



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

TEMA:

**ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS PUNTOS
DE RECEPCIÓN DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE
GUAYAQUIL**

Previa la obtención del Título

INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO

CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL

ELABORADO POR:

JIMMY ALEXANDER RIOFRÍO JIRÓN

MANUEL ELÍAS HARO PICO

GUAYAQUIL, AGOSTO DEL 2013



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado por los Sres. Jimmy Alexander Riofrío Jirón y Manuel Elías Haro Pico como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL.

Guayaquil, Agosto del 2013

DIRECTOR

Ing. Raúl Montenegro

REVISADO POR

Ing. Eduardo Zambrano
Revisor Contenido

Ing. Rafael Hidalgo
Revisor Metodológico

RESPONSABLE ACADÉMICO

Ing. Armando Heras



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

JIMMY ALEXANDER RIOFRÍO JIRÓN

MANUEL ELÍAS HARO PICO

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“Análisis de Calidad de la Energía Eléctrica en los puntos de recepción de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil”**, ha sido desarrollada con base a investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es completamente de nuestra autoría.

Mediante esta declaración, nos hacemos responsables del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Guayaquil, Agosto del 2013

LOS AUTORES

JIMMY ALEXANDER RIOFRÍO JIRÓN

MANUEL ELÍAS HARO PICO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

JIMMY ALEXANDER RIOFRÍO JIRÓN

MANUEL ELÍAS HARO PICO

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), la publicación, en la biblioteca de la institución el proyecto titulado “**Análisis de Calidad de la Energía Eléctrica en los puntos de recepción de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, Agosto del 2013

LOS AUTORES

JIMMY ALEXANDER RIOFRÍO JIRÓN

MANUEL ELÍAS HARO PICO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

DEDICATORIA

A nuestros queridos padres que fueron pilares fundamentales y fuente de inspiración que nos motivó a salir adelante en nuestros estudios, para que pudiéramos convertirnos en profesionales de primer nivel.

A nuestras familias que siempre nos apoyaron y fueron incondicionales en toda nuestra carrera estudiantil.

LOS AUTORES

JIMMY ALEXANDER RIOFRÍO JIRÓN

MANUEL ELÍAS HARO PICO



FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA

AGRADECIMIENTO

Dedicamos este trabajo a Dios por todas sus bendiciones y sabiduría que nos brindó, a nuestras familias que fueron fuentes de inspiración.

A nuestras amistades que nos han brindado su ayuda y apoyo incondicional durante la ejecución del proyecto investigativo.

A nuestro Director de Tesis, Ing. Raúl Montenegro, por su colaboración y conocimientos que nos han ayudado a desarrollar este trabajo de la mejor manera.

Y a todos nuestros profesores que durante nuestra etapa universitaria en la carrera de Ingeniería en Eléctrico-mecánica nos brindaron sus sabios conocimientos y experiencias para que nos formáramos como excelentes profesionales.

LOS AUTORES

JIMMY ALEXANDER RIOFRÍO JIRÓN

MANUEL ELÍAS HARO PICO

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
RESUMEN.....	XXII
ABSTRACT.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
GENERALIDADES.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Hipótesis.....	3
1.4 Objetivo General.....	3
1.5 Objetivo Específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5

2.1	Antecedentes Históricos relacionados con el estudio de la Calidad de la Energía Eléctrica.....	5
2.2	Calidad de la energía eléctrica.....	10
2.3	Importancia de la Calidad de la Energía Eléctrica.....	14
2.4	Definiciones.....	15
2.5	Aspectos Generales.....	16
2.6	Beneficios de la Calidad de la Energía Eléctrica.....	17
2.7	Factores que afectan la Calidad de la Energía Eléctrica en Sistemas de Potencia.....	18
2.8	Problemas que influyen en una buena Calidad de la Energía Eléctrica.....	19
2.9	Perspectivas a futuro y requerimiento.....	20
2.10	Implicaciones de las deficiencias en la Calidad del Suministro Eléctrico.....	21
2.11	Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución en el Ecuador.....	23
2.12	Calidad del Producto y Norma EN50160.....	24
CAPÍTULO III.....		25
FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA...		25
3.1	Tipos de cargas.....	25
3.1.1	Cargas lineales.....	25
3.1.2	Cargas no lineales.....	27
3.2	Sistema por Unidad (P.U.).....	29
3.3	Perturbaciones en los sistemas eléctricos de potencia.....	30
3.3.1	Transitorios.....	30

3.3.1.1	Transitorio Impulsivo.....	30
3.3.1.2	Transitorio Oscilatorio.....	31
3.3.2	Variaciones de corta duración.....	31
3.3.2.1	Interrupción.....	32
3.3.2.2	Depresión de Tensión (SAG).....	33
3.3.2.3	Salto de Tensión.....	33
3.3.3	Variaciones de larga duración.....	34
3.3.3.1	Interrupción sostenida.....	34
3.3.3.2	Subtensión.....	35
3.3.3.3	Sobretensión.....	35
3.3.4	Desequilibrio de tensión.....	35
3.3.5	Distorsión de la forma de onda.....	35
3.3.5.1	Armónicos.....	36
3.3.5.2	Corte.....	37
3.3.5.3	Ruido.....	37
3.3.6	Fluctuaciones de tensión, Flickers.....	38
3.3.6.1	Tolerancia para Flicker en el Voltaje.....	40
3.4	Tabla de resumen: Perturbaciones en los sistemas eléctricos de potencia.....	41
3.5	Como afecta la Calidad de la Energía Eléctrica la operación del equipo eléctrico.....	42
3.6	Consideraciones sobre la Distribución de la Energía Eléctrica.....	43

3.6.1	Los Niveles de Voltaje y Configuraciones.....	43
3.6.2	La Distribución de la Energía Eléctrica al usuario.....	44
3.6.3	La Distribución Eléctrica y el Efecto de la Conexión a Tierra.....	44
3.7	Conexión a Tierra.....	45
3.7.1	Conexión a Tierra Efectiva.....	45
3.8	Los Costos para la Solución del Problema de Calidad de la Energía Eléctrica.....	46
3.9	Frecuencia Relativa con que se presentan los problemas de Calidad de la Energía Eléctrica.....	47
3.10	La Protección contra Fallas en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica de las Empresas Suministradoras.....	49
3.11	Técnicas de Atenuación de los problemas.....	50
3.11.1	Los Circuitos Dedicados.....	50
3.11.2	Algunos Consejos y Precauciones.....	51
3.11.3	El Equipo Atenuador de Problemas de Calidad de la Energía Eléctrica.....	51
CAPÍTULO IV.....		54
NORMAS SOBRE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....		54
4.1	Regulación en Ecuador y Norma EN-50160.....	54
4.2	Norma del CONELEC.....	54
4.3	Regulación 004/01.....	54
4.3.1	Calidad del producto.....	54
4.3.2	Nivel del voltaje.....	55

4.3.3	Perturbaciones.....	57
4.3.3.1	Parpadeo (Flicker).....	57
4.3.3.2	Armónicos.....	59
4.3.4	Factor de Potencia.....	63
4.4	Norma EN-50160.....	64
4.5	Características de la alimentación en baja tensión.....	65
4.5.1	Frecuencia.....	65
4.5.2	Amplitud de la Tensión Suministrada.....	66
4.5.3	Variaciones de la Tensión Suministrada.....	66
4.5.4	Variaciones rápidas de Tensión.....	66
4.5.5	Huecos de tensión.....	67
4.5.6	Interrupciones breves de la Tensión Suministrada.....	67
4.5.7	Interrupciones largas de la Tensión Suministrada.....	67
4.5.8	Sobretensiones Temporales en la red entre Fases y tierra.....	68
4.5.9	Sobretensiones Transitorias entre Fases y tierra.....	68
4.5.10	Desequilibrio de la Tensión Suministrada.....	68
4.5.11	Tensiones Armónicas.....	69
4.5.12	Tensiones Interarmónicas.....	70
4.5.13	Transmisión de Señales de Información por la red.....	70
	CAPÍTULO V.....	71
	EQUIPO ANALIZADOR DE RED.....	71

5.1	Equipo utilizado para el monitoreo de la calidad de la energía eléctrica.....	71
5.2	Fluke 1744.....	72
5.2.1	Funciones del registrador.....	73
5.2.2	Características del registrador.....	75
5.2.3	Configuraciones de la red eléctrica.....	78
5.2.4	Trabajo con los datos registrados.....	78
5.2.5	Trabajos de registro.....	79
5.2.6	Preparación del registrador para el uso.....	79
5.2.7	Cables de prueba – marcas.....	81
5.2.8	Conexión de las sondas de corriente.....	81
5.2.9	Conexión del registrador.....	82
5.2.10	Conexiones en sistemas trifásicos de 4 hilos (En estrella).....	83
5.2.11	Conexiones en sistemas trifásicos de 3 hilos (En triángulo).....	84
5.2.12	Conexiones para el registro monofásico.....	85
5.3	PQ Log.....	86
5.3.1	Actividades que se pueden realizar con PQ Log.....	86
CAPÍTULO VI.....		87
ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....		87
6.1	Calidad de la energía eléctrica en los puntos de recepción.....	87
6.2	Medición y análisis de calidad de la energía eléctrica en el Edificio Principal	88

