental y sus amplitudes correspondientes se le denomina espectro de armónicas de la onda original distorsionada.

Las armónicas se pueden clasificar como armónicas de secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero.

Las armónicas de secuencia positivas generan un campo magnético en la dirección de la rotación de los motores. La onda fundamental genera un campo magnético en la dirección de rotación de los motores, por lo que se le considera una armónica de secuencia positiva.

Las armónicas de secuencia negativa generan un campo magnético en dirección opuesta a la rotación de los motores, lo que reduce el torque del motor y aumenta la demanda de corriente requerida para una carga dada.

Las armónicas de secuencia cero generan una señal monofásica que no provoca un campo magnético rotacional de ningún tipo. A pesar de que esta señal no realiza un trabajo real, puede aumentar la demanda de corriente del motor y generar calor.

En la tabla 1, se observan las secuencias de los distintos órdenes de armónicas, como se puede observar, las distintas secuencias se repiten consecutivamente.

Tabla 1: Detalle de la secuencias de los distintos órdenes de armónicas. Fuente: Autor

Harmonic	Frequency	Sequence	Harmonic	Frequency	Sequence
1	60	+	7	420	+
2	120	-	8	480	-
3	180	0	9	540	0
4	240	+	10	600	+
5	300	-	11	660	-
6	360	0	12	720	0

Toda corriente eléctrica fluye por donde se le presenta menor resistencia a su paso, por esta razón 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 y la resistencia se incrementa en menor medida, mientras que la reactancia capacitiva disminuye con la frecuencia, Así las armónicas fluyen hacia donde se le presenta menos resistencia a su paso, esto se muestra en la ilustración 8.

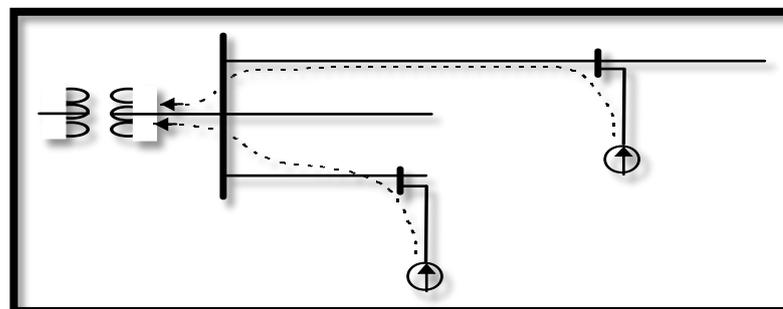


Ilustración 8: Trayectoria de las armónicas en un sistema inductivo. Fuente: Autor

En cambio si al sistema de la ilustración 9, se le incluye un banco de capacitores y da lugar a unas trayectorias distintas para las armónicas.

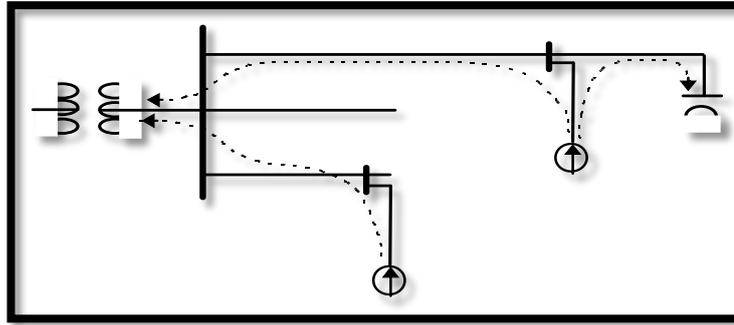


Ilustración 9: Detalle del efecto de los capacitores en las trayectorias de las armónicas. Fuente: Autor

La trayectoria que siguen las armónicas también depende del tipo de sistemas, ya sean monofásicos o trifásicos, así como las conexiones de los transformadores que se encuentra a su paso. Las armónicas que se presentan en sistemas balanceados tienen una relación directa con las componentes de secuencias positiva, negativa y cero.

Cantidades eléctricas bajo un régimen no sinusoidal.

Cuando en estado estable los armónicos se presentan, tanto el voltaje como las corrientes instantáneas pueden ser representados mediante serie de Fourier como:

$$V(t) = \sum_{h=1}^{\infty} V_h(t) = \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2}V_h \sin(h\omega_o t + \theta_h)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} i_h(t) = \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2}I_h \sin(h\omega_o t + \delta_h)$$

Donde los términos de corriente directa son usualmente ignorados por simplicidad, V_h e I_h son los valores rms para el armónico de voltaje y corriente de orden h respectivamente.

La potencia instantánea se define como:

$$p(t) = v(t)i(t)$$

Y la potencia promedio en un periodo T de $p(t)$ es definida como:

$$p = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

Sustituyendo obtendremos que la potencia promedio es:

$$p = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos(\theta_h - \delta_h) = \sum_{h=1}^{\infty} P_h$$

Cada armónico contribuye a la potencia promedio, esta potencia generada por los armónicos es usualmente muy pequeña en comparación con la potencia promedio fundamental.

Los valores de voltaje y corriente son definidos como:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

La potencia aparente está dada por:

$$S = V_{rms} I_{rms}$$

Una definición aceptada de potencia es:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

Donde Q es la potencia reactiva definida como:

$$Q = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \sin(\theta_h - \delta_h)$$

y D es definida como la distorsión en voltios amperios que corresponde al producto de los voltajes y corriente de diferentes componentes armónicas de frecuencia.

3.2.4. Índices de las distorsiones armónicas.

El método más usado para medir la distorsión armónica en un sistema de potencia es la distorsión total armónica (THD), este puede ser calculado por la corriente o para la

tensión, dependiendo de donde se quiera medir la distorsión, hay al menos otros dos índices usados en el análisis armónico, generalmente aplicables a circunstancias especiales, esto incluye el factor de influencia telefónica, que compara el contenido armónico en relación al sistema telefónico, el otro índice es el factor K que es útil para estimar el impacto de las armónicas en las pérdidas eléctricas, sin embargo, en la mayoría de los casos donde las armónicas son estudiadas en un sistema de potencia para identificar su fuente o diseñar como deshacerse de ellas, el índice de distorsión más apropiada es el THD, medido por separado para la tensión y para la corriente.

La adquisición de datos de una forma periódica (cada 30 min) durante un intervalo de tiempo amplio y el análisis posterior de estos registros, de forma diaria y semanal, para cada orden de armónico y para THD, puede utilizarse como metodología para este tipo de estudios.

En algunos circuitos, una semana de medición puede tomarse como representativa, siempre y cuando la curva de carga sea aproximadamente constante durante el mes.

Debido a la influencia que pueden presentar los transformadores de medida en cuanto a saturación, es necesario establecer la frecuencia límite de estudio, se hace referencia a que los transformadores de corriente son confiables en mediciones en el rango de 60 a 1500 Hz, es decir, los primeros 25 armónicos, la amplitud de la respuesta de frecuencia es constante dentro de este rango, y el ángulo de fase entre la onda de entrada y de salida es despreciable.

Para encontrar la distorsión armónica de tensión usamos la siguiente ecuación:

$$THD_V = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{h=2}^k V_h^2} * 100\%$$

Donde:

$THD_V =$ Distorsión total de armónicas de tensión.

$V_h =$ Valor Individual de tensión de cada componente.

$V_1 =$ Valor de tensión fundamental.

$h =$ Numero del armónico.

$k =$ Numero del armónico máximo (máximo 40).

Para encontrar la distorsión armónica de corriente usamos la siguiente ecuación:

$$THD_I = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{h=2}^k I_h^2} * 100\%$$

Donde:

$THD_1 =$ Distorsión total de armónicas de corriente.

$I_h =$ Valor Individual de corriente de cada componente.

$I_1 =$ Valor de corriente fundamental.

$h =$ Numero del armónico.

$k =$ Numero del armónico máximo (máximo 40).

3.3. PRINCIPALES PERTURBANCIAS CAUSADAS POR AMONICOS DE CORRIENTES Y VOLTAJES.

Los armónicos de corriente y voltajes sobrepuestos a la onda fundamental tienen efectos combinados sobre los equipos y dispositivos conectados a las redes de distribución.

Para detectar los posibles problemas de armónicos que pueden existir en las redes e instalaciones es necesario utilizar equipos de medida de verdadero valor eficaz, ya que los equipos de valor promedio sólo proporcionan medidas correctas en el caso de que las ondas sean perfectamente sinusoidales. En el caso en que la onda sea distorsionada, las medidas pueden estar hasta un 40 % por debajo del verdadero valor eficaz.

El efecto principal causado por los armónicos consiste en la aparición de voltajes no sinusoidales en diferentes puntos del sistema.

Ellos son producidos por la circulación de corrientes distorsionadas a través de las líneas.

La circulación de estas corrientes provoca caídas de voltaje deformadas que hacen que a los nodos del sistema no lleguen voltajes puramente sinusoidales, mientras mayores sean las corrientes armónicas circulantes a través de los alimentadores de un sistema eléctrico de potencia, más distorsionadas serán los voltajes en los nodos del circuito y más agudos los problemas que pueden presentarse por esta causa.

Los voltajes no sinusoidales son causantes de numerosos efectos que perjudican los equipos conectados al sistema, entre estos efectos se pueden mencionar la reducción de la vida útil del equipamiento de potencia así como la degradación de su eficiencia y funcionamiento en general.

Los efectos perjudiciales de estos armónicos dependen del tipo de carga encontrada, e incluye:

- Efectos instantáneos.
- Efectos a largo plazo debido al calentamiento.

En los efectos Instantáneos los armónicos de voltajes pueden distorsionar los controles usados en los sistemas electrónicos, ellos pueden por ejemplo, afectar las condiciones de conmutación de los tiristores por el desplazamiento del cruce por cero de la onda de voltaje.

Las fuerzas electrodinámicas producidas por las corrientes instantáneas asociadas con las corrientes armónicas causan vibraciones y ruido especialmente en equipos electromagnéticos (transformadores, reactores entre otros).

Y si hablamos de los efectos a largo plazo el principal efecto a largo plazo de los armónicos es el calentamiento.

En los capacitores, las pérdidas causadas por calentamiento son debidas a dos fenómenos: conducción e histéresis en el dieléctrico, como una primera aproximación, ellas son proporcionales al cuadrado del voltaje aplicado para conducción y a la frecuencia para histéresis.

3.4. FRECUENCIA DE LOS ARMONICOS.

Las frecuencias de los armónicos que más problemas generan en el flujo de potencia, son aquellas que son múltiplos enteros de la fundamental como son: 120, 180, 240, 300 y 360 ciclos/segundos y las que siguen, la frecuencia del sistema es la primera armónica.

Las frecuencias no armónicas, por ejemplo 217 ciclos/segundo, generalmente son generadas e inyectadas al sistema de transmisión y distribución con algún objetivo especial, estos casos son producidos deliberadamente o en algunos casos inadvertidamente.

Es más difícil detectar una armónica que no es múltiplo de la frecuencia fundamental, porque no altera la longitud de onda de la misma manera.

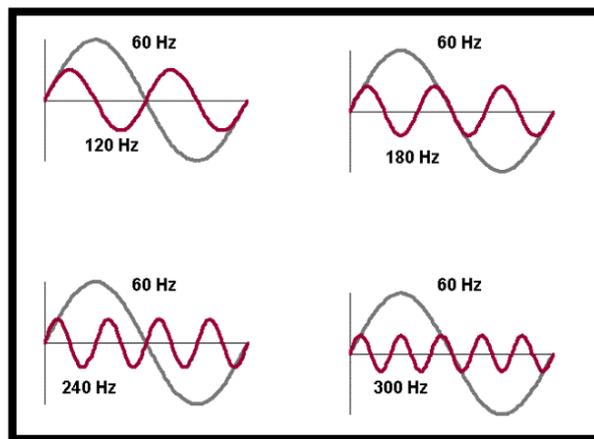


Ilustración 10: Detalle de la onda sinusoidal de la frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2do, 3ro, 4to, y 5to armónicos. Fuente: Autor

La Ilustración 11, muestra como una onda deformada puede ser descompuesta en sus componentes armónicas. La onda deformada se compone de la fundamental combinada con las componentes armónicas de 3er y 5to orden, la onda deformada compuesta por la Superposición de una fundamental a 60 Hz y menores armónicos de tercer y quinto orden.

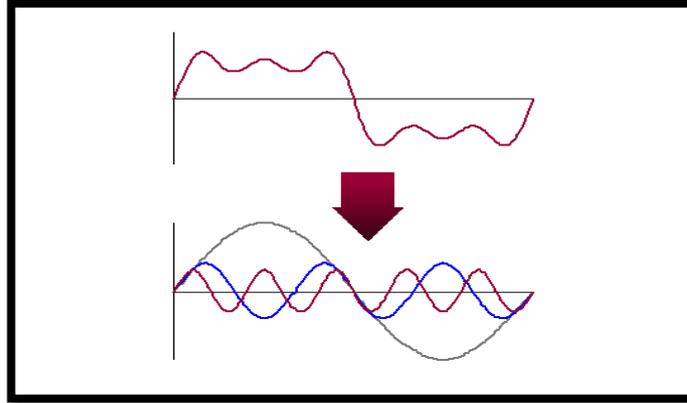


Ilustración 11: Descomposición de una onda deformada. Fuente: Autor

3.5. RESONANCIA ARMONICA.

Las condiciones de resonancia son aquellas en las que un sistema pasa de ser inductivo a capacitivo o viceversa, este cambio provoca problemas muy graves como pueden ser sobre corrientes o sobre voltajes los cuales ocasionan el fallo y/o destrucción de equipos que se encuentran expuestos a estos fenómenos de resonancia.

3.5.1. Resonancia paralelo.

La resonancia paralelo se da cuando las impedancias de un elemento inductivo con un capacitivo se igualan, donde estos elementos se encuentran en paralelo.

Desde un punto de vista práctico, este efecto se presenta cuando el equivalente del sistema en el cual está conectado un banco de capacitores, se iguala a la impedancia equivalente del banco de capacitores (quedando en paralelo). Esto se observa en la ilustración 12.

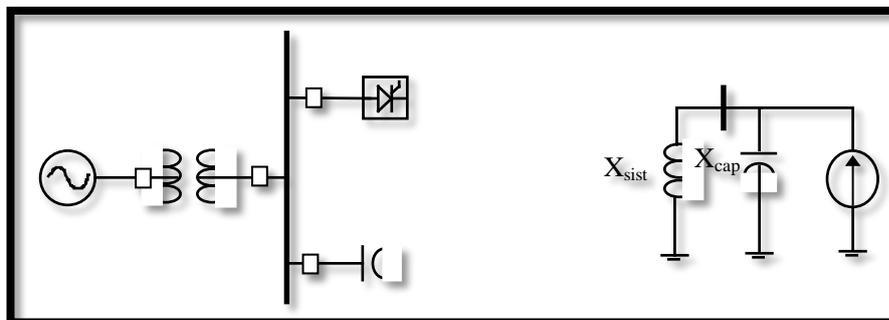


Ilustración 12: Esquema de un circuito resonante paralelo. Fuente: Autor

Entonces este equivalente paralelo esta dado por:

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

Entonces al igualarse estas impedancias a una cierta frecuencia, la impedancia equivalente se hace infinita, y 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.

De esta manera para que estas dos impedancias se iguales se necesita que exista esta frecuencia llamada de resonancia dada por:

$$f_{res} = \sqrt{\frac{I}{LC}} \times 60 \text{ Hz} = \sqrt{\frac{X_{cap}}{X_{sist}}} \times 60 \text{ Hz} = \sqrt{\frac{MVA_{CC}}{MVar_{CAP}}} \times 60 \text{ Hz}$$

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.

Como se puede observar si se tiene una planta la cual está conectada a un mismo voltaje y tiene un mismo banco de capacitores, pero diferentes valores MVA_{CC} entonces el sistema responde de manera distinta, tal y como lo muestra la figura 2.10

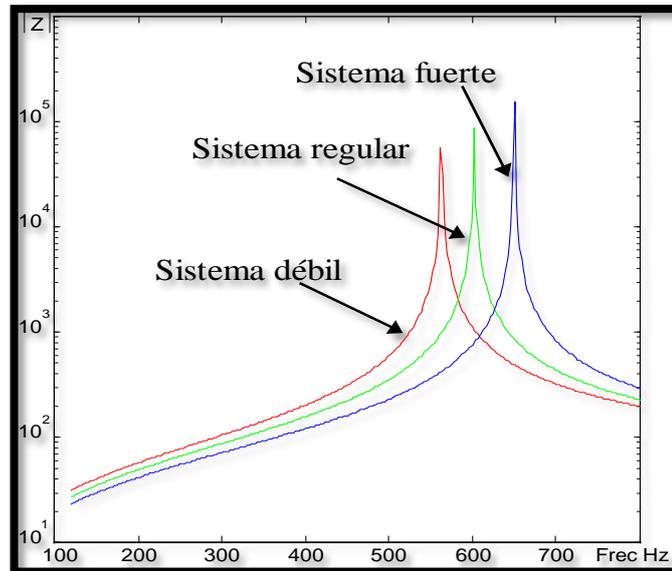


Ilustración 13: Efecto del sistema a la resonancia paralelo.
Fuente: IEB S.A, Armónicos en sistemas eléctricos, 2009.

La ilustración 13, muestra que a medida que el sistema sea más débil se tiene que las frecuencias de resonancia se acercan cada vez más a frecuencias que pueden existir en el sistema como por ejemplo la 3^a, 5^a o 7^a armónica, ocasionando así problemas casi seguros de resonancia llevando a la destrucción al banco de capacitores.

3.5.1. Resonancia serie.

Es igual que la resonancia paralelo, pero en este caso ocurre cuando una impedancia inductiva se encuentra en serie con un capacitor.

En forma práctica esta resonancia serie puede presentarse en sistemas industriales los cuales tienen una configuración similar a la ilustración 14.

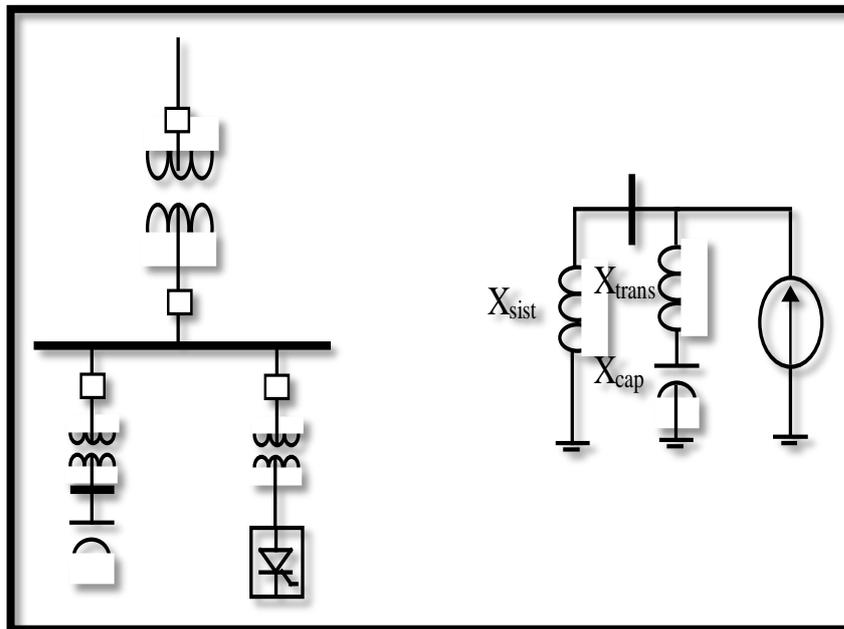


Ilustración 14: Esquema de un sistema resonante serie. Fuente: Autor

Entonces al igualarse la impedancia del transformador con el banco de capacitores, se tiene que la impedancia equivalente está dada por:

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

Donde al igualarse estas impedancias se tiene una equivalente igual a cero, dando como resultado una corriente grande a través de estos elementos.

Así mismo la frecuencia de resonancia serie está dada por:

$$f_{res} = \sqrt{\frac{1}{L_{trans} C}} \times 60 \text{ Hz} = \sqrt{\frac{X_{cap}}{X_{trans}}} \times 60 \text{ Hz}$$

Además de que también existe una resonancia paralelo con el sistema dado por:

$$f_{res} = \sqrt{\frac{X_{cap}}{X_{sist} + X_{trans}}} \times 60 \text{ Hz}$$

La ilustración 15, muestra el efecto del sistema sobre la resonancia serie.

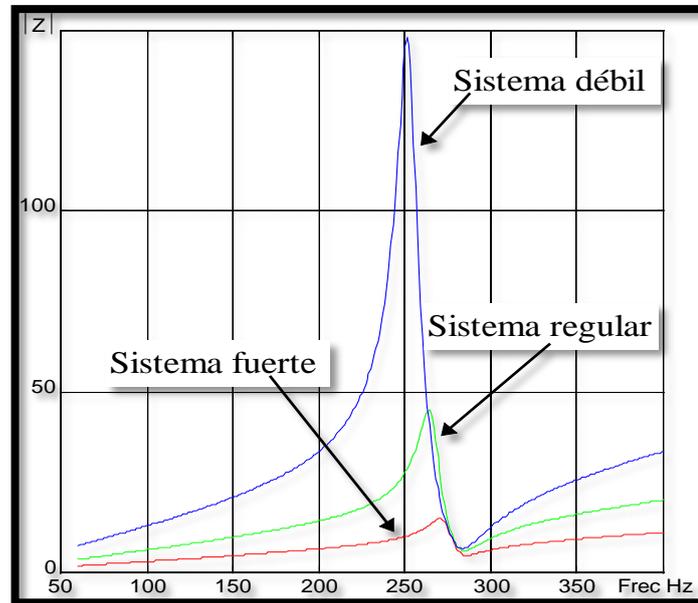


Ilustración 15: Efecto del sistema a la resonancia serie. (Autor)
Fuente: IEB S.A, Armónicos en sistemas eléctricos, 2009.

La ilustración 15, muestra que a medida que el sistema es más débil, se tienen impedancias muy grandes antes de la resonancia, pudiendo ocasionar estos picos sobre voltajes armónicos muy fuertes.

Razón de corto circuito

La razón de corto circuito es la razón que existe entre la capacidad del sistema y la capacidad de la carga no lineal conectado al sistema.

$$SCR = MV_{Acc} / MW_{rect}$$

Las recomendaciones expresan que si el SCR es menor a 20 entonces pueden existir fuertes problemas de resonancia.

3.6. NORMATIVA SOBRE LAS DISTORCIONES ARMONICAS.

Los límites de distorsión armónica que aplican para los consumidores individuales de energía eléctrica y la calidad de energía eléctrica que el proveedor de electricidad debe suministrar al usuario final, establecidos por el estándar IEEE 519-1992, titulado “Prácticas Recomendadas y Requisitos para el Control de Armónicas en Sistemas de Potencia Eléctricos”, límites que se establecen tanto para el beneficio del proveedor como para el beneficio del consumidor.

El estándar IEEE 519-1992 enfoca éstos límites en el punto de unión común (o en inglés point of common coupling, PCC) entre el proveedor y los consumidores.

Cabe destacar que en contraste con éste estándar de la IEEE, la IEC marca límites de armónicas para las cargas individuales, como los variadores de frecuencia, estos límites se contemplan en el estándar IEC 100-3-2 (anteriormente IEC 555-2).

El estándar IEEE 519-1992 define los límites de armónicas en el lado del medidor del usuario final como la distorsión de demanda total (o en inglés total distortion limits, TDD) y en el lado del medidor del proveedor como la distorsión armónica total (o en inglés total harmonic distorsión, THD).

La distorsión de demanda total (TDD) evalúa las distorsiones de corrientes provocadas por corrientes armónicas en las instalaciones de usuario final, el TDD se expresa como un porcentaje de la corriente de carga de máxima demanda.

Límites de Corriente Armónica:

La distorsión armónica de voltaje en el sistema será una función del total de corriente armónica inyectada y la impedancia del sistema a la frecuencia de cada una de las armónicas.

El objetivo de los límites de corriente es limitar la máxima frecuencia armónica individual de voltaje a un 3% del fundamental y al THD del voltaje a un 5% para sistemas que no presenten una resonancia en paralelo significativa a una de las frecuencias armónicas inyectadas.

Los límites de corrientes son desarrollados para que la máxima frecuencia de un voltaje armónico individual causado por un solo consumidor, no exceda los límites de la Tabla 2, para sistemas que puedan ser descritos por una impedancia de corto circuito.

Si los consumidores individuales alcanzan los límites de distorsión de corriente, y no hay suficiente diversidad entre los consumidores individuales en las armónicas inyectadas, será necesario implementar algún tipo de filtro en el sistema del proveedor para limitar los niveles de distorsión del voltaje.

Idealmente, las distorsiones armónicas provocadas por un consumidor individual deben ser limitadas a niveles aceptables en cualquier punto en el sistema; y el sistema completo debe ser operado sin distorsiones armónicas substanciales el

cualquier lugar del sistema. Los límites de distorsión armónica recomendados a continuación determinan la distorsión de corriente permitida para un consumidor.

Tabla 2: Base para los límites de corriente armónica. Fuente: IEEE 519-1992

SCR at PCC	Maximum Individual Frequency Voltage Harmonic (%)	Related Assumption
10	2.5–3.0%	Dedicated system
20	2.0–2.5%	1–2 large customers
50	1.0–1.5%	A few relatively large customers
100	0.5–1.0%	5–20 medium size customers
1000	0.05–0.10%	Many small customers

Las tabla 3, muestran los límites de distorsión armónica permitidos en primera instancia para diferentes grupos de órdenes de armónicas ($h < 11$, $11 < h < 17$, etc.) y en segunda instancia para el TDD calculado de la sumatoria de todos los órdenes de armónicas, según los niveles obtenidos de la relación de corriente de corto circuito en función de la corriente de demanda máxima (I_{sc}/I_L). La tabla 3, es la tabla a utilizar en el país, ya que los voltajes de alimentación comúnmente empleados en distribución no superan los 69 kV.

Los límites provistos por las tablas 3, deben ser usados como valores de diseño de sistemas para el peor de los casos en condiciones de operación normal (condiciones con una duración mayor a una hora).

Tabla 3: Límites de distorsión de corriente para Sistemas de Distribución Generales de 120V a 69 000 V. Fuente: IEEE 519-1992

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	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

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L .

where
 I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

Límites de Distorsión de Voltaje:

Los límites recomendados por la IEEE 519-1992 se relacionan con el índice de distorsión armónica total (THD), la Tabla 4, establece los límites de distorsión de voltaje proporcionado por la compañía proveedora del servicio eléctrico, establece tanto la máxima distorsión de voltaje por una armónica individual como para el THD, para diferentes rangos de voltaje presentes en el PCC.

Tabla 4: Límites de Distorsión de Voltaje, Fuente: IEEE 519-1992

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

NOTE — High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user.

Los límites establecidos esta tabla deben ser utilizados como valores de diseño para el peor caso del sistema en operación normal (condiciones con una duración mayor a una hora), para periodos más cortos, durante arranques o en condiciones inusuales, los límites pueden ser excedidos hasta en un 50%.

La entidad de reglamentar los índices de evaluación para calidad de energía eléctrica en el ecuador es el consejo Nacional de Electricidad (CONELEC).

La regulación para la calidad de energía eléctrica (CEE) en el país adotada por el CONELEC, al Igual que en la mayoría de países, se rige a los lineamientos promulgados por la IEC en sus normas de compatibilidad electromagnética “regulación N° CONELEC 004/01.- Calidad de servicio eléctrico de distribución”.

La Regulación No. CONELEC 004/01. Se considerará incumplimiento de esta regulación cuando los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (V_i') y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, superan los valores límite (V_i' y THD') señalados en la tabla siguiente:

A continuación mostraremos la tabla 5, con la cual se menciona anteriormente como se rige la regulación nacional de las distorsiones armónicas.

Tabla 5: Tolerancias para la Distorsión Armónica de Voltaje. Fuente: IEEE 519-1992

ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL DE VOLTAJE, DAIV [%]	
	BAJO Y MEDIO VOLTAJE V ≤ 40 kV	ALTO VOLTAJE V > 40 kV
IMPARES NO MULTIPLOS DE 3		
5	6.0	2.0
7	5.0	2.0
11	3.5	1.5
13	3.0	1.5
17	2.0	1.0
19	1.5	1.0
23	1.5	0.7
25	1.5	0.7
> 25	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$
IMPARES MULTIPLOS DE 3		
3	5.0	2.0
9	1.5	1.0
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
> 21	0.2	0.2
PARES		
2	2.0	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.5	0.4
10	0.5	0.4
12	0.2	0.2
> 12	0.2	0.2
THDv, EN %	8	3

IV. CAPITULO II: FUENTES DE ARMONICAS.

4.1. INTRODUCCION.

Las distorsiones armónicas son producidas por la operación de cargas no lineales.

Las cargas no lineales comunes incluyen los arrancadores de motores, los convertidores de velocidad variable, los ordenadores y otros dispositivos electrónicos, la iluminación electrónica, las alimentaciones para soldadura y las fuentes de alimentación ininterrumpida.

Es posible que las pantallas electrónicas y la iluminación experimenten fluctuaciones, que se disparen los interruptores, que fallen los ordenadores y que las mediciones arrojen valores falsos.

Si se desconoce la causa de los síntomas anteriores, entonces se justifica la investigación de la distorsión por armónicos.

4.2. FUENTES EMISORAS DE ARMÓNICAS EN PLANTAS INDUSTRIALES.

4.2.1. Motores de corriente Directa.

En la ilustración 16, se muestra el arreglo de un rectificador de seis pulsos, utilizado comúnmente en aplicaciones de motores de corriente directa y la onda cuadrada de corriente que el rectificador produce en cada una de las fases de corriente alterna con que se alimenta el motor. Además se observa la forma de onda de la corriente rectificada que llega al motor.

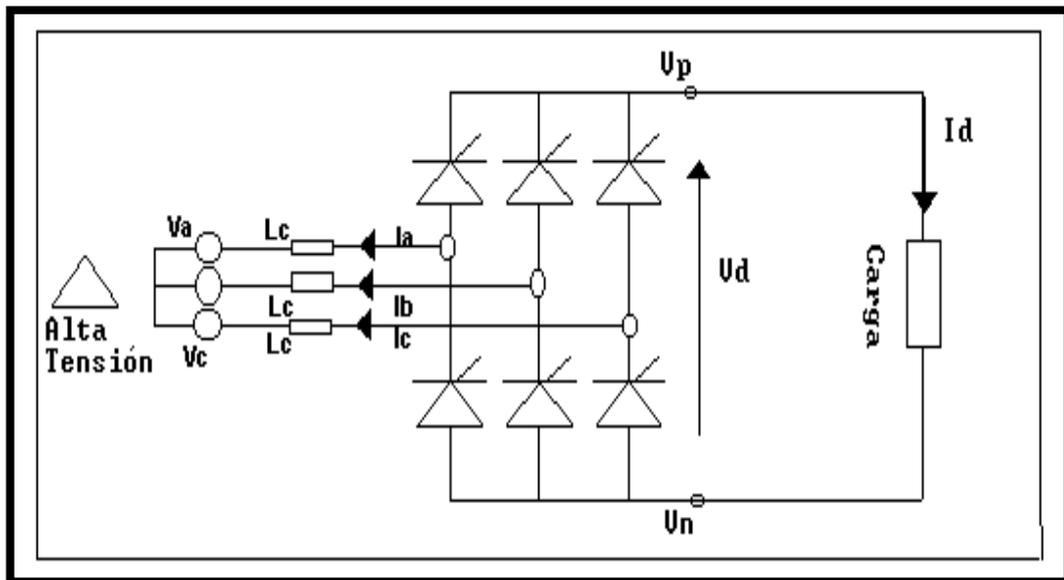


Ilustración 16: Configuración de un rectificador de 6 pulsos. Fuente: IEEE 519-1992

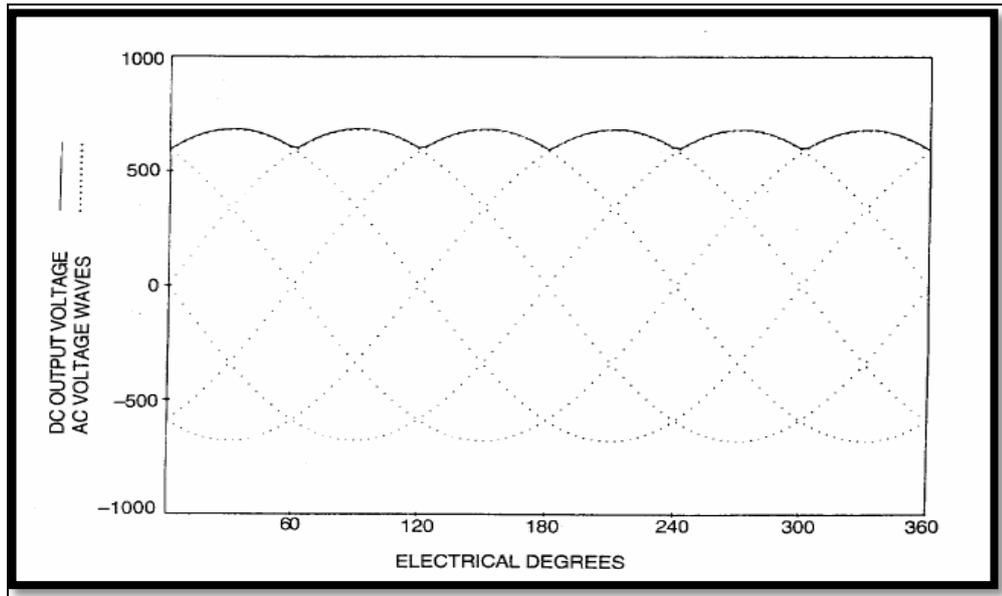


Ilustración 17: Forma de onda de la corriente rectificada. Fuente: IEEE 519-1992

La corriente ideal, cortada por el rectificador en forma cuadrada, sólo contiene armónicas impares y no puede contener armónicas de tercer orden o múltiplos de tres.

Esto debido a la influencia en los coeficientes de la serie de Fourier que tienen las simetrías de la forma de onda analizada.

En la ilustración 17, se muestra la secuencia de corrientes armónicas emitidas por motores de corriente directa y, en general, convertidores estáticos y rectificadores, dependiendo del número de pulsos p con que opere el rectificador y suponiendo que el dispositivo electrónico que controla los cortes de onda de tensión funcione correctamente.

La expresión:

$$h = np \pm 1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots, \text{etc.})$$

Da los diferentes órdenes de armónica h emitida.

La expresión:

$$I_H = I_M / h$$

Da la corriente I_H , emitida de cada armónica, en función de la corriente nominal del motor I_M , a frecuencia fundamental.

Estas fuentes emisoras se comportan prácticamente como fuentes de corriente ideales, es decir, que la corriente emitida para cada armónica es la misma, independientemente de la impedancia que muestre la red en el punto donde está conectada la fuente emisora.

Hecho importante para el análisis del flujo y distribución de estas corrientes a través del sistema eléctrico en que se están generando.

Para entender la gran cantidad de energía transportada por las corrientes armónicas que fluyen por el sistema eléctrico, es importante notar que se trata de corrientes reactivas, del mismo tipo que las corrientes que ocasionan el bajo factor de potencia a frecuencia fundamental, y que al estar desfasadas noventa grados frente a la fuerza electromotriz (tensión) que las produce, transportan una energía que fluye de la fuente a la red eléctrica y viceversa, que no se consume más que por las pérdidas en calor generadas por el efecto Joule y efectos de histéresis y de corrientes parásitas.

En la ilustración 18, se muestra el diagrama de barras del espectro de corrientes armónicas emitidas por un motor de corriente directa, operando con un rectificador de 6 pulsos.

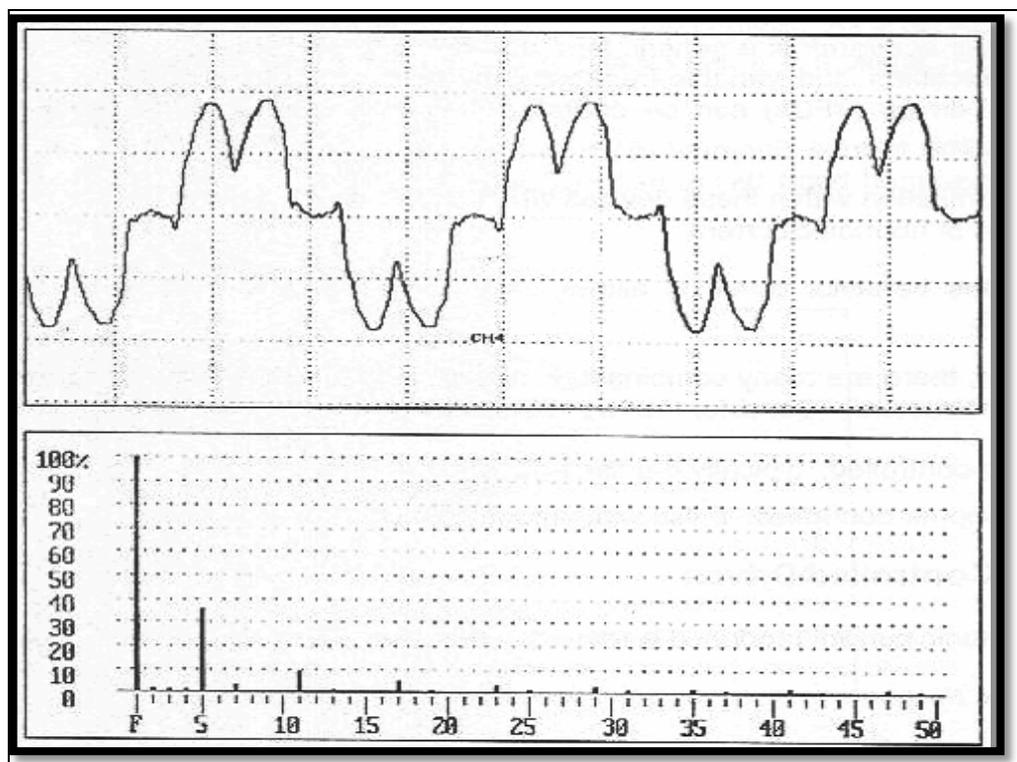


Ilustración 18: Espectro de corrientes armónicas emitidas por un motor de corriente directa operando con un rectificador de 6 pulsos. Fuente: Autor

4.2.2. Convertidores de frecuencia (variadores).

Estos dispositivos generan espectros similares en la onda de corriente a los producidos por los rectificadores que alimentan a motores de corriente directa aunque la distorsión armónica total producida por variadores suele ser en la práctica de mayor magnitud que la producida por rectificadores de motores de corriente directa.

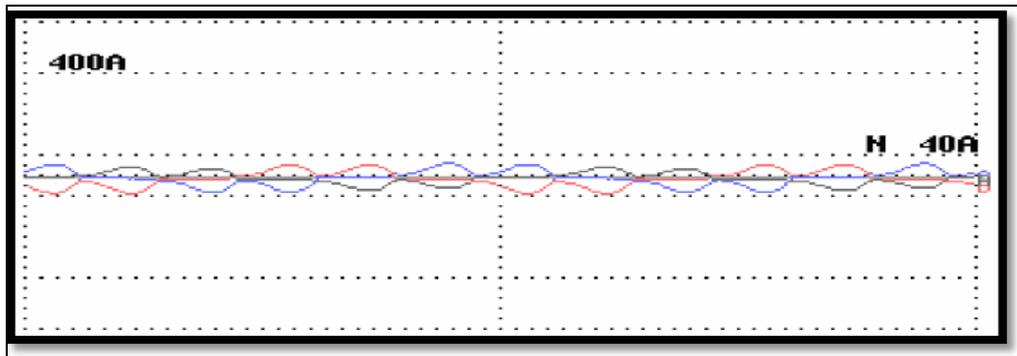


Ilustración 19: Corrientes emitido un variador de frecuencia. Fuente: Autor

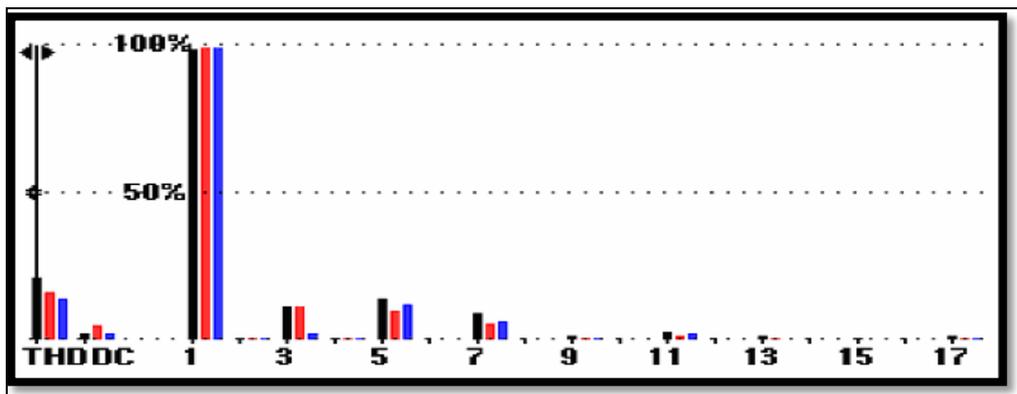


Ilustración 20: Espectro armónico emitido un variador de frecuencia. Fuente: Autor

4.2.3. Traforrectificadores (En procesos químicos).

Los traforrectificadores producen distorsión armónica típica de los rectificadores de seis o de doce pulsos.