6.3	Medición y análisis de calidad de la energía eléctrica en la Facultad de Jurisprudencia.....	101
6.4	Medición y análisis de calidad de la energía eléctrica en la Biblioteca de la Universidad.....	113
6.5	Medición y análisis de calidad de la energía en el Edificio CEIS.....	126
6.6	Medición y análisis de calidad de la energía eléctrica en la Facultad de Empresariales.....	138
6.7	Medición y análisis de calidad de la energía eléctrica en la Facultad de Economía.....	150
	CONCLUSIONES.....	162
	RECOMENDACIONES.....	164
	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	166
	BIBLIOGRAFÍA.....	167
	DIRECCIONES WEB.....	168
	ANEXO.....	169
	PLANO DE LA UCSG A NIVEL DE MEDIA TENSIÓN.....	170
ÍNDICE DE TABLAS		
Tabla 3.1	Perturbaciones en los sistemas eléctricos de potencia.....	41
Tabla 3.2	Disturbios de energía en sistemas de cómputo.....	48
Tabla 4.1	Variaciones de voltajes admitidas con respecto al voltaje nominal...57	
Tabla 4.2	Valores límites de los armónicos.....	62

Tabla 4.3	Valores de las tensiones de armónicos individuales en los puntos de suministro.....	69
Tabla 5.1	Marcas de los cables de prueba.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Ondas de voltaje y corriente de una carga lineal.....	25
Figura 3.2	Curva del comportamiento de una carga lineal.....	26
Figura 3.3	Distorsión de voltaje provocada por carga no lineal.....	27
Figura 3.4	Curva del comportamiento de una carga no lineal.....	28
Figura 3.5	Curva de espectro de transitorio impulsivo.....	30
Figura 3.6	Curva de espectro de transitorio oscilatorio.....	31
Figura 3.7	Curva de espectro de interrupción.....	32
Figura 3.8	Curva de espectro de sag.....	33
Figura 3.9	Curva de espectro de swell.....	34
Figura 3.10	Distorsión de una onda fundamental por armónicos.....	36
Figura 3.11	Curva de espectro de corte.....	37
Figura 3.12	Curva de espectro de ruido.....	38
Figura 3.13	Curva de espectro de fluctuación de tensión.....	39
Figura 3.14	Aplicación del estabilizador de voltaje.....	52
Figura 3.15.	Aplicación del estabilizador de voltaje en una computadora.....	52
Figura 3.16.	Aplicación del equipo supresor de ondas y ruido.....	53

Figura 3.17	Aplicación del supresor de ondas en equipos que requieren esta protección.....	53
Figura 4.1	Triangulo de Potencias.....	63
Figura 4.2	Niveles de tensión de las frecuencias de las señales en porcentaje de un utilizadas en la red general de distribución de Baja Tensión.....	70
Figura 5.1	Registrador de calidad de potencia, modelo Fluke 1744.....	74
Figura 5.2	Registrador de calidad de potencia 1744 - Vista frontal.....	75
Figura 5.3	Suministro de alimentación eléctrica al registrador.....	80
Figura 5.4	Registro en un sistema trifásico de 4 hilos (en estrella).....	83
Figura 5.5	Registro en un sistema trifásico de 3 hilos (en triángulo).....	84
Figura 5.6	Conexiones monofásicas.....	85
Figura 6.1.1	Ubicación de los puntos de medición de energía.....	87
Figura 6.1.2	Diagrama de conexión de 4 Hilos en Estrella.....	88
Figura 6.2.1	Configuración de equipo Fluke 1744.....	89
Figura 6.2.2	Programación de equipo Fluke 1744 – Edificio principal.....	89
Figura 6.2.3	Voltaje de L1– Edificio principal.....	90
Figura 6.2.4	Voltaje de L2– Edificio principal.....	90
Figura 6.2.5	Voltaje de L3– Edificio principal.....	91
Figura 6.2.6	Voltaje Máximo de L1, 2, 3– Edificio principal.....	91
Figura 6.2.7	Voltaje Mínimo de L1, 2, 3– Edificio principal.....	92
Figura 6.2.8	Voltaje Línea a Línea– Edificio principal.....	92
Figura 6.2.9	THD Voltaje– Edificio principal.....	93

Figura 6.2.10	Voltaje Desbalance– Edificio principal.....	93
Figura 6.2.11	Flicker de severidad de larga duración– Edificio principal.....	94
Figura 6.2.12	Flicker de severidad de corta duración– Edificio principal.....	94
Figura 6.2.13	Frecuencia de línea– Edificio principal.....	95
Figura 6.2.14	Factor de Potencia– Edificio principal.....	95
Figura 6.2.15	Factor de Potencia de Líneas 1,2,3– Edificio principal.....	96
Figura 6.2.16	Corriente de Líneas 1, 2, 3– Edificio principal.....	96
Figura 6.2.17	Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3– Edificio principal.....	97
Figura 6.2.18	Desbalance de corriente– Edificio principal.....	97
Figura 6.2.19	THD Corriente de las líneas 1, 2, 3– Edificio principal.....	98
Figura 6.2.20	Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3– Edificio principal.....	98
Figura 6.2.21	Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2,3 – Edificio principal.....	99
Figura 6.2.22	Potencia total– Edificio principal.....	99
Figura 6.2.23	Eventos con problemas– Edificio principal.....	100
Figura 6.3.1	Programación de equipo Fluke 1744 – Fac. Jurisprudencia.....	101
Figura 6.3.2	Voltaje de L1 – Fac. Jurisprudencia.....	102
Figura 6.3.3	Voltaje de L2 – Fac. Jurisprudencia.....	102
Figura 6.3.4	Voltaje de L3 – Fac. Jurisprudencia.....	103
Figura 6.3.5	Voltaje Máximo de L1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia.....	103
Figura 6.3.6	Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia.....	104
Figura 6.3.7	Voltaje Línea a Línea – Fac. Jurisprudencia.....	104

Figura 6.3.8	THD Voltaje – Fac. Jurisprudencia.....	105
Figura 6.3.9	Voltaje Desbalance – Fac. Jurisprudencia.....	105
Figura 6.3.10	Flicker de severidad de larga duración – Fac. Jurisprudencia.....	106
Figura 6.3.11	Flicker de severidad de corta duración – Fac. Jurisprudencia.....	106
Figura 6.3.12	Frecuencia de línea – Fac. Jurisprudencia.....	107
Figura 6.3.13	Factor de Potencia – Fac. Jurisprudencia.....	107
Figura 6.3.14	Factor de Potencia de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia.....	108
Figura 6.3.15	Corriente de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia.....	108
Figura 6.3.16	Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia.....	109
Figura 6.3.17	Desbalance de corriente – Fac. Jurisprudencia.....	109
Figura 6.3.18	THD Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia.....	110
Figura 6.3.19	Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia....	110
Figura 6.3.20	Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia..	111
Figura 6.3.21	Potencia total – Fac. Jurisprudencia.....	111
Figura 6.3.22	Eventos con problemas – Fac. Jurisprudencia.....	112
Figura 6.4.1-	Programación de equipo Fluke 1744 – Biblioteca.....	113
Figura 6.4.2-	Voltaje de L1 – Biblioteca.....	114
Figura 6.4.3-	Voltaje de L2 – Biblioteca.....	114
Figura 6.4.4-	Voltaje de L3 – Biblioteca.....	115
Figura 6.4.5-	Voltaje Máximo de L1, 2, 3 – Biblioteca.....	115
Figura 6.4.6-	Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 – Biblioteca.....	116

Figura 6.4.7- Voltaje Línea a Línea – Biblioteca.....	116
Figura 6.4.8- THD Voltaje – Biblioteca.....	117
Figura 6.4.9- Voltaje Desbalance – Biblioteca.....	117
Figura 6.4.10- Flicker de severidad de larga duración – Biblioteca.....	118
Figura 6.4.11- Flicker de severidad de corta duración – Biblioteca.....	118
Figura 6.4.12- Frecuencia de línea – Biblioteca.....	119
Figura 6.4.13- Factor de Potencia – Biblioteca	119
Figura 6.4.14- Factor de Potencia de Líneas 1, 2, 3 – Biblioteca.....	120
Figura 6.4.15- Corriente de Líneas 1, 2, 3 – Biblioteca.....	120
Figura 6.4.16- Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 – Biblioteca.....	121
Figura 6.4.17- Desbalance de corriente – Biblioteca.....	121
Figura 6.4.18- THD Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Biblioteca.....	122
Figura 6.4.19- Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 – Biblioteca.....	122
Figura 6.4.20- Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Biblioteca.....	123
Figura 6.4.21- Potencia total – Biblioteca.....	123
Figura 6.4.22- Eventos con problemas – Biblioteca.....	125
Figura 6.5.1 Programación de equipo Fluke 1744 – Edificio CEIS.....	126
Figura 6.5.2 Voltaje de L1 – Edificio CEIS.....	127
Figura 6.5.3 Voltaje de L2 – Edificio CEIS.....	127
Figura 6.5.4 Voltaje de L3 – Edificio CEIS.....	128
Figura 6.5.5 Voltaje Máximo de L1, 2, 3 – Edificio CEIS.....	128