4.2.4. Reactores controlados por tiristores (compensadores estáticos).

Los reactores controlados por tiristores producen la distorsión armónica típica de los rectificadores de seis pulsos.

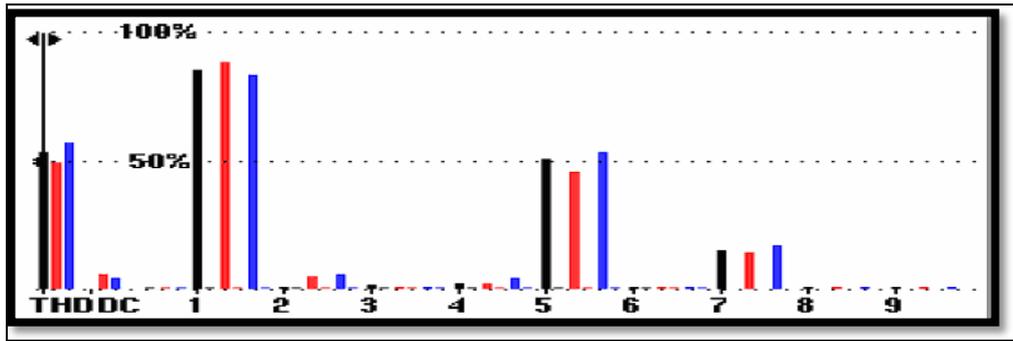


Ilustración 21: Espectro armónico emitido por un reactor controlado por tiristores. Fuente: Autor

4.2.5. Interruptores gobernadores por tiristores.

Los interruptores gobernadores por tiristores producen la distorsión armónica típica de los rectificadores de seis pulsos.

4.2.6. Hornos de Arco.

Los hornos de arco producen voltajes armónicos por la continua y aleatoria formación de arco entre los electrodos y la carga del horno.

Estos generan grandes magnitudes de voltajes del tercer orden de armónica, seguidos en magnitud por armónicas de quinto y séptimo orden. Los hornos de arco producen armónicas de orden par.

Conforme la carga del horno se derrite y se transforma de un sólido a un baño líquido, la magnitud de la tercera armónica disminuye y la quinta armónica domina.

La carga de formación de arco de un circuito de un horno no está balanceada en las tres fases. Por tal razón, el voltaje de la tercera armónica no tiene secuencia cero. Así, la corriente de la tercera armónica que fluye del horno de arco no será atrapada en el devanado en delta del transformador del horno.

La ilustración 22, muestra un espectro típico de las corrientes armónicas emitidas por hornos de arco para fundición de acero.

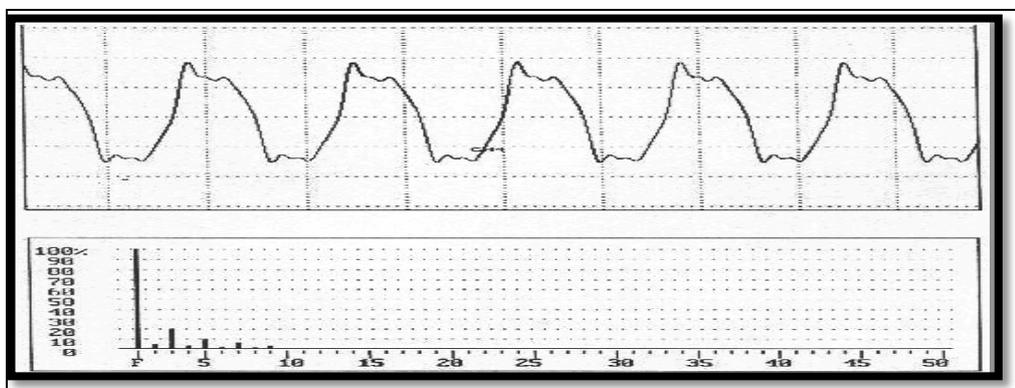


Ilustración 22: Corrientes y espectro armónico emitido por hornos de arco. Fuente: Autor

4.2.7. Equipos de soldadura.

Estos equipos producen fuertes distorsiones en la onda de corriente, con espectros variables según el modo de operación y la potencia de las máquinas soldadoras.

4.2.8. Transformadores sobreexcitados.

La corriente de entrada contiene magnitudes significativas de armónicas de orden bajos, como de 2do, 3er, 4to, etc., que va disminuyendo en magnitud conforme la frecuencia armónica aumenta.

Cuando un transformador alcanza un estado estable después de la energización, las armónicas restantes en la corriente de excitación son insignificantes.

Estos dispositivos producen armónicas de tercer y noveno orden en la onda de corriente.

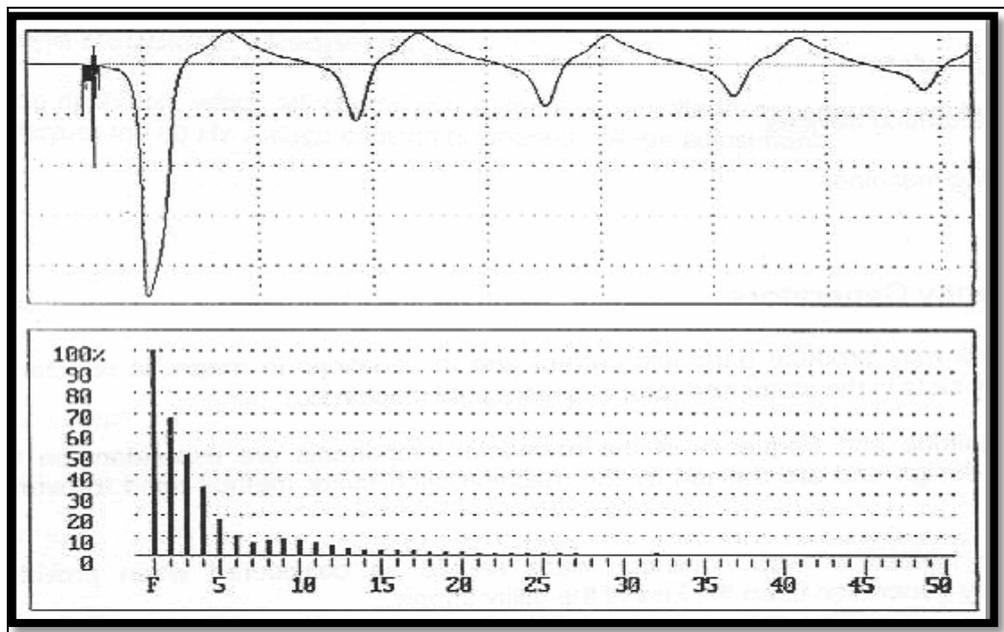


Ilustración 23: Corrientes y espectro armónico emitido por transformadores. Fuente: Autor

4.2.9. Molinos de laminación y trituradores.

Los molinos de laminación y trituradores producen espectros armónicos de forma aleatoria en la onda de corriente.

4.2.10. Generadores de Emergencia.

Los generadores pueden producir corrientes armónicas debido a las variaciones en la reluctancia magnética causada por los espacios en el estator y rotor de motores de polo saliente. La magnitud y frecuencia de las componentes armónicas dependen del

diseño del motor y están definidas por el método del factor del tono de la máquina utilizado para traslapar el devanado.

Es importante considerar la interacción armónica con cargas no lineales cuando entran los generadores de emergencia al interrumpirse el suministro eléctrico.

4.3. FUENTES EMISORAS DE ARMÓNICAS EN OFICINAS U OTROS ESTABLECIMIENTO COMERCIALES.

4.3.1. Alumbrado fluorescente.

Este tipo de sistemas producen niveles de distorsión armónica de hasta 26% en la onda de corriente. La norma ANSI 62.41 recomienda valores máximos de 32%.

En todos los casos, el espectro de estas ondas muestra un alto contenido de tercera, novena y quinceava armónicas.

Además estos equipos pueden producir un alto grado de emisión magnética, tanto más importante cuánto más alta es su frecuencia de operación (la frecuencia usual de los balastos electrónicos está entre los 20 y 40 KHz).

Lo que puede producir interferencias en equipos electrónicos lectores de barras, detectores de artículos en almacenes comerciales y bibliotecas, relojes, etc.

4.3.2. Equipos de telecomunicaciones.

Los equipos de telecomunicaciones producen niveles de distorsión armónica de hasta 26% en la onda de corriente.

4.3.3. Controladores para edificios inteligentes.

Los controladores para edificios inteligentes producen niveles de distorsión armónica de hasta 58% en la onda de corriente.

4.3.4. Grandes computadoras.

Las grandes computadoras producen niveles de distorsión armónica de hasta 81% en la onda de corriente.

La ilustración 24, muestra la distorsión armónica típica provocada en la onda de corriente por diferentes diseños de fuentes de poder para computadoras.

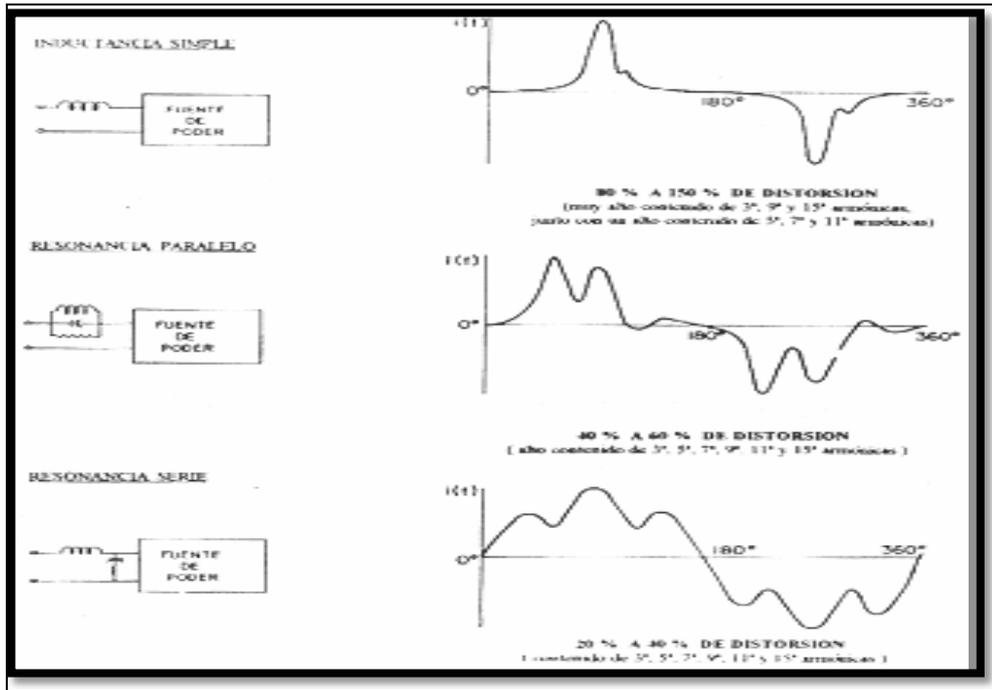


Ilustración 24: Distorsión armónica típica provocada en la onda de corriente por diferentes diseños de fuentes de poder para computadoras. Fuente: Autor

4.3.5. PC's, impresoras, computadoras portátiles.

Todo equipo electrónico a 120/208 V utilizan fuentes de energía de conmutación, como lo son computadoras portátiles y periféricos, equipos electrónicos de entretenimiento, dispositivos de prueba y diagnóstico, etc.

Estas producen niveles de distorsión armónica de hasta un 124% en la onda de corriente, con alto contenido en la tercera, quinta, séptima, onceava y quinceava armónica.

A continuación se compara una fuente de energía convencional y una fuente de energía de conmutación.

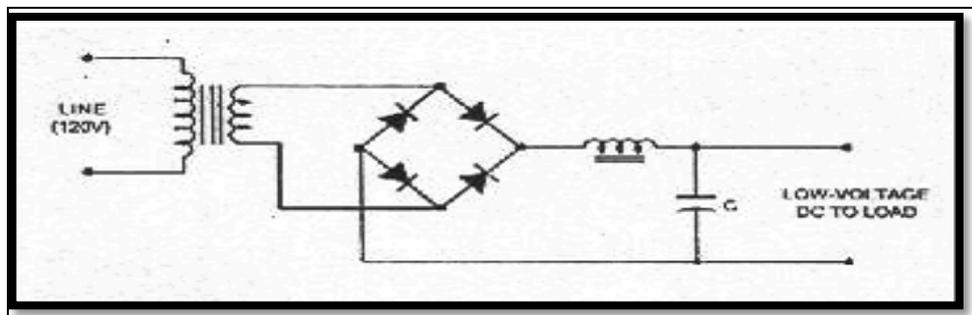


Ilustración 25: Fuente de Poder Convencional. Fuente: Autor

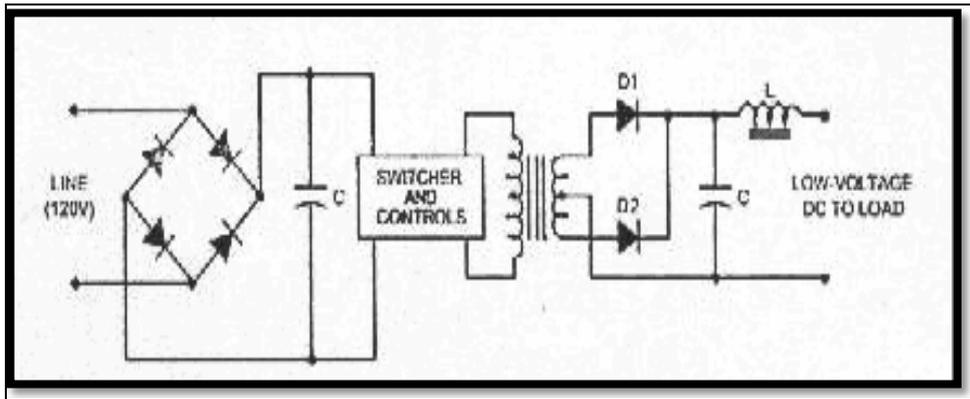


Ilustración 26: Fuente de Poder de Conmutación. Fuente: Autor

En la ilustración 27, se muestra un ejemplo de la forma de onda y espectro de la corriente emitida por fuentes de poder de conmutación.

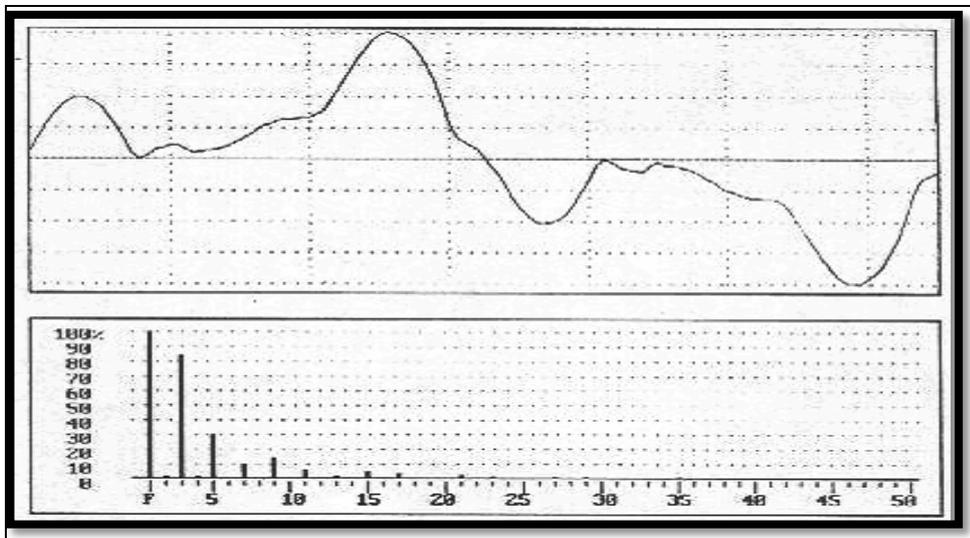


Ilustración 27: Forma de onda y espectro armónico de corriente emitido por fuentes de poder de conmutación. Fuente: Autor

Este tipo de fuente son cargas monofásicas y generan cantidades significativas de corriente armónica de tercer orden. Las corrientes armónicas de tercer orden tienen secuencia cero, y todas las corrientes de secuencia cero están en fase.

Cuando las tres fases de un circuito contienen este tipo de fuentes, como usualmente sucede, las corrientes armónicas de tercer orden y las de orden de múltiplos de 3 de todas las fases se sumarán algebraicamente y se devolverán a la fuente a través del neutro del circuito.

Los conductores neutros del circuito pueden contener hasta un 267% de distorsión de corriente. Los conductores del neutro y los transformadores de suministro deben de estar dimensionados para sobrellevar la carga armónica impuesta por las cargas de fuentes de poder de conmutación.

4.3.6. Sistemas de poder ininterrumpido (UPS's).

Los sistemas de poder ininterrumpida o UPS's producen niveles de distorsión armónica de hasta 26% en la onda de corriente.

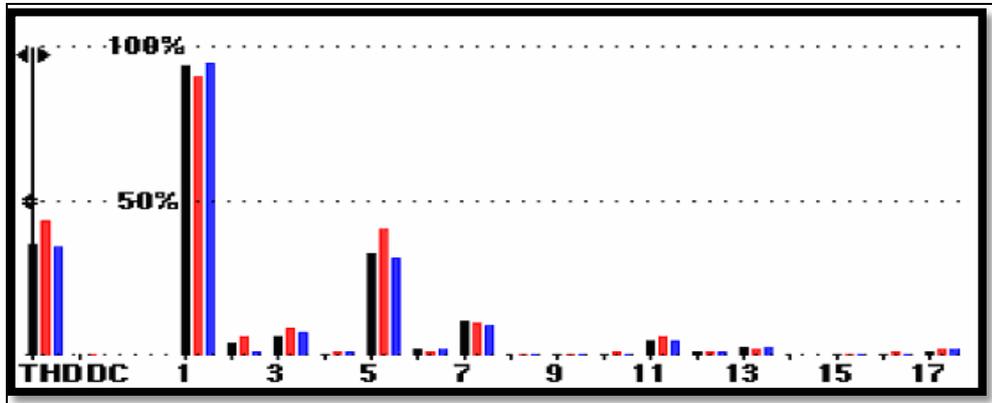


Ilustración 28: Espectro de armónico emitido por la combinación de sistemas de poder ininterrumpido UPS's. Fuente: Autor

4.3.7. Elevadores accionados por medio de control electrónico

Los elevadores accionados por medio de control electrónico producen niveles de distorsión armónica de hasta 45% en la onda de corriente.

V. CAPITULO III: EFECTOS DE LOS ARMONICOS EN LOS EQUIPOS DE DISTRIBUCION ELECTRICA COMERCIAL E INDUSTRIAL.

5.1. INTRODUCCION.

Los efectos de las armónicas en un sistema de distribución eléctrica tienen influencia sobre las pérdidas, operación y en el desempeño del sistema. A menos de que las armónicas sean controladas hasta límites aceptables, los equipos de potencia y especialmente los equipos electrónicos pueden ser dañados, dando como resultado costosos cambios de equipos.

El grado de tolerancia a armónicas se determina por la susceptibilidad de la carga o fuente de poder a las mismas, el equipo con mayor tolerancia a armónicas es el equipo cuya función principal es calentar, como el caso de un horno, en este caso la energía de las armónicas es utilizada en la mayoría de los casos, y por lo tanto es tolerable en su totalidad.

El equipo con menor tolerancia a armónicas es el equipo cuyo diseño o construcción requiere una fuente de alimentación con una señal sinusoidal fundamental casi perfecta, este tipo de equipo se encuentra frecuentemente en equipos de comunicación y procesamiento de datos.

La tolerancia de los motores cae en medio de los extremos antes mencionados, la mayoría de motores son relativamente tolerantes a armónicas. Aún en el caso del equipo con mayor tolerancia a armónicas, éstas pueden ser altamente perjudiciales. Por ejemplo en el caso de un horno éstas pueden causar sobrecargas dieléctricas térmicas o sobre voltaje, que reduce la vida útil del aislamiento eléctrico de sus componentes.

Los efectos de las armónicas se deben tanto a corrientes como a voltajes, los efectos producidos por corrientes armónicas son comúnmente vistos en el desempeño cotidiano de los equipos, mientras que los efectos de voltajes armónicos son responsables generalmente de degradar los aislamientos eléctricos y por lo tanto, disminuir la vida útil de los equipos.

A continuación describen algunos de los efectos comunes de armónicas:

- a) Aumento de las pérdidas entre los equipos y los cables, líneas y demás dispositivos asociados.
- b) Intermitencia y reducción del par de torsión en equipos rotativos.
- c) Envejecimiento prematuro debido al incremento de estrés sobre el aislamiento del equipo.
- d) Aumento de ruido auditivo de equipo rotativo y estático.
- e) Mala operación de equipos sensibles a las formas de onda.

- f) Amplificación substancial de corrientes y voltajes debido a resonancia.
- g) Interferencia en sistemas de comunicación debido a uniones inductivas entre circuitos de potencia y comunicación.

A continuación se analizarán los efectos de armónicas en diferentes equipos dentro de una instalación eléctrica.

5.2. EFECTO EN MAQUINAS ROTATORIAS Y MOTORES DE INDUCCIÓN.

Las maquinas como los motores y generadores están expuestos a operar bajo condiciones no ideales, estas condiciones implican las armónicas las cuales tienen un efecto considerable sobre la operación de estas maquinas.

5.2.1. Efecto en los Motores de Inducción.

El efecto de las armónicas, se presenta principalmente en el calentamiento del mismo provocando pérdidas en el núcleo, además de que provoca pares parásitos en la flecha del mismo, provocando pares pulsantes los cuales llevan al motor a una degradación rápida del mismo.

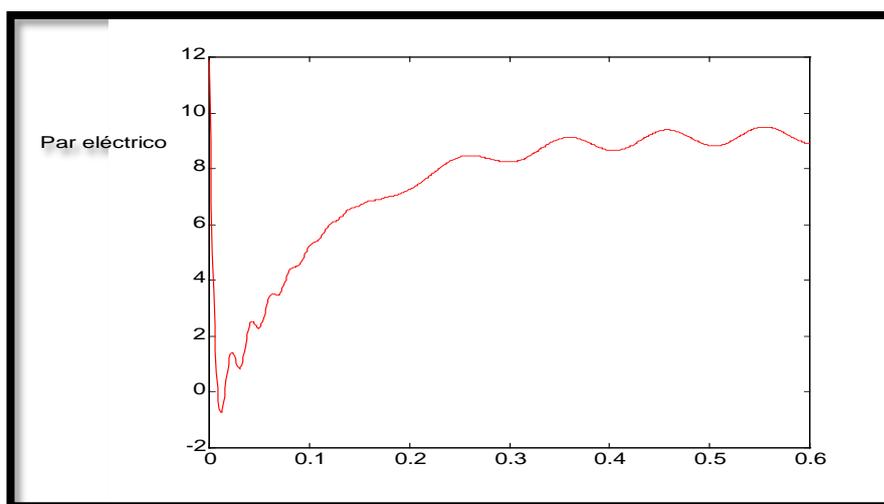


Ilustración 29: Par eléctrico de un motor ante condiciones desbalanceadas.
Fuente: IEB S.A, Armónicos en sistemas eléctricos, 2009.

Sin embargo uno de los casos más problemáticos es cuando en el voltaje de alimentación de los motores se encuentran voltajes armónicos múltiplos de tres, además de que estos voltajes pueden ser desbalanceados.

Si el voltaje que se alimenta a un motor de inducción contiene componentes armónicas, entonces se incrementarán sus pérdidas I^2R en el rotor y estator, pérdidas de núcleo (Eddy e Histéresis) y pérdidas adicionales, en tanto que las pérdidas de fricción y ventilación no son afectadas por las armónicas.

En forma más detallada, tenemos el siguiente análisis de las pérdidas.

Pérdidas I²R en el estator: Según IEEE, las pérdidas en el estator son determinadas utilizando la resistencia a corriente directa de la máquina, corregida a la temperatura especificada, al operar la máquina de inducción con voltajes con contenido armónico no sólo aumentan estas pérdidas por el efecto piel que incrementa el valor de la resistencia efectiva, sino que también aumenta el valor de la corriente de magnetización, incrementándose aún más las pérdidas I²R.

Pérdidas I²R en el rotor: Estas aumentan de manera más significativa que las anteriores, por el diseño de la jaula en los motores de inducción que se basa en el aprovechamiento del efecto piel para el arranque, esta resistencia aumenta en forma proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia y por ende las pérdidas.

Pérdidas de núcleo: Estas pérdidas son función de la densidad de flujo en la máquina, estas aumentan con excitación de voltaje no sinusoidal puesto que se tienen densidades de flujo pico más elevadas, sin embargo su aumento es aún menor que el de las pérdidas mencionadas anteriormente e incluso son más difíciles de cuantificar.

Pérdidas adicionales: Son muy difíciles de cuantificar aun bajo condiciones de voltaje sinusoidal, al aplicar voltaje no sinusoidal, éstas aumentan en forma particular para cada máquina.

Torque en el motor de inducción: Las armónicas de secuencia positiva producen en el motor de inducción un torque en el mismo sentido de la dirección de rotación, en tanto que las de secuencia negativa tienen el efecto opuesto, en caso de que se tenga conectado el neutro, el par producido por las armónicas “triples” es igual a cero, dependiendo del contenido armónico del voltaje aplicado, el par promedio de operación puede verse disminuido considerablemente, sin embargo en la mayoría de los casos el efecto producido por las armónicas de secuencia negativa se cancela con el efecto de las de secuencia positiva, por lo que su efecto neto en el par promedio puede despreciarse.

La interacción de las corrientes armónicas del rotor con el flujo en el entrehierro de otra armónica resultan torques pulsantes en los motores, los que pueden afectar la calidad del producto donde las cargas de los motores son sensibles a estas variaciones, estos torques pulsantes también pueden excitar una frecuencia de resonancia mecánica lo que resultaría en oscilaciones que pueden causar fatiga en el motor y otras partes mecánicas conectadas, por lo general la magnitud de estos torques es generalmente pequeña y su valor promedio es cero.

5.2.2. Efectos En Generadores Sincrónicos.

El generador sincrónico al alimentar una carga desbalanceada se provoca una circulación de corriente de secuencia negativa, esta corriente de secuencia negativa se induce al rotor del generador provocando este a su vez una corriente en el estator de tercera armónica. Este proceso continua provocando la distorsión armónica de la corriente y por ende la del voltaje.

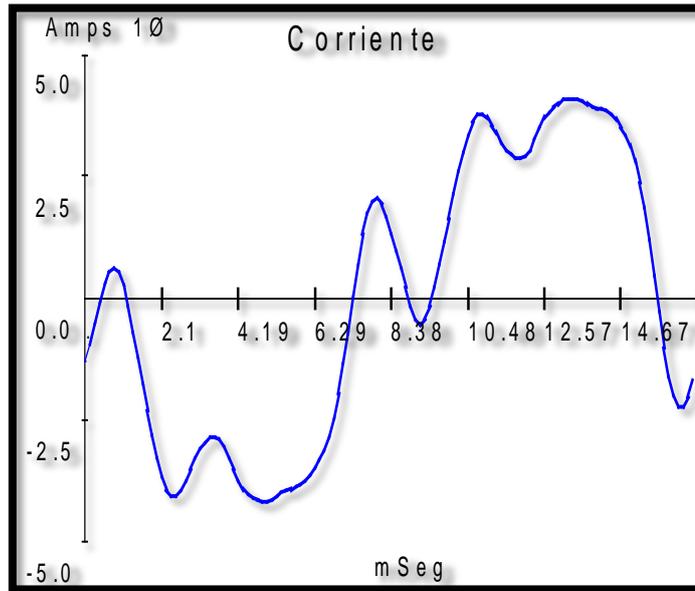


Ilustración 30: Onda de corriente de un generador al alimentar una carga desbalanceada.
Fuente: IEB S.A, Armónicos en sistemas eléctricos, 2009.

5.3. TRANSFORMADORES.

Los efectos de armónicas en los transformadores son aquellos que se presentan por calentamiento, además de aumentar el ruido auditivo.

Se debe recalcar que las pérdidas en transformadores causados por voltajes y corrientes armónicas, son dependientes de la frecuencia, las pérdidas aumentan con el aumento en frecuencia y por lo tanto, las componentes armónicas con alta frecuencia pueden provocar mayor calentamiento de transformadores que componentes armónicas de frecuencia baja.

Aunque los transformadores son dimensionados para la operación con cargas de 60 Hz, cuando estos alimentan cargas no lineales evidencian un incremento notable en sus pérdidas; tanto en las de núcleo como las de cobre, las corrientes armónicas de frecuencias más altas provocan pérdidas de núcleo incrementadas en proporción al cuadrado de la corriente de carga rms y en proporción al cuadrado de frecuencia debido al efecto pelicular, el incremento en las pérdidas de cobre se debe a la circulación de corrientes armónicas de secuencia positiva y negativa transportadas en los conductores de fase provenientes de cargas generadoras de armónicos monofásicas y trifásicas, y a la circulación de las corrientes armónicas triples de secuencia cero que son transportadas en los conductores neutros desde las cargas no lineales generadoras de armónicos.

Los armónicos triples de secuencia cero se suman algebraicamente en el neutro y pasan a través del sistema de distribución hasta que alcanzan un transformador conectado en delta-estrella, cuando las corrientes de neutro de armónicos triples alcanzan un transformador delta-estrella la misma es reflejada dentro del devanado primario en delta donde circula y causa sobrecalentamiento y fallas.

La mayoría de los transformadores están diseñados para operar con corriente alterna a una frecuencia fundamental (50 ó 60 Hz), lo que implica que operando en condiciones de carga nominal y con una temperatura no mayor a la temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse ni deteriorar su vida útil.

Las pérdidas en los transformadores consisten en pérdidas sin carga o de núcleo y pérdidas con carga, que incluyen las pérdidas I²R, pérdidas por corrientes de Eddy y pérdidas adicionales en el tanque, sujetadores, u otras partes de hierro.

De manera individual, el efecto de las armónicas en estas pérdidas se explica a continuación:

Pérdidas sin carga o de núcleo: Producidas por el voltaje de excitación en el núcleo, La forma de onda de voltaje en el primario es considerada sinusoidal independientemente de la corriente de carga, por lo que no se considera que aumentan para corrientes de carga no sinusoidales, aunque la corriente de magnetización consiste de armónicas, éstas son muy pequeñas comparadas con las de la corriente de carga, por lo que sus efectos en las pérdidas totales son mínimos.

Pérdidas I²R: Si la corriente de carga contiene componentes armónicas, entonces estas pérdidas también aumentarán por el efecto piel.

Pérdidas por corrientes de Eddy: Estas pérdidas a frecuencia fundamental son proporcionales al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia, razón por la cual se puede tener un aumento excesivo de éstas en los devanados que conducen corrientes de carga no sinusoidal (y por lo tanto en también en su temperatura).

Estas pérdidas se pueden expresar como:

$$P_e = P_{e,R} \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} \left[\frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^2$$

Donde:

h = armónica

I_h = corriente de la armónica h, en amperes

I_R = corriente nominal, en amperes

P_e, R = pérdidas de Eddy a corriente y frecuencia nominal

Pérdidas adicionales: Estas pérdidas aumentan la temperatura en las partes estructurales del transformador, y dependiendo del tipo de transformador

contribuirán o no en la temperatura más caliente del devanado, Se considera que varían con el cuadrado de la corriente y la frecuencia, como se muestra en la ecuación.

$$P_{AD} = P_{AD,R} \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} \left[\frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^2$$

Donde:

P_{AD} , R = pérdidas adicionales a corriente y frecuencia nominal

Aun teniendo estas pérdidas, algunas cargas no lineales presentan una componente de corriente directa en la corriente de carga, si este es el caso, esta componente aumentará las pérdidas de núcleo ligeramente, pero incrementarán substancialmente la corriente de magnetización y el nivel de sonido audible, por lo que este tipo de cargas se debe evitar.

5.4. CABLES DE POTENCIA.

Los cables involucrados en la resonancia de un sistema, pueden ser expuestos a sobre voltajes y al efecto corona, que pueden conducir a fallas dieléctricas (aislamiento), los cables que se someten a niveles ordinarios de armónicas son propensos a calentamientos.

El flujo de corriente no-sinusoidal en un conductor provocará calentamiento adicional por encima del que se esperaría para el valor *rms* de la forma de onda.

Al circular corriente a través de un conductor se produce calentamiento como resultado de las pérdidas por efecto Joule, I^2R donde R es la resistencia a corriente directa del cable y la corriente está dada por el producto de la densidad de corriente por el área transversal del conducto, a medida que aumenta la frecuencia de la corriente que transporta el cable disminuye el área efectiva por donde está circula puesto que la densidad de corriente crece en la periferia exterior, lo cual se refleja como un aumento en la resistencia efectiva del conductor como se muestra en la siguiente figura 4.3.

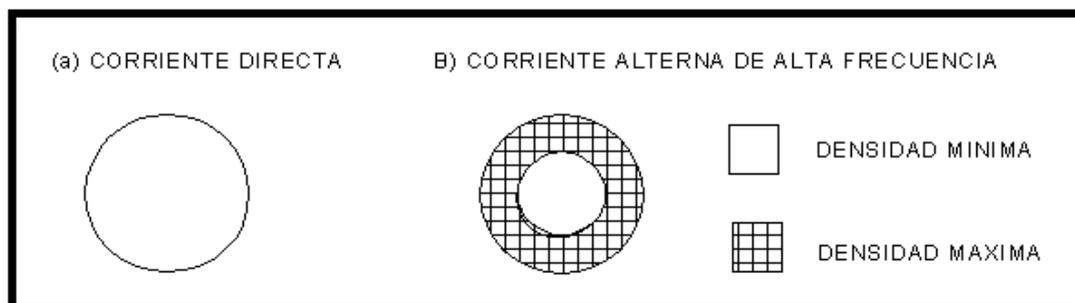


Ilustración 31. Densidad de corriente de un mismo conductor. Fuente: Autor

Por lo tanto, la resistencia a corriente alterna de un conductor es mayor que su valor a corriente directa y aumenta con la frecuencia, por ende también aumentan las pérdidas por calentamiento.

A frecuencia de 60 Hz, este efecto se puede despreciar, no por que no exista, sino porque este factor no se considera en la manufactura de los conductores. Sin embargo con corrientes distorsionadas, las pérdidas por efecto Joule son mayores por la frecuencia de las componentes armónicas de la corriente. La Tabla #4.1 muestra la razón entre la resistencia de alterna y la de directa producida por el efecto piel en conductores redondos, a frecuencias de 60 y 300 Hz.

Tabla 6: Detalle de efecto de piel en los conductores. Fuente: Autor

Tamaño del conductor	Resistencia AC / Resistencia DC	
	60 Hz	300 Hz
300 MCM	1.01	1.21
450 MCM	1.02	1.35
600 MCM	1.03	1.50
750 MCM	1.04	1.60

5.5. CAPACITORES.

Una preocupación importante del uso de capacitores en sistemas de potencia es la posibilidad de que el sistema entre en resonancia.

El principal problema que se puede tener al instalar un banco de capacitores en circuitos que alimenten cargas no lineales, es la resonancia tanto serie como paralelo, como se muestra en la ilustración 32, medida que aumenta la frecuencia, la reactancia inductiva del circuito equivalente del sistema de distribución aumenta, en tanto que la reactancia capacitiva de un banco de capacitores disminuye, existirá entonces al menos una frecuencia en la que las reactancias sean iguales, provocando la resonancia.

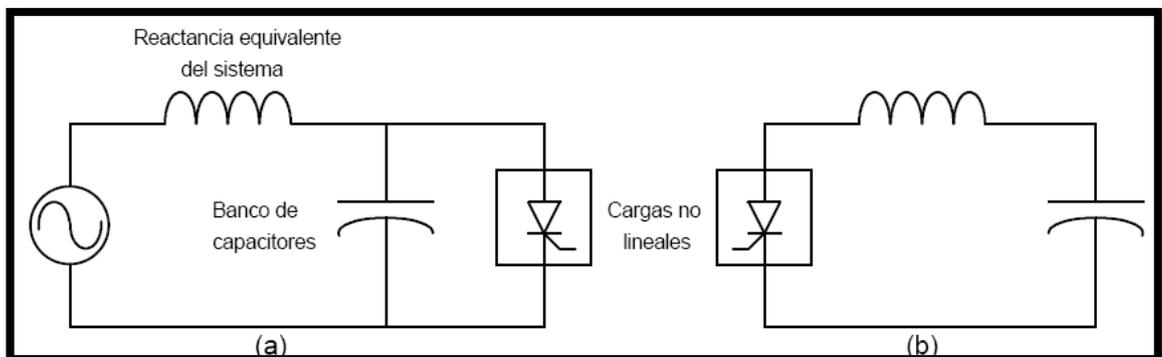


Ilustración 32: Circuito con resonancia paralelo y en resonancia serie. Fuente: Autor

Resonancia paralelo: La Ilustración 33, muestra el circuito equivalente para el análisis de la resonancia paralelo en un sistema eléctrico, la carga no lineal inyecta al sistema corrientes armónicas, por lo que el efecto de dichas corrientes se puede analizar empleando el principio de superposición, de esta manera, el circuito equivalente a distintas frecuencias se puede dibujar como se muestra en la siguiente ilustración.

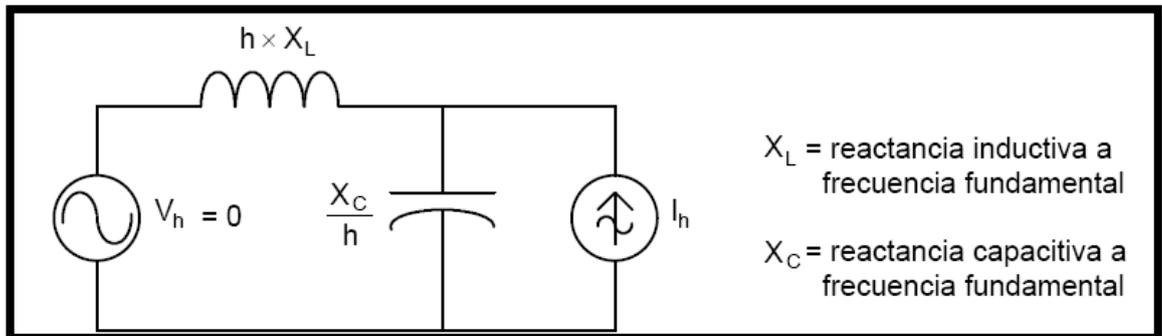


Ilustración 33: Circuito equivalente para el análisis del sistema a frecuencias armónica. Fuente: Autor

En general, la fuente de voltaje V_h vale cero (cortocircuito), puesto que sólo presenta voltaje a frecuencia fundamental. Entonces a frecuencias armónicas, el circuito equivalente visto por la carga (fuente de corrientes armónicas) será una inductancia y capacitancia en paralelo, por lo que la frecuencia de resonancia se tendrá cuando:

$$f = f_1 \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$$

Donde

f_1 = frecuencia fundamental

Si la carga inyecta una corriente armónica de una frecuencia igual o cercana a la frecuencia de resonancia paralela del sistema, entonces las corrientes y voltajes experimentarán una amplificación puesto que la admitancia equivalente se acerca a cero (impedancia muy alta), esto produce los problemas de calentamiento inherentes a las corrientes armónicas (en cables, transformadores, interruptores), la operación de fusibles, y el posible daño o envejecimiento prematuro de equipo.

Resonancia Serie: Esta resulta en un circuito como el mostrado en la ilustración 32, En este caso la expresión matemática de la frecuencia de resonancia es la misma que muestra la ecuación, la diferencia es que ahora el circuito presenta una trayectoria de baja impedancia a las corrientes armónicas (casi un cortocircuito), esta resonancia causará problemas similares a los que se tienen en el caso de la resonancia paralelo.

Una forma de minimizar los problemas de resonancia por la instalación de bancos de capacitores consiste en distribuir los mismos en diferentes puntos del sistema, para alejar la frecuencia de resonancia a valores más altos, también es importante

considerar que los capacitores se deben conectar en delta y/o estrella no aterrizada (para evitar atraer las armónicas “triples”) en sistemas menores a 69 kV.

El resultado del sobrecalentamiento y sobre voltajes a consecuencia de las armónicas es la disminución de la vida útil de los capacitores.

5.6. EQUIPO ELECTRONICO.

El equipo electrónico es susceptible a fallas en su funcionamiento debido a distorsiones armónicas, comúnmente éste tipo de equipo es dependiente de la precisa determinación de los cruces por cero de la señal de voltaje u otros aspectos de la forma de onda del voltaje.

La distorsión armónica puede provocar el desplazamiento del cruce por cero de la señal de voltaje o el punto al que un voltaje de fase a fase se hace mayor que otro voltaje de fase a fase, ambos son puntos críticos para muchos tipos de controles de circuitos electrónicos, y su mal funcionamiento puede ser consecuencia de estos desplazamientos.