Figura 6.5.6	Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 – Edificio CEIS.....	129
Figura 6.5.7	Voltaje Línea a Línea – Edificio CEIS.....	129
Figura 6.5.8	THD Voltaje – Edificio CEIS.....	130
Figura 6.5.9	Voltaje Desbalance – Edificio CEIS.....	130
Figura 6.5.10	Flicker de severidad de larga duración – Edificio CEIS.....	131
Figura 6.5.11	Flicker de severidad de corta duración – Edificio CEIS.....	131
Figura 6.5.12	Frecuencia de línea – Edificio CEIS.....	132
Figura 6.5.13	Factor de Potencia – Edificio CEIS.....	132
Figura 6.5.14	Factor de Potencia de Líneas 1,2,3 – Edificio CEIS.....	133
Figura 6.5.15	Corriente de Líneas 1, 2, 3 – Edificio CEIS.....	133
Figura 6.5.16	Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 – Edificio CEIS.....	134
Figura 6.5.17	Desbalance de corriente – Edificio CEIS.....	134
Figura 6.5.18	THD Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Edificio CEIS.....	135
Figura 6.5.19	Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 – Edificio CEIS.....	135
Figura 6.5.20	Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Edificio CEIS.....	136
Figura 6.5.21	Potencia total – Edificio CEIS.....	136
Figura 6.5.22	Eventos con problemas – Edificio CEIS.....	137
Figura 6.6.1	Programación de equipo Fluke 1744 – Fac. Empresariales.....	138
Figura 6.6.2	Voltaje de L1 – Fac. Empresariales.....	139
Figura 6.6.3	Voltaje de L2 – Fac. Empresariales.....	139
Figura 6.6.4	Voltaje de L3 – Fac. Empresariales.....	140

Figura 6.6.5	Voltaje Máximo de L1, 2, 3 – Fac. Empresariales.....	140
Figura 6.6.6	Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 – Fac. Empresariales.....	141
Figura 6.6.7	Voltaje Línea a Línea – Fac. Empresariales.....	141
Figura 6.6.8	THD Voltaje – Fac. Empresariales.....	142
Figura 6.6.9	Voltaje Desbalance – Fac. Empresariales.....	142
Figura 6.6.10	Flicker de severidad de larga duración – Fac. Empresariales.....	143
Figura 6.6.11	Flicker de severidad de corta duración – Fac. Empresariales.....	143
Figura 6.6.12	Frecuencia de línea – Fac. Empresariales.....	144
Figura 6.6.13	Factor de Potencia – Fac. Empresariales.....	144
Figura 6.6.14	Factor de Potencia de Líneas 1,2,3 – Fac. Empresariales.....	145
Figura 6.6.15	Corriente de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Empresariales.....	145
Figura 6.6.16	Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Empresariales.....	146
Figura 6.6.17	Desbalance de corriente – Fac. Empresariales.....	146
Figura 6.6.18	THD Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Empresariales.....	147
Figura 6.6.19	Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Empresariales.....	147
Figura 6.6.20	Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Empresariales..	148
Figura 6.6.21	Potencia total – Fac. Empresariales.....	148
Figura 6.6.22	Eventos con problemas – Fac. Empresariales.....	149
Figura 6.7.1	Programación de equipo Fluke 1744 – Fac. Economía.....	150
Figura 6.7.2	Voltaje de L1 – Fac. Economía.....	151
Figura 6.7.3	Voltaje de L2 – Fac. Economía.....	151

Figura 6.7.4	Voltaje de L3 – Fac. Economía.....	152
Figura 6.7.5	Voltaje Máximo de L1, 2, 3 – Fac. Economía.....	152
Figura 6.7.6	Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 – Fac. Economía.....	153
Figura 6.7.7	Voltaje Línea a Línea – Fac. Economía.....	153
Figura 6.7.8	THD Voltaje – Fac. Economía.....	154
Figura 6.7.9	Voltaje Desbalance – Fac. Economía.....	154
Figura 6.7.10	Flicker de severidad de larga duración – Fac. Economía.....	155
Figura 6.7.11	Flicker de severidad de corta duración – Fac. Economía.....	155
Figura 6.7.12	Frecuencia de líneas – Fac. Economía.....	156
Figura 6.7.13	Factor de Potencia – Fac. Economía.....	156
Figura 6.7.14	Factor de Potencia de Líneas 1,2,3 – Fac. Economía.....	157
Figura 6.7.15	Corriente de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Economía.....	157
Figura 6.7.16	Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Economía.....	158
Figura 6.7.17	Desbalance de corriente – Fac. Economía.....	158
Figura 6.7.18	THD Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Economía.....	159
Figura 6.7.19	Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Economía.....	159
Figura 6.7.20	Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3–Fac. Economía.....	160
Figura 6.7.21	Potencia total–Fac. Economía.....	160
Figura 6.7.22	Eventos con problemas– Fac. Economía.....	161

RESUMEN

El incremento en la productividad con logros en la industria debido a la automatización, ha tenido un gran desarrollo tecnológico, especialmente la electrónica de potencia que ha producido una generación de equipos de alta capacidad, alto rendimiento y bajo costo siendo cargas no lineales altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico, siendo afectado el suministro eléctrico por su propia presencia; lo que conlleva, a que la empresa Distribuidora del Servicio Eléctrico se esmere por proveer una alimentación confiable, ininterrumpida y totalmente libre de perturbaciones en el servicio eléctrico.

Entre los objetivos de la realización de esta tesis de Análisis de Calidad de la Energía Eléctrica en los puntos de recepción de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil es establecer soluciones efectivas para corregir las fallas o problemas que se presenten en el sistema eléctrico.

El desarrollo de dicho estudio en todo momento se verá enfocado por la Regulación del CONELEC 004/01 vigentes desde Marzo del 2001 y varias Normas Internacionales; en base de las diversas mediciones tomadas en los puntos que dicha regulación lo estipula, se planteará soluciones temporales y a largo plazo para mantener un buen servicio que evite el deterioro de las señales de tensión y conlleve a interrupciones que culminan en la reducción o parada de procesos que ocasionan perjuicios.

ABSTRACT

The increase in productivity gains in the industry due to automation has provoked great technological development, as especially seen in the case of power electronics which has produced a generation of high capacity equipment, high performance and low cost non-linear loads. Such power electronic devices, which are highly sensitive to variations in power supply, both affect and are affected by the power supply. This has led to great efforts made by the Electrical Services Company to provide a reliable, uninterrupted and totally undisturbed power supply.

The objectives of this thesis conducting Quality Analysis of Electric Power at the receiving points of the Catholic University of Santiago of Guayaquil is to establish effective solutions to correct flaws or problems evident in the electrical system.

The development of the present study will at all time will be focused on the CONELEC regulation 004/01 in effect since March 2001 and several International Standards, based on various measurements taken at the points stipulated in this regulation, some temporary and long-term solutions have been proposed that are needed in order to maintain a good service that prevents the wear and tear of voltage signals, these being a major cause of power disruptions that result in the reduction of or ceasing of processes that cause damage.

INTRODUCCIÓN

El estudio de Calidad de la Energía Eléctrica se refiere a la Calidad del Producto comprende el nivel de voltaje, las perturbaciones de voltaje y el factor de potencia; en los puntos de recepción de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, de acuerdo a la norma de Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución (Regulación No. CONELEC 004/001).

Realizar el levantamiento de la información necesaria del equipo de medición (Fluke 1744), para determinar los parámetros que se encuentran dentro de la regulación presente para el desarrollo de dicho estudio.

Brindar un estudio de Análisis de la Calidad de la Energía Eléctrica en los puntos de recepción de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y desarrollar la aplicación de los conocimientos adquiridos de Ingeniería Electrico-mecánica en lo referente a la Calidad de Energía.

Analizar los resultados obtenidos de los diversos parámetros dentro de las mediciones realizadas y emitir soluciones efectivas para mantener en todo momento energía de calidad y el funcionamiento sea continuo, seguro y adecuado de los equipos eléctricos y procesos asociados, sin afectar el medio ambiente y el bienestar de las personas.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El actual sistema eléctrico de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil se encuentra en constante riesgo debido al deterioro de sus instalaciones y a las fallas que se producen a causa de éstas. El daño en los equipos eléctricos, electrónicos y las instalaciones que integran la estructura eléctrica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil es provocado por una mala calidad de energía eléctrica. Esta conlleva a tener un mal funcionamiento y un deplorable desempeño de cada uno de los elementos que conforman este sistema, acortando su vida útil y provocando eventuales interrupciones en el servicio eléctrico de forma parcial o total, dependiendo de la magnitud de la falla e imposibilitando a que se cumplan con normalidad las jornadas académicas universitarias y las actividades financieras que se desarrollan al interior del campus.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El análisis pretende reflejar las causas comunes de una deficiente calidad de energía eléctrica, ya que se requieren mejoras en el sistema eléctrico actual para que los equipos conectados a la red no sean afectados en su vida útil; ya que son indispensables para el desarrollo de la comunidad universitaria en sus jornadas diarias.

La buena calidad de la energía eléctrica representa algunos beneficios, ya que evita:

- 1) El mal funcionamiento de equipos electrónicos y maquinaria industrial.
- 2) Reducción de vida útil de equipos.
- 3) Incremento de tareas de mantenimiento.