Otros tipos de equipos electrónicos pueden ser afectados por la transmisión de armónicas de la fuente de corriente alterna a través de la fuente de poder del equipo o por uniones magnéticas de las armónicas hacia los componentes del equipo.

Frecuentemente las computadoras y los equipos asociados como los controladores programables requieren fuentes de corriente alterna que contengan un factor de distorsión de voltaje armónico no mayor a un 5%, y que la mayor armónica individual sea no mayor a un 3% del voltaje fundamental, mayores niveles de armónicas provocan un funcionamiento errático, a veces sutil, del equipo que en algunos casos puede tener consecuencias serias.

Los instrumentos pueden ser afectados de forma similar, proporcionando datos erróneos o con un funcionamiento impredecible, probablemente la situación más seria es el mal funcionamiento en instrumentos médicos. Por esta razón, muchos instrumentos médicos son provistos con una línea de potencia acondicionada, los efectos de interferencia de las armónicas sobre equipos de radio y televisión son menos dramáticos, así como en grabadoras de video y sistemas de reproducción de audio.

Debido a que la mayoría de equipos electrónicos están alimentados por un nivel de voltaje menor que el sistema de distribución de poder asociado a ellos, frecuentemente se le expone a efectos provocados por huecos de tensión, frecuentemente las depresiones de voltaje introducen frecuencias armónicas y no armónicas que son mucho mayores que lo normalmente exhibido en sistemas de distribución de voltaje de 5kV y mayores, estas frecuencias pueden ser en la escala de frecuencia de radio (RF) y como tales, pueden introducir efectos dañinos asociados con señales falsas de RF, estos efectos son generalmente los de interferencia de señales introducidas en una lógica o circuitos de comunicación. Ocasionalmente, el efecto de los huecos de tensión es de suficiente potencia para

sobrecargar los filtros de interferencia electromagnética (EMI) y circuitos capacitivos sensibles a altas frecuencias.

5.7. EQUIPOS DE MEDICIONES E INSTRUMENTACION.

Los equipos de medición e instrumentación son afectados por componentes armónicas, particularmente si existen condiciones de resonancia que provocan altos voltajes y corrientes armónicas en el circuito, dispositivos con discos de inducción, como medidores de watts por hora, normalmente miden únicamente la corriente fundamental, sin embargo, el desbalance de las fases del sistema producido por distorsiones armónicas puede provocar la operación errónea de estos dispositivos.

Aparatos de disco de inducción, tales como watímetros y relevadores de sobre corriente son diseñados y calibrados solamente para la corriente y el voltaje fundamental.

La presencia de corrientes y voltajes armónicas generan un par electromagnético adicional en el disco causando operaciones erróneas, la distorsión debe ser severa (mayor del 20%) para que se detectan errores importantes.

Error que presenta un watímetro de inducción cuando se tiene una carga resistiva a través de un tiristor el cual interrumpe el paso de la corriente.

5.8. ACTUADORES DE CONMUTACION Y EQUIPOS DE PROTECCION.

Así como en otros equipos, las corrientes armónicas pueden aumentar el calentamiento y las pérdidas en los actuadores de conmutación, reduciendo la capacidad de conducción de corriente en estado estable y acortando la vida útil de algunos componentes de aislamiento.

Los fusibles sufren una disminución de su capacidad eléctrica nominal, debido al calor generado por armónicas durante su operación "normal".

Los relés de protección generalmente no responden a un parámetro identificable como el valor *rms* de una cantidad primaria o de la componente de la frecuencia fundamental de esa cantidad, el desempeño de un relé a un rango de entradas de frecuencia única no es una indicación de cómo responderá ese relé a una onda distorsionada conteniendo esas frecuencias, la superposición no aplica.

Relés de entradas múltiples son más impredecibles que relés de entrada única, al estar presentes distorsiones de onda, la respuesta de relés bajo condiciones de distorsión puede variar entre relés que cuentan con las mismas características de frecuencia fundamental, no sólo entre los diferentes fabricantes, sino también entre las diferentes generaciones de relés de un mismo fabricante.

5.9. INTERFERENCIA TELEFONICA.

La presencia de corrientes o voltajes armónicos en sistemas de circuitos relativos a equipos de conversión pueden producir campos magnéticos y eléctricos que pueden

impedir el desempeño satisfactorio de sistemas de comunicación que, debido a la proximidad y susceptibilidad de los mismos, pueden ser perturbados, para un arreglo físico específico, es claro que la perturbación es una función de la amplitud y la frecuencia de la componente de perturbación en el equipo de conversión.

El Factor de Influencia Telefónica (TIF) y el Factor de Armónicos Telefónicos (THF) miden los posibles efectos de los armónicos en forma de onda del generador en los circuitos telefónicos, el TIF se usa en los Estados Unidos, mientras que el THF se usa en otros lugares alrededor del mundo. El TIF y el THF se miden en los terminales del generador en circuitos abiertos a voltaje y frecuencia de clasificación.

Factor de Influencia Telefónica (TIF): Refleja el grado en el cual una corriente armónica induce un voltaje en un circuito de comunicación.

$$TIF = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (w_n I_n)^2}$$

Donde

w_n : es un factor de peso para tomar en cuenta los efectos de audio y acoplamiento inductivo.

Los índices de distorsión definidos son utilizados para describir los efectos cuantitativos de las armónicas en las cargas y aparatos eléctricos.

El peso se refiere a la onda o armónico con mayor efecto en el circuito. Mientras más alto sea el peso, mayor será el énfasis que se debe poner en la corrección, los procedimientos de cálculo son diferentes en el TIF y en el THF, pero frecuencias similares dan pesos iguales.

Los límites de los armónicos del generador se basan en estas curvas que se muestran en la siguiente ilustración 34.

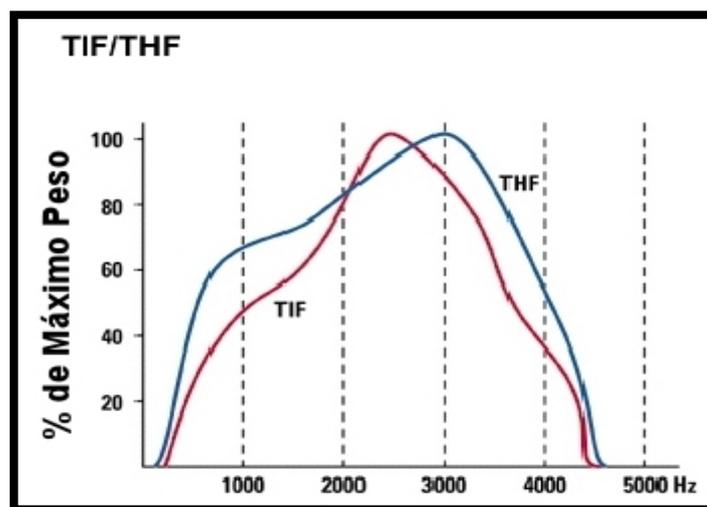


Ilustración 34: Curva de límites de los armónicos de un generador. Fuente: Autor

Tabla 7: Coeficientes de peso del factor de influencia telefónica. Fuente: Autor

Frequency (Hz)	Harmonic of 60 Hz	C-message weight, c_i	TIF w_i	Frequency (Hz)	Harmonic of 60 Hz	C-message weight, c_i	TIF w_i
60	1	0.0017	0.5	1740	29	0.841	7320
120	2	0.0167	10.0	1800	30	0.841	7570
180	3	0.0333	30.0	1860	31	0.841	7820
240	4	0.0875	105	1920	32	0.841	8070
300	5	0.1500	225	1980	33	0.841	8330
360	6	0.222	400	2040	34	0.841	8580
420	7	0.310	650	2100	35	0.841	8830
480	8	0.396	950	2160	36	0.841	9080
540	9	0.489	1320	2220	37	0.841	9330
600	10	0.597	1790	2280	38	0.841	9590
660	11	0.685	2260	2340	39	0.841	9840
720	12	0.767	2760	2400	40	0.841	10090
780	13	0.862	3360	2460	41	0.841	10340
840	14	0.912	3830	2520	42	0.832	10480
900	15	0.967	4350	2580	43	0.822	10600
960	16	0.977	4690	2640	44	0.804	10610
1020	17	1.000	5100	2700	45	0.776	10480
1080	18	1.000	5400	2760	46	0.750	10350
1140	19	0.988	5630	2820	47	0.724	10210
1200	20	0.977	5860	2880	48	0.692	9960
1260	21	0.960	6050	2940	49	0.668	9820
1320	22	0.944	6230	3000	50	0.645	9670
1380	23	0.923	6370	3300	55	0.490	8090
1440	24	0.924	6650	3600	60	0.359	6460
1500	25	0.891	6680	3900	65	0.226	4400
1560	26	0.871	6790	4200	70	0.143	3000
1620	27	0.860	6970	4500	75	0.0812	1830
1680	28	0.840	7060	4990	83.3	0.0336	840

5.10. CONVERTIDORES DE PODER ESTÁTICO.

Los dispositivos de conversión de poder estáticos usualmente generan armónicas al entrar en funcionamiento, en algunas situaciones, pueden afectarse a sí mismos por las armónicas que generan o más frecuentemente por las generadas por otras fuentes de armónicas. Comúnmente, estas fuentes son convertidores similares o idénticos conectados en paralelo en el sistema de suministro de corriente alterna, los convertidores existen en varias formas funcionales y topológicas.

Algunas de estas formas son relativamente insensibles a armónicas, el rectificador de diodos normalmente no es afectado por estas distorsiones. Sin embargo, si utiliza capacitores en una red común de voltaje (por ejemplo, diodos en serie en un rectificador de alto voltaje), éstos pueden ser sujetos a estrés térmico más allá de las contempladas en su diseño debido a las altas corrientes a las que se les somete por las armónicas del suministro de corriente alterna.

Éstas armónicas serán transmitidas a la carga del rectificador, quienes pueden dañar o perturbar al equipo de procesamiento del lado de corriente directa.

La mayor aplicación de los convertidores estáticos está en los dispositivos variadores de velocidad para el control de motores, estos dispositivos (drive) estáticos se usan ahora en todos los motores industriales, ofreciendo mayor eficiencia, mejor control de la velocidad, y mayor operación libre de mantenimiento que otros dispositivos convencionales.

Los convertidores usan dispositivos de “switching” de estado sólido para convertir la potencia de una frecuencia a otra (comúnmente entre CA y CC), estos dispositivos de “switching” pueden ser diodos, tiristores, GTO, o muchos otros dispositivos de electrónica de potencia.

Las dificultades descritas para los rectificadores de diodos, pueden afectar a otros tipos de convertidores como los tiristores o inversores. Éste último tiene varias áreas sensibles adicionales, ellos tienen usualmente circuitos capacitivos adicionales como **snubbers**, filtros de interferencia electromagnética (EMI) y filtros de fuentes de poder, que son sujetos a estrés térmico por corrientes armónicas.

La mayoría de los convertidores dependen de varias características del voltaje de suministro de corriente alterna para su control. Si el suministro de corriente alterna de entrada está distorsionado severamente por armónicos, los convertidores podrán dispararse erróneamente, no conmutarán o generarán armónicas no características. Con frecuencia los circuitos de control también incluyen elementos como los flip-flops (o biestables), quienes son sensibles a fenómenos armónicos de alta frecuencia, de esta forma, los controles pueden recibir estimulaciones falsas, y por lo tanto causar una falla en el funcionamiento o en algunos casos, la destrucción de componentes.

VI. CAPITULO IV: METODOS DE MINIMIZACION DE LAS DISTORCIONES ARMONICAS.

6.1. INTRODUCCION.

Existen distintos equipos utilizados para atenuar los efectos de las distorsiones armónicas.

Los primeros a estudiar son los llamados reactores de línea, los segundos equipos a estudiar son los filtros de armónicas pasivos y activos, dispositivos utilizados para mitigar la distorsión armónica presente en instalaciones comerciales e industriales.

Además existen métodos de diseño y dimensionamiento de la instalación eléctrica para sobre llevar tales efectos.

Las soluciones a dicho problema se realizan en forma jerarquizada; primero en forma particular, resolviendo el problema de inyección de armónicos por parte del usuario al sistema (diseñando y ubicando filtros en el lado de baja tensión, usando el transformador como barrera); y segundo, resolviendo el problema en forma global, buscando reducir las pérdidas y mantener los niveles armónicos por debajo de los límites permitidos, en este caso, se trata de un problema de optimización donde se determina la ubicación de los compensadores (condensadores, filtros pasivos, filtros activos).

6.2. REACTORES DE LINEA

Las corrientes armónicas pueden ser reducidas añadiendo un reactor de línea en serie con la carga no-lineal como se muestra en la ilustración 35.

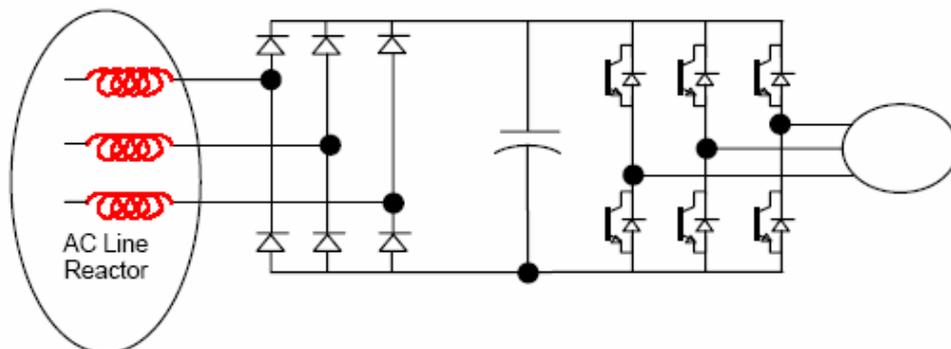


Ilustración 35: Topología de conexión de los reactores de línea. Fuente: Autor

La reactancia inductiva de reactores de línea permiten que la corriente a 50Hz o 60Hz pase fácilmente a través de ellos, pero presenta una impedancia mayor para todas las frecuencias armónicas.

De esta forma, las corrientes armónicas son atenuadas por la reactancia inductiva del reactor. La Tabla 8, muestra la distorsión de corriente armónica esperada para un

variador de frecuencia de seis pulsos, teniendo varias cantidades de reactancia total de entrada (impedancia inductiva).

Tabla 8: Distorsión de corriente armónica esperada para un variador de frecuencia de seis pulsos para varias cantidades de reactancia total de entrada. Fuente: IEEE 519-1992)

INPUT IMPEDANCE	THID
< 1%	>75%
2%	52%
3%	45%
4%	40%
5%	35%
8%	28%

La impedancia de entrada está conformada por una fuente de impedancia (transformador), reactor de línea y/o una bobina de bloqueo DC, el porcentaje de THID para una impedancia del 8% refleja el desempeño típico de un variador de frecuencia cuando se utiliza una combinación de una impedancia de la bobina de bloqueo DC de un 3% y una impedancia del reactor de línea del 5%, con lo que se puede observar el efecto sobre la distorsión de corriente armónica del variador de seis pulsos con la simple suma de las impedancias.

Los reactores son la solución más económica para reducir la distorsión de corriente armónica de entrada en un sistema.

La distorsión en el punto de entrada o punto de medición varía dependiendo de la impedancia total del sistema y la distribución de las cargas (lineales en función de las no-lineales).

La tabla 9, muestra los niveles de distorsión de corriente esperada en el PCC para varias combinaciones de cargas lineales y no lineales.

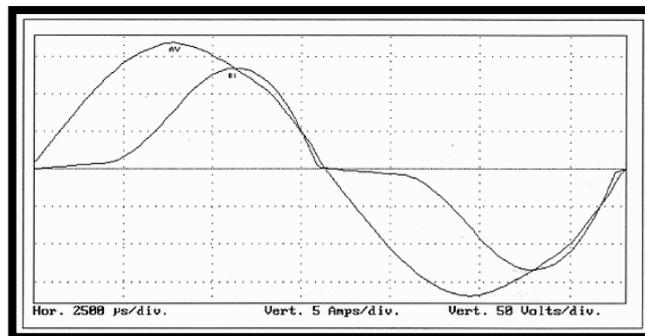
Es importante notar que al considerar la impedancia de un reactor, es la impedancia efectiva la que trabaja, no la impedancia nominal. La impedancia efectiva se basa en la corriente fundamental que fluye y la inductancia del reactor.

$$\text{Porcentaje de impedancia efectiva} = \frac{L \cdot f \cdot 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{fundamental}}}{V_L} \cdot 100$$

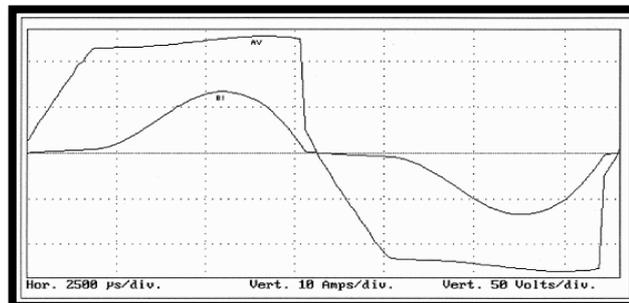
Tabla 9: Niveles de distorsión de corriente esperada en el PCC para varias combinaciones de cargas lineales y no lineales. Fuente: IEEE519-1992

%VDF Load at PCC	3% Impedance at each VFD	5% Impedance at each VFD
10	4.4	3.5
20	9	7
30	13	11
40	18	14
50	22	18
60	27	21
70	31	25
80	35	28
90	40	32
100	44	35

Cuando cada variador utiliza esta técnica para filtrar armónicas, se puede predecir la distorsión en el PCC. Si se instalan reactores de línea del 5% en la entrada de cada variador, la distorsión de corriente de entrada será $\leq 35\%$ dependiendo de la cantidad de impedancia del sistema adicional al reactor como se muestra en la ilustración 36.



a) Entrada a un reactor en línea



b) Salida de un reactor en línea

Ilustración 36: Comportamiento de un reactor línea. Fuente: Autor

Los reactores de línea aunque atenúan considerablemente la distorsión armónica presente en instalaciones, no alcanzan los niveles estipulados por la norma IEEE 519-1992. Por lo tanto, se requieren de filtros más sofisticados si se desea cumplir con tal norma. Así, los reactores de línea pueden ser utilizados como un complemento a tales filtros para limitar la distorsión armónica en puntos específicos de la instalación, minimizando las mismas en toda la red interna.

6.3. FILTROS DE ARMONICAS.

Las empresas distribuidoras de electricidad deberían utilizar filtros de armónicas en sus sistemas de distribución para garantizar niveles de calidad de energía, mientras que los usuarios finales deberían utilizar filtros de armónicas dentro de sus instalaciones para evitar que corrientes armónicas provoquen que su equipo eléctrico se sobrecaliente o que los equipos electrónicos funcionen incorrectamente, entre otros.

Los filtros armónicos pueden usarse para:

- Mejorar el factor de potencia
- Reducir armónicos
- Reducir corrientes de retorno por el neutro en sistemas trifásicos
- Minimizar el impacto sobre los transformadores de distribución.
- Generador depósitos de los efectos armónicos.
- Liberar capacidad de distribución.

Los filtros de armónicas se clasifican en dos familias principales, los filtros pasivos y los filtros activos.

A continuación se describen ambas tecnologías.

6.3.1. Filtros pasivos.

Los filtros armónicos pasivos utilizan inductores y capacitores estáticos, no cambian sus valores de inductancia (henrios) y capacitancia (faradios), se diseñan para controlar armónicas específicas. Son llamados pasivos debido a que no responden a cambios en frecuencias.

Estos filtros van desde pequeños dispositivos de enchufar hasta dispositivos grandes cableados, a veces conectados directamente a los dispositivos que estén generando armónicas en la instalación.

Estos tipos de filtros absorben el choque eléctrico y trabajan bajo el principio que los inductores y capacitores conectados juntos deben bloquear corrientes armónicas o drenarlas a tierra.

Los filtros que cuentan con inductores y capacitores bloquean o pasan ciertas frecuencias, debido a que un incremento en frecuencia aumenta la impedancia del inductor y disminuye la impedancia del capacitor, hay muchos tipos de configuraciones para filtros de armónicas, los dos tipos básicos son en filtros en serie y en paralelo.

Filtro en serie: El filtro en serie o filtro pasa bajo consiste de un capacitor y un inductor conectados en paralelo, pero en serie con la carga, el proporciona un camino de alta impedancia para las corrientes armónicas y las bloquea, evitando que alcancen la fuente de poder. Sin embargo, permite que pase la corriente fundamental de 60 Hz. Esto gracias a que la impedancia de sus componentes es dependiente de la frecuencia a la que se le somete. En la ilustración 37, se muestra la configuración de este filtro.

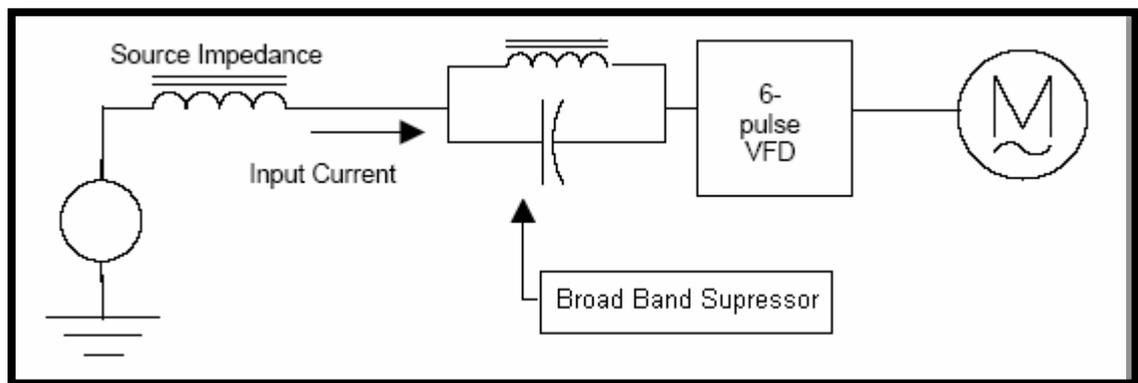


Ilustración 37: Esquemático de los filtros en serie. Fuente: Autor

Este tipo de filtro es sintonizado a una frecuencia particular, ofreciendo una alta impedancia únicamente a la componente de frecuencia sintonizada, el filtro en serie es utilizado comúnmente para aplicaciones monofásicas donde minimiza efectivamente la 3era armónica (orden de armónica más común en sistemas monofásicos), también ofrece cierta impedancia a componentes armónicas cercanas a la frecuencia sintonizada, y conforme se aleje de esta frecuencia en cualquier dirección la impedancia proporcionada se va disminuyendo.

Este filtro no genera resonancia en el sistema eléctrico, ni interfiere con el sistema eléctrico existente, gracias a que no afectan la frecuencia natural del sistema de potencia al colocarse en serie con el mismo, la mayor desventaja de este tipo de filtro es que debe poder conducir la corriente total de la carga. Además, una sola sección de filtros no es adecuada para atenuar todos los diferentes órdenes del espectro armónico presentes en la corriente no-lineal de la carga.

Filtro en paralelo: El filtro en paralelo consiste de un capacitor y un inductor conectado en serie, pero en paralelo con la carga, este tipo de filtro proporciona un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas y las envía a tierra sin peligro alguno, en la ilustración 38, se muestra la configuración de este filtro.

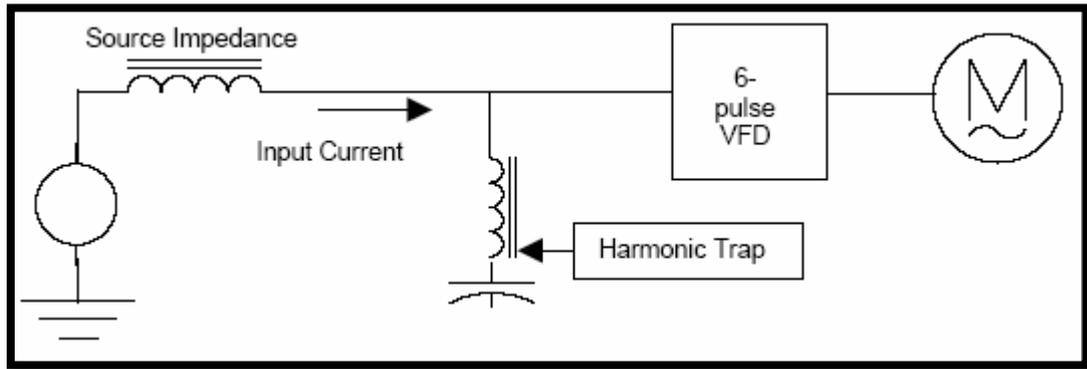


Ilustración 38: Esquemático de los filtros en paralelo. Fuente: Autor

El filtro en paralelo es más común y menos costoso, debido a que no debe conducir la corriente total de la carga. Sin embargo, se deben escoger cuidadosamente ya que pueden entrar en resonancia con los componentes eléctricos existentes y provocar corrientes armónicas adicionales, esto debido a que causan un cambio en la frecuencia natural del sistema de potencia al colocarse en paralelo con el mismo, si la nueva frecuencia de resonancia se encuentra cerca de alguna frecuencia armónica, se podrán presentar condiciones adversas de resonancia que provocarán amplificación de armónicas y fallas en los capacitores e inductores.

Los filtros en paralelo comúnmente utilizados están compuestos de etapas individuales sintonizadas para la 5ta, 7ma y posiblemente una etapa paso alto sintonizada a la 11va armónica, de esta forma el filtro intentará proporcionar la energía armónica requerida por las cargas no lineales conectadas a lo largo del mismo bus, fenómeno conocido como importación de armónicas. En este proceso, el filtro se puede sobrecargar e inclusive se puede llegar a quemar el fusible de protección, y dañar seria y permanentemente las diferentes etapas, para evitar la importación de armónica, se debe colocar reactores de línea en serie que impida que la energía armónica fluya de las etapas del filtro a otras fuentes.

Al ser filtros sintonizados, pueden llegar a ser inefectivos si las armónicas varían debido a cambios en la carga, los filtros activos pueden ser la solución para corrientes armónicas variables.

Filtro Paso Bajo de Banda Ancha (Low Pass Broad Band Filter): La configuración de este tipo de filtro combina las ventajas de los filtros pasivos vistos anteriormente sin las desventajas que presentan ambos filtros, proporcionando una alternativa atractiva para la mitigación de armónicas.

Este tipo de filtro no necesita colocarse en múltiples etapas, ya que alcanza un desempeño similar a la combinación de las etapas de un filtro en paralelo sintonizado a la 5ta, 7ma y 11va armónica. Además, cuenta con una impedancia en serie dentro de su topología que impide la importación y exportación de armónicas de las diferentes cargas no-lineales del sistema al filtro y viceversa. . En la ilustración 39, se muestra la topología de este filtro.

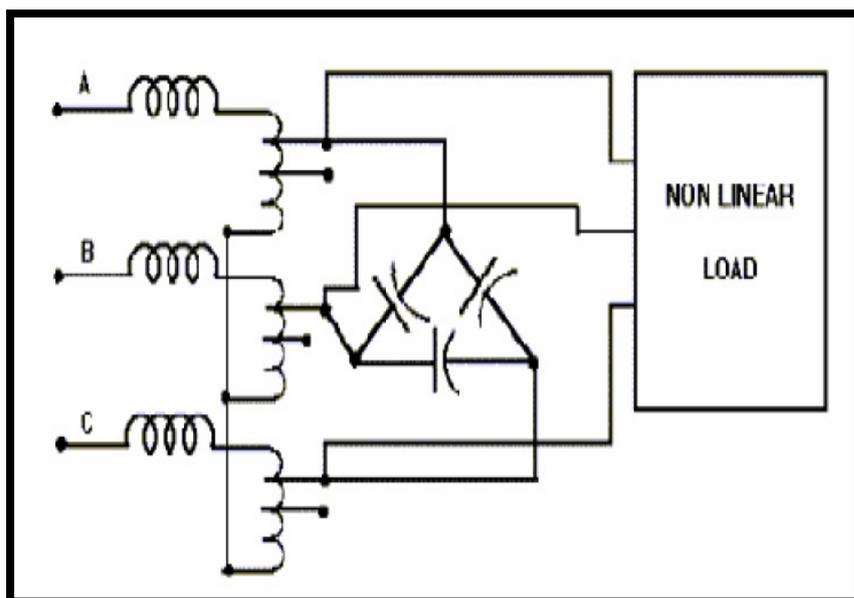


Ilustración 39: Topología de Filtro Paso Bajo de Banda Ancha. Fuente: Autor

Los capacitores proporcionan toda la energía armónica necesitada por un variador debido a que la impedancia del mismo se reduce inversamente proporcional al incremento de la frecuencia. Adicionalmente, cuenta con un reactor de línea de gran magnitud en serie con la línea principal AC adelante del capacitor en paralelo, que limita la importación de armónicas. Así mismo cuenta con un transformador reductor adelante de los capacitores para evitar condiciones de sobre voltaje en los variadores, reduciendo el voltaje antes de que se alimente a los capacitores.

Este tipo de configuración tiene baja probabilidad de provocar problemas de resonancia al estar conectado en un sistema de potencia, debido a que la frecuencia de corte paso bajo se mantiene baja a propósito, lo que hace difícil e improbable su excitación en un sistema de potencia trifásico.

6.3.2. Filtro activo.

Los filtros activos, a veces llamados Acondicionadores Activos de Líneas de Potencia (o sus siglas en inglés APLC's), difieren de los filtros pasivos debido a que acondicionan las corrientes armónicas en lugar de bloquearlas o drenarlas.

Los filtros armónicos activos utilizan medios electrónicos (invertidores de puente y rectificadores) para monitorear y censar las corrientes armónicas y crear corrientes armónicas de compensación.

Ellos inyectan corrientes armónicas para cancelar las corrientes armónicas generadas por la carga. Ellos también regulan fluctuaciones de voltaje al eliminar la fuente de voltaje armónico. Son los filtros más eficaces para la compensación de armónicas desconocidas o cambiantes. En la ilustración 40, se muestra el diagrama de bloques de este tipo de filtro

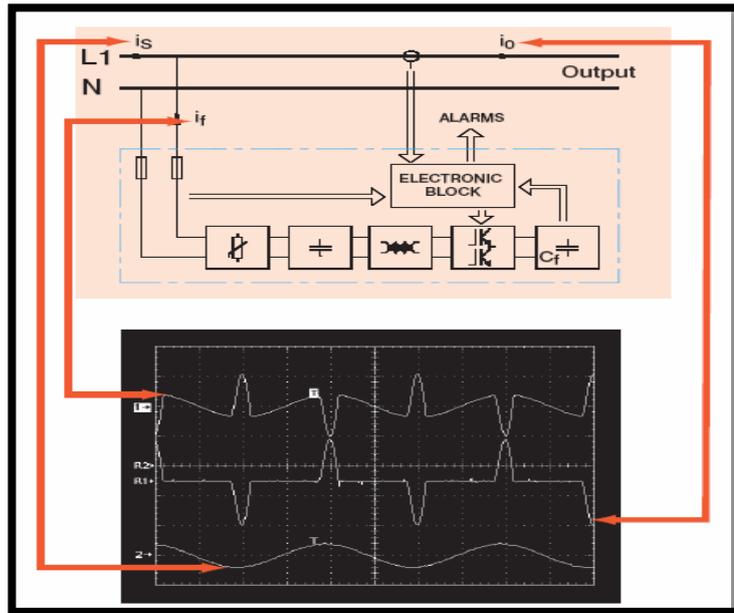


Ilustración 40: Diagrama de bloques de los filtros activos. Fuente: Autor

Este filtro cuenta con un amplificador de fuente de corriente tipo D de conmutación que utiliza transistores bipolares con compuertas aisladas, los cuales son accionados por señales a una frecuencia mayor a los 20kHz, permitiendo una alta resolución y respuestas de micro segundos para igualar la forma de onda no-lineal de la corriente.

El filtro está conectado en paralelo a las líneas de alimentación a través de un filtro de interferencia electromagnética (EMI) y un circuito de arranque suave. Al energizarse, el filtro emite una corriente reactiva a 60Hz líder que utiliza el convertidor para cargar al bus DC.

Los transformadores de corrientes conectados en dos de las fases miden la corriente de la carga, se utiliza un filtro para rechazar la componente fundamental de la corriente y pasar las componentes de distorsión de la corriente (armónicas y no-armónicas, transientes y componentes sub-armónicas), los atenuadores son controlados electrónicamente para reducir las señales de corriente armónica, limitando la corriente armónica que genera el filtro al valor nominal RMS de la Unidad.

Finalmente, la lógica de control de amplificación utiliza esta señal para modular la corriente del bus DC y formar una forma de onda de corriente que cancela la corriente no-fundamental que demanda la carga no-lineal.

6.4. CONEXIONES DE TRANSFORMADORES PARA EVITAR LAS DISTORCIONES ARMONICAS.

Algunos tipos de conexión de transformadores descritos a continuación puede resultar otra alternativa para atenuar las distorsiones armónicas. En los transformadores **triángulo-estrella** las corrientes “triples” se suman en el conductor neutro, en el primario, los “triples” de las cargas desequilibradas salen por los

conductores y los de las cargas equilibradas quedan atrapados en los bobinados del triángulo. Aunque esto podría utilizarse para eliminar los “triples” equilibrados, solo es válido en determinadas aplicaciones por los problemas que genera la recirculación por el triángulo de dichas corrientes como en la Ilustración 41.

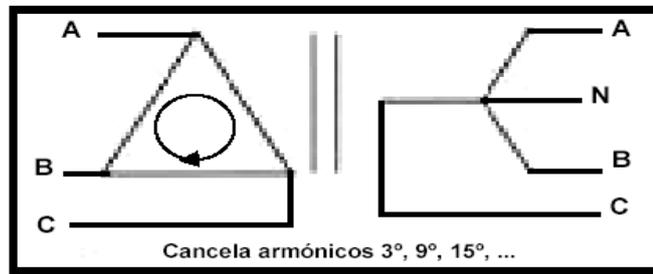


Ilustración 41. Conexión delta- triángulo de un transformador trifásico. Fuente: Autor

Los transformadores con **secundario en zig-zag** están formados por seis devanados iguales, dos por fase. Esta disposición desvía los “triples” del neutro a los conductores de fase. Ver ilustración 42.

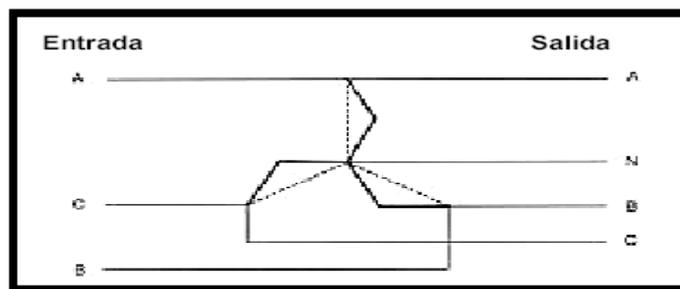


Ilustración 42. Conexión en zig-zag de un transformador trifásico. Fuente: Autor

En los últimos años se construyen transformadores de múltiples salidas, el transformador de doble salida se construye con dos devanados secundarios desfasados entre sí 30° grados, ilustración 43. El primario conectado en triángulo, como ya sabemos, bloquea los “triples” de cargas equilibradas, los secundarios compensan sobre todo los armónicos de orden 5, 7, 11, 19.

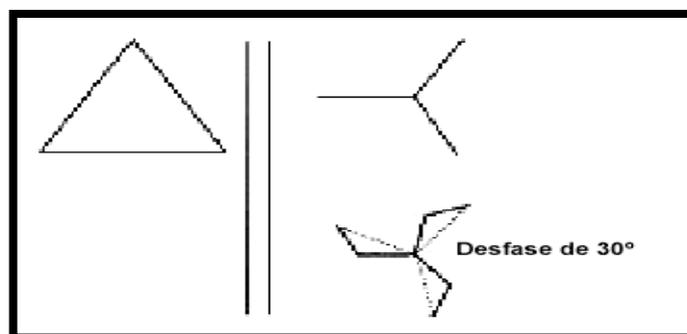


Ilustración 43: Transformador con devanado terciario. Fuente: Autor

La otra posible configuración son los de cuádruple salida en la que los devanados están desfasados entre sí 15° grados, el primario como siempre bloque los “triples” y el secundario los de orden 5, 7, 11, 13, 17, 19, 29 y 31 grafico de la ilustración 44.

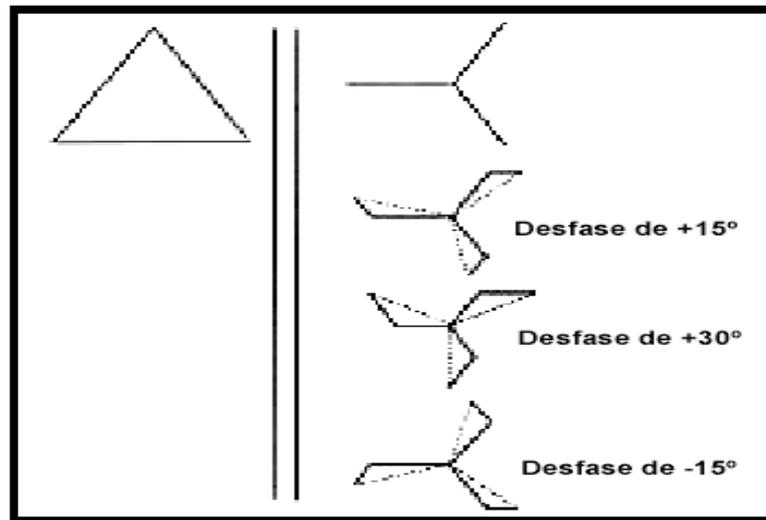


Ilustración 44: Transformador con múltiples devanados. Fuente: Autor

Para que sea máxima la atenuación de estos armónicos, las cargas no lineales conectadas en cada salida deben ser idénticas. Por ello en estas aplicaciones se suele monitorizar las salidas de los distintos circuitos, no es recomendable, por ejemplo, un transformador de doble estrella cargado con tres armarios de salida porque las medidas no reflejan si los secundarios están equilibrados

Algunos armónicos se han distinguido por ser especialmente dañinos en los sistemas de distribución, los de 3eros armónicos y múltiples de este (p. ej., 9th, 15th, 21o) reciben atención especial porque ellos son los “triples”. Los “triples”, en frecuencia - dominio armónico - análisis de secuencia, retornan a través del neutro, como se constata donde la corriente de carga retorna a través del neutro con valores superiores a los de fase, los armónicos de secuencia negativa (p. ej., 5th, 11th, 17th) tienen gran impacto sobre transformadores y motores porque su rotación se opone a la rotación de la fundamental.

Las combinaciones de armónicos también tienen impacto, por ejemplo, los armónicos de voltaje a los 5th y 7th combinados, dentro de motores producen un evento que está en el orden del 6to armónico, el armónico originado ocasiona una amplia gama de problemas que llevan a elevar la temperatura de motores, vibración y desgaste, el bajo factor de potencia para cargas no lineales ocurre debido a que la corta duración de la corriente eleva los VA sin el correspondiente incremento en los Watts, como el factor de potencia es igual a los vatios divididos por los voltio-ampierios, cualquier aumento en VA sin un aumento correspondiente en los vatios conducirá a un factor de potencia menor.

6.5. OTRAS MEDIDAS.

Una forma de prevenir los problemas causados por las armónicas es diseñando el equipo de la instalación para que no se vea afectado por las armónicas.

El equipo puede diseñarse para sobrellevar los efectos de calentamiento de las armónicas. Por ejemplo, los conductores del neutro pueden dimensionarse lo suficientemente grandes como para conducir grandes corrientes debidas al efecto aditivo de las armónicas cuyos órdenes son múltiples de tres, y los transformadores pueden diseñarse con factores K para sobrellevar los efectos de armónicas.

La segunda forma de evitar problemas causados por armónicas es el diseño y especificación apropiada de equipos generadores o amplificadores de armónicas. Por ejemplo, los variadores de velocidad son las fuentes no lineales de armónicas más comunes en ambientes industriales.

Normalmente hay dos tipos de variadores, de seis y doce pulsos. La IEEE 510-1992 permite mayores niveles de armónicas para variadores de 12 pulsos que para variadores de 6 pulsos, el comprador de los variadores puede aprovechar los órdenes altos de armónicas especificando variadores de 12 pulsos o puede colocar el transformador delta-estrella en paralelo con el transformador delta-delta de los variadores de 6 pulsos para convertirlos en un arreglo de 12 pulsos.

Tanto los proveedores como los usuarios finales de energía eléctrica especifican capacitores que no entren en resonancia con armónicas existentes para evitar problemas de calidad de energía, al realizar el cálculo de la frecuencia de resonancia se pueden elegir capacitores con valores KVAR inferiores o mayores a la frecuencia de resonancia.

VII. CAPITULO V: ESTUDIO DEL NIVEL DE ARMÓNICAS EN LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA ARTES GRAFICAS SENEFELDER.

7.1. INTRODUCCION.

Para comenzar el estudio del nivel de armónicas presentes en la instalaciones de la empresa SENEFELDER en la barra e 220v., se debe asegurar que el equipo a utilizar cumpla con los requerimientos básicos establecidos de la IEEE 519-1992 y luego establecer la metodología a seguir.

En el presente documento se describe de manera general los resultados obtenidos a partir de las mediciones de los parámetros eléctricos que definen la operación de alimentador en referencia, utilizando un medidor apropiado para este tipo de estudios.

Se hace un análisis de la información obtenida, confrontando los datos macro del día de medición contra los datos de una hora en particular, con la finalidad se presentan las curvas respectivas de mayor importancia y se adjunta los datos de medición para que la empresa a la cual le realizamos el estudio pueda realizar cualquier otro tipo de análisis.

7.2. EMPRESA ARTES GRAFICAS SENEFELDER C.A.

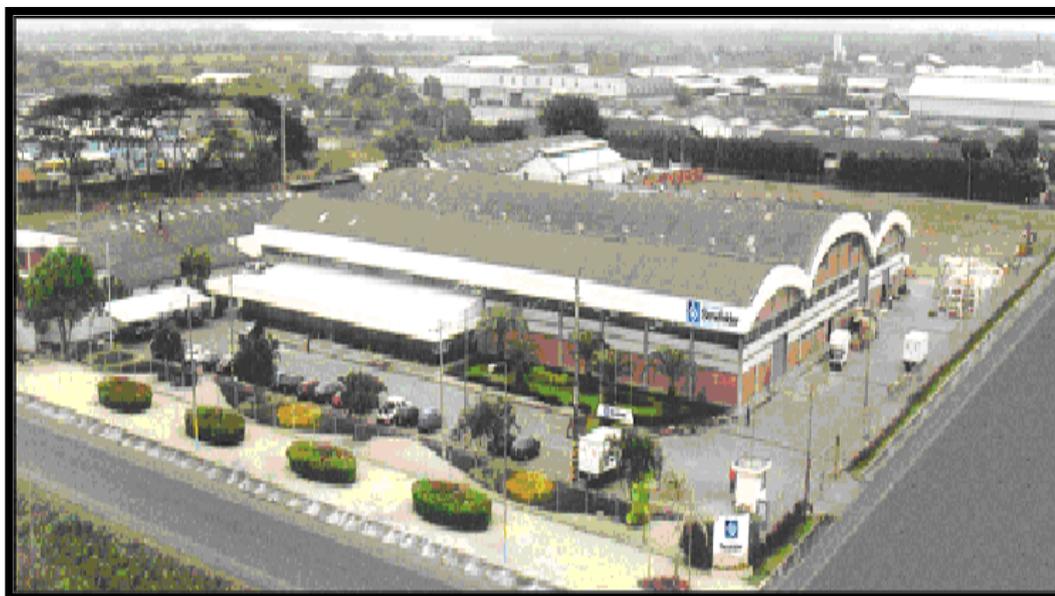


Ilustración 45: Instalaciones de la empresa SENEFELDER C.A. Fuente: Autor

Artes Gráficas Senefelder C.A. es una empresa ecuatoriana que proporciona a sus clientes una amplia gama de impresos y servicios, ubicado en el Km. 4 ½ Vía Durán Tambo con más de 80 años de trayectoria.

7.3. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELECTRICOS DE LA EMPRESA ARTES GRAFICAS SENEFELDER.

La distribución del sistema eléctrico de “**ARTES GRAFICAS SENEFELDER**” se encuentra de la siguiente forma:

La acometida a nivel de 13.8 KV la cual es suministrada por la empresa eléctrica CNEL_Guayas los Ríos antes EMERGUR, la cual llega a una celda de media tensión y la misma distribuye al cuarto de transformación, en este se encuentra compartido con 1 transformador trifásico de 1000 KVA y un banco de tres transformadores monofásico de 333 KVA cada uno.

Los mismos que alimentan dos barras, la barra para 440V alimentado por el transformador de 1000KVA y la barra para 220v alimentado por el banco de transformación de 3x333kva, además existe conectado a las barras de 220v un banco de capacitores de 100kvar, el estudio solo se realizara a la barra de 220v.

7.3.1. Diagrama unifilar.

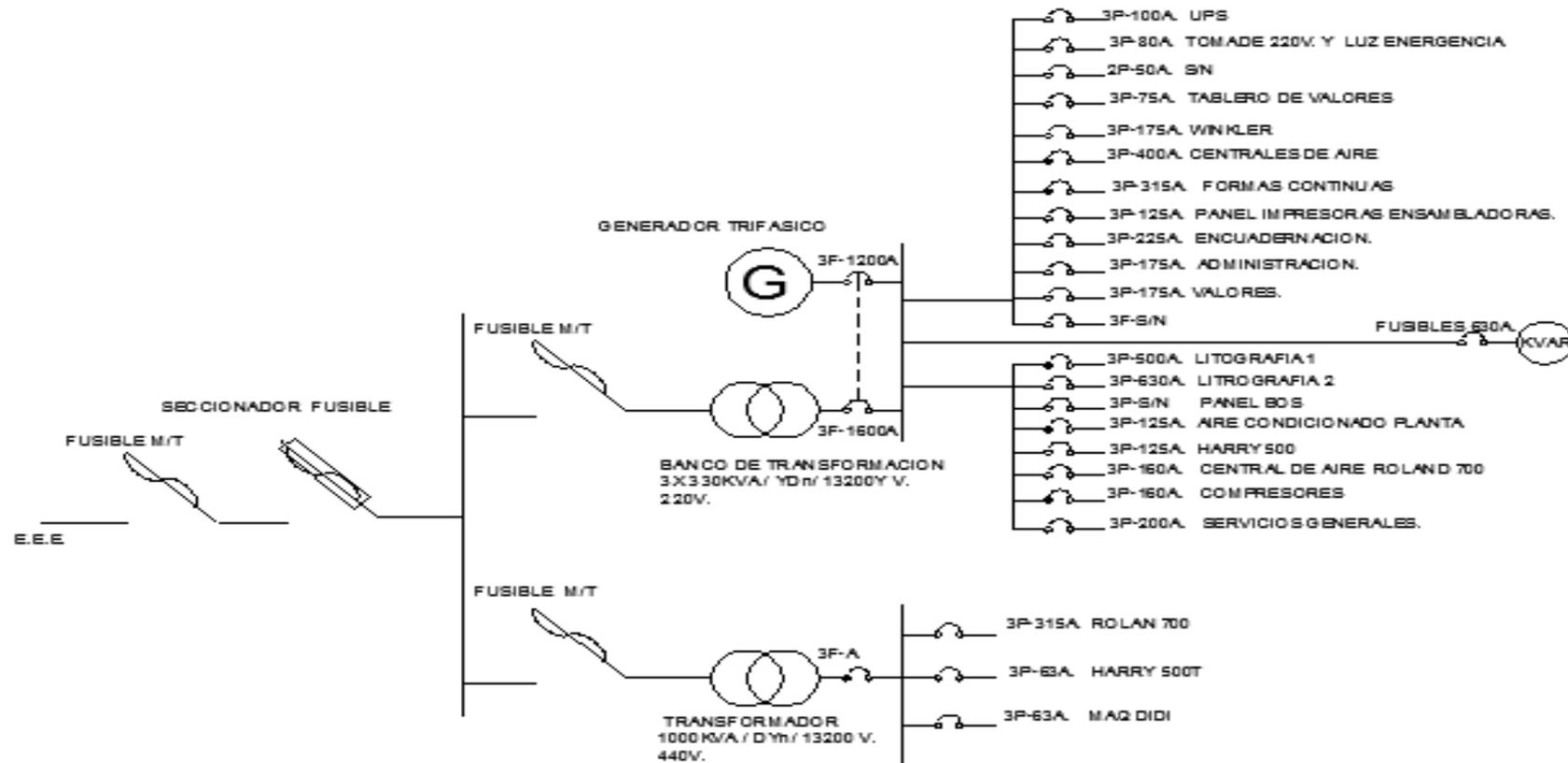


Ilustración 46: Plano eléctrico Unifilar de las instalaciones de SENEFELDER C.A. Fuente: Autor

7.4. HIPÓTESIS.

Se escogió a la empresa ARTES GRAFICAS SENEFELDER S.A. para realizar nuestra aplicación práctica del proyecto de graduación, ya que esta empresa tiene el 80% de sus cargas de naturaleza no lineales y sensibles conectadas en la barra de 220v. Las cuáles son las que producen distorsiones armónicas.

Dentro de esta planta existe maquinaria y equipos de diversos tipo como impresoras rotativas las cuales poseen tarjetas electrónica que tienen las funciones como controlar la velocidad de las maquinas. También posee ups, computadores especiales para el diseño grafico toda esta carga conectada a la barra de 220v.

7.5. METODOLOGÍA.

A continuación se enumeran los pasos a seguir para la medición de los niveles de armónicos presentes en una instalación eléctrica en la barra de 220v. De dicha empresa.

1. Ubicar el punto de unión común entre el proveedor de electricidad y el usuario final, en nuestro caso fue en la barra de 220v.
2. Identificar la topología de conexión de la alimentación del sistema (Trifásico en Delta, Trifásico en Estrella, Monofásico, Trifilar, etc.).
3. Colocar los equipos de medición en cada una de las fases del sistema, en el neutro y en la tierra.
4. Medir las constantes generales presentes en la instalación tales como voltajes, corrientes, factor de potencia, frecuencia, potencia.
5. Se procedió a monitorear las posibles distorsiones armónicas presentes en las instalaciones, observando los valores eficaces de cada tensión armónica promediada cada 10 minutos.
6. Encontrar los parámetros de distorsión total de demanda (TDD) y la distorsión total de armónicas (THD) presentes en la instalación.

7.6. EQUIPO A UTILIZAR.

En esta sección se enumerarán los requerimientos y características del equipo a utilizar para realizar las mediciones.

7.6.1. El analizador de red.

En el mercado existen diversos tipos de medidores que cumplen la función de un analizador de red, sin embargo esto no significa que podamos confiarnos en tales sin un conocimiento de causa para su selección y puesta en operación de los mismos.



Ilustración 47: Imagen de diferentes analizadores de redes del mercado. Fuente: Catalogo Fluke 2008

Dentro de las características de medición básica que un buen analizador de redes debe tener están las siguientes:

- V RMS Instantáneo / Promedio / Min. / Máximo
- A RMS Instantáneo / Promedio / Min. / Máximo
- W Instantáneo / Promedio / Máximo
- VAR Instantáneo / Promedio / Máximo
- VAR Delta Promedio.
- VA Instantáneo / Promedio
- Factor de Potencia Instantáneo / Promedio
- KWH, KVARH, KVAH
- Demanda de W, VA, Factor de Potencia instantáneo / Máx.
- Desequilibrio de tensión
- KWH_i
- VARH_i
- Frecuencia
- THD (distorsión armónica total), • Armónicas 0 a 50, de corriente y voltaje y También de potencia con ángulo y modo.
- Ínter armónicas
- Mediciones de FLICKER

No significando esto que sean todas las características que un analizador pueda tener, pero si podemos definir las como esenciales para nuestro objeto de estudio. El resto de características tales como capacidad de memoria, presentación gráfica de datos, posibilidades de interpolación de datos, cantidad de canales de ingreso de señales, temperatura ambiente máxima de trabajo, etcétera variaran según la necesidad y el ambiente de trabajo; con lo damos cuenta de que nuestros conocimientos teórico y de campo nos dan el criterio de selección de tal o cual analizador...

7.6.2. Requerimientos del equipo a utilizar:

El equipo necesario para realizar las mediciones, según la IEEE 519-1992, debe contar con un:

- Osciloscopio: proporciona información cualitativa inmediata del grado y tipo de distorsión.

- Analizador de Espectro: proporciona la distribución de potencia de una señal en función de la frecuencia.
- Analizadores de Armónicas y Ondas: miden la amplitud de una función periódica y proporcionan el espectro de línea de la señal observada.
- Analizador de Distorsión: mide directamente la distorsión total de armónicas (THD).
- Equipo de Medición de Armónicas Digital: al grabar la forma de onda con un suficiente ancho de banda, estos equipos permiten la utilización de los datos tomados en línea para realizar cálculos estando fuera de línea, como en un laboratorio.

7.7. EQUIPO UNIPower UNILYZER 901.

El Unilyzer 901 es un analizador portátil hecho para medir calidad de energía en ambientes extremos. Mide todos los parámetros de las normas nacionales e internacionales, como la EN50160, y captura disturbios como transcientes, sags y swells simultáneamente.

Las mediciones tienen un rango de muestreo 7.7Khz las cuales se promediaran en intervalos de cada 10 minutos tal como nos solicita la norma EN50160, es decir por cada vértice de presentación grafica se habrán tomado 4.62 millones de muestreos estadísticos.

Estos equipos están garantizados para leer valores rms verdaderos y almacenar valores picos en las instalaciones eléctricas tanto de voltaje como de corriente.



Ilustración 48: Equipo UniPower Unilyzer 901. Fuente: Autor

7.7.1. CARACTERÍSTICAS Y CAPACIDAD.

7.7.1.1. Características generales.

Sus dos canales analógicos de medición de tensión y corriente, u alternativamente canales de tensión (es el mismo instrumento), registran todas las magnitudes simultáneamente, sin limitaciones de ninguna índole, en CA y CC. A continuación las características del equipo:

Tabla 10: Características generales del UniPower Unilyzer 901. Fuente: Catalogo Unilyzer, 2009

Certificaciones:	Desarrollo, Fabricado ISO 9001:2000
	Certificación de Conformidad CE CE001/02/00
Velocidad de muestreo:	10.24 kHz/10 MHz
Rango de Temperatura Operativa:	0°C a +50°C
Voltaje de Alimentación:	100 a 230 VAC
	132 a 375 VDC
Frecuencia de Alimentación:	45 Hz a 65 Hz
Seguridad:	IEC/EN 61010-1:1992
	IEC/EN61010-1/A2:1995
	300V CATII/600 V CAT III, Class I
	IEC 1010-2-031
Consumo de Energía:	30 VA máx.
Batería Interna:	7.2 V, 2.7Ah NIMH
Display:	9 LEDs Indicadores: 8 canales de estatus de señales, 1 para indicar el Encendido y el apagado.
Capacidad de memoria:	1 GB Tarjeta Compact Flash.
Interface:	Puerto Ethernet
	Puerto Serial
Dimensiones:	Alto: 325 mm
	Ancho: 300 mm
	Grosor: 65 mm
Peso:	Aproximadamente 4 kg (Sin
	Accesorios)
Índice de Protección:	IP65 as per EN 60529
Posición de Operación:	90°

7.7.1.2. Capacidad de medición.

Con el **UNIPOWER UNILYZER 901** se puede medir en cada fase en forma individual y trifásica:

- V RMS Instantáneo / Promedio / Min. / Máximo
- A RMS Instantáneo / Promedio / Min. / Máximo
- W Instantáneo / Promedio / Máximo
- VAR Instantáneo / Promedio / Máximo
- VAR Delta Promedio.
- VA Instantáneo / Promedio
- Factor de Potencia Instantáneo / Promedio
- KWH, KVARH, KVAH
- Demanda de W, VA, Factor de Potencia instantáneo / Máx.
- Desequilibrio de tensión
- Desequilibrio de corriente
- KWHi
- VARHi
- Frecuencia
- Fasores
- THD (distorsión armónica total), Armónicas 0 a 50, de corriente y voltaje y También de potencia con ángulo y modo.
- Ínter armónicas

Todas las mediciones se hacen de acuerdo a la norma IEC 1000-4-7 (ahora 61000-4-7) especificada por el ENRE.

Las mediciones de FLICKER son realizadas en forma automática, y el instrumento calcula los índices de severidad de corta y larga duración (Pst y Plt), de acuerdo a lo que especifica la norma IEC 61000 (ex IEC868) anexo 1.

Analiza transitorios en todos los canales de tensión y corriente.

Velocidad de muestreo: 10 KHz (opción 10MHz). Tipo de disparo: por niveles RMS, Pico, Disturbio, Derivada, exceso de nivel de THD o armónicas en forma individual, etc.

7.7.1.3. Característica de seguridad.

Entre los parámetros más relevantes que hay que considerar para una buena elección del equipo de medición de calidad de energía, podemos mencionar los siguientes:

Tabla 11: Índices de Protección del UniPower Unilyzer 901. Fuente: Catalogo Unilyzer, 2009

Primera cifra Protección contra cuerpos sólidos	Segunda cifra Protección contra cuerpos líquidos	Tercera cifra Protección mecánica
IP 0  Sin protección	IP 0  Sin protección	IK 0  Sin protección
1  Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 50 mm (ej.: contactos involuntarios de la mano)	1  Protegido contra las caídas verticales de gotas de agua (condensación)	01  Energía de choque 0,150 J
2  Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 12 mm (ej.: dedos de la mano)	2  Protegido contra caídas de agua hasta 15° de la vertical	02  Energía de choque 0,200 J
3  Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 2,5 mm (ej.: herramientas, cables...)	3  Protegido contra el agua de lluvia hasta 60° de la vertical	03  Energía de choque 0,350 J
4  Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 1 mm (ej.: herramientas finas, pequeños cables...)	4   Protegido contra las proyecciones de agua en todas direcciones	04  Energía de choque 0,500 J
5  Protegido contra el polvo (sin sedimentos perjudiciales)	5   Protegido contra el lanzamiento de agua en todas direcciones	05  Energía de choque 0,700 J
6  Totalmente protegidos contra el polvo	6  Protegido contra el lanzamiento de agua similar a los golpes del mar	06  Energía de choque 1,00 J
	7   Protegido contra la inmersión	07  Energía de choque 2,00 J
	8   ... m Protegido contra los efectos prolongados de la inmersión bajo presión	08  Energía de choque 5,00 J
		09  Energía de choque 10,00 J
		10  Energía de choque 20,00 J

Su resistencia y nivel de protección física IP (Índice de Protección) que para nuestro equipo es IP-650.

Los grados de protección IP se desdoblán en dos, un grado IP con dos cifras y un grado IK con una cifra. El grado de protección IP con tres cifras hace referencia a 3 influencias externas:

- Presencia de cuerpos sólidos.
- Presencia de agua.
- Riesgos de choques mecánicos.

Por razones de homogeneización internacional (CEI 529), se define el grado de protección IP con dos cifras que hacen referencia a:

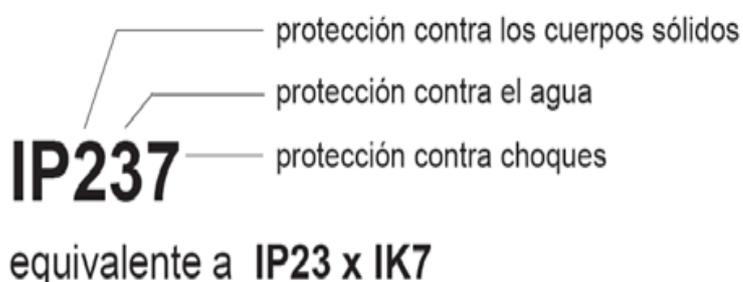
Presencia de cuerpos sólidos.

Presencia de agua.

A las cifras se les puede añadir una letra para reforzar el grado de protección contra los contactos directos con las partes peligrosas, estipulado por la primera cifra.

Para determinar el grado de protección contra los riesgos de choques mecánicos la nueva norma define un grado IK.

Hay correspondencia entre las dos primeras cifras del antiguo IP y las dos cifras del nuevo IP, así como entre la tercera y el grado IK. Ejemplo:



Notas: El grado de protección debe ser leído cifra a cifra. Para montaje en exterior los cuadros deben ir equipados de techo. Los grados de protección expuestos en este catálogo son válidos para las envolventes tal como se presentan.

Sin embargo, sólo un montaje de la a paramenta y unas instalaciones efectuadas correctamente garantizan el mantenimiento del grado de protección de origen.

La norma IEC 1010

Para evitar situaciones como las descritas en el punto anterior la IEC ha establecido una norma sobre requisitos de seguridad aplicable a equipos eléctricos de medición y control; esta norma es la IEC 1010-1, que sustituyó a la IEC 348.

Parte de la IEC 1010-1 se refiere a las categorías de protección contra sobretensiones en las instalaciones. Cuanto más próximo está el punto de medida a una fuente de posibles transitorio, más elevada deberá ser la categoría de protección contra sobretensiones.

Podemos dividir a los sistemas eléctricos en cuatro Categorías: I, II, III ó IV.

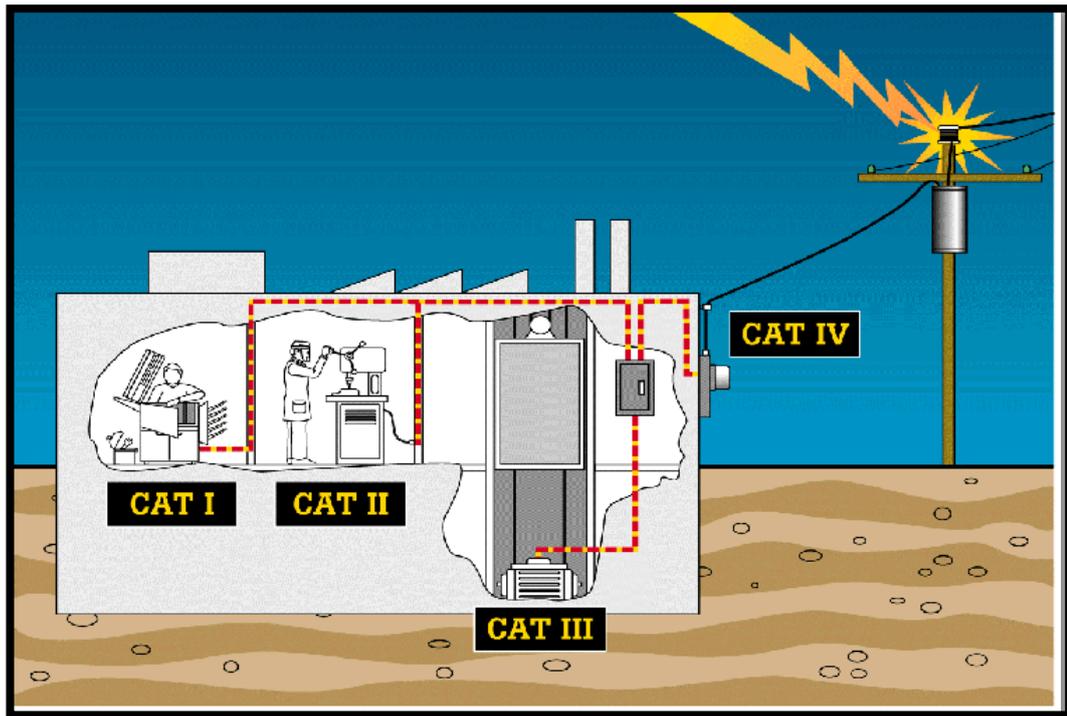


Ilustración 49: Categorías de protección contra sobre-tensiones. Fuente: Catalogo Unilyzer, 2009

La norma IEC 1010 sólo se refiere a baja tensión (hasta 1000 V.); la alimentación industrial, en cambio, suele efectuarse en media tensión, y esta porción del sistema no está cubierta por la norma IEC1010.

El segundo concepto, la Categoría de la Instalación, es muy diferente del concepto de nivel de tensión. Es posible que la tensión de corriente continua en una fotocopiadora sea mayor que la tensión de corriente alterna en una rama de la instalación de una industria, pero la energía disponible y el potencial para explosiones eléctricas es muy diferente en ambos casos. La Categoría se corresponde con el nivel de corriente de cortocircuito disponible en ese punto.

Los equipos de Categoría IV se utilizan en instalaciones ubicadas fuera de la planta y el servicio de entrada, en servicio desde el polo (bajo tierra) hasta el edificio, entre el medidor y el tablero principal, para líneas aéreas de entrada al edificio y en líneas subterráneas de acceso al tablero. Para la determinación exacta de cada Categoría se debe estudiar cada locación en particular.

Las líneas subterráneas se consideran de Categoría IV debido a que las descargas atmosféricas, cuando viajan a través de la tierra, buscan el camino de menor impedancia.

Los equipos de Categoría III se utilizan en instalaciones fijas y cuando la fiabilidad y disponibilidad de los mismos están sujetas a requisitos especiales. Son ejemplos de estos equipos los interruptores de las instalaciones de distribución fijas y los equipos de uso industrial con conexión permanente al sistema de distribución (motores, sistemas de iluminación, controladores, centros de carga, etc.).

Son instalaciones típicamente separadas desde la entrada de servicio por al menos un nivel simple de transformador de aislamiento. Las líneas trifásicas siempre se consideran de Categoría III o superiores.

No se incluyen en esta categoría conexiones de cargas "enchufables", excepto en el caso de equipamiento de gran consumo con conexiones "cortas" a la entrada de servicio, por ejemplo un motor de gran porte o un circuito de iluminación general.

Del lado de la línea de un tablero (con alimentación trifásica o monofásica) es Categoría III. Del lado de las cargas, interruptores para 15/20/30 A pueden considerarse como de Categoría III (dado que están permanentemente instalados) o de Categoría II (debido a la protección adicional que ofrecen los interruptores).

Los equipos de **Categoría II** son los equipos desarrollados para su uso en instalaciones fijas o cargas enchufables, como por ejemplo los electrodomésticos y las herramientas portátiles. También se incluyen en esta categoría a todas las salidas a más de 10 metros desde Categoría III y todas las salidas a más de 20 metros desde Categoría IV.

Las distancias especificadas son solo de referencia. Toda energía impulsiva es función del tiempo (duración) y de la distancia (impedancia de líneas y sistemas), y están incluidas simplemente para enfatizar que la norma está construida sobre la base de transitorios, y estos viajan a través de las impedancias incluidas en los cables y en el sistema.

Los equipos de **Categoría I** están destinados a circuitos en los que se adoptan medidas para limitar las sobre tensiones transitorias a un nivel adecuadamente bajo.

Son ejemplos de estos equipos los circuitos electrónicos con protección electrónica previa.

Una fotocopiadora que tiene un transformador interno de 1000 V. DC es aún una máquina CAT I - 1000 V, porque los niveles de corriente son bajos.

Formas en que comúnmente se interpreta a las categorías:

- Cuanto más cerca esté la fuente de poder, mayor será el peligro
- Cuanto mayor sea la corriente de corto circuito disponible, mayor será la Categoría. Transitorios de gran energía son mucho más peligrosos.
- Cuanto mayor sea la impedancia de la fuente, menor será la Categoría. Los transitorios son atenuados por la impedancia del sistema así como ellos viajan desde el punto donde fueron generados.
- SOTT (Supresión de la Onda de Tensión Transitoria) los dispositivos son de gran tamaño (más joules) en un panel que en un receptáculo de salida (enchufables).

Los electricistas están acostumbrados a pensar en términos de las corrientes de cortocircuito debido a que constituyen una de las especificaciones clave (capacidad de interrupción en kA de corriente de falla que deben interrumpir). Las impedancia de fuente, en cambio, se refieren a la impedancia total que ve la carga hacia el generador (incluye la impedancia de línea y la del propio generador). Cuanto más lejos estemos del generador mayor será la impedancia. Para determinar la verdadera tensión que soportan, dentro de cada Categoría una mayor tensión significa que puede soportar transitorios mayores. Por ejemplo:

- CAT III - 600 V. Significa impulsos de 6 kV. y CAT III - 1000 V. Significa impulsos de 8 kV.
- CAT II - 600 V. Significa impulsos de 4 kV. y CAT II - 1000 V. Significa impulsos de 6 kV.

Una pregunta muy común que suele hacerse es cuál es el multímetro mas seguro, uno de CAT III-600 V. ó uno de CAT II-1000 V.? Para ello debemos saber que:

- CAT III - 600 V.: impulso de 6 kV., impedancia de fuente de 2 ohm.
- CAT II - 1000 V.: impulso de 6 kV., impedancia de fuente de 12 ohm.

Si hacemos las diferentes relaciones según la ley de ohm vemos que un impulso de prueba CAT III-600V 6kV tiene 6 veces la corriente ($I=E/R$) y 36 veces la potencia de un impulso de prueba de CAT II-1000V 6kV.

7.7.1.4. Equipamiento adicional.

- Tres transformadores de corriente de tipo flexible, con relación de 1000:5 A.
- Tres puntas de voltaje, para medición directa hasta 600 voltios, todas referenciadas con una punta de conexión a tierra. • Un cable de alimentación de red, para 120 voltios.
- Un cable de comunicación para puerto serial RS-232.
- Ocho canales de entrada con protección galvánica para procesamiento de las señales de entrada de corrientes y voltajes.

7.8. MEDICIONES Y ADQUISICIONES DE DATOS.

Con el Analizador de Calidad de Energía - Unilyzer 901 se midió en el tablero de distribución principal que también hace las veces de transferencia, se instalaron las pinzas de voltaje directamente en las barras común de la transferencia y los transformadores de núcleo partido en la salida del breaker principal.

Para realizar las mediciones se selecciono solo un punto de la red de distribución, el mismo que se analiza por su importancia y por que alimentar cargas no lineales que pueden estar generando armónicas.

La descripción de este punto se detalla a continuación:

Subestación de distribución primaria que está compuesta de tres transformadores monofásicos de 333KVA cada uno, la conexión del banco es en el primario estrella y el secundario en delta, neutro aterrizado para un servicio de 13200Grdy-7620v. /127 -220v.

7.8.1. Intervalo de medición.

Se utilizó un intervalo de medición de 10 minutos considerando que de esta manera se obtendrían los suficientes datos para definir con un alto margen de confiabilidad el comportamiento real del sistema. Cabe recalcar que el intervalo de medición se define como el lapso dentro del período de medición en el que se promedia el valor de la energía a frecuencia fundamental, es decir a 60 Hz, que se rige a la norma EN50160.

7.8.2. Periodo de medición.

a efectos de obtener la información apropiada y cumplir con lo establecido en las normas aplicables, la medición se realizo por el lapso de 3 días continuos, durante los días 8 al 10 de Febrero del 2010.

7.9. PRESENTACION DE MEDICIONES.

A continuación presentamos los resultados de las mediciones realizadas.

DATOS SENEFLDER C.A.

Tabla 12: Registro de parámetros básicos. Fuente: Autor

Date	Time	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	Neutro [V]	I5 [A]	I6 [A]	I7 [A]	Neutro [A]	f1 [Hz]	P [W]	Q [VAr]	S [VA]	PF
08/02/2010	12:10:00	127,439	128	126,615	0,428978	830,238	846,925	787,151	1,31993	59,985	101687	26973,3	105560	0,9679
08/02/2010	12:20:00	127,769	128,132	126,78	0,39598	785,077	811,381	758,867	1,22565	59,985	97860	20020	100193	0,9768
08/02/2010	12:30:00	127,967	128,363	127,076	0,39598	765,467	806,95	736,617	1,50849	59,99	94873,3	23566,7	97953,3	0,9684
08/02/2010	12:40:00	128,066	128,363	127,076	0,428978	709,652	727,189	712,669	1,50849	59,975	89180	15913,3	90860	0,9816
08/02/2010	12:50:00	127,934	128,231	126,878	0,428978	743,782	743,311	737,182	1,60278	59,995	93146,6	17826,7	95153,3	0,9792
08/02/2010	13:00:00	127,67	127,868	126,582	0,428978	802,519	820,809	793,279	1,69706	59,985	99353,3	22446,7	102387	0,9706
08/02/2010	13:10:00	126,944	127,142	125,823	0,461976	850,319	850,037	846,831	1,79134	59,995	104860	23613,3	107893	0,972
08/02/2010	13:20:00	126,648	126,878	125,592	0,461976	850,414	863,142	839,288	1,69706	59,98	104487	24966,7	107707	0,9701
08/02/2010	13:30:00	126,384	126,582	125,262	0,494975	880,961	863,99	872,004	1,79134	59,985	108360	23893,3	111300	0,9734
08/02/2010	13:40:00	126,351	126,615	125,328	0,494975	885,958	878,132	859,559	1,79134	59,99	108453	26040	111953	0,9688
08/02/2010	13:50:00	126,12	126,285	125,031	0,494975	920,747	920,087	903,588	1,79134	59,99	111860	29166,7	116153	0,9634
08/02/2010	14:00:00	125,625	125,922	124,635	0,494975	954,971	977,221	927,63	1,9799	59,98	114240	34206,7	119840	0,9536
08/02/2010	14:10:00	124,866	125,196	123,909	0,494975	1018,52	1021,06	972,225	2,07418	59,985	120587	38220	127073	0,9489
08/02/2010	14:20:00	124,767	125,097	123,777	0,494975	1009,65	997,492	976,373	2,16846	59,975	120213	36213,3	125953	0,9547
08/02/2010	14:30:00	124,833	125,196	123,942	0,494975	981,087	965,813	938,472	1,9799	59,99	117507	32806,7	122407	0,9601
08/02/2010	14:40:00	124,899	125,196	124,008	0,494975	950,163	952,331	919,333	1,9799	59,975	113773	32340	118673	0,9589
08/02/2010	14:50:00	124,965	125,262	124,008	0,494975	968,642	953,274	925,084	1,9799	59,995	116107	32993,3	120960	0,96
08/02/2010	15:00:00	124,998	125,262	123,975	0,494975	931,212	929,421	889,917	1,9799	60,015	111907	30660	116293	0,9624
08/02/2010	15:10:00	124,635	125,064	123,711	0,494975	971,376	956,385	921,879	1,9799	59,96	116247	32573,3	121053	0,9601
08/02/2010	15:20:00	124,602	124,932	123,612	0,527973	973,733	971,565	941,772	2,07418	59,985	115920	33973,3	121193	0,9572
08/02/2010	15:30:00	124,305	124,635	123,282	0,527973	1029,45	1024,46	994,475	2,16846	59,99	121660	38826,7	128053	0,9502

08/02/2010	15:40:00	124,404	124,8	123,48	0,494975	976,561	992,966	931,024	2,16846	59,99	114987	38126,7	121520	0,9463
08/02/2010	15:50:00	124,536	124,899	123,513	0,494975	1019,08	1014,65	984,387	2,26274	59,985	120867	37193,3	126840	0,9528
08/02/2010	16:00:00	124,767	125,13	123,777	0,527973	1002,02	1022,19	964,211	2,26274	59,995	118253	39340	124973	0,9466
08/02/2010	16:10:00	124,404	124,602	123,348	0,527973	1090,08	1120,06	1061,79	2,26274	59,98	127633	45266,7	135707	0,9405
08/02/2010	16:20:00	124,371	124,701	123,48	0,527973	1061,79	1088,28	987,592	2,07418	59,99	123013	47086,7	132020	0,9321
08/02/2010	16:30:00	124,14	124,536	123,216	0,527973	1142,59	1140,7	1057,45	2,26274	60,005	133187	48300	141913	0,9386
08/02/2010	16:40:00	124,569	124,866	123,579	0,527973	983,35	1018,05	950,446	2,07418	60	115173	40646,7	122500	0,9404
08/02/2010	16:50:00	124,866	125,13	123,81	0,527973	1024,36	1041,52	976,09	2,16846	60,005	120213	42746,7	127960	0,9395
08/02/2010	17:00:00	125,13	125,361	124,14	0,527973	1029,45	1066,79	992,778	2,16846	60	120353	44753,3	128847	0,9343
08/02/2010	17:10:00	125,262	125,526	124,305	0,527973	1044,92	1067,26	998,812	2,16846	60,01	122313	45546,7	130993	0,9339
08/02/2010	17:20:00	125,46	125,724	124,569	0,527973	992,495	1037,28	944,223	2,07418	59,99	115687	44613,3	124507	0,9294
08/02/2010	17:30:00	125,493	125,757	124,635	0,527973	1013,24	1046,71	964,588	2,07418	60,005	118487	45126,7	127167	0,9317
08/02/2010	17:40:00	125,988	126,252	125,064	0,527973	1020,97	1050,1	974,676	2,07418	59,995	119607	46153,3	128660	0,9299
08/02/2010	17:50:00	126,285	126,483	125,361	0,527973	962,702	1004,28	941,866	1,9799	59,995	113493	42653,3	121567	0,9334
08/02/2010	18:00:00	127,208	127,505	126,252	0,527973	909,622	923,387	878,698	1,9799	59,99	109247	37146,7	115640	0,9445
08/02/2010	18:10:00	127,769	128,033	126,78	0,527973	828,069	880,772	797,711	1,9799	60	99213,3	35233,3	105607	0,9398
08/02/2010	18:20:00	128,33	128,66	127,34	0,494975	802,425	866,819	769,992	1,9799	59,995	96553,3	34860	102993	0,9376
08/02/2010	18:30:00	128,561	128,99	127,538	0,494975	805,724	854,751	755,944	1,9799	59,985	97346,6	34253,3	103600	0,9399
08/02/2010	18:40:00	128,33	128,759	127,307	0,494975	807,704	870,213	774,046	1,9799	59,995	97160	35093,3	103693	0,9369
08/02/2010	18:50:00	128,297	128,792	127,142	0,494975	784,228	843,437	750,099	2,07418	60	93940	35000	100613	0,9336
08/02/2010	19:00:00	128,198	128,726	126,911	0,494975	725,869	770,841	679,482	1,88562	60,005	88106,6	27860	92913,3	0,9489
08/02/2010	19:10:00	128,198	128,792	126,78	0,494975	639,979	682,688	602,549	1,88562	60	79193,3	19460	82040	0,966
08/02/2010	19:20:00	128,297	128,726	126,845	0,494975	567,1	627,156	539,758	1,60278	59,995	70653,3	15773,3	72706,6	0,9716
08/02/2010	19:30:00	128,561	129,023	127,076	0,494975	545,226	605,095	507,797	1,60278	60	68600	13066,7	70093,3	0,9787
08/02/2010	19:40:00	128,726	129,188	127,241	0,494975	498,463	577,565	480,078	1,60278	59,99	63186,6	9846,66	64166,6	0,9845

08/02/2010	19:50:00	129,023	129,551	127,604	0,494975	444,252	528,35	430,204	1,60278	60,005	56466,6	8726,66	57306,6	0,9849
08/02/2010	20:00:00	129,089	129,683	127,67	0,494975	434,635	504,78	406,162	1,60278	59,995	55066,7	9380	56046,6	0,9829
08/02/2010	20:10:00	129,188	129,815	127,736	0,494975	409,556	462,825	370,901	1,60278	59,99	51846,7	9006,66	52826,7	0,9819
08/02/2010	20:20:00	129,353	129,98	127,967	0,494975	424,17	483,85	384,1	1,60278	60,01	53993,3	8306,66	54880	0,9839
08/02/2010	20:30:00	129,419	130,046	128,033	0,494975	471,31	531,744	406,256	1,60278	60,01	59453,3	11106,7	60993,3	0,9753
08/02/2010	20:40:00	129,485	129,947	128	0,494975	503,083	582,09	456,508	1,69706	60,005	63140	14186,7	65100	0,9703
08/02/2010	20:50:00	129,419	129,815	127,967	0,494975	532,404	610,092	486,489	1,69706	59,985	66640	15633,3	68880	0,9678
08/02/2010	21:00:00	129,419	129,683	127,901	0,494975	502,14	604,058	473,007	1,69706	60,015	62860	14466,7	64960	0,968
08/02/2010	21:10:00	129,551	129,947	128,033	0,494975	536,364	605,472	479,795	1,69706	60,01	67480	14280	69533,3	0,97
08/02/2010	21:20:00	129,518	129,914	128,066	0,494975	567,477	636,867	510,342	1,69706	60,01	70746,6	17360	73546,6	0,962
08/02/2010	21:30:00	129,419	129,881	128	0,494975	621,688	693,813	552,675	1,69706	59,995	77233,3	20113,3	80360	0,9609
08/02/2010	21:40:00	128,957	129,485	127,703	0,494975	635,076	714,272	560,217	1,88562	60	76860	26413,3	81853,3	0,9396
08/02/2010	21:50:00	128,924	129,386	127,67	0,494975	619,52	707,295	560,406	1,88562	59,99	75553,3	24733,3	79940	0,9454
08/02/2010	22:00:00	128,264	128,693	127,01	0,494975	636,49	722,663	574,831	1,79134	60,02	77840	23286,7	81620	0,9537
08/02/2010	22:10:00	127,67	127,967	126,285	0,494975	635,925	711,538	578,413	1,79134	59,98	77933,3	21233,3	81200	0,9602
08/02/2010	22:20:00	127,439	127,736	125,988	0,494975	648,181	716,346	592,933	1,79134	60,015	79566,6	20113,3	82506,6	0,9648
08/02/2010	22:30:00	127,241	127,67	125,922	0,494975	663,172	728,886	593,404	1,79134	59,995	80966,6	22586,7	84373,3	0,9595
08/02/2010	22:40:00	127,835	128,099	126,483	0,461976	624,045	712,292	575,396	1,88562	60,015	76113,3	22026,7	79566,6	0,957
08/02/2010	22:50:00	128,231	128,66	127,01	0,461976	567,854	636,396	498,275	1,79134	60,005	70746,6	15073,3	72660	0,9747
08/02/2010	23:00:00	128,231	128,66	126,977	0,461976	528,35	583,882	446,797	1,79134	60	66873,3	10220	67806,6	0,9865
08/02/2010	23:10:00	128,264	128,726	127,076	0,461976	527,973	593,027	447,551	1,79134	59,99	66780	10173,3	67713,3	0,9863
08/02/2010	23:20:00	128,561	129,023	127,439	0,461976	516,848	582,75	440,952	1,88562	60	65473,3	10546,7	66453,3	0,9849
08/02/2010	23:30:00	128,858	129,386	127,835	0,461976	563,611	637,433	479,795	1,79134	59,995	70420	16753,3	72660	0,9694
08/02/2010	23:40:00	129,056	129,65	128,033	0,461976	589,821	664,869	498,18	1,79134	59,995	73406,6	18246,7	76066,6	0,9654
08/02/2010	23:50:00	129,254	129,815	128,297	0,461976	570,117	655,535	490,921	1,88562	59,995	70186,6	20953,3	73733,3	0,9524