- 4) Cuantiosas pérdidas económicas por el mal funcionamiento de maquinaria.
- 5) Renovación de equipos no planificados.
- 6) Calentamiento excesivo en transformadores y motores.
- 7) Baja eficiencia de motores, bloqueo de programas de PLCs.
- 8) El colapso de sistemas de comunicación, con pérdidas de información.
- 9) Incremento del Costo de la Energía Eléctrica.

1.3 HIPÓTESIS

El análisis de calidad de energía eléctrica en los puntos de recepción, reflejará las condiciones del suministro eléctrico que es entregado a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por parte de la Empresa Eléctrica Distribuidora; corroborando de esta manera que nuestro actual sistema eléctrico está proclive a fallas eventuales debido a la entrega de una mala calidad de energía eléctrica. En base a los resultados de las mediciones se analizará y se planteará diversos criterios y/o soluciones que ayuden a mejorar el normal funcionamiento del sistema eléctrico para que desarrollen sin ningún inconveniente las actividades en el Campus Universitario.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Analizar la calidad del suministro eléctrico proporcionado por la empresa distribuidora en los puntos de recepción, con el objetivo de establecer las medidas correctivas pertinentes para evitar las consecuencias de una mala calidad de energía eléctrica.

1.5 OBJETIVO ESPECÍFICOS

Medir los parámetros relacionados con la energía eléctrica de calidad para poder realizar el análisis de los resultados, con lo cual determinaremos la calidad de la energía.

Los parámetros a analizar para el estudio de la calidad de energía eléctrica son los siguientes:

- a) Nivel de Voltaje
 - Caídas de Voltaje
 - Subidas de Voltaje
- b) Perturbaciones de voltaje
 - Flicker
 - Armónicos
- c) Factor de Potencia
 - Límites Permisibles

Establecidos los resultados del análisis de la calidad de energía, se podrán dar soluciones temporales y a largo plazo, para mantener un sistema eléctrico confiable, seguro y continuo.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS RELACIONADOS CON EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Tanto las empresas suministradoras de energía eléctrica como los usuarios finales del servicio de energía eléctrica, han estado insistiendo cada vez más en el concepto de calidad de la energía. Esto se inició en la década de los 80's y se ha convertido en una especie de concepto general, alrededor del cual se puede ubicar una multitud de distintos tipos de disturbios y problemas que se pueden presentar en un sistema eléctrico.

Las principales razones por las que es necesario estudiar los conceptos relacionados con la calidad en el suministro de la energía eléctrica, son las siguientes:

1. Las cargas cada día son más sensibles a las variaciones de ciertos parámetros o cantidades en los sistemas del suministro de energía eléctrica, en la actualidad se encuentran cargas tanto industriales como residenciales y comerciales, que hacen un uso intensivo de controles basados en microprocesadores, como es el caso de las aplicaciones en robótica, las computadoras personales, aparatos del hogar, etcétera. También existe cada vez, mayor presencia de la llamada electrónica de potencia, usada en distintas aplicaciones, como es el caso de los controladores para motores eléctricos, que han sustituido en muchos casos a los controles electromagnéticos y que son sensibles a muchos tipos de disturbios.

2. Se ha incrementado el concepto de mayor eficiencia en los sistemas eléctricos, lo cual ha traído como resultado un incremento continuo en la aplicación de dispositivos de alta eficiencia, tales como: los controladores de velocidad en motores eléctricos, el uso de capacitores en paralelo para la corrección del factor de potencia y para reducir pérdidas; esto trae como consecuencia un incremento en los niveles de armónicas en los sistemas eléctricos, problema que ha preocupado a los técnicos, por

el impacto que actualmente tienen y por las condiciones futuras que se pueden presentar.

3. Una mayor atención por parte de los usuarios finales a problemas con la calidad del suministro de la energía eléctrica, que pueden afectar a las cargas, como son: las interrupciones de servicio, los transitorios por maniobras, las depresiones y elevaciones de voltaje, etcétera.

4. La cada vez más creciente tendencia a la interconexión de los sistemas eléctricos al nivel de sistemas de potencia y de instalaciones industriales, trae como resultado una mayor cantidad de procesos integrados, lo cual significa que una falla en cualquier componente tiene consecuencias más importantes.

El principal factor que se encuentra detrás de los conceptos de la calidad en el suministro de la energía eléctrica es el incremento en la productividad para los clientes de las empresas eléctricas. Lo anterior, plantea la necesidad de identificar estos problemas entre suministradores y usuarios de energía eléctrica en forma grupal, para que en la medida de lo posible se planteen soluciones conjuntas.

En Ecuador, el suministro de energía eléctrica a los usuarios, está regido por la ley del servicio público y su reglamento, en donde se especifican los límites superior e inferior del voltaje de suministro en el punto de entrega al usuario. La entrega de voltajes fuera de estos límites se considera anomalía o deficiencia del suministro. Históricamente, la calidad de la energía no ha sido un problema mayor, hasta hace poco tiempo, en forma genérica, se consideraba que excepto por la continuidad, el suministro para la mayoría de los usuarios de la energía eléctrica era completamente satisfactorio. Sin embargo, el incremento masivo que se ha tenido en la utilización de equipo basado en electrónica de potencia, ha creado un doble problema para el suministrador:

1. En primer lugar, este equipo, en común con cualquier dispositivo que incorpora electrónica de potencia, es sensible a las variaciones rápidas del voltaje, como son los abatimientos del voltaje (deficiencias del voltaje suministrado).

2. En segundo lugar, este tipo de equipo genera distorsión armónica y, bajo ciertas condiciones, puede deteriorar la magnitud y forma de onda del voltaje suministrado, a tal grado que sea inadecuado para la mayoría de los usuarios que comparten esa misma fuente de suministro.

La sociedad actual es dependiente del comportamiento de sus dispositivos motorizados e informatizados. Cuando suceden anomalías en el suministro de la energía eléctrica, el comportamiento de estos sistemas se ve afectado, los beneficios económicos y de bienestar que proporciona la tecnología se eliminan y se desprenden numerosos problemas, tanto para la empresa suministradora como para sus usuarios. El suministrador, usualmente atribuye los problemas a anomalías en la instalación del usuario, mientras que el usuario, normalmente asocia los problemas a deficiencias en las redes de suministro. En la mayoría de las veces, ambos olvidan las limitaciones que tienen los equipos electrónicos sensibles para operar en el ambiente de las redes eléctricas tradicionales de ambos.

Por lo anterior, el conocimiento de las características de la calidad de la energía de los sistemas eléctricos del suministrador y del usuario es esencial para establecer acciones económicas, tanto por parte del suministrador como del usuario, que permitan el control de los efectos no deseables,

Existen tres cambios fundamentales en la naturaleza de la carga del usuario y del sistema de potencia, que conciernen a la calidad de la energía:

1. La microelectrónica ha producido una creciente categoría de cargas a nivel residencial, comercial e industrial, que son muy sensibles a las variaciones de la calidad de la energía. Los esquemas de diseño de integración a gran escala y a muy gran escala de los microprocesadores modernos, han resultado en dispositivos más rápidos, más complejos y con mayor capacidad de memoria para una misma superficie. La lógica para estos circuitos requiere de niveles de tensión y de energía menores, reduciendo el consumo de potencia y, por lo tanto, los requerimientos de ventilación.

2. La electrónica de potencia ha producido una nueva generación de dispositivos de alta capacidad y bajo costo, lo que ha extendido su utilización. Sin embargo, estos mismos dispositivos producen perturbaciones en la calidad de la energía, a los cuales la microelectrónica es sensible. Se estima que la porción de la energía eléctrica total generada para aquellas cargas procesadas por electrónica de potencia se incrementará de un nivel actual de 10-20 % al 50-60% en el año 2010.

3. Mientras que estos cambios dramáticos se están dando en las cargas, las empresas eléctricas y los clientes industriales continúan aplicando capacitores para la corrección del factor de potencia, para controlar el voltaje y reducir el flujo de reactivos. Estos capacitores influyen en los muchos tipos de problemas de calidad de la energía, ya que son como una “coladera” para corrientes de alta frecuencia y pueden mejorar la situación o agravarla significativamente, al incrementar los niveles de armónicas, dependiendo de los parámetros del sistema.

La proliferación de las cargas y fuentes no lineales se ha dado en ausencia de normas completas que limiten las señales armónicas, que el sistema de potencia debe ser capaz de soportar y que las empresas eléctricas puedan absorber. Esta situación conduce a problemas de calidad de la energía, tanto para las empresas eléctricas como para sus clientes: la caracterización de las fuentes de “energía sucias” y los requisitos de “energía limpia” para cargas sensibles. Lo anterior, demanda el establecimiento de guías y normas que seguramente requerirán de evaluaciones técnicas y económicas exhaustivas.

Adicionalmente a los tres cambios descritos anteriormente, los problemas de calidad de energía se han agravado, debido a la combinación de las siguientes tendencias:

- a) Una mayor utilización de equipo para procesamiento de datos y comunicaciones.
- b) Los equipos eléctricos modernos se han vuelto más sensibles al voltaje: los diseños y componentes están en sus límites; se acabaron los diseños sobrados.
- c) El número de disturbios eléctricos se ha incrementado, pues la demanda ha crecido más rápido que la generación.