09/02/2010	0:00:00	129,188	129,716	128,198	0,461976	545,981	638,659	488,658	1,79134	60,015	67760	17500	70513,3	0,9615
09/02/2010	0:10:00	129,617	130,409	128,858	0,461976	563,517	624,139	464,051	1,79134	60,01	70046,6	19600	73033,3	0,9598
09/02/2010	0:20:00	129,716	130,673	129,023	0,494975	585,673	623,102	460,468	1,88562	59,99	73313,3	19413,3	75973,3	0,9649
09/02/2010	0:30:00	130,112	130,937	129,386	0,494975	575,679	624,517	479,041	1,88562	60,01	72240	18480	74900	0,9648
09/02/2010	0:40:00	130,508	131,333	129,815	0,461976	575,679	620,934	479,135	1,88562	60,005	72520	18853,3	75180	0,9649
09/02/2010	0:50:00	130,739	131,564	129,98	0,461976	554,372	601,229	458,488	1,88562	60	70186,6	16380	72520	0,9681
09/02/2010	1:00:00	130,673	131,399	129,782	0,461976	569,834	615,748	468,387	1,88562	60,01	71680	18060	74480	0,963
09/02/2010	1:10:00	130,97	131,564	130,046	0,461976	539,664	591,141	477,438	1,88562	59,99	68413,3	17080	70793,3	0,967
09/02/2010	1:20:00	131,498	132,158	130,772	0,461976	538,91	598,495	478,287	1,88562	60,01	68133,3	18246,7	70886,6	0,9619
09/02/2010	1:30:00	131,729	132,323	130,937	0,461976	565,874	635,925	506,288	1,88562	59,99	71213,3	20346,7	74526,6	0,956
09/02/2010	1:40:00	131,234	131,729	130,343	0,461976	564,743	628,288	506,477	1,88562	60	70840	20160	74106,6	0,9561
09/02/2010	1:50:00	131,267	131,861	130,376	0,461976	554,466	615,654	488,186	1,88562	60	69673,3	19786,7	72753,3	0,9584
09/02/2010	2:00:00	131,267	131,861	130,475	0,461976	577,565	648,747	501,48	1,88562	59,995	71866,6	22633,3	75833,3	0,9477
09/02/2010	2:10:00	131,201	131,762	130,508	0,461976	553,9	648,747	501,009	1,88562	59,995	68973,3	21606,7	72660	0,9494
09/02/2010	2:20:00	131,366	131,828	130,607	0,461976	526,559	626,497	480,738	1,88562	60,005	66033,3	19600	69206,6	0,9544
09/02/2010	2:30:00	131,3	131,762	130,541	0,461976	538,061	635,642	492,618	1,88562	60	67293,3	20440	70653,3	0,9526
09/02/2010	2:40:00	131,663	132,158	130,904	0,461976	531,367	617,728	473,29	1,88562	60	67153,3	18433,3	70000	0,9596
09/02/2010	2:50:00	131,597	132,125	130,904	0,461976	552,486	632,342	493,089	1,88562	60,005	70046,6	16846,7	72706,6	0,9634
09/02/2010	3:00:00	131,498	131,993	130,805	0,461976	556,823	634,51	489,412	1,88562	60,005	70280	18200	73220	0,9602
09/02/2010	3:10:00	131,861	132,455	131,201	0,428978	493,56	565,12	420,776	1,79134	59,99	63233,3	13206,7	65053,3	0,9718
09/02/2010	3:20:00	132,026	132,62	131,333	0,428978	472,064	537,024	396,828	1,79134	60	60806,6	10873,3	62253,3	0,9772
09/02/2010	3:30:00	132,092	132,62	131,3	0,428978	468,765	517,414	405,408	1,79134	59,995	60340	11246,7	61880	0,9753
09/02/2010	3:40:00	132,29	132,884	131,564	0,428978	463,108	504,874	397,3	1,79134	59,995	59780	11200	61273,3	0,9759
09/02/2010	3:50:00	132,389	132,983	131,663	0,428978	447,08	484,792	383,723	1,88562	60	57773,3	10593,3	59126,6	0,9768
09/02/2010	4:00:00	132,356	132,884	131,663	0,428978	455,282	491,675	386,929	1,79134	60,005	58800	10546,7	60246,6	0,9755

09/02/2010	4:10:00	132,125	132,719	131,432	0,428978	450,191	487,904	375,521	1,88562	59,995	58146,6	10126,7	59453,3	0,9783
09/02/2010	4:20:00	132,125	132,719	131,465	0,428978	435,483	475,364	360,247	1,79134	60,005	56233,3	9986,66	57540	0,9779
09/02/2010	4:30:00	132,125	132,686	131,432	0,428978	403,616	438,029	340,448	1,79134	59,995	52220	9520	53293,3	0,98
09/02/2010	4:40:00	132,092	132,653	131,333	0,428978	450,38	467,162	368,733	1,79134	59,99	58286,6	10406,7	59360	0,9817
09/02/2010	4:50:00	131,894	132,587	131,201	0,428978	475,176	482,341	369,675	1,79134	60,005	61366,6	10593,3	62673,3	0,9798
09/02/2010	5:00:00	132,125	132,851	131,465	0,428978	438,406	440,292	328,192	1,88562	60,01	56700	10266,7	57913,3	0,9797
09/02/2010	5:10:00	131,762	132,389	131,036	0,428978	443,686	456,979	368,355	1,88562	59,99	57306,6	10173,3	58426,6	0,9804
09/02/2010	5:20:00	131,729	132,356	131,003	0,428978	444,44	458,205	367,978	1,79134	60	57400	9986,66	58520	0,9814
09/02/2010	5:30:00	131,597	132,158	130,805	0,428978	455,377	470,744	383,629	1,79134	59,995	58753,3	10173,3	59873,3	0,9814
09/02/2010	5:40:00	131,531	132,092	130,706	0,428978	456,508	469,707	380,612	1,79134	59,995	58893,3	10220	60060	0,9809
09/02/2010	5:50:00	131,696	132,224	130,805	0,428978	424,264	436,709	350,442	1,88562	60,005	54786,7	9660	55860	0,9811
09/02/2010	6:00:00	131,762	132,29	130,904	0,428978	435,012	445,571	359,587	1,79134	59,995	55953,3	10920	57260	0,9778
09/02/2010	6:10:00	132,422	132,917	131,564	0,428978	457,639	479,513	396,734	1,79134	60,005	59173,3	10780	60433,3	0,9792
09/02/2010	6:20:00	132,653	133,082	131,762	0,428978	484,321	514,019	435,483	1,79134	60	62860	11433,3	64213,3	0,9795
09/02/2010	6:30:00	132,95	133,445	132,092	0,428978	479,418	507,42	422,944	1,79134	60,01	62300	11573,3	63700	0,9778
09/02/2010	6:40:00	133,181	133,808	132,422	0,428978	485,452	514,397	411,065	1,88562	60,015	63233,3	11620	64633,3	0,9786
09/02/2010	6:50:00	133,445	134,006	132,752	0,428978	475,553	529,01	413,893	1,79134	60,005	61786,6	12320	63466,6	0,9741
09/02/2010	7:00:00	133,511	134,105	132,785	0,428978	500,349	529,104	423,51	1,88562	59,995	65053,3	12133,3	66733,3	0,9751
09/02/2010	7:10:00	133,478	134,138	132,818	0,428978	485,735	516,471	390,606	1,79134	59,99	63093,3	12600	64820	0,9733
09/02/2010	7:20:00	133,346	134,039	132,752	0,428978	510,908	539,192	417,947	1,79134	59,99	66220	13766,7	68086,6	0,9728
09/02/2010	7:30:00	133,313	134,006	132,785	0,428978	481,493	526,464	400,882	1,79134	59,995	62346,6	13393,3	64166,6	0,9717
09/02/2010	7:40:00	133,28	134,039	132,785	0,428978	454,151	488,469	360,247	1,79134	60,005	59406,6	9380	60526,6	0,9813
09/02/2010	7:50:00	132,785	133,478	132,158	0,428978	477,816	497,897	397,394	1,69706	59,99	62346,6	10500	63373,3	0,9832
09/02/2010	8:00:00	132,851	133,313	132,026	0,428978	532,593	537,684	481,964	1,69706	59,995	69626,6	11760	70746,6	0,984
09/02/2010	8:10:00	132,323	132,686	131,432	0,428978	608,583	612,92	569,268	1,79134	60	79193,3	13206,7	80453,3	0,9843

09/02/2010	8:20:00	130,673	131,102	129,782	0,428978	733,6	704,655	644,033	1,79134	59,98	93846,6	17640	95620	0,9816
09/02/2010	8:30:00	129,353	129,716	128,363	0,428978	845,322	820,715	763,581	1,9799	60,01	106260	25060	109433	0,9713
09/02/2010	8:40:00	128,33	128,858	127,406	0,428978	931,589	884,826	836,931	2,26274	59,985	114520	33693,3	119607	0,9575
09/02/2010	8:50:00	127,373	127,736	126,351	0,428978	977,599	951,388	898,025	2,16846	59,995	119187	35513,3	124507	0,9575
09/02/2010	9:00:00	126,78	127,109	125,79	0,428978	985,235	954,594	907,736	2,16846	60,01	119840	34626,7	124927	0,9594
09/02/2010	9:10:00	126,021	126,384	125,064	0,428978	1050,95	1016,63	969,302	2,35702	60,005	125673	40553,3	132300	0,9506
09/02/2010	9:20:00	125,658	125,889	124,602	0,428978	1029,83	1004,56	969,396	2,26274	59,985	124180	35886,7	129453	0,9595
09/02/2010	9:30:00	124,701	125,031	123,744	0,428978	1109,59	1080,93	997,209	2,26274	60	130760	43446,7	138133	0,9472
09/02/2010	9:40:00	124,338	124,668	123,414	0,428978	1147,49	1160,97	1036,62	2,26274	59,99	133887	48300	142660	0,9386
09/02/2010	9:50:00	124,734	125,064	123,777	0,428978	1177,57	1155,6	1040,58	2,26274	59,995	138647	47320	146907	0,9436
09/02/2010	10:00:00	124,173	124,536	123,282	0,428978	1183,6	1171,16	1050,01	2,16846	60,005	138180	48720	146953	0,9403
09/02/2010	10:10:00	123,612	124,008	122,688	0,428978	1133,16	1121,94	1010,31	2,07418	60	132207	45500	140140	0,9437
09/02/2010	10:20:00	123,381	123,744	122,457	0,428978	1138,63	1138,44	1009,28	2,07418	59,99	131973	47506,7	140560	0,9387
09/02/2010	10:30:00	123,084	123,513	122,292	0,428978	1109,21	1134,29	990,704	2,07418	59,99	127540	47973,3	136547	0,934
09/02/2010	10:40:00	122,655	122,985	121,665	0,428978	1183,51	1181,15	1077,54	2,07418	59,99	136873	47413,3	145180	0,9429
09/02/2010	10:50:00	122,82	123,15	121,83	0,428978	1173,61	1184,92	1078,57	2,07418	59,99	135753	47880	144200	0,9413
09/02/2010	11:00:00	122,391	122,721	121,302	0,428978	1131,46	1132,78	1032,38	2,16846	59,995	131647	42373,3	138553	0,9502
09/02/2010	11:10:00	122,259	122,622	121,236	0,428978	1205,48	1229,23	1106,76	2,26274	59,995	138087	50260	147233	0,9383
09/02/2010	11:20:00	121,962	122,424	121,038	0,461976	1232,72	1240,55	1104,69	2,16846	60	140840	52220	150360	0,9365
09/02/2010	11:30:00	122,094	122,523	121,104	0,428978	1201,23	1214,81	1088,47	2,07418	60,01	137853	49606,7	146720	0,9395
09/02/2010	11:40:00	121,995	122,424	121,038	0,428978	1217,26	1231,03	1087,91	2,07418	60	139860	49373,3	148540	0,9417
09/02/2010	11:50:00	121,995	122,556	121,137	0,461976	1217,45	1226,31	1076,59	1,9799	60	139067	51286,7	148587	0,9361
09/02/2010	12:00:00	122,259	122,919	121,467	0,461976	1167,95	1183,41	1014,84	1,69706	59,995	132953	51426,7	142893	0,9304
09/02/2010	12:10:00	123,381	124,107	122,589	0,428978	1120,43	1132,6	964,022	1,69706	59,99	129267	48486,7	138320	0,9346
09/02/2010	12:20:00	123,876	124,371	122,952	0,428978	1037,37	1092,53	930,741	1,69706	59,985	120680	43306,7	128520	0,9393

09/02/2010	12:30:00	124,206	124,635	123,183	0,428978	1016,73	1064,24	937,246	1,60278	60	119793	39340	126420	0,9478
09/02/2010	12:40:00	124,437	124,998	123,447	0,428978	999,377	1033,22	876,718	1,69706	59,995	117973	38686,7	124413	0,9482
09/02/2010	12:50:00	124,338	124,8	123,315	0,428978	983,821	1032,09	891,52	1,69706	60,005	116293	37240	122360	0,9503
09/02/2010	13:00:00	124,437	124,932	123,315	0,428978	997,68	1008,9	876,058	1,69706	60	118767	35000	124087	0,9574
09/02/2010	13:10:00	123,843	124,371	122,853	0,428978	1001,92	1046,42	860,69	1,69706	59,99	117553	39106,7	124180	0,9469
09/02/2010	13:20:00	123,942	124,47	122,787	0,428978	982,124	995,606	850,225	1,79134	59,995	116667	33600	121660	0,959
09/02/2010	13:30:00	123,249	123,744	122,061	0,428978	1030,3	1049,82	897,554	1,79134	59,995	121427	36586,7	127073	0,9553
09/02/2010	13:40:00	122,985	123,513	121,929	0,428978	1119,49	1129,01	962,514	1,9799	60	130573	42886,7	137713	0,948
09/02/2010	13:50:00	122,523	123,084	121,533	0,428978	1129,39	1136,65	970,905	1,88562	59,995	130573	44800	138413	0,9439
09/02/2010	14:00:00	122,556	123,051	121,599	0,428978	1140,89	1167,01	1001,45	1,9799	59,995	132020	45033,3	139860	0,9437
09/02/2010	14:10:00	122,325	122,82	121,302	0,428978	1210,94	1220,84	1061,79	2,07418	60	139953	47693,3	148167	0,9448
09/02/2010	14:20:00	122,259	122,655	121,137	0,428978	1137,5	1170,69	1012,58	2,16846	60,015	132067	43166,7	139113	0,9493
09/02/2010	14:30:00	121,797	122,292	120,807	0,461976	1189,64	1204,34	1041,52	2,4513	59,99	137340	45406,7	144993	0,9475
09/02/2010	14:40:00	122,325	122,82	121,5	0,428978	1217,26	1246,86	1061,89	2,07418	60	139067	52360	148960	0,9336
09/02/2010	14:50:00	123,744	124,14	122,853	0,428978	1211,6	1272,98	1082,25	2,07418	60,005	139067	55300	149473	0,9381
09/02/2010	15:00:00	123,81	124,239	122,919	0,428978	1213,77	1259,59	1080,27	1,9799	60	140187	53153,3	150360	0,9326
09/02/2010	15:10:00	124,14	124,668	123,216	0,428978	1177,19	1206,98	1019,08	1,88562	59,995	137107	49560	146207	0,9378
09/02/2010	15:20:00	124,503	124,998	123,579	0,428978	1136,37	1178,61	1010,69	1,9799	60	133933	44986,7	141587	0,9459
09/02/2010	15:30:00	124,173	124,668	123,249	0,461976	1147,02	1179,17	1032,28	2,16846	59,995	135427	43540	142567	0,9498
09/02/2010	15:40:00	124,47	125,031	123,579	0,461976	1087,44	1128,73	969,208	2,07418	60,005	128193	42606,7	135380	0,9468
09/02/2010	15:50:00	124,899	125,427	123,909	0,461976	1073,95	1082,53	956,951	2,07418	60,015	127773	39993,3	134167	0,9529
09/02/2010	16:00:00	125,196	125,658	124,206	0,428978	1049,44	1093,56	943,092	2,07418	60,005	124367	41346,7	131413	0,9463
09/02/2010	16:10:00	125,691	126,186	124,767	0,428978	991,364	1029,36	887,089	1,79134	59,995	118673	36820	124600	0,9526
09/02/2010	16:20:00	126,219	126,582	125,196	0,428978	997,115	1044,26	917,07	1,88562	60	120260	35980	125860	0,9557
09/02/2010	16:30:00	126,516	126,977	125,526	0,461976	1003,15	1036,71	905,662	1,79134	60	121427	35746,7	126933	0,9571

09/02/2010	16:40:00	126,648	127,175	125,757	0,428978	1013,05	1060,66	908,302	1,79134	60	122267	37520	128240	0,9533
09/02/2010	16:50:00	126,516	127,109	125,658	0,428978	1040,48	1091,21	945,92	1,79134	60	124787	40646,7	131647	0,948
09/02/2010	17:00:00	127,241	127,868	126,45	0,428978	1013,9	1068,3	903,117	1,69706	60,005	122080	40506,7	129080	0,9458
09/02/2010	17:10:00	127,505	128	126,747	0,461976	1054,72	1099,98	953,84	1,88562	60,015	127260	42140	134447	0,9467
09/02/2010	17:20:00	127,505	128,165	126,845	0,428978	1040,58	1078,48	894,443	1,88562	60,01	124460	44986,7	132767	0,9374
09/02/2010	17:30:00	128	128,561	127,142	0,428978	1019,18	1034,83	889,823	1,88562	60,01	124647	37006,7	130480	0,9556
09/02/2010	17:40:00	128,132	128,792	127,439	0,428978	982,878	1023,04	851,828	1,79134	60	119093	39573,3	126000	0,9453
09/02/2010	17:50:00	128,561	129,089	127,67	0,428978	1002,3	1027,85	895,386	1,69706	59,99	122593	38546,7	128940	0,951
09/02/2010	18:00:00	129,551	130,112	128,66	0,428978	932,627	991,269	819,49	1,69706	60,015	114240	37753,3	120820	0,9456
09/02/2010	18:10:00	129,881	130,376	128,957	0,428978	930,175	1018,42	834,48	1,60278	60,01	114147	38500	120913	0,9441
09/02/2010	18:20:00	130,112	130,64	129,254	0,428978	901,702	988,441	800,35	1,60278	60,01	110507	37986,7	117273	0,9425
09/02/2010	18:30:00	130,607	131,201	129,815	0,428978	885,392	976,184	760,281	1,60278	59,99	108080	40320	115687	0,9341
09/02/2010	18:40:00	130,838	131,366	129,914	0,428978	884,638	974,11	793,279	1,60278	60	108733	38500	115827	0,9392
09/02/2010	18:50:00	130,574	131,102	129,551	0,428978	867,478	972,79	776,403	1,60278	60	105467	40133,3	113260	0,9314
09/02/2010	19:00:00	129,947	130,607	128,957	0,428978	879,169	976,184	746,61	1,69706	59,985	105560	42560	114287	0,9237
09/02/2010	19:10:00	129,419	130,079	128,198	0,428978	838,063	921,313	706,07	1,60278	60,005	102107	35606,7	108500	0,9412
09/02/2010	19:20:00	129,155	129,881	127,967	0,428978	866,819	939,415	729,923	1,60278	59,995	104487	39013,3	111953	0,9334
09/02/2010	19:30:00	128,99	129,749	127,868	0,428978	863,613	944,129	729,263	1,60278	60,015	103180	40646,7	111207	0,9282
09/02/2010	19:40:00	129,749	130,343	128,495	0,428978	633,19	734,825	552,015	1,60278	60,005	78026,6	23473,3	81900	0,9534
09/02/2010	19:50:00	130,178	130,673	128,792	0,428978	563,517	666,094	507,42	1,60278	60,005	70793,3	17966,7	73406,6	0,9645
09/02/2010	20:00:00	130,409	131,003	129,023	0,428978	555,314	647,238	498,086	1,60278	59,985	70746,6	13020	72333,3	0,9782
09/02/2010	20:10:00	130,409	130,97	128,99	0,428978	552,297	645,824	498,746	1,60278	59,995	70606,6	12553,3	72053,3	0,9799
09/02/2010	20:20:00	129,947	130,475	128,528	0,428978	598,118	700,413	534,667	1,60278	60,01	75133,3	17920	77746,6	0,9666
09/02/2010	20:30:00	129,749	130,31	128,429	0,428978	593,781	708,992	539,381	1,60278	59,99	73500	21746,7	77046,6	0,9541
09/02/2010	20:40:00	129,98	130,475	128,561	0,428978	599,815	709,181	557,2	1,50849	60,015	74853,3	20486,7	77980	0,9605

09/02/2010	20:50:00	129,98	130,343	128,495	0,428978	611,412	733,694	590,67	1,60278	60	76253,3	21093,3	79520	0,9596
09/02/2010	21:00:00	130,079	130,508	128,726	0,428978	624,611	739,634	597,081	1,50849	59,995	77746,6	22026,7	81246,6	0,9574
09/02/2010	21:10:00	130,277	130,772	128,957	0,428978	665,906	776,12	632,908	1,60278	59,995	81760	27580	86753,3	0,9427
09/02/2010	21:20:00	130,706	131,201	129,287	0,428978	644,127	746,799	609,526	1,60278	60	80266,6	24173,3	84233,3	0,9531
09/02/2010	21:30:00	130,64	131,102	129,254	0,428978	624,422	729,263	592,838	1,60278	60,015	77980	21513,3	81573,3	0,956
09/02/2010	21:40:00	130,739	131,267	129,353	0,428978	650,538	746,139	607,358	1,60278	60,005	81526,6	21840	85026,6	0,9589
09/02/2010	21:50:00	129,98	130,475	128,561	0,428978	677,974	786,397	637,999	1,60278	59,99	83673,3	25806,7	88060	0,9504
09/02/2010	22:00:00	130,112	130,574	128,66	0,428978	714,178	821,941	668,357	1,60278	60,02	86893,3	31593,3	93006,6	0,9343
09/02/2010	22:10:00	130,277	130,805	128,825	0,428978	734,448	829,86	681,462	1,79134	59,99	89180	33833,3	95806,6	0,9314
09/02/2010	22:20:00	130,277	130,706	128,825	0,428978	723,7	825,712	679,011	1,69706	60,015	88013,3	32526,7	94360	0,9329
09/02/2010	22:30:00	130,112	130,607	128,759	0,428978	674,108	766,032	623,668	1,79134	60	82413,3	28653,3	87733,3	0,9398
09/02/2010	22:40:00	130,178	130,607	128,891	0,428978	662,7	771,501	621,594	1,69706	60,01	80966,6	28280	86240	0,9391
09/02/2010	22:50:00	129,947	130,409	128,693	0,428978	671,469	764,712	622,254	1,69706	60,005	82226,6	27580	87266,6	0,9425
09/02/2010	23:00:00	130,343	130,838	129,122	0,428978	644,316	721,909	593,31	1,69706	60,015	80453,3	22120	84000	0,9582
09/02/2010	23:10:00	130,706	131,3	129,518	0,428978	599,532	663,36	530,33	1,69706	60	75506,6	19646,7	78400	0,9635
09/02/2010	23:20:00	130,838	131,399	129,716	0,428978	602,455	669,96	529,481	1,69706	60,005	75553,3	21746,7	78866,6	0,9582
09/02/2010	23:30:00	130,475	131,135	129,518	0,428978	616,22	700,224	537,213	1,69706	60,005	75693,3	26740	80453,3	0,9407
09/02/2010	23:40:00	130,904	131,63	129,947	0,428978	627,251	690,325	530,236	1,79134	60	77093,3	26506,7	82086,6	0,9397
09/02/2010	23:50:00	131,399	132,059	130,442	0,428978	596,044	685,139	530,707	1,79134	60,01	74153,3	22866,7	78260	0,9473
10/02/2010	0:00:00	131,762	132,389	130,805	0,428978	584,636	675,711	523,73	1,79134	60,01	73080	22026,7	77046,6	0,9486
10/02/2010	0:10:00	131,762	132,554	130,871	0,428978	612,637	652,518	493,372	1,79134	59,985	77140	21513,3	80733,3	0,9559
10/02/2010	0:20:00	131,531	132,323	130,739	0,428978	618,671	653,838	494,22	1,88562	60,01	77140	24453,3	81386,6	0,9477
10/02/2010	0:30:00	131,729	132,455	131,003	0,39598	626,025	668,64	518,922	1,79134	60,005	77653,3	26833,3	82506,6	0,9413
10/02/2010	0:40:00	131,63	132,356	130,904	0,428978	608,866	662,983	514,962	1,79134	60,005	75273,3	26693,3	80173,3	0,939
10/02/2010	0:50:00	131,564	132,29	130,871	0,428978	615,371	664,303	511,38	1,79134	60,005	76206,6	26226,7	80966,6	0,9411

10/02/2010	1:00:00	131,597	132,257	130,838	0,461976	619,048	664,775	525,333	1,88562	60	76953,3	25340	81480	0,9448
10/02/2010	1:10:00	131,63	132,125	130,838	0,428978	644,033	706,164	579,545	1,79134	60,005	79660	27486,7	84793,3	0,9396
10/02/2010	1:20:00	131,861	132,389	131,102	0,428978	629,891	695,699	572,568	1,88562	59,995	78213,3	26973,3	83113,3	0,9413
10/02/2010	1:30:00	131,894	132,422	131,135	0,428978	628,194	699,753	571,342	1,79134	60	77280	28886,7	82926,6	0,9322
10/02/2010	1:40:00	131,927	132,455	131,135	0,39598	615,466	673,354	556,069	1,79134	60,005	76300	25946,7	81200	0,9401
10/02/2010	1:50:00	131,927	132,455	131,168	0,39598	645,353	703,713	578,225	1,79134	59,99	80640	25246,7	85213,3	0,9467
10/02/2010	2:00:00	132,026	132,554	131,267	0,428978	647,238	703,053	592,273	1,79134	60,005	81713,3	23473,3	85586,6	0,9549
10/02/2010	2:10:00	132,191	132,686	131,498	0,428978	609,903	698,244	573,416	1,79134	59,995	76580	23520	80640	0,9493
10/02/2010	2:20:00	132,323	132,818	131,597	0,428978	631,399	708,709	582,373	1,88562	60,005	79193,3	24126,7	83486,6	0,9489
10/02/2010	2:30:00	132,158	132,62	131,465	0,428978	657,138	741,331	608,017	1,79134	60	82040	25900	86846,6	0,9449
10/02/2010	2:40:00	132,521	132,95	131,762	0,428978	614,711	692,682	568,231	1,79134	60	77700	21513,3	81433,3	0,9543
10/02/2010	2:50:00	132,752	133,214	132,026	0,428978	592,933	672,883	552,297	1,79134	60,01	75273,3	21326,7	78773,3	0,9556
10/02/2010	3:00:00	132,653	133,115	131,96	0,428978	630,362	709,369	585,861	1,79134	59,995	79333,3	23660	83626,6	0,9492
10/02/2010	3:10:00	132,785	133,313	132,125	0,428978	629,419	687,591	552,392	1,79134	60,005	79520	22866,7	83626,6	0,9506
10/02/2010	3:20:00	132,917	133,478	132,257	0,428978	613,486	663,832	535,138	1,79134	60	78073,3	20533,3	81526,6	0,9573
10/02/2010	3:30:00	133,181	133,709	132,422	0,428978	576,81	621,688	498,934	1,79134	60	74106,6	16286,7	76906,6	0,9639
10/02/2010	3:40:00	133,346	133,874	132,653	0,428978	556,917	597,741	483,001	1,69706	59,995	72146,6	12786,7	74293,3	0,9707
10/02/2010	3:50:00	133,016	133,61	132,323	0,428978	520,242	561,914	461,222	1,60278	60	67340	11526,7	69253,3	0,9722
10/02/2010	4:00:00	132,818	133,445	132,125	0,428978	499,5	533,253	438,123	1,69706	60	64260	12460	66313,3	0,9694
10/02/2010	4:10:00	132,95	133,478	132,29	0,428978	491,015	525,239	436,709	1,69706	60	63560	11806,7	65240	0,9747
10/02/2010	4:20:00	132,884	133,511	132,257	0,428978	476,024	497,897	408,802	1,69706	60,01	61553,3	11480	63280	0,9728
10/02/2010	4:30:00	132,95	133,61	132,323	0,428978	469,613	486,678	398,242	1,69706	60	60713,3	11433,3	62393,3	0,9732
10/02/2010	4:40:00	132,983	133,61	132,224	0,428978	466,313	460,939	392,774	1,88562	60	60433,3	11806,7	61880	0,9769
10/02/2010	4:50:00	132,95	133,577	132,158	0,39598	452,643	440,386	388,626	1,88562	59,99	58986,6	10873,3	60153,3	0,9805
10/02/2010	5:00:00	133,115	133,742	132,356	0,39598	479,89	461,034	409,933	1,88562	59,99	62533,3	11993,3	63840	0,9796

10/02/2010	5:10:00	133,148	133,709	132,356	0,39598	476,778	462,353	429,167	1,88562	59,995	62253,3	11246,7	63420	0,9812
10/02/2010	5:20:00	132,884	133,412	132,092	0,39598	476,024	464,616	423,604	1,88562	60,01	62113,3	10873,3	63233,3	0,9819
10/02/2010	5:30:00	132,884	133,412	132,059	0,39598	472,63	463,768	430,204	1,88562	59,995	61693,3	10873,3	62813,3	0,9819
10/02/2010	5:40:00	132,719	133,313	131,894	0,39598	472,159	457,545	425,301	1,88562	59,985	61553,3	10173,3	62580	0,9836
10/02/2010	5:50:00	132,554	133,082	131,663	0,39598	473,29	462,919	431,429	1,88562	60	61506,6	10873,3	62720	0,9812
10/02/2010	6:00:00	132,62	133,115	131,762	0,39598	473,384	468,765	434,446	1,88562	59,99	61740	10733,3	62813,3	0,9826
10/02/2010	6:10:00	133,379	133,907	132,521	0,39598	478,853	466,879	433,975	1,88562	60,005	62580	11480	63840	0,9805
10/02/2010	6:20:00	133,577	134,138	132,752	0,39598	474,327	476,873	437,369	1,88562	60	62066,6	11293,3	63326,6	0,9805
10/02/2010	6:30:00	134,006	134,435	133,181	0,39598	459,337	483,567	437,086	1,88562	60,015	60060	11433,3	61506,6	0,9768
10/02/2010	6:40:00	134,303	134,831	133,511	0,39598	458,488	480,455	430,015	1,88562	60,015	60200	11013,3	61600	0,9774
10/02/2010	6:50:00	134,435	135,029	133,676	0,39598	481,87	492,995	443,874	1,88562	59,995	63373,3	11153,3	64773,3	0,978
10/02/2010	7:00:00	133,445	134,006	132,62	0,39598	479,135	494,032	444,534	1,79134	60	62393,3	11666,7	63933,3	0,9764
10/02/2010	7:10:00	132,785	133,478	132,092	0,39598	498,369	515,811	445,289	1,79134	59,99	64586,6	12413,3	66173,3	0,9766
10/02/2010	7:20:00	132,686	133,445	131,993	0,39598	469,142	474,799	408,425	1,79134	59,985	60900	10826,7	62206,6	0,979
10/02/2010	7:30:00	132,521	133,346	131,861	0,39598	444,817	436,049	375,427	1,88562	60	57913,3	9986,66	58940	0,9824
10/02/2010	7:40:00	132,158	133,016	131,498	0,39598	437,652	436,521	367,507	1,79134	60	56840	9706,66	57866,6	0,9829
10/02/2010	7:50:00	132,059	132,785	131,267	0,39598	463,673	449,72	403,994	1,79134	60,005	60106,6	10360	61133,3	0,9835
10/02/2010	8:00:00	131,795	132,356	130,838	0,39598	507,043	493,843	459,525	1,88562	59,99	65706,6	11106,7	66780	0,9846
10/02/2010	8:10:00	130,541	130,937	129,584	0,39598	573,699	583,127	565,12	1,69706	59,98	73546,6	12460	74666,6	0,9851
10/02/2010	8:20:00	128,957	129,023	127,967	0,39598	793,751	828,918	820,621	1,79134	59,99	99540	21420	101967	0,9772
10/02/2010	8:30:00	128,66	128,792	127,736	0,39598	835,517	865,216	865,781	1,79134	59,995	105327	21513,3	107660	0,9785
10/02/2010	8:40:00	127,868	128,297	127,175	0,428978	950,917	975,053	916,882	1,9799	60,015	116760	32666,7	121427	0,9623
10/02/2010	8:50:00	127,307	127,67	126,483	0,428978	998,058	1015,41	958,554	2,16846	59,99	121520	36446,7	127073	0,9567
10/02/2010	9:00:00	126,878	127,34	126,087	0,428978	1022,48	1041,52	972,413	2,16846	59,99	123387	39480	129780	0,9511
10/02/2010	9:10:00	126,186	126,845	125,493	0,428978	1045,67	1044,16	963,268	2,4513	59,99	124273	43586,7	131927	0,9422

10/02/2010	9:20:00	125,625	126,285	124,932	0,428978	1046,9	1069,15	980,616	2,35702	60	123153	45593,3	131507	0,9366
10/02/2010	9:30:00	125,361	125,889	124,635	0,428978	1033,88	1082,06	987,215	2,16846	59,99	121427	44286,7	129547	0,9378
10/02/2010	9:40:00	124,965	125,526	124,206	0,428978	1015,41	1050,1	953,934	2,16846	59,995	119887	40786,7	126840	0,9453
10/02/2010	9:50:00	124,14	124,701	123,348	0,428978	1086,12	1113,46	1008,05	2,4513	60	127260	43586,7	134820	0,9443
10/02/2010	10:00:00	124,173	124,569	123,282	0,428978	1101,48	1157,96	1040,11	2,4513	60	128147	46900	136780	0,9369
10/02/2010	10:10:00	124,371	124,833	123,48	0,428978	1078,01	1108,37	996,36	2,35702	60,005	126793	42700	134120	0,9456
10/02/2010	10:20:00	124,668	125,097	123,81	0,428978	1047,74	1093	981,087	2,35702	60	122967	42980	130667	0,9414
10/02/2010	10:30:00	124,965	125,328	124,041	0,428978	989,195	1035,11	939,792	2,26274	59,995	117460	37240	123527	0,9511
10/02/2010	10:40:00	124,767	125,163	123,777	0,428978	1048,87	1079,42	981,747	2,35702	59,995	124693	38406,7	130900	0,9529
10/02/2010	10:50:00	124,602	124,932	123,546	0,428978	1058,77	1094,22	1004,56	2,35702	59,995	125767	39200	131973	0,9529
10/02/2010	11:00:00	124,272	124,767	123,282	0,428978	1041,62	1077,63	966,191	2,35702	60,015	122453	41626,7	129547	0,9453
10/02/2010	11:10:00	124,107	124,602	123,15	0,461976	1055,19	1096,58	992,872	2,35702	59,975	124273	40926,7	131087	0,9482
10/02/2010	11:20:00	123,942	124,371	123,051	0,428978	1062,26	1124,11	1008,62	2,26274	60,02	123527	44753,3	131600	0,9387
10/02/2010	11:30:00	123,81	124,272	122,919	0,428978	1083,76	1125,05	1007,11	2,16846	60,005	126327	44333,3	134213	0,9416
10/02/2010	11:40:00	124,008	124,437	123,018	0,428978	1082,82	1116,1	1011,16	2,26274	60,005	126607	43960	134307	0,9429
10/02/2010	11:50:00	124,371	124,8	123,348	0,428978	1131,84	1162,86	1052,46	2,26274	60,005	132207	47786,7	140840	0,9388
10/02/2010	12:00:00	124,668	125,097	123,645	0,428978	1126,66	1169,84	1042,46	2,16846	60	132067	47366,7	140513	0,9398
10/02/2010	12:10:00	124,899	125,361	123,909	0,428978	1148,81	1197,84	1061,6	2,16846	60,005	134120	50446,7	143547	0,9343
10/02/2010	12:20:00	125,427	125,955	124,404	0,428978	1084,7	1101,2	991,081	2,07418	60,005	128987	42793,3	136127	0,9477
10/02/2010	12:30:00	126,12	126,483	125,064	0,428978	998,623	1071,79	942,243	1,88562	60,01	119653	38406,7	125813	0,9515
10/02/2010	12:40:00	126,714	127,142	125,658	0,428978	952,803	992,495	902,174	1,88562	59,99	116667	31033,3	120773	0,9662
10/02/2010	12:50:00	126,384	126,977	125,526	0,428978	894,914	947,712	844,097	1,9799	59,995	107847	32993,3	112933	0,9553
10/02/2010	13:00:00	126,285	126,845	125,295	0,428978	924,707	960,157	899,44	2,07418	60,01	112093	31873,3	116760	0,9602
10/02/2010	13:10:00	126,021	126,516	124,998	0,428978	882,469	926,404	853,902	2,07418	59,995	106353	31546,7	111160	0,957
10/02/2010	13:20:00	125,46	125,922	124,305	0,428978	983,444	1015,03	955,631	2,16846	59,995	117787	35466,7	123293	0,9555

10/02/2010	13:30:00	125,559	126,054	124,437	0,428978	920,559	954,217	886,523	2,07418	59,995	110507	32013,3	115500	0,9569
10/02/2010	13:40:00	125,196	125,757	124,173	0,428978	957,8	1000,23	915,09	2,16846	60	112980	39433,3	119933	0,9422
10/02/2010	13:50:00	124,932	125,394	123,843	0,428978	996,926	1033,7	961,759	2,26274	59,995	117833	39293,3	124553	0,9459
10/02/2010	14:00:00	124,437	124,833	123,315	0,428978	1011,82	1069,81	955,348	2,16846	60,005	117600	43400	125767	0,9355
10/02/2010	14:10:00	124,041	124,536	123,084	0,428978	1132,5	1188,13	1045,1	2,16846	59,98	130807	50680	140607	0,9303
10/02/2010	14:20:00	123,645	124,173	122,688	0,428978	1080,65	1143,82	1003,24	2,07418	60	124087	48626,7	133653	0,9286
10/02/2010	14:30:00	123,414	123,942	122,457	0,428978	1123,64	1170,21	1052,46	2,07418	60,01	129593	48766,7	138693	0,9343
10/02/2010	14:40:00	123,15	123,546	122,127	0,428978	1091,87	1161,16	1047,08	1,9799	60	126047	46526,7	134540	0,9367
10/02/2010	14:50:00	123,216	123,744	122,16	0,428978	1100,07	1132,03	1041,8	2,07418	59,995	127867	44566,7	135613	0,9428
10/02/2010	15:00:00	123,051	123,513	121,962	0,428978	1058,11	1133,82	1018,33	1,9799	60	122547	43633,3	130247	0,9407

THD y TDD SENEFELDER C.A.

Tabla 13: Registro diario de armónicos. Fuente: Autor

Date	Time	THDF1 [%]	THDF2 [%]	THDF3 [%]	THDF4 [%]	THDF5 [%]	THDF6 [%]	THDF7 [%]	THDF8 [%]	TDD1 [%]	TDD2 [%]	TDD3 [%]	TDD4 [%]	TDD5 [%]	TDD6 [%]	TDD7 [%]	TDD8 [%]	K4	
08/02/2010	12:10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	12:20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	12:30:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	12:40:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	12:50:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	13:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	13:10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	13:20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	13:30:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	13:40:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	13:50:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	14:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	14:10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	14:20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	14:30:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	14:40:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	14:50:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	15:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	15:10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	15:20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	15:30:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	15:40:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	15:50:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	16:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	16:10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	16:20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/02/2010	16:30:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

09/02/2010	14:40:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/02/2010	14:50:00	0	0	0	-146,12	7,27	6,955	6,61	53,95	0	0	0	-0,005	43,94	44,165	35,71	0,66	2,77
09/02/2010	15:00:00	1,87	2,03	2,06	-149,95	8,19	7,885	7,575	46,27	1,1	1,145	1,15	-0,005	49,565	49,505	40,8	0,62	2,44
09/02/2010	15:10:00	1,815	1,925	1,97	-132,88	8,25	8,05	7,48	51,79	1	1,09	1,105	-0,005	48,475	48,49	38,055	0,595	2,815
09/02/2010	15:20:00	1,92	2,015	2,09	-154,77	7,625	7,21	6,97	30,83	1,1	1,145	1,175	-0,005	43,245	42,415	35,195	0,455	1,805
09/02/2010	15:30:00	1,875	1,95	2,01	-162,43	7,595	7,21	6,84	25,455	1,1	1,105	1,125	-0,005	43,445	42,425	35,235	0,415	1,57
09/02/2010	15:40:00	1,91	2,01	2,065	-150,49	7,71	7,24	7,025	27,565	1,1	1,14	1,16	-0,005	41,86	40,805	34,01	0,43	1,655
09/02/2010	15:50:00	1,94	2,03	2,085	-152,19	7,265	7	6,365	26,775	1,1	1,155	1,175	-0,005	38,95	37,845	30,41	0,425	1,61
09/02/2010	16:00:00	1,945	1,98	2,05	-144,52	8,005	7,45	6,71	28,945	1,1	1,13	1,155	-0,005	41,91	40,665	31,58	0,435	1,72
09/02/2010	16:10:00	2,02	2,105	2,12	-131,42	8,125	7,6	7,385	38,695	1,2	1,21	1,205	-0,005	40,19	39,08	32,705	0,43	2,265
09/02/2010	16:20:00	2,125	2,195	2,205	-139,18	8,025	7,4	6,835	33,48	1,2	1,265	1,255	-0,005	39,9	38,57	31,285	0,43	1,92
09/02/2010	16:30:00	2,26	2,35	2,35	-135,42	7,445	6,925	6,185	35,665	1,3	1,36	1,34	-0,005	37,32	35,895	28,01	0,44	2,04
09/02/2010	16:40:00	2,27	2,405	2,365	-127,57	8,865	8,335	7,565	40,155	1,3	1,39	1,355	-0,005	44,745	44,105	34,27	0,44	2,35
09/02/2010	16:50:00	2,2	2,335	2,33	-146,93	8,835	8,3	7,465	36,905	1,3	1,35	1,33	-0,005	45,825	45,19	35,25	0,44	2,2
09/02/2010	17:00:00	2,29	2,425	2,4	-126,63	9,005	8,46	7,985	44,45	1,3	1,41	1,38	-0,005	45,46	45,06	35,985	0,455	2,71
09/02/2010	17:10:00	2,33	2,465	2,4	-141,35	8,835	8,445	7,815	36,125	1,4	1,435	1,38	-0,005	46,435	46,335	37,2	0,45	2,17
09/02/2010	17:20:00	2,31	2,475	2,385	-129,7	8,935	8,64	8,52	36,54	1,3	1,445	1,375	-0,005	46,385	46,49	38,025	0,46	2,22
09/02/2010	17:30:00	2,4	2,56	2,455	-128,54	9,16	9,01	8,71	38	1,4	1,495	1,42	-0,005	46,5	46,475	38,615	0,465	2,33
09/02/2010	17:40:00	2,38	2,515	2,415	-122,3	10,15	9,64	9,525	43,505	1,4	1,475	1,4	-0,005	49,69	49,12	40,415	0,465	2,71
09/02/2010	17:50:00	2,52	2,64	2,535	-125,58	8,995	8,64	7,945	44,77	1,5	1,55	1,47	-0,005	44,935	44,305	35,495	0,445	2,81
09/02/2010	18:00:00	2,7	2,87	2,705	-75,865	10,11	9,285	9,21	51,95	1,6	1,7	1,585	-0,005	46,91	45,84	37,555	0,47	3,225
09/02/2010	18:10:00	2,685	2,855	2,645	-90,6	10,495	9,455	9,67	60,32	1,6	1,69	1,555	-0,005	48,63	47,98	40,185	0,465	3,86
09/02/2010	18:20:00	2,895	3,12	2,835	-73,8	9,14	8,265	8,765	53,32	1,7	1,855	1,67	-0,005	40,975	40,655	34,89	0,445	3,45
09/02/2010	18:30:00	3,1	3,265	2,925	-41,195	9,14	7,985	8,48	54,465	1,8	1,95	1,73	-0,005	40,355	38,915	32,185	0,455	3,475
09/02/2010	18:40:00	3,04	3,165	2,825	-70,2	9,585	8,44	8,565	59,585	1,8	1,89	1,67	-0,005	42,225	40,98	33,885	0,48	3,985
09/02/2010	18:50:00	2,895	3,04	2,74	-45,08	9,67	8,27	8,875	59,43	1,7	1,815	1,615	-0,005	41,785	40,135	34,365	0,505	4,06
09/02/2010	19:00:00	2,705	2,815	2,555	-48,995	9,295	7,885	8,63	58,095	1,6	1,675	1,5	-0,005	40,725	38,395	32,145	0,5	3,89
09/02/2010	19:10:00	2,55	2,63	2,365	-51,05	9,055	7,685	7,94	65,365	1,5	1,555	1,38	-0,005	37,84	35,335	27,965	0,485	4,435
09/02/2010	19:20:00	2,49	2,64	2,35	-67,36	8,63	7,48	7,72	59,925	1,5	1,56	1,37	-0,005	37,3	35,045	28,1	0,47	4,12
09/02/2010	19:30:00	2,41	2,585	2,325	-50,44	8,47	7,24	7,855	62,43	1,4	1,53	1,35	-0,005	36,5	34,13	28,61	0,465	4,315
09/02/2010	19:40:00	2,61	2,76	2,47	33,735	10,06	8	9,4	62,27	1,5	1,64	1,445	-0,005	31,77	29,38	25,905	0,47	4,255
09/02/2010	19:50:00	2,68	2,775	2,495	13,54	10,775	8,05	9,265	55,47	1,6	1,65	1,46	-0,005	30,245	26,77	23,44	0,46	3,77
09/02/2010	20:00:00	2,905	3,03	2,705	-8,68	11,075	8,33	9,35	57,555	1,7	1,805	1,585	-0,005	30,47	26,81	23,12	0,46	4,02

09/02/2010	20:10:00	2,965	3,08	2,75	5,535	10,64	7,9	8,91	55,765	1,8	1,835	1,615	-0,005	29,285	25,47	22,16	0,47	3,855
09/02/2010	20:20:00	2,835	2,95	2,68	0,2	11,705	8,87	9,95	67,165	1,7	1,75	1,565	-0,005	34,78	30,94	26,48	0,47	4,735
09/02/2010	20:30:00	2,9	2,995	2,745	32,975	11,075	8,07	9,175	62,055	1,7	1,775	1,605	-0,005	32,705	28,54	24,68	0,475	4,265
09/02/2010	20:40:00	2,855	2,965	2,695	7,145	9,86	7,075	7,87	82,985	1,7	1,76	1,58	-0,005	29,465	25,06	21,905	0,485	6,11
09/02/2010	20:50:00	2,95	3,025	2,78	-12,5	9,92	7,05	7,465	76,31	1,7	1,795	1,625	-0,005	30,22	25,845	22,035	0,485	5,67
09/02/2010	21:00:00	2,965	3,05	2,84	-9,58	11,305	8,155	8,495	86,1	1,8	1,81	1,665	-0,005	35,155	30,12	25,3	0,485	6,4
09/02/2010	21:10:00	2,9	3,07	2,815	-2,01	11,105	8,6	8,775	71,44	1,7	1,825	1,65	-0,005	36,81	33,29	27,705	0,49	5,125
09/02/2010	21:20:00	3,04	3,21	2,92	8,085	11,47	8,825	8,895	64,915	1,8	1,915	1,72	-0,005	36,765	32,89	27,045	0,49	4,645
09/02/2010	21:30:00	3,11	3,205	2,995	-5,01	14,34	10,755	10,695	67,105	1,9	1,91	1,76	-0,005	44,44	39,1	31,59	0,49	4,665
09/02/2010	21:40:00	3,065	3,22	2,94	-24,65	13,865	10,825	10,365	58,875	1,8	1,92	1,73	-0,005	44,745	40,235	31,36	0,49	4,045
09/02/2010	21:50:00	2,87	2,985	2,775	-14,835	12,375	9,66	9,26	61,81	1,7	1,775	1,62	-0,005	41,735	37,915	29,515	0,485	4,295
09/02/2010	22:00:00	2,81	2,935	2,725	-12,255	12,08	9,465	8,92	59,96	1,7	1,745	1,595	-0,005	42,865	38,795	29,72	0,49	4,05
09/02/2010	22:10:00	2,83	2,985	2,735	-16,265	10,36	8,4	8,225	47,605	1,7	1,775	1,6	-0,005	37,91	34,785	27,985	0,495	3,125
09/02/2010	22:20:00	2,745	2,88	2,655	7,405	12,605	10,185	10,2	49,955	1,6	1,715	1,555	-0,005	45,335	41,9	34,49	0,495	3,25
09/02/2010	22:30:00	2,565	2,715	2,495	16,385	11,195	8,85	9,115	49,375	1,5	1,615	1,46	-0,005	37,515	33,79	28,305	0,485	3,165
09/02/2010	22:40:00	2,63	2,745	2,54	-3,665	12,185	9,28	9,865	53,935	1,6	1,63	1,49	-0,005	40,055	35,65	30,51	0,48	3,47
09/02/2010	22:50:00	2,51	2,625	2,45	-14,49	12,38	9,86	10,22	51,615	1,5	1,56	1,435	-0,005	41,41	37,635	31,735	0,47	3,38
09/02/2010	23:00:00	2,5	2,62	2,455	-35,705	12,33	9,795	10,06	50,995	1,5	1,56	1,445	-0,005	39,47	35,255	29,75	0,47	3,365
09/02/2010	23:10:00	2,595	2,72	2,535	-0,05	10,415	8,21	8,825	51,025	1,5	1,625	1,495	-0,005	31,085	27,165	23,335	0,49	3,295
09/02/2010	23:20:00	2,495	2,645	2,465	-1,94	8,365	6,54	7,415	56,785	1,5	1,585	1,455	-0,005	25,12	21,85	19,58	0,49	3,79
09/02/2010	23:30:00	2,485	2,64	2,465	-6,12	8,405	6,49	7,405	53,53	1,5	1,575	1,45	-0,005	25,85	22,715	19,88	0,49	3,535
09/02/2010	23:40:00	2,58	2,74	2,5	24,885	11,385	9,245	10,035	47,815	1,5	1,64	1,48	-0,005	35,525	31,805	26,51	0,495	3,045
09/02/2010	23:50:00	2,625	2,83	2,525	40,59	13,79	10,9	11,96	49,005	1,6	1,7	1,5	-0,005	40,74	37,12	31,54	0,5	3,14
10/02/2010	0:00:00	2,6	2,81	2,475	46,17	14,5	11,56	12,945	48,455	1,6	1,695	1,475	-0,005	42,03	38,85	33,675	0,505	3,105
10/02/2010	0:10:00	2,58	2,82	2,435	67,795	13,285	11,78	12,48	45,92	1,5	1,7	1,45	-0,005	40,43	38,24	30,6	0,515	2,85
10/02/2010	0:20:00	2,44	2,675	2,295	85,945	12,07	10,845	11,29	44,305	1,5	1,61	1,365	-0,005	37,125	35,305	27,755	0,505	2,695
10/02/2010	0:30:00	2,47	2,735	2,29	50,515	9,6	8,46	8,465	51,16	1,5	1,65	1,365	-0,005	29,915	28,16	21,865	0,525	3,24
10/02/2010	0:40:00	2,335	2,615	2,24	49,03	9,505	8,39	8,775	50,93	1,4	1,575	1,335	-0,005	28,85	27,76	22,56	0,52	3,29
10/02/2010	0:50:00	2,295	2,565	2,225	74,915	10,285	9,26	9,545	49,43	1,4	1,545	1,325	-0,005	31,52	30,675	24,325	0,525	3,06
10/02/2010	1:00:00	2,305	2,565	2,22	82,91	11,195	10,34	10,97	48,385	1,4	1,545	1,32	-0,005	34,46	34,23	28,68	0,525	2,935
10/02/2010	1:10:00	2,375	2,615	2,305	44,33	11,245	9,94	10,405	50,02	1,4	1,57	1,37	-0,005	36,02	34,965	30,015	0,53	3,03
10/02/2010	1:20:00	2,37	2,64	2,305	21,815	9,965	8,81	9,185	48,7	1,4	1,59	1,375	-0,005	31,285	30,57	26,225	0,535	2,965
10/02/2010	1:30:00	2,37	2,665	2,325	25,45	9,73	8,325	8,57	50,95	1,4	1,605	1,39	-0,005	30,445	29,035	24,4	0,535	3,165

10/02/2010	1:40:00	2,46	2,745	2,38	13,58	11,495	9,925	9,895	52,21	1,5	1,655	1,42	-0,005	35,165	33,29	27,405	0,535	3,295
10/02/2010	1:50:00	2,405	2,69	2,35	-0,59	12,9	11,425	11,505	48,53	1,4	1,62	1,405	-0,005	41,385	40,045	33,145	0,53	3,025
10/02/2010	2:00:00	2,365	2,64	2,32	-25,91	12,76	11,36	11,22	49,76	1,4	1,595	1,385	-0,005	41,03	39,765	33,12	0,535	3,095
10/02/2010	2:10:00	2,42	2,715	2,375	-3,97	11,745	9,8	10,19	53,47	1,5	1,64	1,42	-0,005	35,6	34,075	29,085	0,535	3,36
10/02/2010	2:20:00	2,505	2,805	2,455	-7,5	12,6	10,855	11,28	48,935	1,5	1,695	1,47	-0,005	39,48	38,265	32,64	0,535	3,055
10/02/2010	2:30:00	2,44	2,74	2,39	-12,165	13,83	11,995	12,615	54,39	1,5	1,655	1,43	-0,005	45,07	44,2	38,085	0,54	3,445
10/02/2010	2:40:00	2,595	2,945	2,52	-0,57	14,645	12,57	12,915	56,32	1,6	1,785	1,51	-0,005	44,63	43,275	36,485	0,54	3,58
10/02/2010	2:50:00	2,57	3,025	2,555	9,92	11,905	10,195	10,39	55,005	1,6	1,835	1,535	-0,005	35,095	34,155	28,59	0,55	3,52
10/02/2010	3:00:00	2,63	3,04	2,605	1,335	14,81	12,845	12,99	52,895	1,6	1,84	1,565	-0,005	46,215	45,22	37,76	0,55	3,305
10/02/2010	3:10:00	2,775	3,19	2,715	18,21	15,305	14,015	14,615	53,015	1,7	1,935	1,63	-0,005	47,67	47,815	40,04	0,55	3,33
10/02/2010	3:20:00	2,79	3,28	2,74	10,545	14,795	14,015	14,72	57,68	1,7	1,99	1,65	-0,005	44,99	46,125	39,05	0,555	3,68
10/02/2010	3:30:00	2,93	3,415	2,855	38,69	17,255	15,965	16,075	60,69	1,8	2,08	1,72	-0,005	49,23	49,18	39,75	0,57	3,875
10/02/2010	3:40:00	3	3,495	2,945	12,51	17,76	16,31	16,805	75,72	1,8	2,13	1,775	-0,005	48,815	48,22	40,095	0,58	4,925
10/02/2010	3:50:00	2,89	3,32	2,855	4,57	17,305	15,7	16,105	81,755	1,8	2,02	1,72	-0,005	44,44	43,645	36,695	0,555	5,43
10/02/2010	4:00:00	2,68	3,05	2,645	18,305	16,53	14,945	14,85	74,61	1,6	1,855	1,59	-0,005	40,81	39,49	32,225	0,545	4,86
10/02/2010	4:10:00	2,635	3,045	2,6	14,155	14,22	13,115	13,51	66,515	1,6	1,85	1,565	-0,005	34,65	34,26	29,31	0,545	4,28
10/02/2010	4:20:00	2,67	3,04	2,61	15,745	14,84	13,76	14,18	64,57	1,6	1,85	1,57	-0,005	34,96	33,98	28,755	0,545	4,1
10/02/2010	4:30:00	2,67	3,075	2,625	29,945	13,925	13,21	14,005	64,25	1,6	1,87	1,58	-0,005	32,4	31,875	27,615	0,545	4,09
10/02/2010	4:40:00	2,615	3,06	2,595	48,835	9,15	9,315	9,99	47,08	1,6	1,86	1,565	-0,005	21,27	21,375	19,525	0,56	2,96
10/02/2010	4:50:00	2,57	3,02	2,57	50,45	7,68	8,035	8,745	47,045	1,6	1,835	1,545	-0,005	17,345	17,65	16,965	0,565	2,975
10/02/2010	5:00:00	2,62	3,075	2,595	37,945	7,425	8,065	8,59	47	1,6	1,87	1,565	-0,005	17,795	18,565	17,575	0,56	2,995
10/02/2010	5:10:00	2,625	3,09	2,615	23,75	7,725	8,11	8,3	48,845	1,6	1,88	1,575	-0,005	18,395	18,715	17,78	0,56	3,105
10/02/2010	5:20:00	2,44	2,85	2,465	20,945	7,46	7,74	8,305	48,375	1,5	1,73	1,48	-0,005	17,73	17,95	17,57	0,555	3,06
10/02/2010	5:30:00	2,51	2,915	2,49	29,135	7,62	7,905	8,195	50,235	1,5	1,77	1,495	-0,005	17,945	18,265	17,56	0,555	3,195
10/02/2010	5:40:00	2,445	2,835	2,44	14,44	7,57	7,91	8,145	51,685	1,5	1,72	1,465	-0,005	17,835	18,05	17,28	0,55	3,29
10/02/2010	5:50:00	2,395	2,76	2,36	29,8	7,34	7,565	7,76	51,19	1,4	1,67	1,415	-0,005	17,325	17,465	16,695	0,55	3,245
10/02/2010	6:00:00	2,39	2,735	2,335	24,84	7,43	7,555	7,74	51,045	1,4	1,655	1,4	-0,005	17,56	17,685	16,78	0,55	3,225
10/02/2010	6:10:00	2,595	3	2,48	34,05	7,72	8,155	7,85	50,195	1,6	1,825	1,495	-0,005	18,45	18,995	17	0,56	3,17
10/02/2010	6:20:00	2,845	3,23	2,67	38,3	8,72	8,66	8,505	51,32	1,7	1,97	1,615	-0,005	20,645	20,605	18,565	0,57	3,26
10/02/2010	6:30:00	3,06	3,435	2,86	79,6	9,72	8,875	9,1	53,93	1,9	2,1	1,73	-0,005	22,2	21,355	19,78	0,58	3,48
10/02/2010	6:40:00	3,355	3,72	3,12	81,78	11,135	9,8	10,115	53,19	2,1	2,28	1,895	-0,005	25,43	23,5	21,7	0,585	3,435
10/02/2010	6:50:00	3,64	4,045	3,38	66,12	12,76	11,455	11,285	53,12	2,2	2,485	2,055	-0,005	30,555	28,11	24,94	0,57	3,405
10/02/2010	7:00:00	3,025	3,245	2,785	63,715	12	10,61	10,09	50,1	1,8	1,98	1,68	-0,005	28,61	26,125	22,36	0,54	3,17

10/02/2010	7:10:00	2,95	3,125	2,735	76,675	11,5	10,215	10,775	49,135	1,8	1,9	1,645	-0,005	28,49	26,245	23,885	0,525	3,055
10/02/2010	7:20:00	3,01	3,135	2,705	76,41	10,375	9,42	9,955	49,43	1,8	1,905	1,625	-0,005	24,22	22,28	20,25	0,53	3,12
10/02/2010	7:30:00	3,03	3,17	2,72	96,645	8,4	8,165	8,445	47,56	1,8	1,92	1,63	-0,005	18,66	17,79	15,86	0,53	3,035
10/02/2010	7:40:00	2,94	3,11	2,69	95,605	6,605	5,85	6,6	45,765	1,8	1,88	1,61	-0,005	14,43	12,75	12,115	0,485	2,865
10/02/2010	7:50:00	2,815	2,985	2,68	40,575	5,415	5,115	5,69	45,81	1,7	1,8	1,6	-0,005	12,57	11,515	11,52	0,485	2,89
10/02/2010	8:00:00	2,81	2,9	2,645	17,675	5,04	4,695	5,085	42,74	1,7	1,745	1,575	-0,005	12,775	11,585	11,68	0,475	2,665
10/02/2010	8:10:00	2,645	2,695	2,53	-60,255	4,585	4,31	4,665	53,74	1,6	1,605	1,49	-0,005	13,145	12,57	13,18	0,465	3,46
10/02/2010	8:20:00	2,36	2,53	2,405	-135,91	4,45	4,145	4,44	44,1	1,4	1,485	1,4	-0,005	17,665	17,19	18,225	0,45	2,595
10/02/2010	8:30:00	2,37	2,53	2,42	-146,41	5,24	5	5,19	45,39	1,4	1,48	1,405	-0,005	21,875	21,62	22,46	0,455	2,725
10/02/2010	8:40:00	2,34	2,49	2,445	-162,05	4,485	4,28	4,84	33,065	1,4	1,455	1,415	-0,005	21,325	20,845	22,165	0,455	1,975
10/02/2010	8:50:00	2,18	2,315	2,295	154,65	5,195	4,99	5,385	29,225	1,3	1,345	1,32	-0,005	25,91	25,31	25,805	0,465	1,78
10/02/2010	9:00:00	2,08	2,26	2,25	151,85	5,82	5,6	5,72	28,5	1,2	1,31	1,29	-0,005	29,745	29,15	27,81	0,455	1,725
10/02/2010	9:10:00	2,11	2,35	2,325	144,94	6,47	6,075	6,65	32,51	1,2	1,355	1,325	-0,005	33,805	31,695	31,985	0,615	1,77
10/02/2010	9:20:00	1,99	2,25	2,29	147,935	6,725	6,095	6,82	34,58	1,1	1,295	1,3	-0,005	35,165	32,56	33,375	0,635	1,84
10/02/2010	9:30:00	1,925	2,13	2,18	148,01	6,675	6,02	6,565	33,04	1,1	1,22	1,235	-0,005	34,47	32,55	32,365	0,535	1,85
10/02/2010	9:40:00	1,98	2,175	2,225	151,475	6,36	5,875	6,245	29,37	1,1	1,245	1,26	-0,005	32,255	30,82	29,77	0,485	1,72
10/02/2010	9:50:00	1,98	2,18	2,21	145,6	7,035	6,675	6,68	25,53	1,1	1,235	1,24	-0,005	38,185	37,14	33,625	0,49	1,56
10/02/2010	10:00:00	1,875	2,08	2,125	148,08	7,575	6,95	7,375	27,19	1,1	1,18	1,19	-0,005	41,705	40,2	38,345	0,53	1,61
10/02/2010	10:10:00	1,945	2,065	2,13	154,915	7,74	7,18	7,41	24,965	1,1	1,17	1,195	-0,005	41,73	39,835	36,935	0,455	1,545
10/02/2010	10:20:00	1,93	2,055	2,145	158,215	7,575	6,925	7,29	25,69	1,1	1,17	1,21	-0,005	39,635	37,785	35,695	0,47	1,555
10/02/2010	10:30:00	1,955	2,08	2,15	-157,76	7,735	7,055	7,415	26,615	1,1	1,185	1,215	-0,005	38,205	36,465	34,795	0,46	1,615
10/02/2010	10:40:00	1,815	1,93	2,035	155,87	7,72	7,215	7,495	25,59	1	1,1	1,145	-0,005	40,43	38,89	36,72	0,47	1,59
10/02/2010	10:50:00	1,795	1,94	2,025	154,18	7,42	6,895	7,03	26,39	1	1,1	1,135	-0,005	39,26	37,72	35,28	0,475	1,61
10/02/2010	11:00:00	1,83	2,025	2,085	-150,64	6,88	6,22	7	36,135	1	1,15	1,17	-0,005	35,84	33,525	33,805	0,66	1,88
10/02/2010	11:10:00	1,68	1,875	1,95	-150,78	6,91	6,27	6,845	33,945	1	1,06	1,095	-0,005	36,485	34,415	33,995	0,645	1,795
10/02/2010	11:20:00	1,82	2,055	2,145	-149,67	6,705	6,11	6,605	41,39	1	1,165	1,2	-0,005	35,585	34,34	33,275	0,685	2,115
10/02/2010	11:30:00	1,72	1,98	2,085	-148,59	7,145	6,795	7,175	44,54	1	1,12	1,165	-0,005	38,73	38,23	36,12	0,7	2,28
10/02/2010	11:40:00	1,82	2,105	2,18	-146,97	6,965	6,675	6,955	43,18	1	1,19	1,22	-0,005	37,66	37,205	35,1	0,695	2,2
10/02/2010	11:50:00	1,81	2,09	2,16	-162,14	7,05	6,64	6,785	41,93	1	1,185	1,21	-0,005	39,885	38,61	35,745	0,7	2,15
10/02/2010	12:00:00	1,905	2,105	2,21	-155,17	7,34	6,84	7,035	44,95	1,1	1,2	1,24	-0,005	41,3	39,975	36,65	0,695	2,32
10/02/2010	12:10:00	2,075	2,295	2,32	-151,11	6,745	6,305	6,505	45,715	1,2	1,305	1,305	-0,005	38,715	37,725	34,51	0,685	2,345
10/02/2010	12:20:00	2,095	2,395	2,335	-138,73	6,145	5,885	6,165	49,8	1,2	1,37	1,32	-0,005	33,295	32,38	30,485	0,685	2,54
10/02/2010	12:30:00	2,25	2,485	2,395	-131,81	5,235	4,75	5,43	43,28	1,3	1,43	1,365	-0,005	26,155	25,475	25,575	0,52	2,36

10/02/2010	12:40:00	2,38	2,565	2,48	-133,13	3,935	3,74	4,465	32,78	1,4	1,485	1,415	-0,005	18,765	18,565	20,155	0,42	1,95
10/02/2010	12:50:00	2,24	2,43	2,395	-111,78	5,275	4,745	5,555	29,055	1,3	1,405	1,365	-0,005	23,61	22,5	23,445	0,42	1,72
10/02/2010	13:00:00	2,155	2,37	2,345	-127,55	6,78	6,32	6,525	26,355	1,2	1,37	1,335	-0,005	31,315	30,325	29,34	0,415	1,62
10/02/2010	13:10:00	2,16	2,375	2,375	-116,63	7,13	6,345	6,665	29,71	1,2	1,365	1,35	-0,005	31,465	29,395	28,465	0,455	1,75
10/02/2010	13:20:00	1,94	2,14	2,175	-143,51	7,555	6,98	6,755	28,24	1,1	1,225	1,23	-0,005	37,06	35,365	32,205	0,47	1,67
10/02/2010	13:30:00	2,055	2,21	2,255	-123,71	8,87	7,96	7,555	28,47	1,2	1,27	1,275	-0,005	40,715	37,89	33,405	0,445	1,695
10/02/2010	13:40:00	2,04	2,22	2,245	-101,95	7,54	6,76	6,495	42,57	1,2	1,27	1,27	-0,005	36,06	33,755	29,69	0,68	2,165
10/02/2010	13:50:00	1,945	2,15	2,145	-122,37	7,815	7,145	6,745	41,055	1,1	1,225	1,21	-0,005	38,86	36,855	32,37	0,67	2,14
10/02/2010	14:00:00	1,875	2,03	2,075	-114,08	8,77	7,85	7,69	45,515	1,1	1,15	1,165	-0,005	44,275	41,91	36,655	0,705	2,355
10/02/2010	14:10:00	1,84	2,07	2,06	-144,32	7,67	7,35	7,445	41,345	1	1,175	1,155	-0,005	43,37	43,6	38,825	0,635	2,205
10/02/2010	14:20:00	1,825	2,065	2,09	-130,22	7,6	7,135	7,035	50,61	1	1,17	1,165	-0,005	40,975	40,73	35,21	0,705	2,63
10/02/2010	14:30:00	1,74	2,01	2,045	-144,85	6,945	6,735	6,455	48,1	1	1,135	1,14	-0,005	39,005	39,375	33,955	0,715	2,515
10/02/2010	14:40:00	1,755	1,98	2,035	-130,6	6,58	6,29	6,035	54,5	1	1,115	1,13	-0,005	35,985	36,525	31,64	0,705	2,82
10/02/2010	14:50:00	1,74	1,98	2,055	-139,15	6,415	6,265	5,84	49,305	1	1,115	1,14	-0,005	35,26	35,44	30,42	0,685	2,56
10/02/2010	15:00:00	1,775	1,98	2,04	-126,68	6,15	5,855	5,445	51,12	1	1,11	1,13	-0,005	32,46	33,13	27,65	0,68	2,635

Grafico 1: Grafica de corrientes armonicas generales en las tres fases. Fuente: Autor

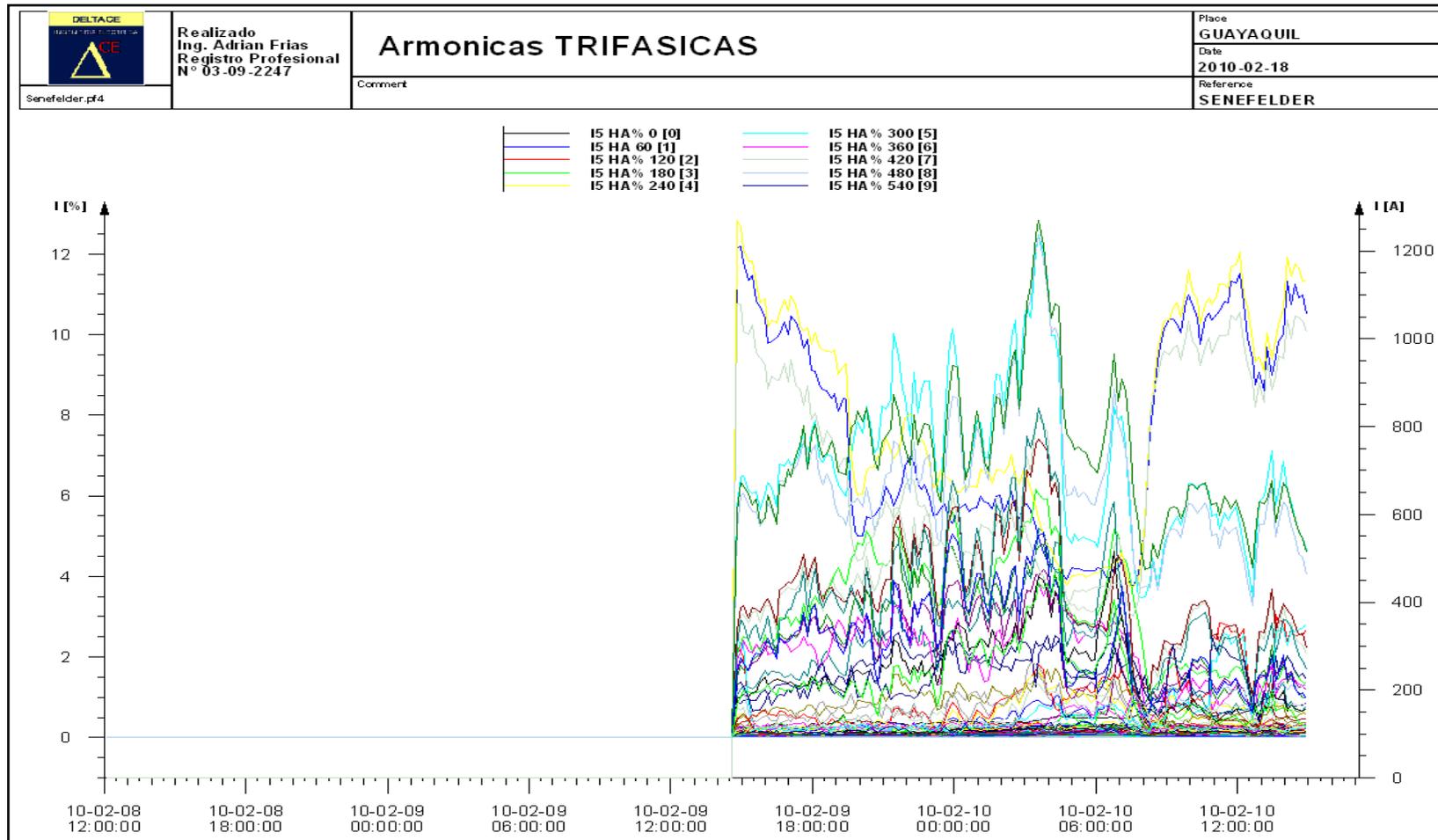
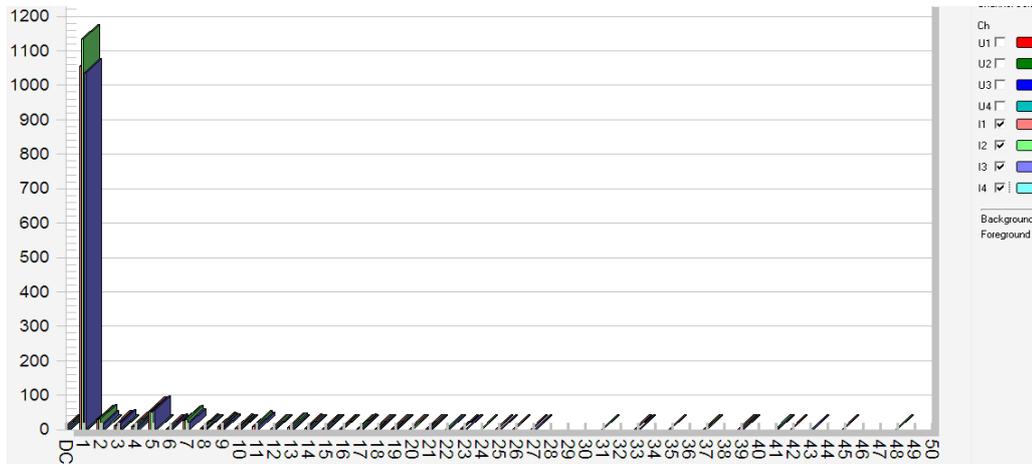


Tabla 17: Resultados de THDv y THDi totales. Fuente: Autor

%	0	1 (60HZ).	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
THDv	V1	0,24566	100	0,04828	0,29493	0,03794	2,24326	0,02576	0,32062	0,03138	0,12910	0,03686	0,41049	0,02559	0,37986
	V2	0,15572	100	0,04013	0,39747	0,04447	2,50336	0,03057	0,31027	0,03018	0,22472	0,02245	0,28989	0,02384	0,25549
	V3	0,11165	100	0,02623	0,36846	0,03527	2,34690	0,03097	0,15257	0,01970	0,19160	0,02092	0,26751	0,00960	0,25549
	THDv Total	$THD_V = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{h=2}^k V_h^2} * 100\%$		1.789											
THDi	I1	0,35589	100	0,72967	3,22687	0,27665	6,86268	0,10287	3,72461	0,11132	1,46498	0,13928	2,47311	0,08511	0,08511
	I2	0,23899	100	0,62702	2,08468	0,23113	6,35016	0,11665	3,65488	0,09664	0,85794	0,10938	2,20659	0,10182	0,08511
	I3	0,16967	100	0,49655	1,54169	0,26376	7,03153	0,14646	3,39803	0,11935	0,60483	0,15673	2,38536	0,10182	0,08511
	THDi Total	$THD_I = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{h=2}^k I_h^2} * 100\%$		3.04											

A continuación el espectro de armónicas en magnitud



Grafica 2: Espectro de armónicas en magnitud. Fuente: Autor

Tabla 14: Normativa con la cual se evalúa la presencia de armónicas en la red.

Fuente: IEEE 519-1992

Armónico de orden:	Clase 1 (materiales y sistemas sensibles)	Clase 2 (redes públicas e industriales)	Clase 3 (para conexión de grandes perturbadores)
2º	2	2	3
3º	3	5	6
4º	1	1	1,5
5º	3	6	8
6º	0,5	0,5	1
7º	3	5	7
8º	0,5	0,5	1
9º	1,5	1,5	2,5
10º	0,5	0,5	1
11º	3	3,5	5
12º	0,2	0,2	1
13º	3	3	4,5
TDA	5%	8%	10%

Tabla 15: Base para los limites de corriente armónicas. Fuente: IEEE 519-1992

SCR en el PCC	Voltaje de Frecuencia Armónica Individual Máximo (%)	Asunción Relacionada
10	2.5-3.0%	Sistema dedicado
20	2.0-2.5%	1-2 grandes consumidores
50	1.0-1.5%	Consumidores relativamente grandes
100	0.5-1.0%	5-20 consumidores de tamaño mediano
1000	0.05-0.10%	Consumidores muy pequeños

Tabla 16: Limites de distorciones de voltajes. Fuente: IEEE 519-1992

Voltaje de Barra en el PCC	Distorsión de Voltaje Individual (%)	Distorsión de Voltaje Total THD (%)
69 kV y por debajo	3.0	5.0
69.001 V a 161 kV	1.5	2.5
161.001 V y por encima	1.0	1.5

NOTA: Los sistemas de alto voltaje pueden estar por encima del 2% de THD cuando la causa es un terminal HVDC que se atenuará por el tiempo que se derive para un usuario.

VIII. CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para este proyecto se analizo detenidamente las redes de energía de una industria grafica la cual posee en su mayoría carga no lineales presentes comúnmente en estas instalaciones, ya que si bien es cierto las instalaciones eléctricas son diseñadas e implementadas por profesionales, existe en la actualidad nuevas condiciones para las cuales las instalaciones eléctricas antiguas no han sido diseñadas como por ejemplo para perturbaciones de corriente y voltajes a diferentes frecuencias de la fundamental 60Hz.

Los análisis se han basado en los límites de distorsión armónica establecidos por el estándar 519-1992 de la IEEE, definidas tanto para las compañías proveedoras de electricidad como para los usuarios conectados a la red eléctrica.

Se han descritos los equipos disponibles comercialmente para minimizar la distorsión armónica, así como para medir y monitorear estas.

Además se realizó un estudio del nivel de armónicas presentes en las instalaciones de SENEFELDER C.A., en el cual existió una hipótesis que siendo esta una empresa grafica donde existen en su mayoría equipos electrónicos como computadores, impresoras, UPS's, etc. Podría tener niveles altos de armónicos.

Las perturbaciones de corriente y voltajes a diferentes frecuencias de la fundamental 60Hz. son fenómenos que cada día se vuelven más frecuentes en instalaciones eléctricas tanto industriales como comerciales, debido a equipos electrónicos como controladores y a cargas no lineales en general, que cada día son más utilizados, y las misma son sensible a estas variaciones. Por este motivo se le debe dar una alta importancia a éste fenómeno en la etapa de diseño de las instalaciones, así como en la remodelación o ampliación de las instalaciones eléctricas, además de diseñar una buena instalación podemos tomar en cuenta equipos o filtros que las atenúen las misma.

Expuesto lo anterior se ha concluido que:

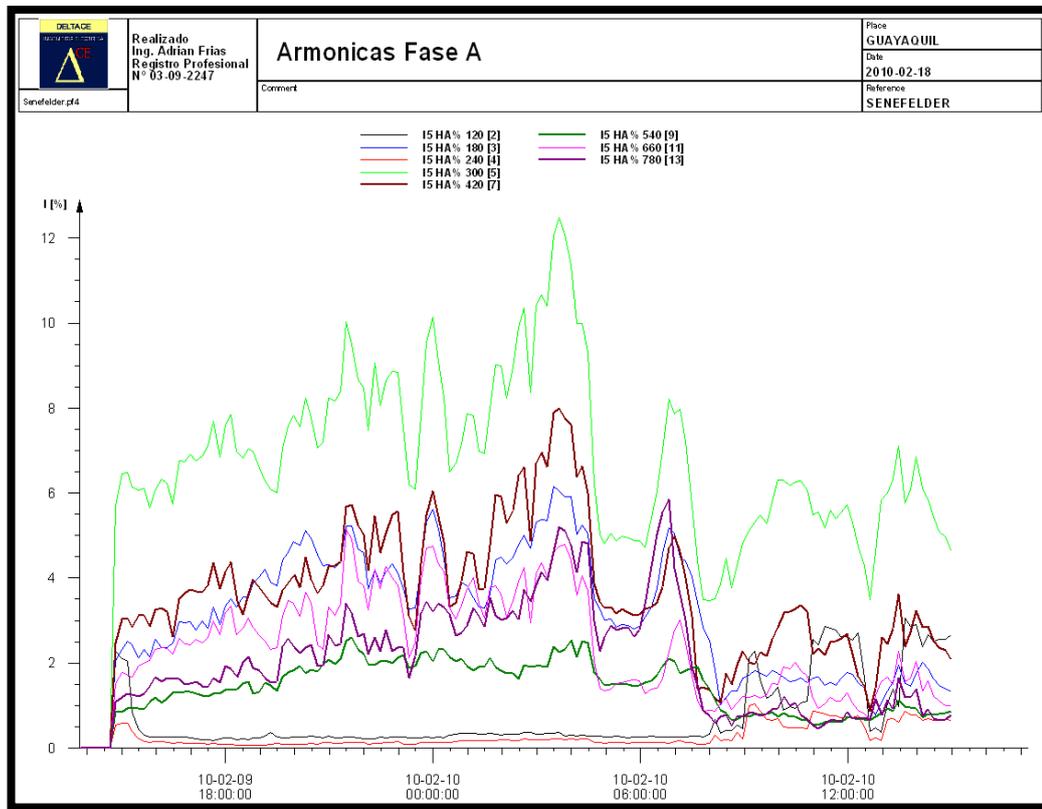
Se recalca que, el estudio fue realizado únicamente en la barra de 220v. La cual es alimentada por el banco de transformación 3x333KVA cada uno, mas no en la barra de 440v. Pero igual se indica lo siguiente del transformador de 1 MVA/13800kv/440v./Dyn. Esta unidad no inyecta armónicos al sistema de distribución en media tensión, ya que los armónicos se quedan atrapados en el bobinado primario por estar éste conectado en delta en el primario, los armónicos se transforman en perdidas y calentamiento en el transformador.