En la literatura técnica aparecen cada vez con mayor frecuencia, estadísticas que se han llevado a cabo en industrias u otro tipo de cargas, con objeto de caracterizar los problemas de calidad de la energía. Por ejemplo, el porcentaje de los disturbios que se presentan como depresiones de voltaje (“sags”), sobretensiones, impulsos, distorsiones de la onda senoidal, etcétera. También es preocupación actual cuantificar las magnitudes y duraciones de estos disturbios, que afectan a los diferentes tipos de cargas, principalmente aquellas que hacen uso intensivo de la electrónica de potencia.

Estos son algunos resultados de encuestas realizadas en diferentes industrias, referentes a la operación de los sistemas:

a. Un poco más del 62% de los disturbios fueron depresiones de voltaje con duración menor a medio segundo (30 ciclos). Típicamente, estas depresiones son resultado de condiciones de falla: un corto circuito en el sistema de la empresa suministradora, descargas atmosféricas, ramas de árbol o pequeños animales. Las depresiones de voltaje también son resultado del arranque de un motor, aunque estas subtensiones comúnmente son mayores en duración de 30 ciclos y el voltaje asociado no es tan bajo. La magnitud y duración de la depresión de voltaje determina la magnitud del daño al equipo sensible.

b. Aproximadamente el 21% de los disturbios fueron impulsos de voltaje transitorios. La conexión y desconexión de cargas ocasiona estos impulsos. Normalmente no representan un problema hasta que sobrepasan el 200 ó 300 % del voltaje rms. El impulso es una elevación transitoria con duración menor a medio ciclo. Otras causas comunes de impulsos son: descargas atmosféricas cercanas, descargas estáticas y arqueos entre contactos.

c. Las interrupciones constituyeron el, 14% de los disturbios. Ningún sistema es invulnerable a las Interrupciones, estas son ocasionadas por corto circuitos, descargas atmosféricas, mal funcionamiento del equipo, excavaciones en sistemas subterráneos, etcétera.

d. Las sobretensiones de voltaje representaron el 2%.

Es conveniente mencionar que en Europa, las instituciones que han trabajado al respecto son: en cuanto a normalización, el Instituto Alemán de Ingenieros (VDI) y el Instituto Británico de Normalización (BSI).

La importancia de abordar con urgencia este tema de la calidad del suministro de la energía eléctrica deriva de las estimaciones, que indican que para el año 2000, el número de cargas sensibles conectadas a los sistemas eléctricos será muy grande. Y esto no será exclusivo de consumidores domésticos o comerciales, por el contrario, también se verán inmersos en este problema los consumidores industriales y las propias compañías generadoras y distribuidoras de energía eléctrica, debido principalmente a la aplicación y utilización de los avances tecnológicos que ofrece la electrónica de potencia.

2.2 CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

La definición de la “calidad de la energía” es algo indeterminado. Pero que se puede definir como una ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje rms suministrado al usuario; esto concierne a la estabilidad de voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Actualmente, la calidad de la energía es el resultado de una atención continua. En años recientes, esta atención ha sido de mayor importancia, debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, las cuales, por sí solas, resultan ser una causa de degradación en la calidad de la energía eléctrica.

Debido a la importancia que representa la energía eléctrica en nuestra vida, para su uso en la iluminación, la operación de diversos equipos, vídeo, aire acondicionado y sistemas de cómputo. La energía eléctrica se ha empleado en la fabricación de la mayoría de las cosas que utilizamos. Por consiguiente, los disturbios y variaciones de voltaje que se producen, tienden a afectarnos de alguna u otra manera.

Podemos decir que el objetivo de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para corregir los disturbios y variaciones de voltaje en el lado del usuario y proponer soluciones para corregir las fallas que se presentan en el lado del sistema de

las compañías suministradoras de energía eléctrica, para lograr con ello un suministro de energía eléctrica con calidad.

Conviene que el término calidad, no se utilice para expresar un grado de excelencia en un sentido comparativo, sino usarlo en sentido cuantitativo para evaluaciones técnicas. Para expresar estos significados, se debe usar un adjetivo calificativo como: excelente, alta, baja, media, buena, mala.

Actualmente, el estudio de la calidad de la energía eléctrica ha adquirido mucha importancia y tal vez la razón más importante es la búsqueda del aumento de productividad y competitividad de las empresas. Así mismo porque hay una interrelación entre la calidad de energía eléctrica, la eficiencia y la productividad.

Para aumentar la competitividad, las empresas requieren optimizar su proceso productivo mediante:

- Utilización de equipos de alta eficiencia como: motores eléctricos, bombas, etc.
- Automatización de sus procesos mediante dispositivos electrónicos y de computación (microcontroladores, computadores, PLC, etc.)
- Reducción de pérdidas de energía.
- Evitar costos por sobredimensionamientos de tarifas eléctricas.
- Evitar el envejecimiento prematuro de los equipos.

Un circuito eléctrico de corriente alterna consta, en su caso más sencillo, de una fuente de energía y de una carga eléctrica. La fuente proporciona energía eléctrica y la carga la transforma en otro tipo de energía. Siempre que la fuente proporcione una cantidad de energía por unidad de tiempo, es decir, una determinada cantidad de potencia eléctrica, la señal de tensión de la fuente forzará una señal de corriente a través del circuito.

Por tanto, cuando se habla de Calidad de la Energía Eléctrica, se está haciendo referencia tanto a la calidad de las señales de tensión y corriente, como a la continuidad o confiabilidad del servicio de energía eléctrica.

La creciente utilización de dispositivos basados en microelectrónica, los cuales son cada vez más susceptibles y menos inmunes al entorno electromagnético, ha incrementado en los últimos años el interés por las señales de tensión y corriente eléctrica; esto ha venido acompañando con el desarrollo de equipos de protección y una terminología especial para describir los fenómenos.

Es así como el concepto de Calidad de la Energía Eléctrica ha evolucionado en la última década a escala mundial. De hecho, se ha aumentado la importancia de un suministro de energía eléctrica basada en criterios que van más allá de la simple continuidad o confiabilidad del servicio, pasando a un espectro mucho más amplio que tiene que ver con grandes desarrollos científicos y tecnológicos en los campos de la interferencia y la compatibilidad electromagnética.

Por lo expuesto, ha causado confusión entre usuarios que no entienden por qué un equipo no trabaja como se esperaba. Muchas palabras ambiguas han sido usadas con significados múltiples o no muy claros. Por ejemplo, las palabras “Pico” o “Impulsos de Tensión” son usadas para describir una amplia variedad de perturbaciones que causan fallas o mala operación en un equipo. Un Supresor de Picos puede suprimir alguna clase de estos picos o impulsos electromagnéticos, pero no tendrá ningún efecto sobre otros.

Otro ejemplo muy común, es la creencia generalizada que un pararrayos tipo Franklin instalado en la parte superior de un edificio y conectado a tierra protege equipos eléctricos y electrónicos contra los efectos electromagnéticos que generan los rayos, ignorando el concepto de un sistema integral de protección contra rayos.

La Calidad de la Energía Eléctrica en términos generales es un conjunto de propiedades inherentes tanto al servicio como a la señal de tensión o corriente eléctrica que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que otras. Por tanto, podemos afirmar que la Calidad de la Energía Eléctrica se refiere a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente eléctrica, en un tiempo dado y en un espacio determinado de un sistema de potencia eléctrico.

La definición del término Calidad de la Energía Eléctrica no es única y varía de país en país. Veamos algunas definiciones tomadas de instituciones que tratan sobre el tema en diferentes partes del mundo:

El Instituto EPRI (Electric Power Research Institute) de los Estados Unidos, por ejemplo, define la calidad de la Energía Eléctrica como: "Cualquier problema de potencia manifestado en la desviación de la tensión, de la corriente o de la frecuencia, de sus valores ideales que ocasione falla o mala operación del equipo de un usuario.

La norma IEC (61000-2-2/4) y la norma CONELEC (50160) definen la Calidad de la Energía Eléctrica como: "Una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo".

La CREG en Colombia en su Resolución 070 de 1998 conceptuó que: "El término calidad de la potencia suministrada se refiere a las perturbaciones y variaciones de estado estacionario de la tensión y corriente suministrada por el Operador de Red. El término calidad del servicio prestado se refiere a los criterios de confiabilidad del servicio."

Algunos países han incluido en el concepto de Calidad de Energía Eléctrica tanto lo correspondiente al diseño, construcción y operación de la instalación eléctrica como la atención al usuario (facturación y reclamos).

A continuación se propone definir la Calidad de Energía Eléctrica de la siguiente manera y, a partir de allí, desarrollar su concepto:

La Calidad de la Energía Eléctrica, es un conjunto de características físicas de las señales de tensión y corriente para un tiempo dado y un espacio determinado, con el objetivo de satisfacer necesidades de un cliente"

Algunos autores consideran que la entidad a la cual se aplica el concepto de Calidad de la Energía Eléctrica es solamente la señal de tensión. Esto sería cierto si se considera un sistema eléctrico lineal en el cual el generador alimenta una sola carga,

mediante una fuente de tensión. Sin embargo, los sistemas eléctricos pueden ser enmallados y una carga (corriente) puede contaminar nuevamente la red de alimentación y esta a su vez aumentar a otra carga con una señal de tensión y corriente contaminada. Por ello lo más conveniente es involucrar en la Calidad de la Energía Eléctrica tanto a la fuente como a la carga, es decir las señales de tensión y corriente.

Las características físicas de la Calidad de la Energía Eléctrica, son la continuidad del servicio durante las 24 horas del día y los 365 días del año, la amplitud, frecuencia, forma de onda de la señal de tensión y corriente, las cuales están definidas por valores o índices en resoluciones, guías o normas nacionales e internacionales, dentro de rangos que son técnica y económicamente aceptables. La discontinuidad o variación de estos valores o índices, pueden causar degradación, mal funcionamiento o fallas en dispositivos, equipos o sistemas eléctricos, electrónicos o de comunicación, que disminuyen la Calidad de la Energía Eléctrica y afectan técnica y económicamente a sus usuarios.

2.3 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

La sociedad y la industria actual poseen una penetración de altísimo grado en cuanto a equipamiento electrónico de diversas generaciones, vinculados al control de procesos, accionamiento, procesamiento de datos, comunicaciones y transmisión de información, dispositivos domésticos, comerciales y de entretenimiento entre otros.

El uso extendido y progresivo de fuentes alternativas de energía no convencional, como la eólica y la solar, usualmente utilizan generadores con inversores, esquemas híbridos en muchos casos conectados a las redes de distribución. El proceso de conversión de CC a CA conlleva la generación de armónicos.

En el mundo la electricidad se trata como una mercancía en un mercado con características peculiares, desde los centralizados hasta los desregulados, por ello, la definición de parámetros de calidad permiten determinar las características de competitividad del producto de determinado suministrador.

Una insuficiente calidad en el suministro de la energía eléctrica afecta, en mayor o menor grado, a otras tecnologías y procesos industriales, donde las pérdidas económicas que se generan por este concepto pueden llegar a ser importantes.

La deficiente calidad en el suministro provoca una operación ineficiente e impropia, entre otros, en las redes eléctricas, conducente a averías o incremento en los costos de operación, los que, al final, redundan en pérdidas para las compañías del servicio eléctrico.

Una gran contradicción consiste en que una gran parte de estas cargas no lineales, responsables de los grandes logros en la industria debido a la automatización, son cargas electrónicas altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico que está siendo perturbado por su propia presencia.

Los problemas se presentan al existir disturbios de la calidad de energía eléctrica en el suministro. La mayoría de las veces resultan en una detención temporal de los procesos industriales, a esta interrupción están asociados altos costos, una vez que es la causa de pérdidas significativas de producción y descarte de materiales debido a la necesidad de limpiar las máquinas, reiniciar el proceso en la secuencia que se encontraba, y recalibrar las líneas de producción de acuerdo a las especificaciones de proceso requeridas o por concluir con productos defectuosos.

2.4 DEFINICIONES

El término Calidad de Energía Eléctrica, nombrado CEE por sus siglas en español, es utilizado para describir una combinación de características a través de las cuales el producto y el servicio del suministro eléctrico corresponden a las expectativas del cliente. Observando la calidad de energía eléctrica en la parte técnica: el abonado espera obtener del proveedor (empresa distribuidora) un suministro con tensiones equilibradas, sinusoidales y de amplitudes y frecuencias constantes. Esto se traduce para él, en la práctica, como contar con un servicio de buena calidad, costos viables de un funcionamiento adecuado, seguro y confiable de equipos y procesos sin afectar el ambiente o el bienestar de las personas.

La Pérdida de la Calidad de Energía significa: “Deterioro de las señales de Tensión y Corriente en lo que respecta a la forma de onda, frecuencia e interrupciones que llevan a la reducción o parada de procesos que ocasionan perjuicios”.

2.5 ASPECTOS GENERALES

En los últimos años se ha profundizado el problema con la calidad del producto (calidad de la energía). Por este motivo Instituciones especializadas en el tema, como la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), IEC (Internacional Electrotechnical Comission), CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique), NEMA (The National Electrical Manufacturers Association), etc. Han desarrollado estándares y métodos de medición y construcción de equipos de medición de calidad de energía en los últimos años, perfeccionándolos con el transcurrir del tiempo.

Así mismo los países cada vez han sido más conscientes de empezar a monitorear y a regular sus sistemas eléctricos basados en las normativas emitidas por las instituciones anteriormente mencionadas.

Se han establecidos métodos, regulaciones, leyes, penalizaciones, etc. que han tratado de regular el sector y han venido perfeccionando estos sistemas.

Los países latinoamericanos han ido poco a poco estableciendo regulaciones de calidad de servicio eléctrico, muchos de estos países tienen en la actualidad regulaciones bien estructuradas.

Para la calidad de servicio eléctrico el ente regulador por lo general es uno estatal y el ente regulador es la Empresa de Distribución, la misma que puede ser estatal o privada. Dado que la Empresa de Distribución es la llamada a velar por la calidad del servicio, las regulaciones o recomendaciones establecen que esta debe monitorear y corregir los problemas en la calidad de energía para el bien de los usuarios.

Ecuador tiene pocos años de haber iniciado el proceso de regular a las empresas de distribución. Esta tardanza le ha dado el beneficio de haber recogido la experiencia de países vecinos para regular sus empresas de distribución con mayor criterio. Es

por esto que la ecuatoriana es una de las regulaciones más coherentes y más claras de aplicar.

A pesar de esto aún se pueden emitir ciertas recomendaciones para su perfeccionamiento.

Hasta el momento no ha habido una aceptación global de la parte técnica de las regulaciones por parte de las distribuidoras en el Ecuador. El cronograma de etapas no se ha cumplido hasta la fecha, pero se han dado ciertos avances. Es por eso que aún se está a tiempo para dar a conocer las ventajas y corregir las imperfecciones de la Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución del Ecuador, dictada por el CONELEC (Concejo Nacional de Electricidad), en la Regulación No. CONELEC-004/01.

2.6 BENEFICIOS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Las actividades a realizar para una buena calidad de la energía nos permiten definir los objetivos del proyecto, especificar los recursos de equipos necesarios para la realización del trabajo y aclarar donde debe monitorearse dependiendo del sitio en el cual se sospecha que el problema aparece. También permite hacer un análisis sistemático de los datos, identificación de eventos que ocurran durante intervalos de mala operación del equipo y aquellos que excedan los parámetros de soporte de los equipos.

Históricamente, la mayoría de los equipos son capaces de operar satisfactoriamente con variaciones relativamente amplias. Sin embargo, en los últimos diez años se han agregado al sistema eléctrico un elevado número de equipos, no tan tolerantes a estas variaciones, incluyendo a los controlados electrónicamente.

Adicionalmente, se cuenta con registradores y analizadores de redes con el fin de realizar las labores de medición asociadas con este tipo de estudios y lograr diagnosticar adecuadamente las variables eléctricas asociadas con la instalación.

Algo del control se hace directamente a través de electrónica de conversión de potencia, como son impulsores de corriente alterna, corriente directa, y fuentes de energía conmutadas, además del equipo electrónico que está en los controles periféricos, como computadoras y controladores lógicos programables (PLC's). Con la disponibilidad de estos complejos controles, se desarrolló un control de procesos mucho más preciso, y un sistema de protección mucho más sensible; lo que hace a éstos aún más susceptibles a los efectos de los disturbios en el sistema eléctrico.

2.7 FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE POTENCIA

Existen tres formas básicas en las que se puede presentar un problema de calidad de energía en un sistema eléctrico:

- Desviaciones en la tensión.
- Desviaciones en la corriente.
- Desviaciones en la frecuencia.

Dichos fenómenos pueden ser ocasionados por mala operación de los equipos, mal diseño del sistema de protecciones, exceso de cargas no lineales, errores en la maniobra de las subestaciones, puesta en marcha de nuevos equipos, cableado inapropiado, malas técnicas de diseño de sistemas de puesta a tierra, corrientes de corto circuito, descargas atmosféricas, conmutación de bancos de capacitores, balastos electrónicos, efecto de los variadores de frecuencia, funcionamiento de sistemas de potencia ininterrumpida (UPS), convertidores CA-CC, entre otros.

Para entender mejor las causas de algunos de estos fenómenos en la siguiente sección se describen algunos fenómenos electromagnéticos, que explican porque se producen los problemas de calidad de energía a raíz de los factores antes mencionados.

2.8 PROBLEMAS QUE INFLUYEN EN UNA BUENA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Como regla general, cualquier alteración en el voltaje de una fuente de energía (bien sea DC o AC) puede ser considerada como materia concerniente a la Calidad de Energía Eléctrica.