Además se indica que, en la barra de 220v en la cual se realizo el estudio, por estar el banco de transformadores conectado en Ydn, no inyecta armónicos al sistema de distribución en media tensión ya que no existe presencia de armónicos en bobinados conectados en estrella por no estar este aterrizado.

En la grafica 1, de corrientes armonicas generales en las tres fases, el mayor cambio significativo se da en que la presencia de armonicas aparece a las 2 de la tarde del día

9 de febrero a pesar de que la fabrica funciono con normalidad desde el dia 8 de febrero; esto nos indica que deben existir una o un grupo de maquinas que no estaban funcionando y que a partir de ahí empezo la presencia de armonicas significativamente.

Acontinuación analizaremos las armónicas individualmente y fase por fase:



Grafica 3: Espectro de armónicas en la fase A. Fuente: Autor

Armonicas de Orden 2: Existe picos 3%, la norma nos indica que maximo deberia ser 2%.

Armonicas de Orden 4: Pico apenas sobrepasado de la norma 1%.

Armonicas de Orden 3: Existe picos 6,16%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. La mayor parte del tiempo sobre pasa la norma sobre todo desde las 5PM hasta las 7AM.

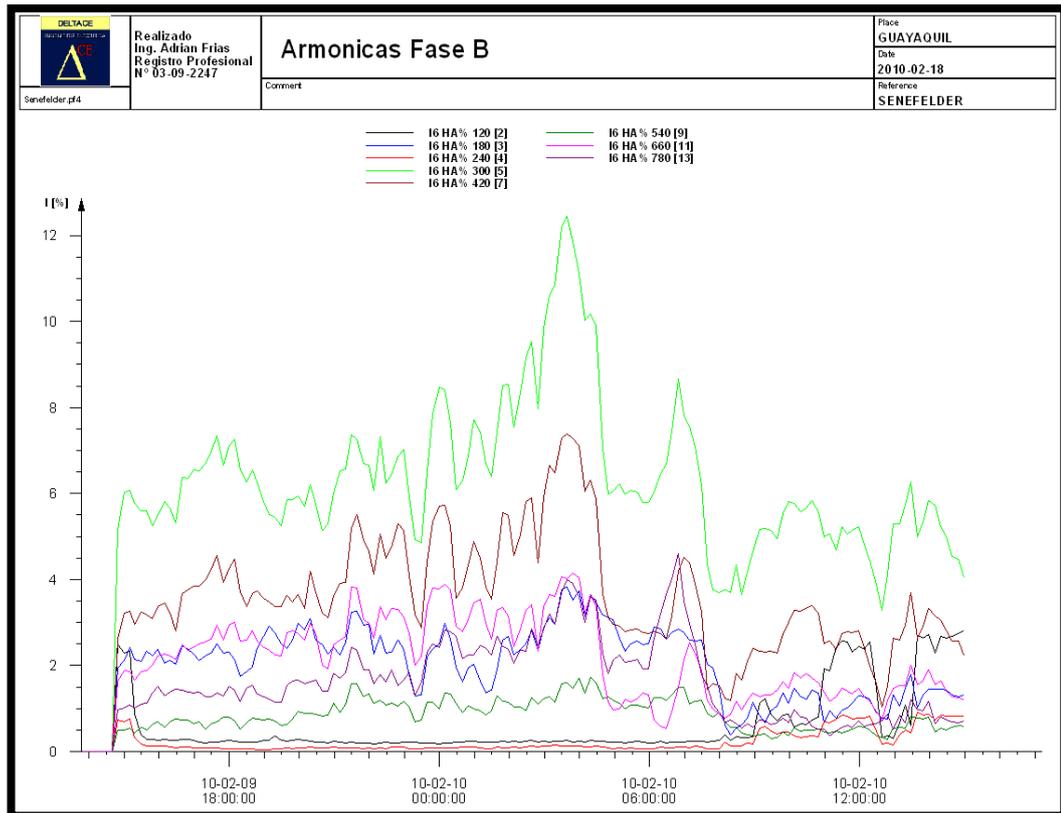
Armonicas de Orden 5: Existe picos 12,45%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. Todo el tiempo que existio armonicas esta sobrepaso la norma.

Armonicas de Orden 7: Existe picos 7,9%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. La mayor parte del tiempo sobre pasa la norma sobre todo desde las 3PM hasta las 7AM.

Armonicas de Orden 9: Existe picos 2,6%, la norma nos indica que maximo deberia ser 1,5%. Gran parte del tiempo sobre pasa la norma sobre todo desde las 7PM hasta las 8AM.

Armonicas de Orden 11: Existe picos 5,13%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. Existen esporadicamente picos sobre todo entre las 6PM y 4,5AM.

Armonicas de Orden 13: Existe picos 5,8%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. Existen esporadicamente picos sobre todo entre las 9,5PM y 7,15A



Grafica 4: Espectro de armonicas en la fase B. Fuente: Autor

Armonicas de Orden 2: Existe picos 2,7%, la norma nos indica que maximo deberia ser 2%.

Armonicas de Orden 4: Pico apenas sobrepasado de la norma 1%.

Armonicas de Orden 3: Existe picos 3,81%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. La mayor parte del tiempo sobre pasa la norma sobre todo desde las 5PM hasta las 7AM.

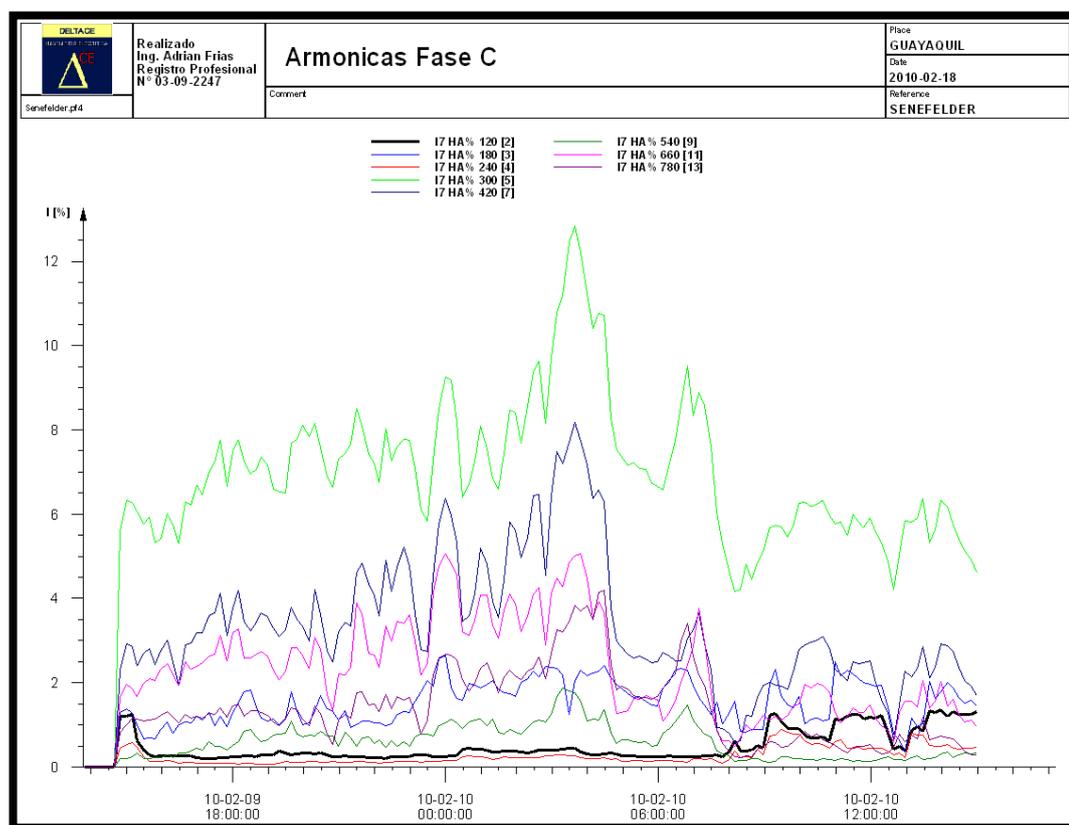
Armonicas de Orden 5: Existe picos 12,43%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. Todo el tiempo que existio armonicas esta sobrepaso la norma.

Armonicas de Orden 7: Existe picos 7,3%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. La mayor parte del tiempo sobre pasa la norma sobre todo desde las 3PM hasta las 7AM.

Armonicas de Orden 9: Existe picos 1,71%, la norma nos indica que maximo deberia ser 1,5%. Gran parte del tiempo sobre pasa la norma sobre todo desde las 7PM hasta las 8AM.

Armonicas de Orden 11: Existe picos 4,15%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. Existen esporadicamente picos sobre todo entre las 6PM y 4,5AM.

Armonicas de Orden 13: Existe picos 4,59%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. Existen esporadicamente picos sobre todo entre las 9,5PM y 7,15AM.



Grafica 5: Espectro de armonicas en la fase C. Fuente: Autor

Armonicas de Orden 2: Existe picos 1,38%, la norma nos indica que maximo deberia ser 2%. No sobre pasa la norma.

Armonicas de Orden 4: Pico de 0,84. No sobre pasa la norma de 1%.

Armonicas de Orden 3: Existe picos 2,6%, No sobre pasa la norma que nos indica que lomaximo deberia ser 3%.

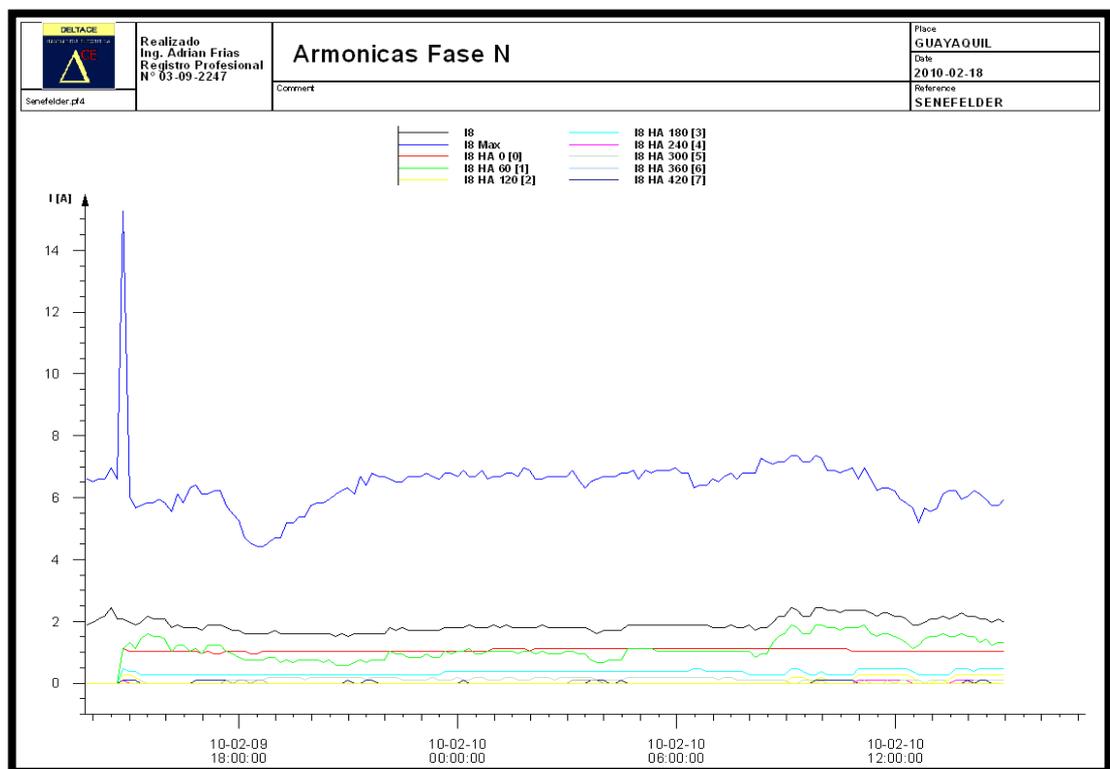
Armonicas de Orden 5: Existe picos 12,82%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. Todo el tiempo que existio armonicas esta sobrepaso la norma.

Armonicas de Orden 7: Existe picos 8,13%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. La mayor parte del tiempo sobre pasa la norma sobre todo desde las 3PM hasta las 7AM.

Armonicas de Orden 9: Existe picos 1,9%, la norma nos indica que maximo deberia ser 1,5%. Gran parte del tiempo sobre pasa la norma sobre todo desde las 7PM hasta las 8AM.

Armonicas de Orden 11: Existe picos 5,1%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. Existen esporadicamente picos sobre todo entre las 6PM y 4,5AM.

Armonicas de Orden 13: Existe picos 4,2%, la norma nos indica que maximo deberia ser 3%. Existen esporadicamente picos sobre todo entre las 9,5PM y 7,15AM.



Grafica 6: Espectro de armónicas en el neutro. Fuente: Autor

Se hallaron distorsiones armónicas en el neutro en menores grados, la corriente máxima en el Neutro es de 15,3A considerando que solo existen picos de armónicos de 3eros y 9th los cuales retornan por el neutro el conductor este está perfectamente dimensionado.

Además podemos concluir qué, las mediciones mostraron una presencia esporádica de picos de armónicos individuales que sobrepasan la norma pero por si solas no generan ningún efecto contraproducente pero combinadas agudizan el problema creando una

distorsión de la onda fundamental, aunque este no es el caso ya que sumadas todas las armónicas estas no sobrepasan lo establecido en las normas.

IX. BIBLIOGRAFIA.

- BETTEGA, Eric / FIORINA, Jean Noël, *CT-183: Armónicos: convertidores y compensadores activos* - Edición española: febrero 2000.
- CALVAS, Roland, *CT-141: Las perturbaciones eléctricas en baja tensión* - Edición española: enero 2001.
- CASARAVILLA, Gonzalo, *Arrancadores de Estado Sólido, Armónicos y Compensación de Reactiva: Solución de Compromiso de un Caso Real.*
- Confiabilidad De Sistemas Eléctricos. PROCOBRE.*
- DONOSO, Francisco Acevedo, *COMPONENTES ARMÓNICAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICAS, Conceptos, norma vigente en Chile y alternativas de solución al problema.*
- FIORINA, Jean Noël, *CT-159: Onduladores y armónicos (caso de cargas no lineales)* - Edición española: abril 1993.
- HIBBARD, John, LOWENSTEIN Michael, *Meeting IEEE 519-1992 Harmonic Limits, Using HarmonicGuard® Passive Filtres.*
- HARPER, Enriquez, *el abc de la calidad de la energía eléctrica*, primera edición, Editorial Lumusa, Mexico, 2004.
- RAMÍREZ, Eugenio, *PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGÍA, Calidad De La Energía.*
- SCHONEK, Jacques, *CT-202: Las peculiaridades del 3er armónico* – Edición española: febrero 2001.
- VAILLANT, Frédéric / DELABALLE, Jacques, *CT-149: La CEM: La compatibilidad electromagnética* - Edición española: marzo 2000. FERRACCI, Philippe, *CT-199: La calidad de la energía eléctrica* – Edición española: octubre 2004.

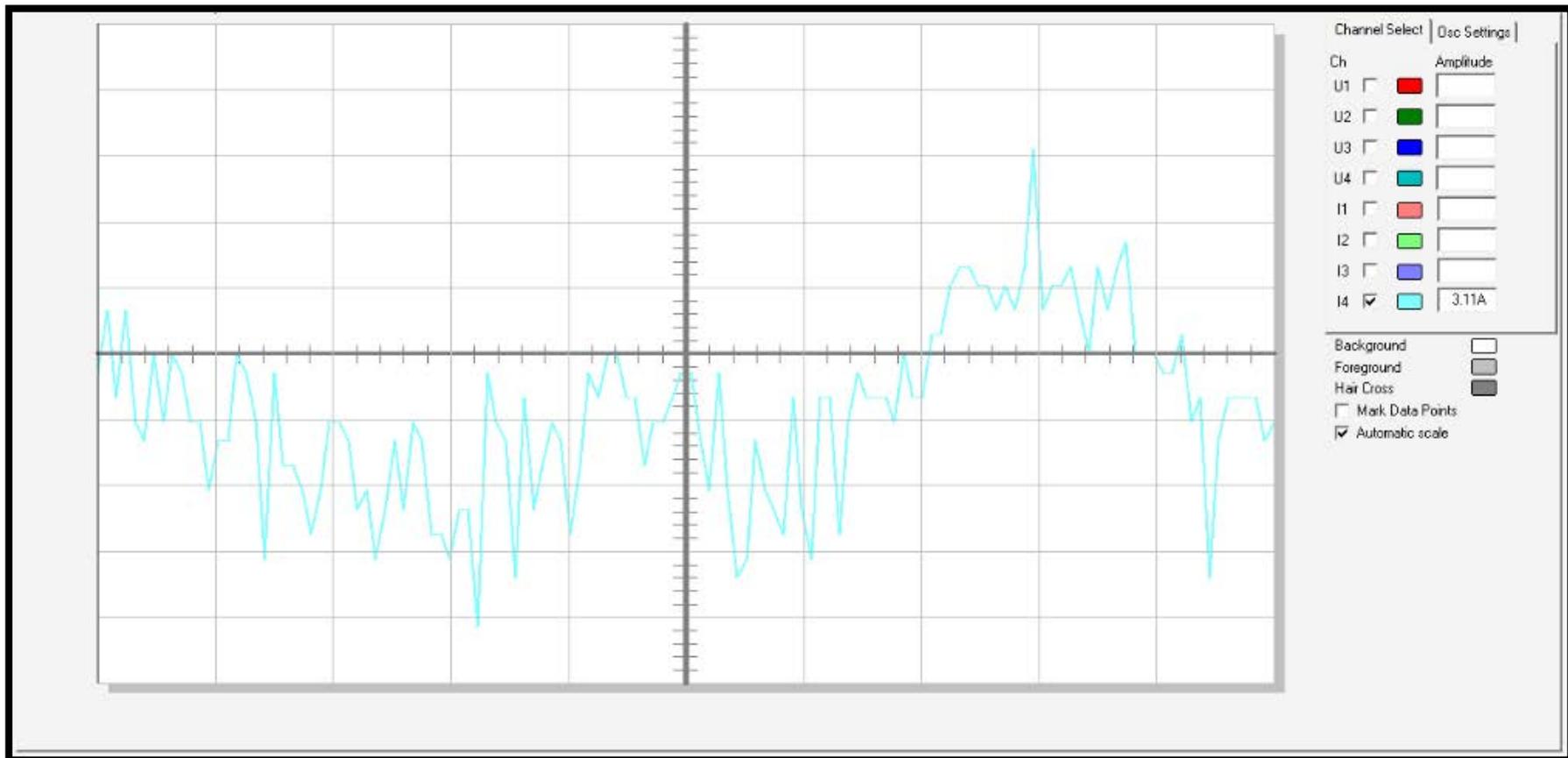
Paginas web

- www.schneiderelectric.es
- www.fluke.com
- www.procobreperu.org
- www.coesaingenieria.com
- www.energytech.com.ve
- www.sapiensman.com
- www.franklin-france.com
- www.lowes.com
- www.gmelectronica.com.ar
- www.ifent.org
- www.conozcasuhardware.com
- www.secotec.com.ve
- www.stilar.net
- www.equiposelecond.com.uy
- www.lt.tripod.com
- www.ceia.uns.edu.ar
- www.elektroprofesional.com
- www.ieb.com.co

ANEXO A

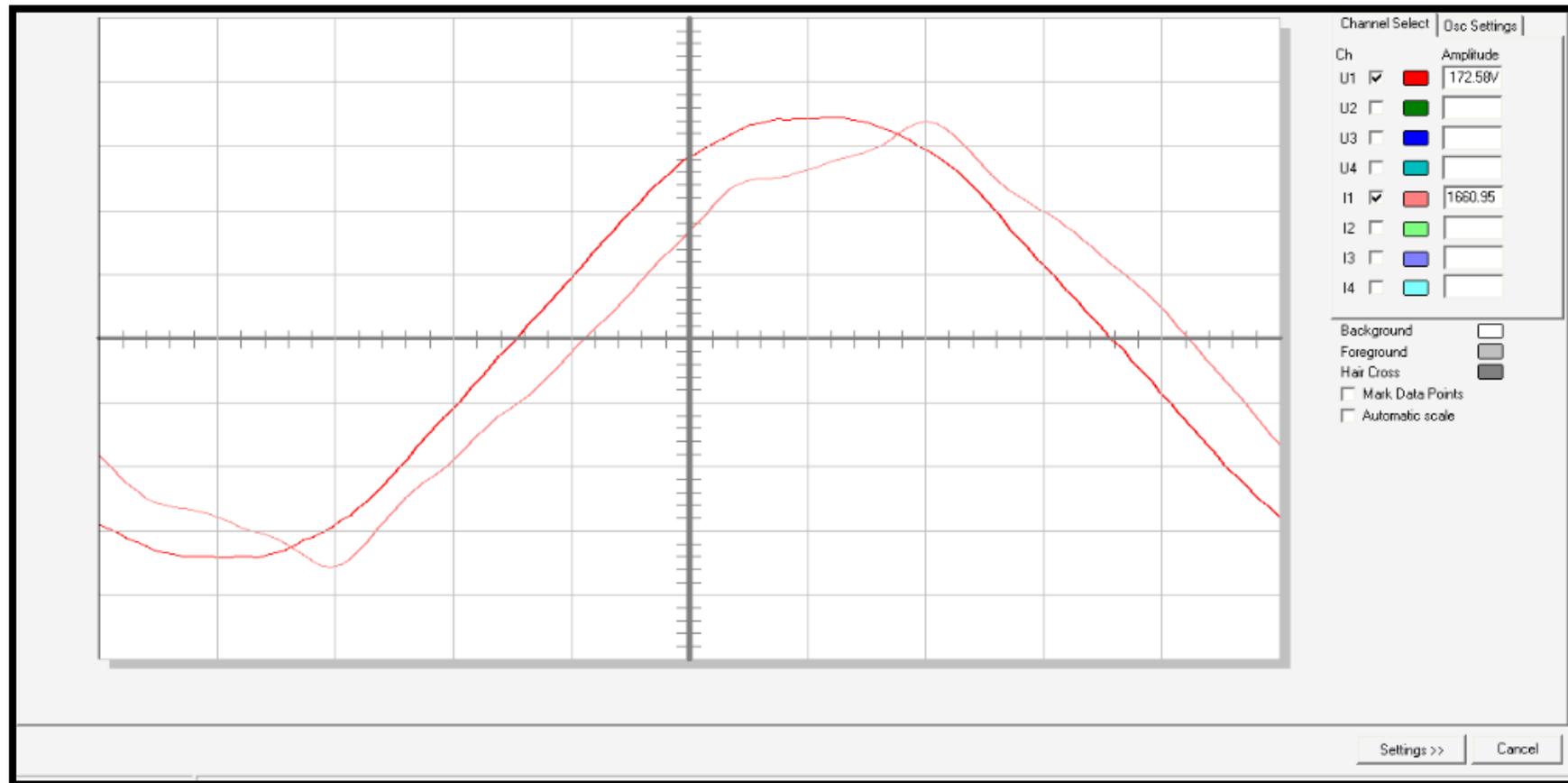
SENEFELDER C.A.

Grafica 7: Onda de corriente del Neutro. Fuente: Autor



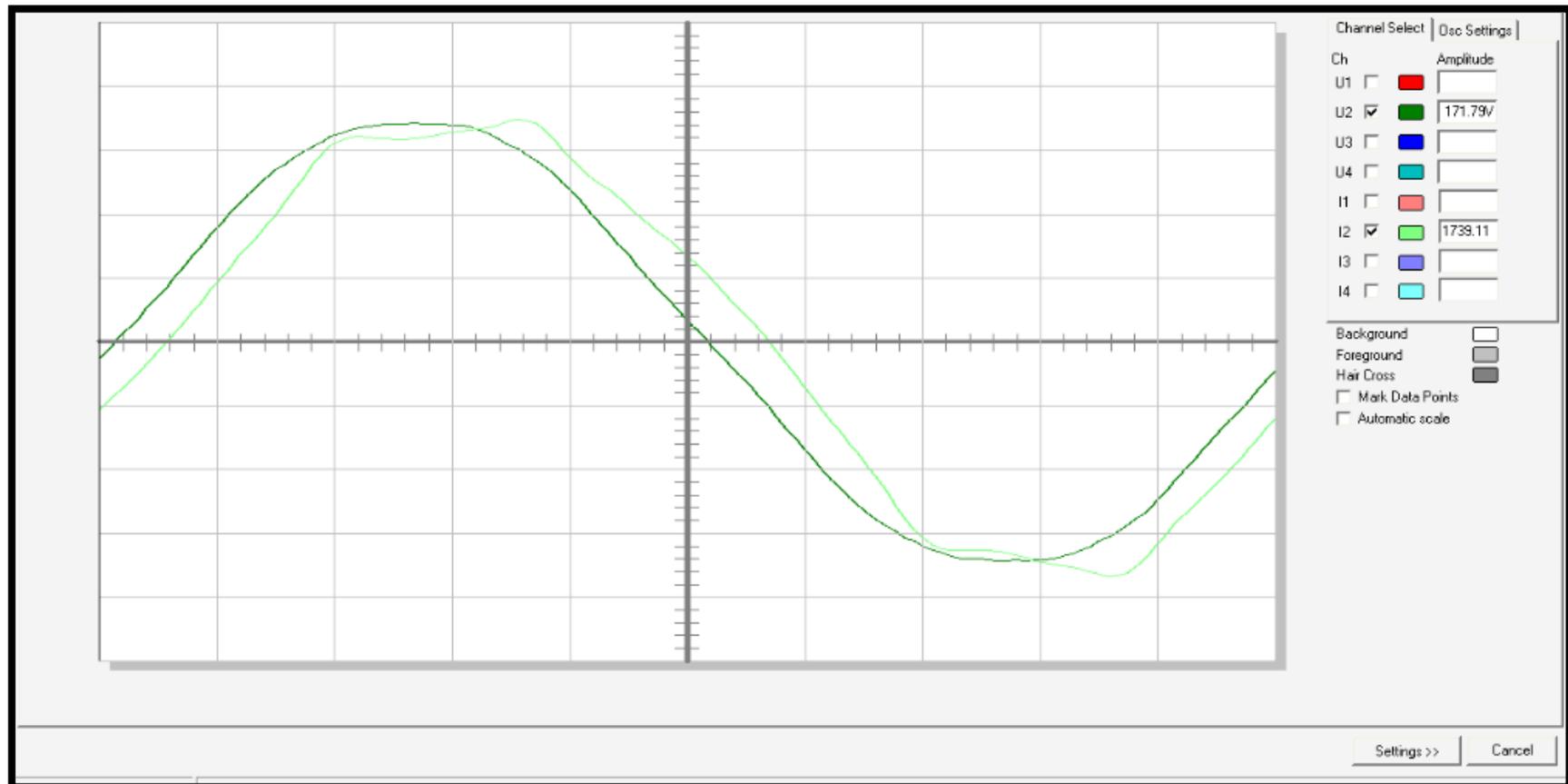
SENEFELDER C.A.

Grafica 8: Onda de Corriente y Voltaje Fase A. Fuente: Autor



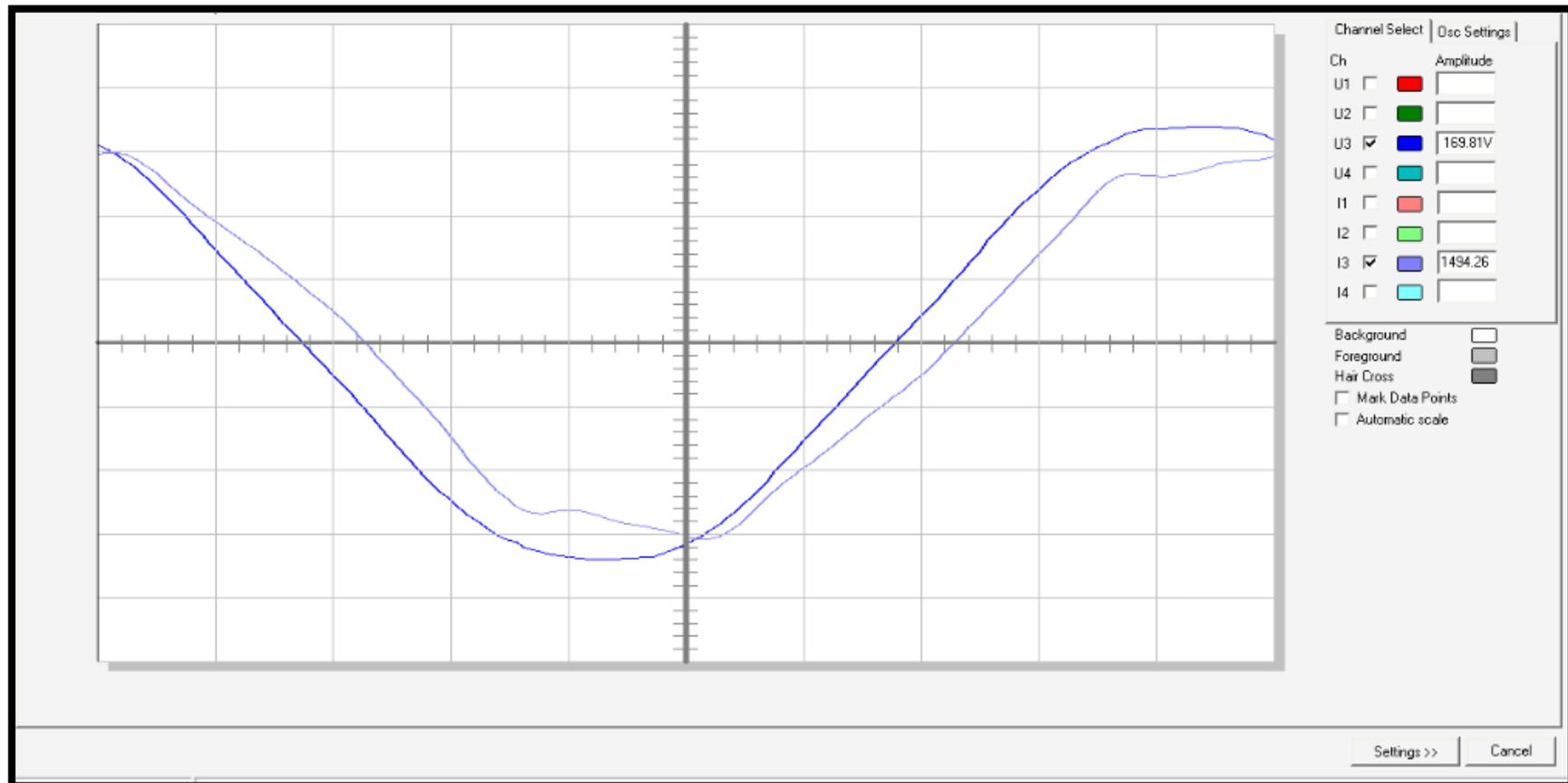
SENEFELDER C.A.

Grafica 9: Onda de Corriente y Voltaje Fase B. Fuente: Autor



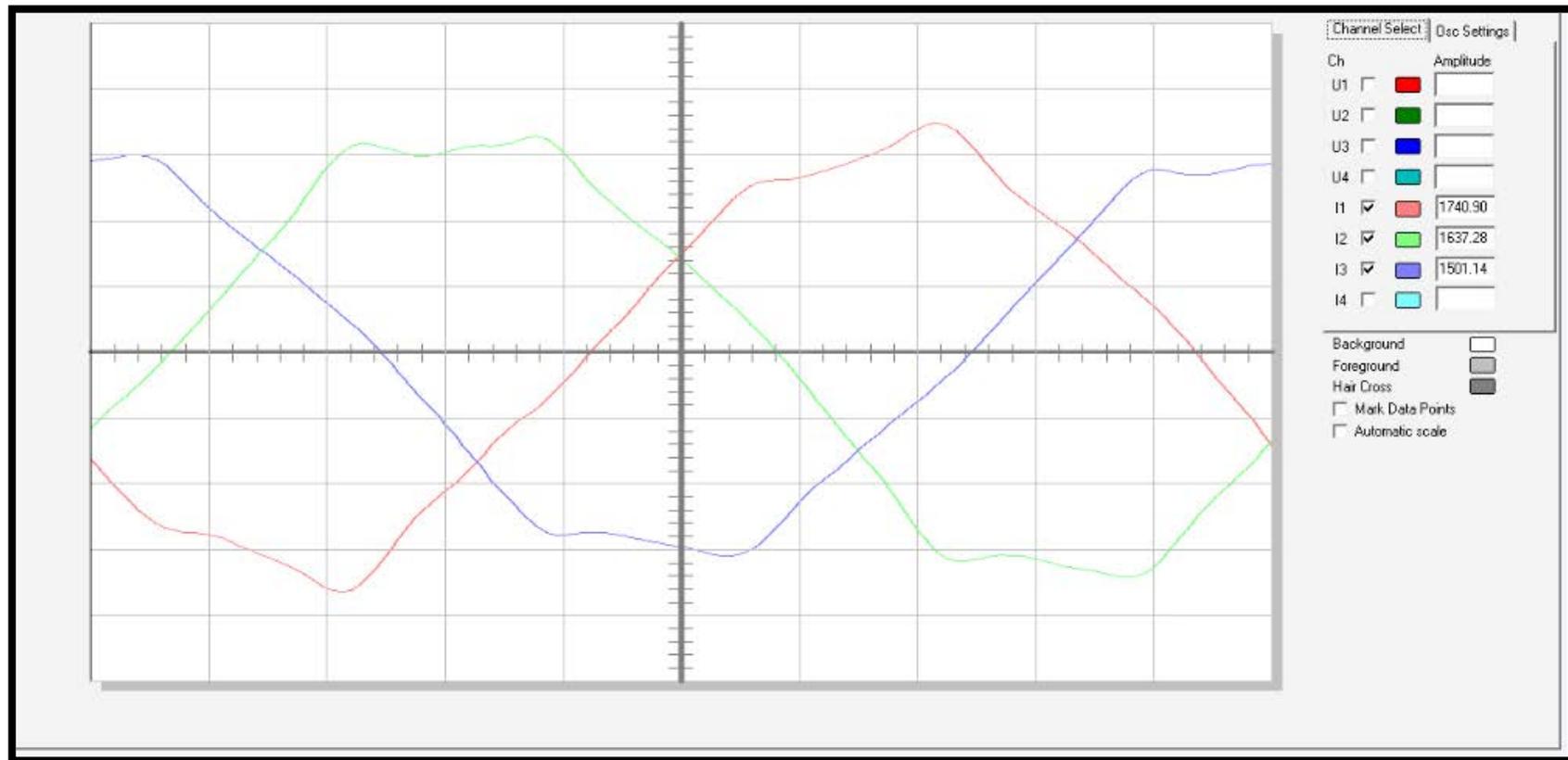
SENEFELDER C.A.

Grafica 10: Onda de Corriente y Voltaje Fase C. Fuente: Autor



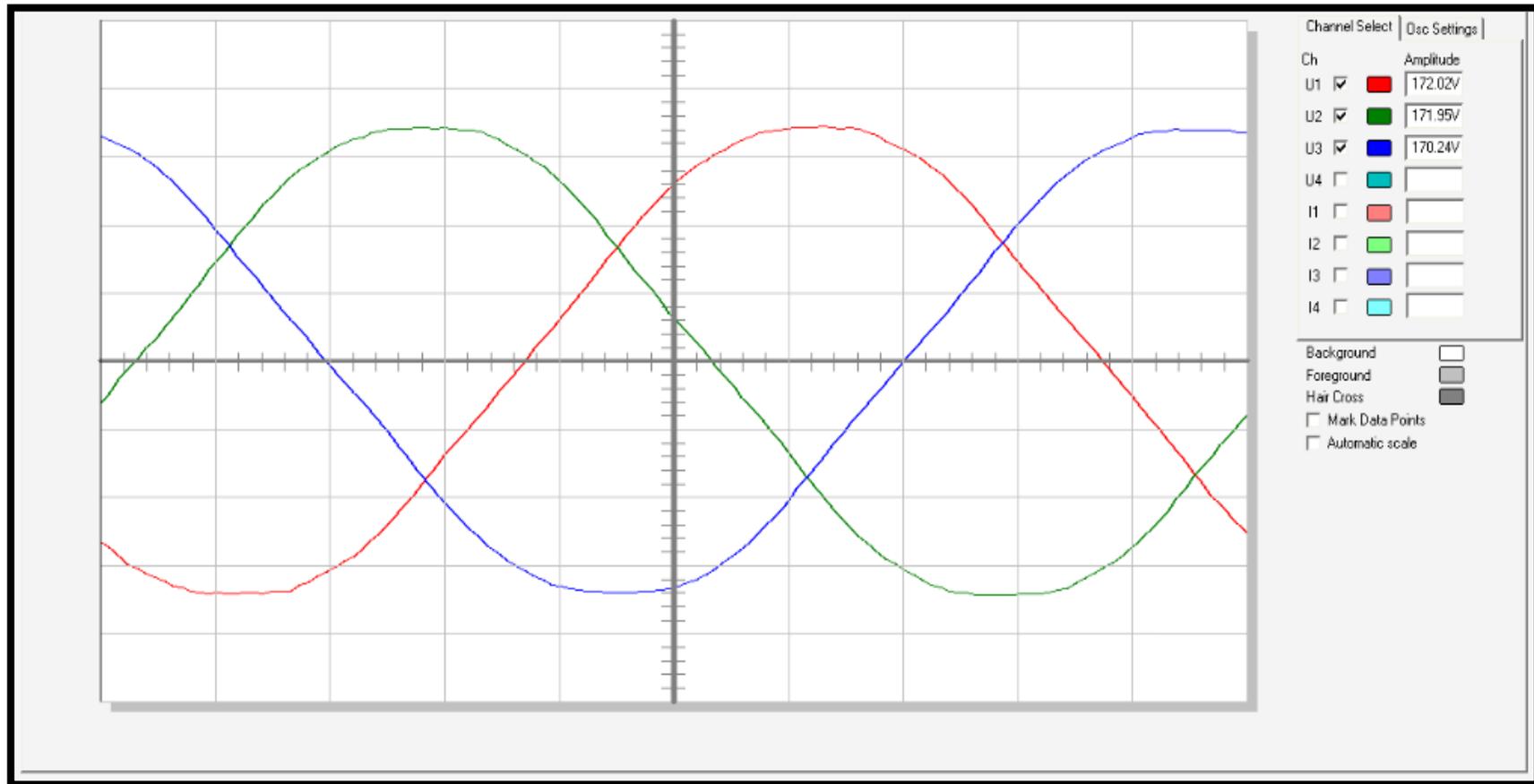
SENEFELDER C.A.

Grafica 11: Ondas de Corrientes Trifásicas. Fuente: Autor



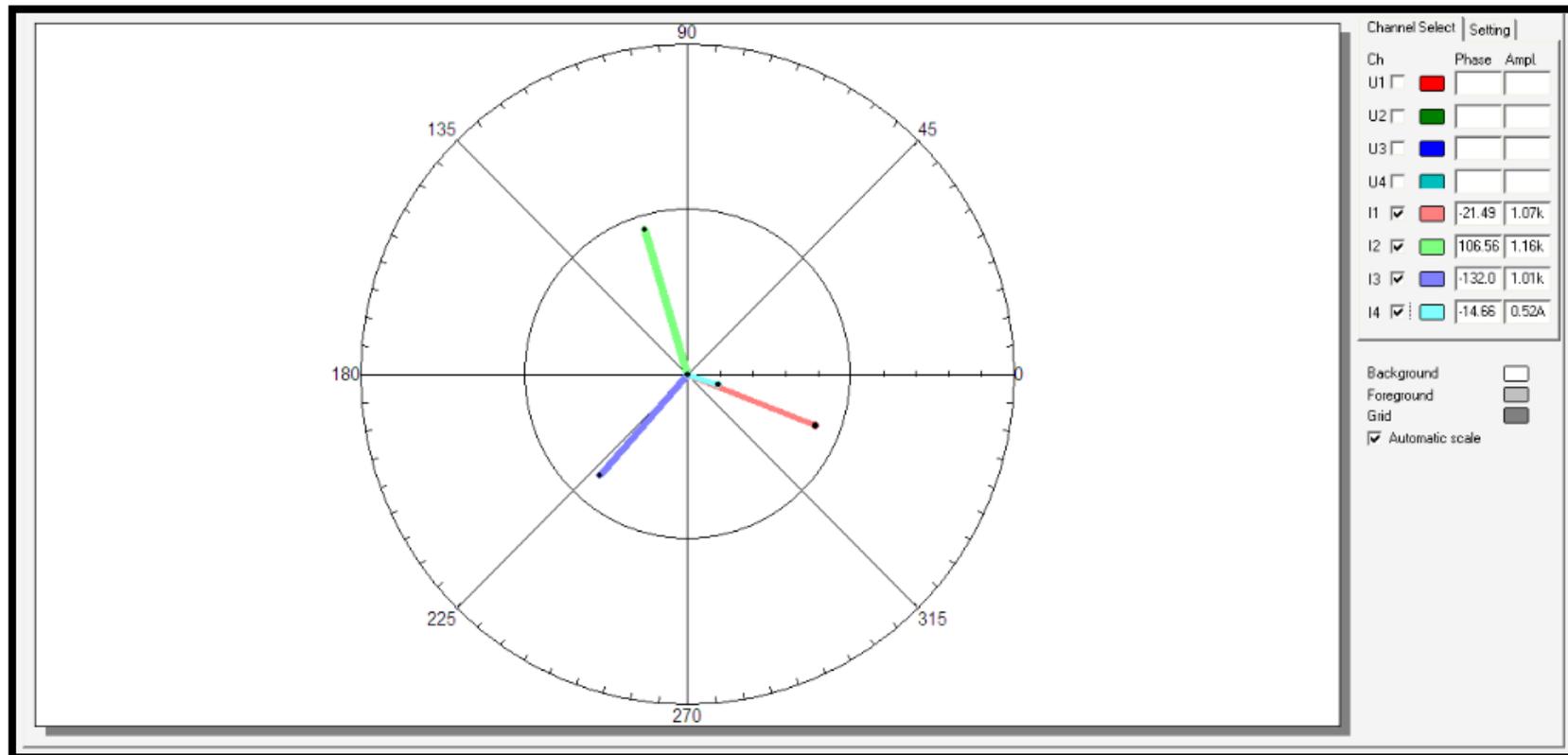
SENEFELDER C.A.