Problemas de Calidad de Energía Eléctrica pueden ser eventos de gran velocidad tales como impulsos de voltaje/transitorios, sonido de alta frecuencia, fallas en la onda eléctrica, incrementos y caídas de voltaje y pérdida total de la energía. Cada tipo de equipo eléctrico será afectado particularmente debido a los distintos problemas de Calidad de la Energía. Analizando el "poder eléctrico" y evaluando los equipos o sus cargas, podemos nosotros determinar si realmente existe un problema en la Calidad de la Energía

Se ha encontrado que la mayoría de los problemas referidos a la Calidad de la Energía Eléctrica están relacionados con problemas internos de las edificaciones y no con el suministro eléctrico como tal, así como que el 90% de los problemas en la Calidad de la Energía Eléctrica ocurren dentro de las edificaciones; problemas de aterrizamiento y de circuitos, violación de normas y generación de disturbios en la energía eléctrica interna son ejemplos típicos. Por lo que se considera que en general, hay dos tipos básicos de problemas en la calidad de la energía:

1. Los que crean la interrupción de cargas eléctricas o de circuitos enteros y
2. Los que causan la interacción del equipo eléctrico y el sistema de suministro eléctrico.

Estas perturbaciones pueden originarse por actividades dentro de los terrenos de la planta o en el sistema eléctrico de energía, fuera de dichos terrenos.

Otros problemas internos incluyen la conexión de distintos equipos al mismo punto de suministro de poder eléctrico. Veamos un ejemplo de una impresora laser y una computadora personal (PC). Muchos de nosotros no pensaríamos dos veces en conectar la impresora laser al mismo punto eléctrico donde la computadora está

conectada. Nos preocupamos más por los programas y por la comunicación entre la impresora y el PC que por la capacidad de energía en el punto eléctrico; de hecho, tal vez nunca ésta es considerada. Aunque, algunas impresoras laser pueden generar incrementos de voltaje neutro-tierra y caídas de corriente cada minuto, a largo plazo el efecto sobre el PC puede ser una falla en el suministro de energía eléctrica. Debemos pues ser cuidadosos en cómo nuestros sistemas y equipos son instalados y conectados.

2.9 PERSPECTIVAS A FUTURO Y REQUERIMIENTOS

Los problemas en la Calidad de la Energía Eléctrica pueden ser detectados instalando equipos de medición de alta velocidad para monitorear el "poder eléctrico". Este tipo de equipos de prueba proveerá información que será usada en una evaluación para determinar si el suministro de energía eléctrica es de suficiente "calidad" para operar los equipos confiadamente. Este proceso es similar al usado por un médico cuando utiliza un monitor de ritmo cardíaco para registrar los impulsos eléctricos del corazón del paciente.

El monitoreo provee información valiosa, pero de cualquier forma ésta información requiere ser analizada e interpretada para poder ser aplicada al tipo de equipo que está conectado.

En la aplicación de las soluciones correctivas se han propuesto soluciones innovadoras y con mínimas inversiones que logran resolver adecuadamente los problemas que se presentan en las plantas eléctricas, entre ellas se tienen nuevo cableado, filtros especiales y filtros de armónicos o traslado de la fuente de interferencia a un circuito diferente.

Es por esto que, en lo que respecta a bombillos Standard, el problema de la Calidad de la Energía Eléctrica que afecta su funcionamiento y eficiencia es el alto voltaje. También podemos decir que una baja de voltaje así como una interrupción en el

suministro de la energía eléctrica, originarán una variación en la capacidad de iluminación (lúmenes) para la cual dicho bombillo fue diseñado.

Será pues tarea de un consultor el determinar si la energía eléctrica, el aterrizamiento y la infraestructura de una edificación son adecuadas para operar los sistemas y/o equipos.

Una vez hecha esta evaluación, otros pasos pueden ser tomados para remediar cualquier anomalía. Retomando el ejemplo del médico, utilizado anteriormente, el diagnóstico debe ser realizado antes de la prescripción de los medicamentos. Muchos clientes compran "medicina" (equipos) para poder tener Energía Eléctrica de Calidad sin un diagnóstico previo adecuado; esto es costoso e inefectivo

2.10 IMPLICACIONES DE LAS DEFICIENCIAS EN LA CALIDAD DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO

Con parámetros de tensión diferentes a los nominales o de trabajo ocurre la aceleración del envejecimiento del aislamiento de los equipos eléctricos, como consecuencia de un calentamiento más intensivo y, en una serie de casos como resultado del reforzamiento de procesos de ionización. De aquí se deriva una intensificación de las tasas de averías.

Las desviaciones de tensión conllevan a un aumento del calentamiento de motores eléctricos con momentos constantes de carga (carga tipo transportador, elevador etc.), acelerando el envejecimiento del aislamiento.

La elevación de la tensión por encima de la nominal conlleva a la disminución del tiempo de vida útil de lámparas

La asimetría en la tensión también conlleva al calentamiento adicional del equipamiento de fuerza y disminuye su vida útil. Este defecto también influye negativamente en el funcionamiento de algunos esquemas de protecciones por relés, provocando operaciones erráticas y sacando de funcionamiento equipos.

La aparición de variaciones rápidas en la asimetría de las tensiones trifásicas, características en circuitos donde están conectados hornos de acero por arco eléctrico, conllevan a la variación de los momentos de torque en los motores eléctricos, lo que es causa de aparición de esfuerzos adicionales en las cabezas de las bobinas de las máquinas, su vibración y tensiones de fatiga en elementos mecánicos constructivos del propio motor y el accionamiento, lo que trae como resultado una disminución de su tiempo de vida.

Las variaciones de la tensión actúan de diferente manera en los distintos tipos de equipamiento eléctrico. Por ejemplo, en las baterías de condensadores utilizados para la compensación de potencia reactiva provoca procesos transitorios que conducen a la sobrecarga de los condensadores por corriente y en casos por tensión, como resultado de lo cual la batería puede salir de servicio en un período, a veces, significativamente rápido en dependencia de la magnitud de la perturbación.

En el caso de los motores las variaciones de tensión conducen al calentamiento adicional y a la variación del momento al eje. Los bajones de tensión para los motores asíncronos tienden a frenarlos y a procesos de re arranques, pudiendo llegar a situaciones de disparo de protecciones, sobretodo, cuando trabajan simultáneamente grupos de motores.

La presencia de armónicos superiores conducen a la aceleración del envejecimiento del aislamiento, al calentamiento adicional de las partes conductoras de los equipos e instalaciones, al incremento de las pérdidas de energía en las redes, a la operación errática de los esquemas de protecciones eléctricas, al envejecimiento acelerado de las baterías de condensadores provocando su fallo, etc.

La presencia de armónicos superiores también implican el aumento de las pérdidas parásitas e histéresis en los núcleos de motores y transformadores, tanto del sistema eléctrico como de los propios consumidores. De igual manera crean interferencias en los servicios de comunicaciones y transmisión de datos.

La reducción de la frecuencia conduce a una disminución de la productividad de los accionamientos eléctricos, al trabajo inestable de equipos electrónicos, de mediciones

y de sistemas de protecciones. En las centrales termoeléctricas tiene también influencia en las vibraciones de las turbinas, las que tienen bandas estrictas de variaciones admisibles de este parámetro.

2.11 CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN EN EL ECUADOR

Para garantizar un sistema eléctrico continuo y confiable, fue necesario dictar regulaciones relacionadas con los estándares mínimos de la calidad y procedimientos técnicos de medición y evaluación a los que deben someterse las empresas distribuidoras del servicio eléctrico, los mismos que fueron emitidos y aprobados por el CONELEC, nos referimos a la regulación 004/01 emitida en el año 2001.

Por lo tanto el CONELEC con ésta regulación, controla y vigila la calidad del servicio eléctrico que ofrecen las empresas eléctricas del Ecuador.

La regulación de calidad de servicio eléctrico de distribución comprende los siguientes puntos de análisis:

- Calidad del Producto
- Calidad del Servicio Técnico
- Calidad del Servicio Comercial

La Calidad del Producto, establece pautas de los parámetros eléctricos para poder entregar energía de buena calidad.

La Calidad de Servicio Técnico en cambio, regula las interrupciones de servicio eléctrico estableciendo límites para su frecuencia y duración.

La Calidad de Servicio Comercial a diferencia de las anteriores reglamenta las solicitudes y reclamos de medición y facturación.

2.12 CALIDAD DEL PRODUCTO Y NORMA EN50160

El Análisis de Calidad de la Energía Eléctrica en los puntos de recepción de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil se enfocará en la calidad del Producto.

Según la regulación No. CONELEC-004/01, la Calidad del Producto comprende los siguientes aspectos:

- ✓ Nivel de voltaje.
- ✓ Perturbaciones de voltaje.
- ✓ Factor de potencia (FP).

Para analizar la Calidad del Producto que impone el CONELEC, se ha tomado en consideración normas de calidad de energía eléctrica EN50160.

Se presenta la norma EN50160 porque es la base de las regulaciones de varios países latinoamericanos. Esta norma fue dictada por el CENELEC y básicamente es una recopilación de las dos entidades normativas más importantes la IEEE y la IEC.

De la IEEE se han considerado las publicaciones donde se establecen los límites de tolerancia de valores de calidad, principalmente en armónicos.

De la IEC se toman a consideración las normas donde se establecen los procedimientos para la construcción de los equipos para que estén facultados a procesar internamente las señales y las pueda convertir en valores eléctricos como parpadeo, armónicos, voltajes, corrientes, etc.

En otras palabras las normativas IEC, consideradas en la norma EN50160, establecen cómo tomar y procesar las lecturas; y, de la IEEE se tomaron los límites para estas lecturas.