Grafica 12: Ondas de Voltajes Trifásicas. Fuente: Autor



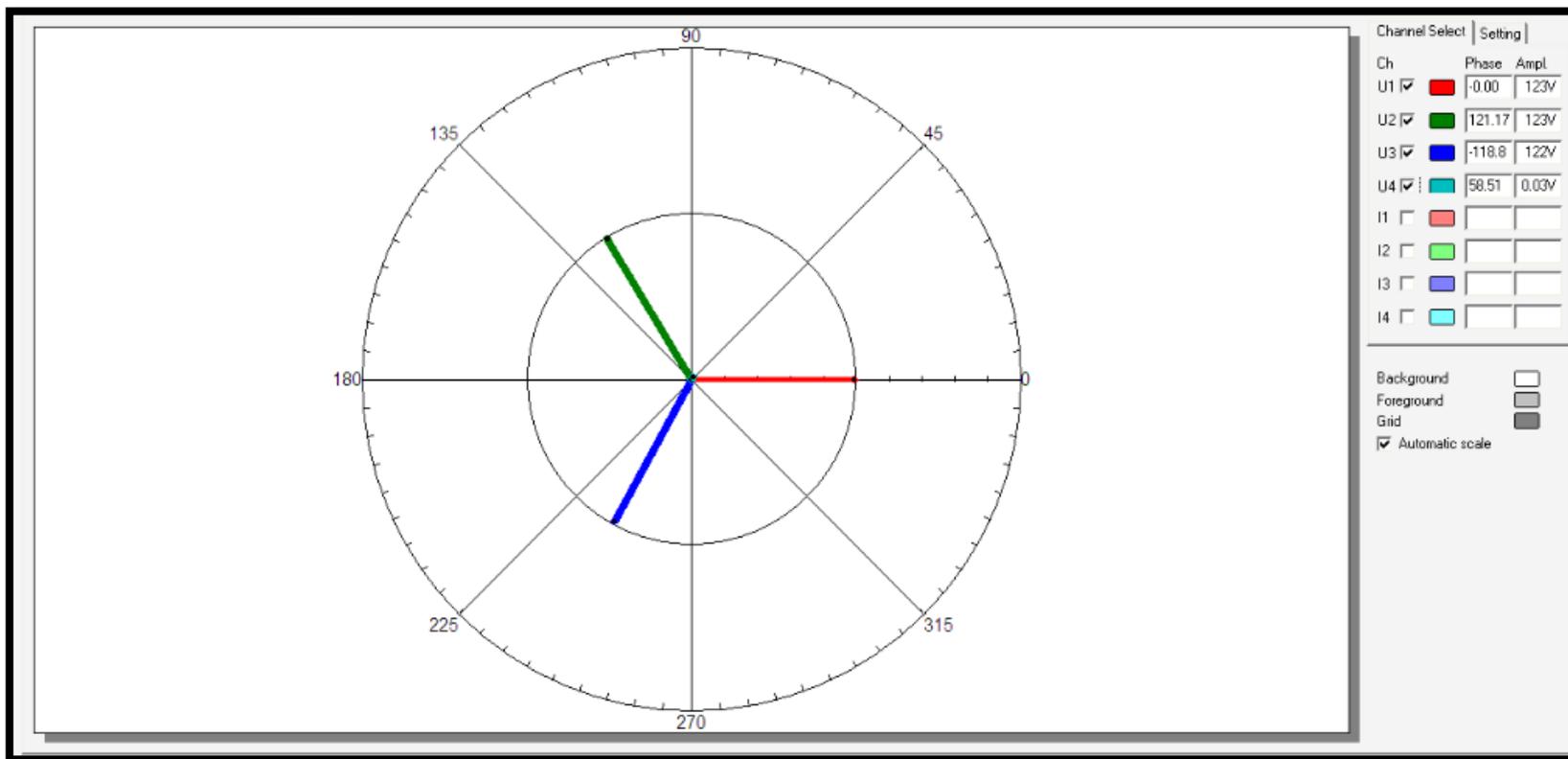
SENEFELDER C.A.

Grafica 13: Fasores Trifásicos de Corrientes. Fuente: Autor



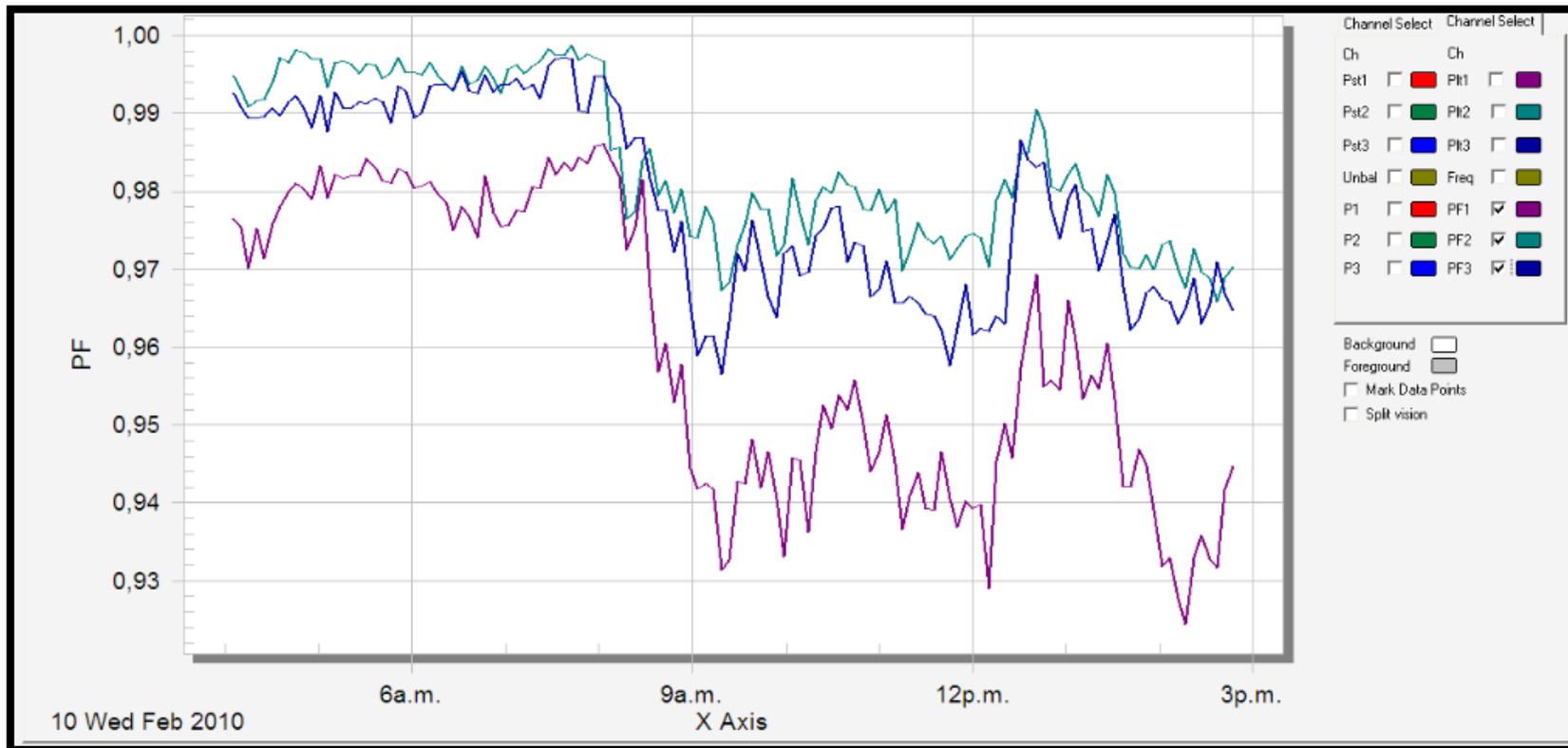
SENEFELDER C.A.

Grafica 14: Fasores Trifásicos de Voltajes. Fuente: Autor



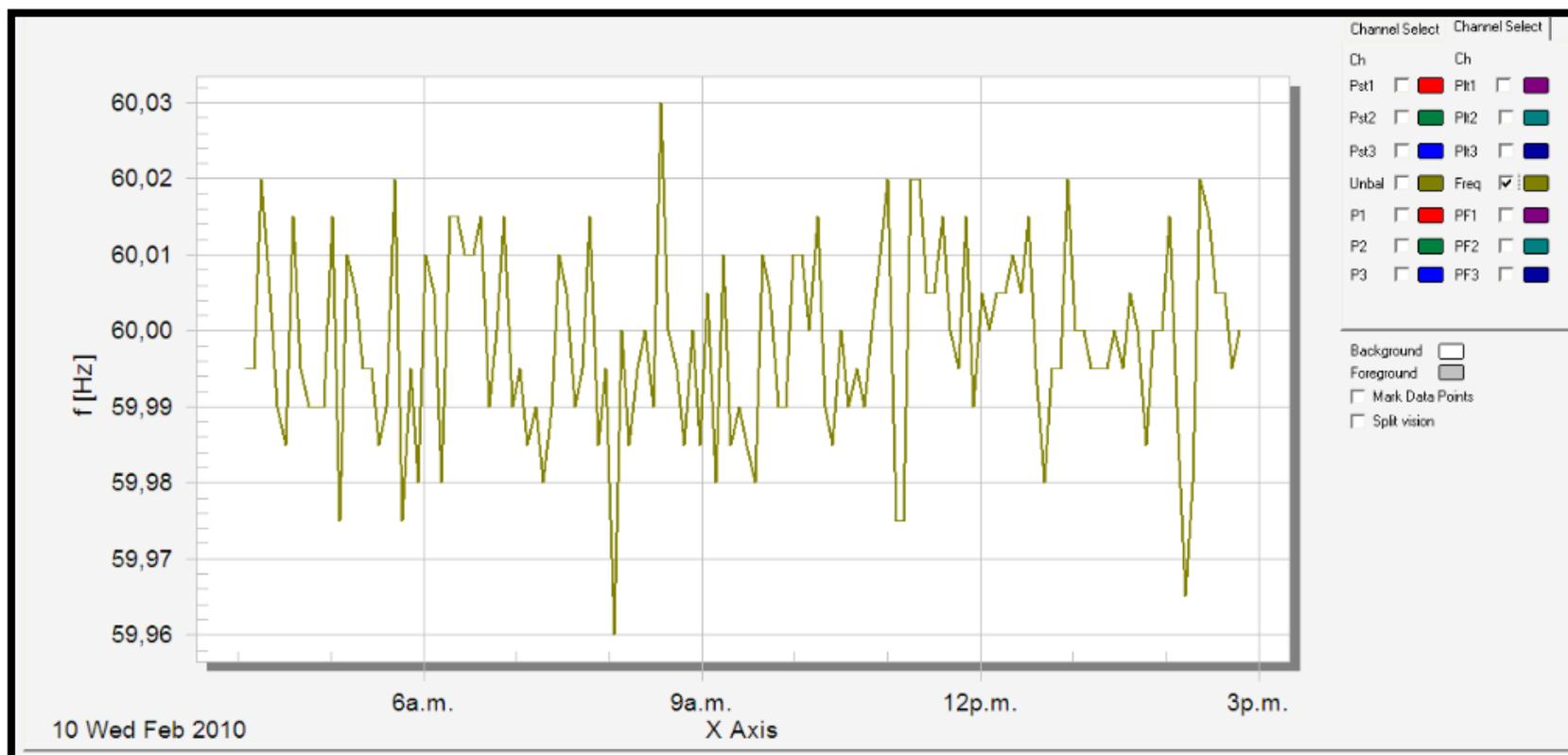
SENEFELDER C.A.

Grafica 15: Registro Factor de Potencia. Fuente: Autor



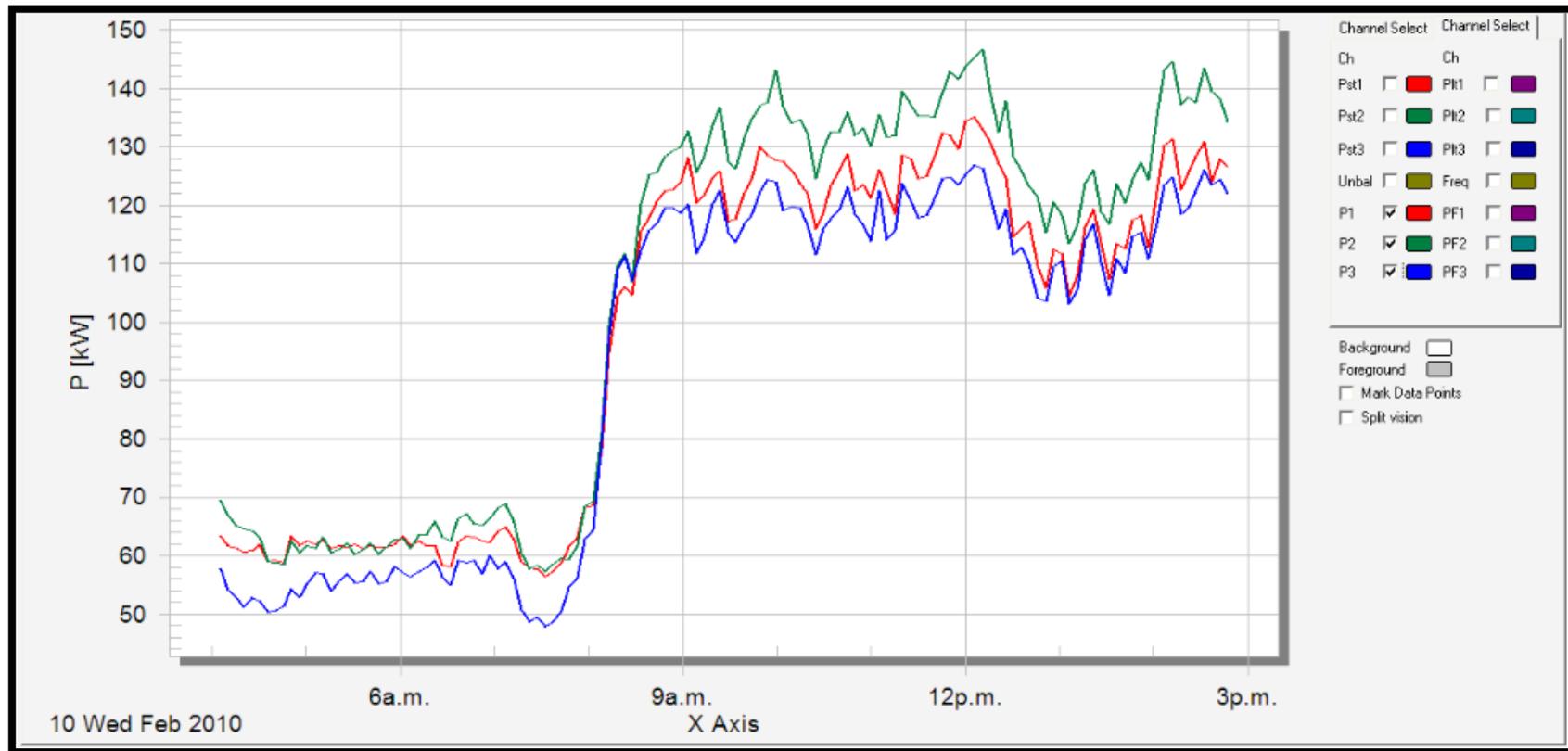
SENEFELDER C.A.

Grafica 16: Registro de frecuencia. Fuente: Autor



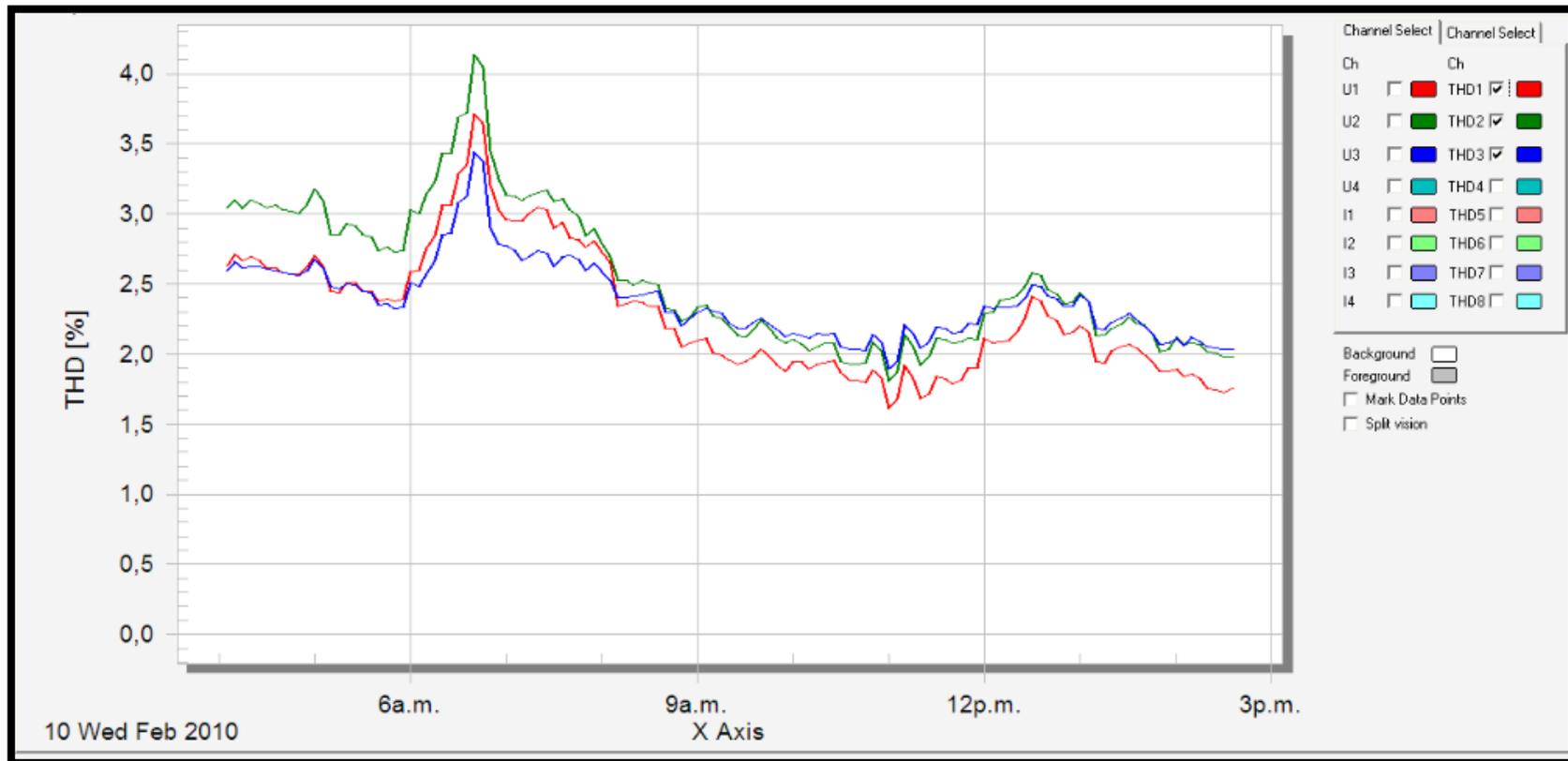
SENEFELDER C.A.

Grafica 17: Registro de Potencia. Fuente: Autor



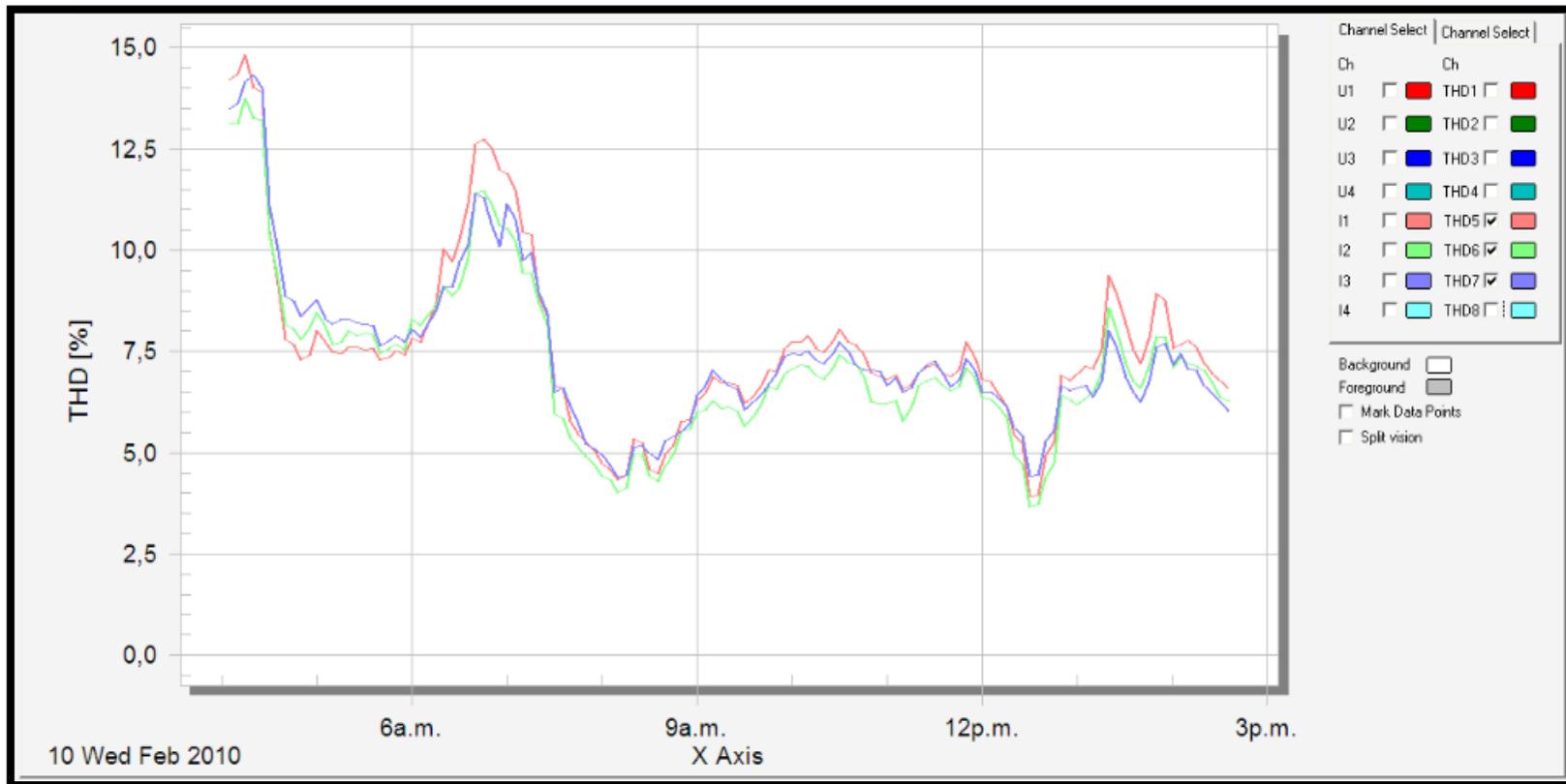
SENEFELDER C.A.

Grafica 18: Distorsión Total de Armónicas de Voltaje. Fuente: Autor



SENEFELDER C.A.

Grafica 19: Distorsión Total de Armónicas de Corriente. Fuente: Autor



ANEXO B



Ilustración 50: Cuarto de transformadores. Fuente: Autor



Ilustración 51: Banco de transformadores de 3 x 333Kva / 13.8Y v./ 220v. C/U. Fuente: Autor

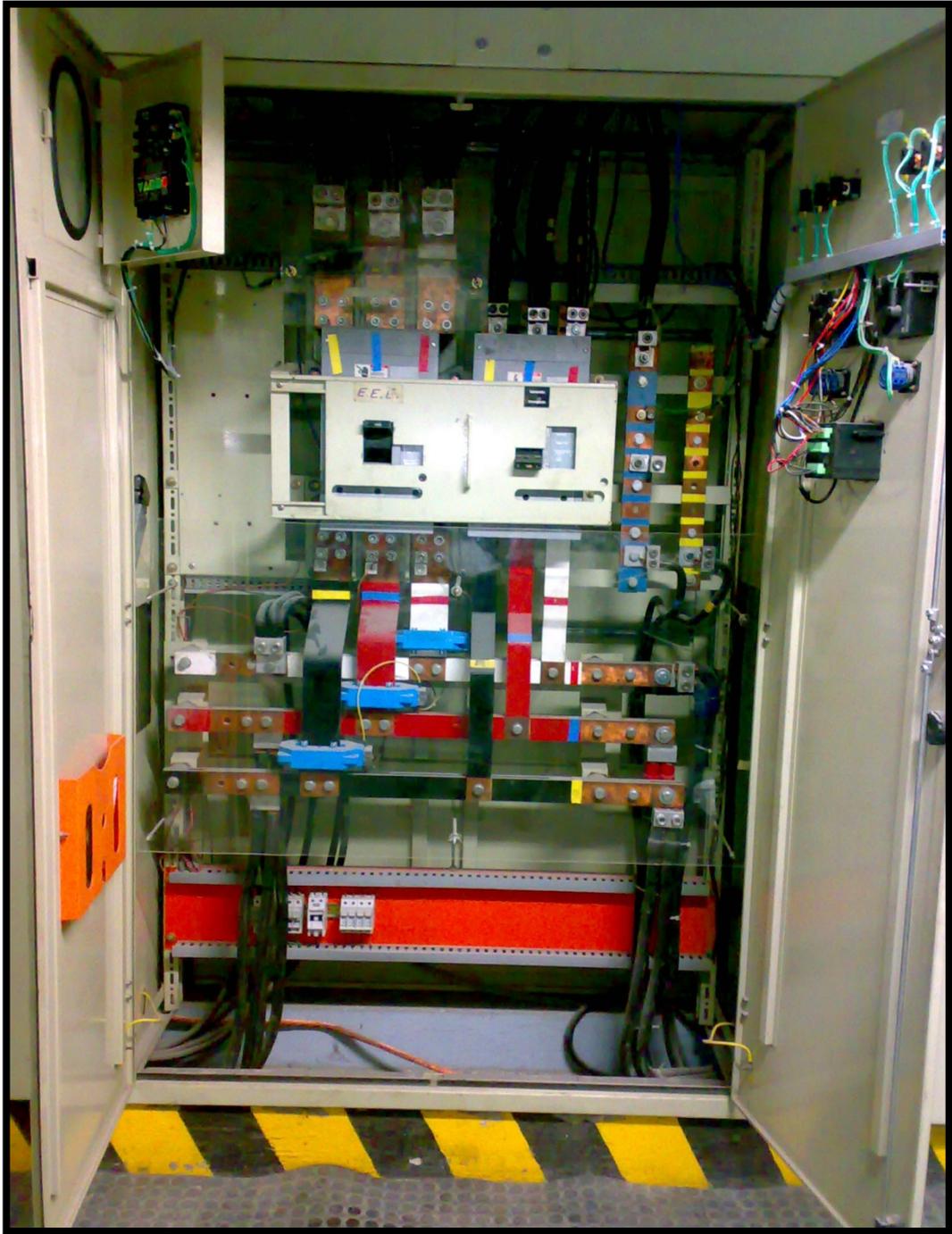


Ilustración 52: Tablero principal. Fuente: Autor

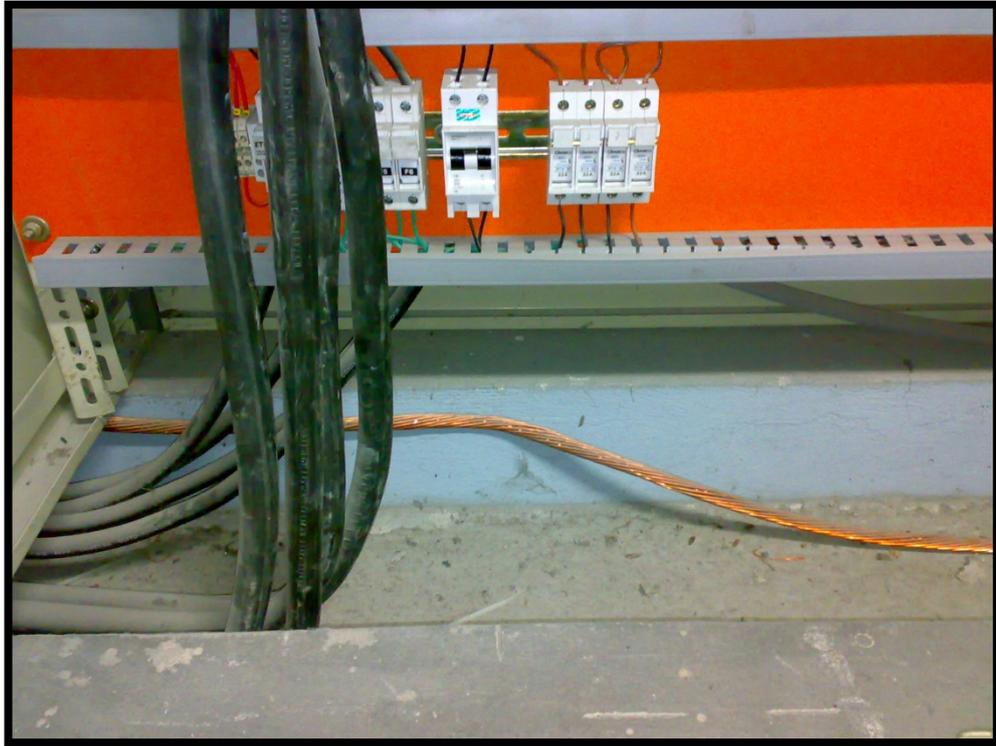


Ilustración 53: Conductor de tierra. Fuente: Autor

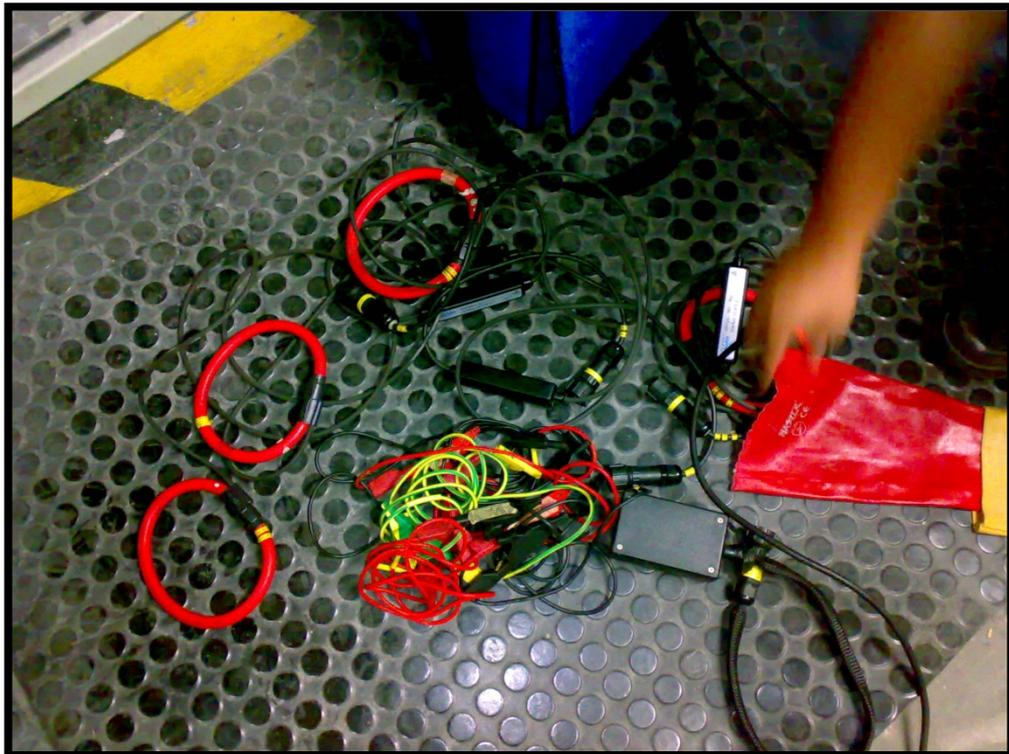


Ilustración 54: Elementos del analizador. Fuente: Autor



Ilustración 55: Preparación del analizador, en la foto Fernando Proaño. Fuente: Autor

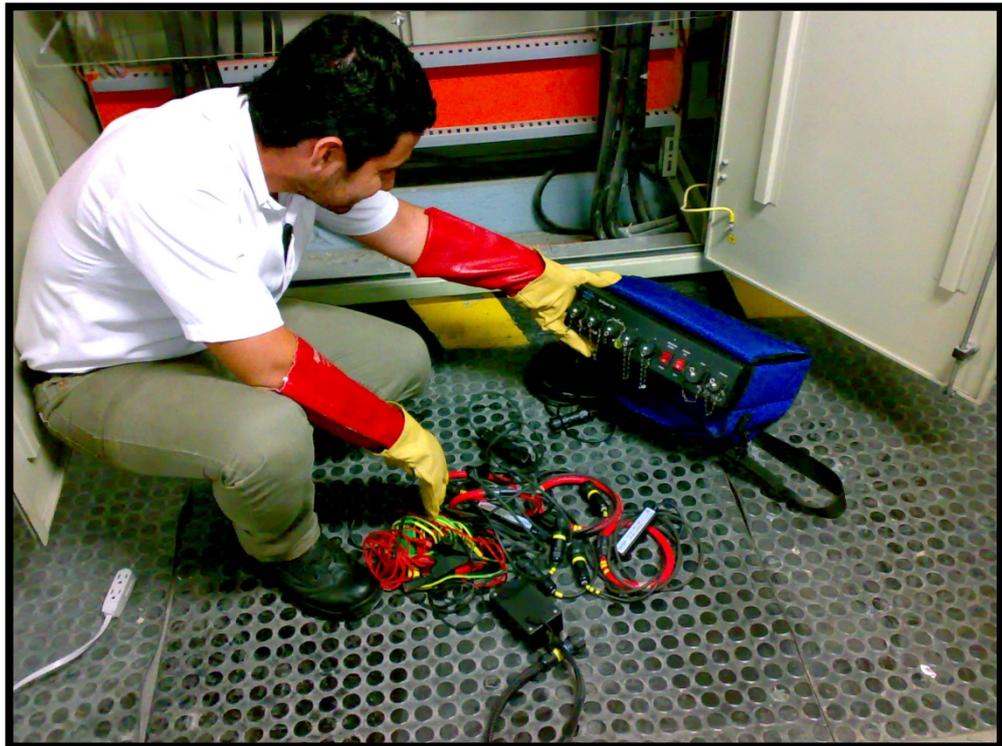


Ilustración 56: Preparación del analizador, en la foto Adolfo Velásquez. Fuente: Autor



Ilustración 57: Instalación del analizador, en la foto Adolfo Velásquez. Fuente: Autor



Ilustración 58: Instalación de ganchos para medición de corriente, en la foto Fernando Proaño. Fuente: Autor

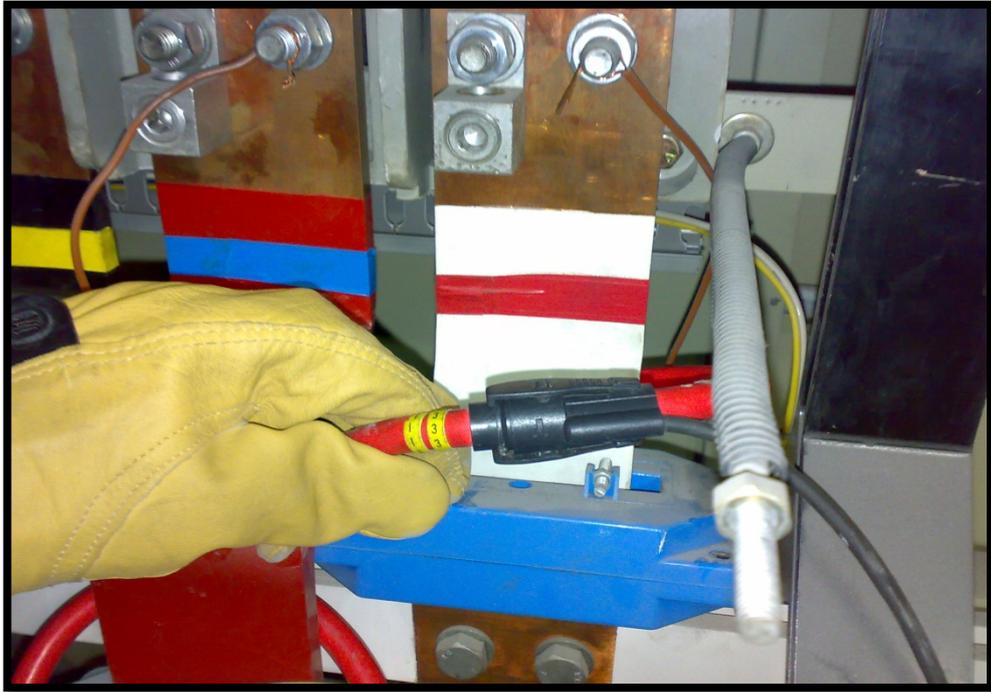


Ilustración 59: Verificación de todas las conexiones del analizador. Fuente: Autor

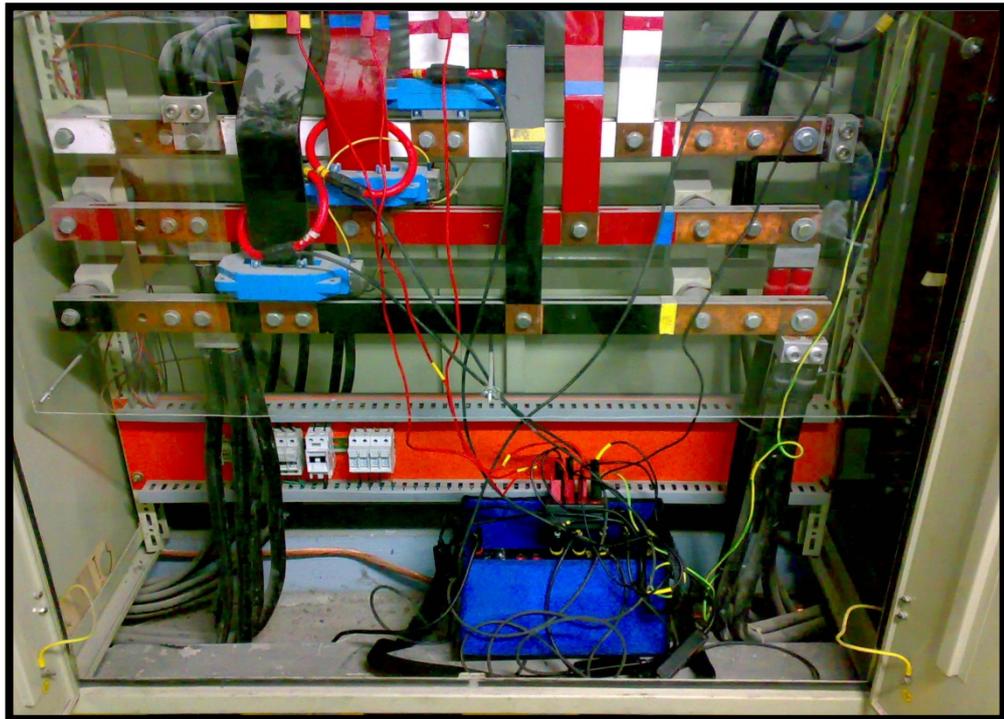


Ilustración 60: Analizador conectado y listo iniciar la toma de lectura. Fuente: Autor