CAPÍTULO 3

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

3.1 TIPOS DE CARGAS

3.1.1 CARGAS LINEALES

Esto ocurre cuando la carga está compuesta por resistencias, inductancias y condensadores de valores fijos. Con estas características en el sistema se tiene un voltaje sinusoidal, una corriente también sinusoidal, y por lo general existe un desfase entre ellos.

La iluminación incandescente y las cargas de calefacción son lineales por naturaleza. Esto es, la impedancia de la carga es esencialmente constante independientemente del voltaje aplicado. Como se ve en la figura 3.1, en los circuitos AC la corriente se incrementa proporcionalmente al incremento del voltaje y disminuye proporcionalmente a la disminución del voltaje.

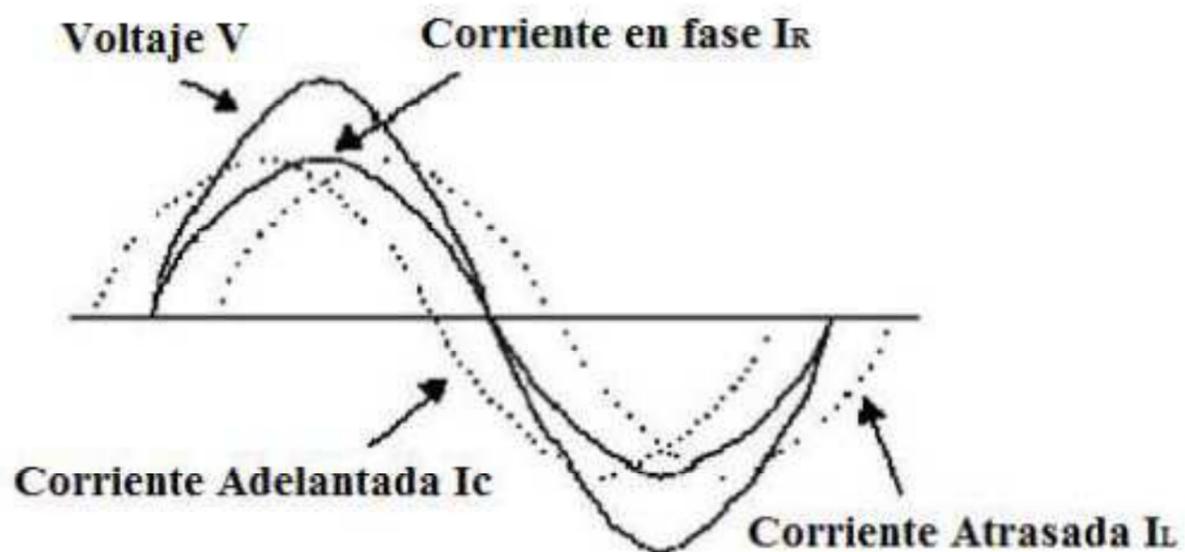


Figura 3.1- Ondas de voltaje y corriente de una carga lineal
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

Corrientes lineales:

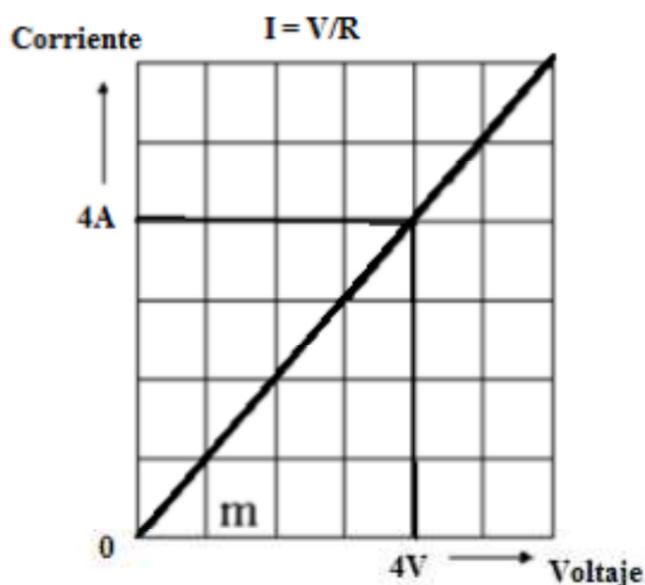
I_R es una corriente pura de circuito resistivo.

I_L es una corriente de circuito parcialmente inductiva (atrasada).

I_C es una corriente de circuito parcialmente capacitiva (adelantada).

Una resistencia pura, una inductancia y una capacitancia son todas lineales. Lo que eso significa es que si una onda senoidal de voltaje de una cierta magnitud es puesta en un circuito que contiene una resistencia pura, por ejemplo, la corriente en el circuito obedece a la Ley de Ohm $I=V/R$.

Para un valor específico de ohmios, la relación entre los voltios y los amperios es una línea recta. Esta relación es mostrada en la Figura 3.2. Lo mismo ocurre para las capacitancias, inductancias o una combinación entre las tres.



m = Ángulo con respecto al eje de voltaje

Figura 3.2 - Curva del comportamiento de una carga lineal

Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

Con una carga lineal, la relación entre el voltaje y la corriente es lineal y proporcional. La línea diagonal cuando posee un valor de **m** representa una resistencia fija de valor **m**.

Este tipo de cargas no representan un problema de distorsión de la forma de onda por el hecho de comportarse de manera lineal.

3.1.2 CARGAS NO LINEALES

Las cargas no lineales demandan una corriente no senoidal, cuyo paso por la impedancia del sistema provoca una caída de voltaje no senoidal, lo cual se traduce en una distorsión de voltaje en terminales de la carga. Entre las cargas no lineales más comunes tenemos los convertidores estáticos, dispositivos magnéticos saturados y hornos de arco. En la figura 3.3 se muestra una distorsión de voltaje provocada por una carga no lineal.

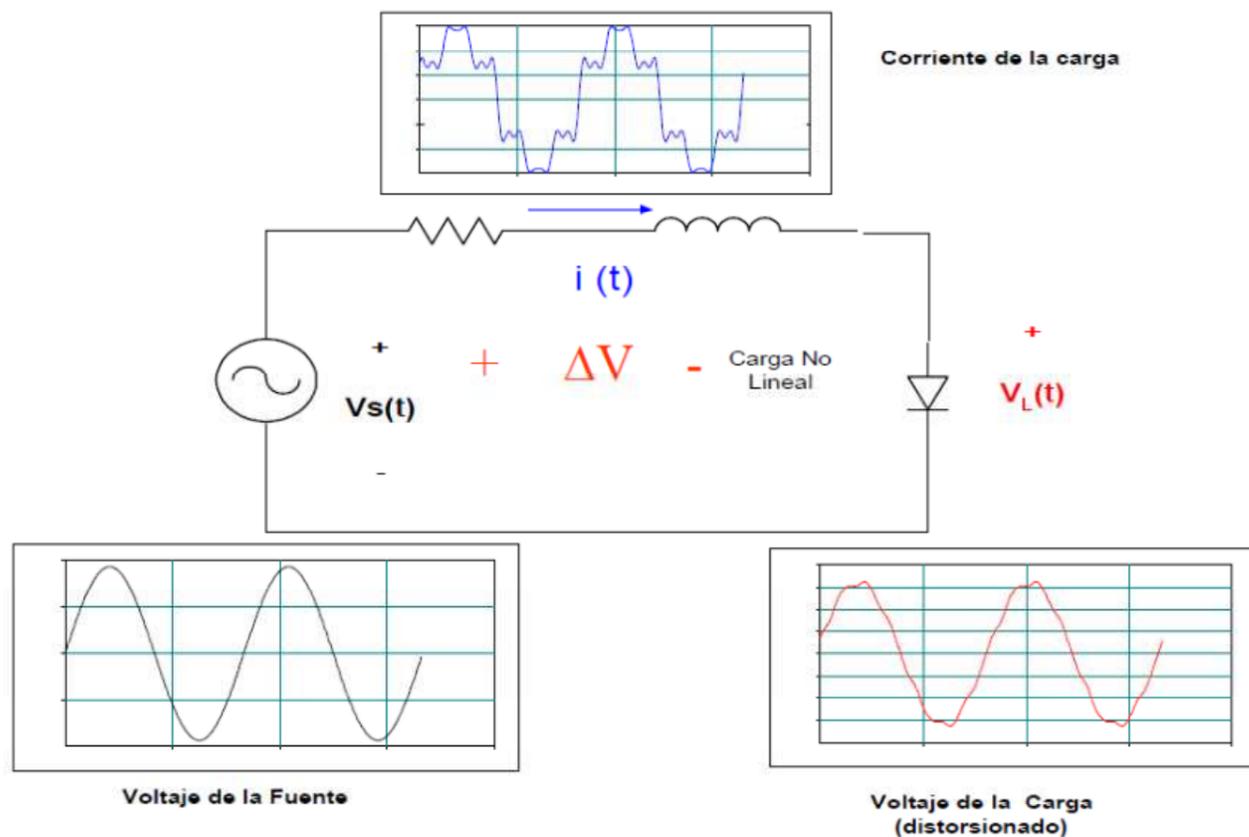


Figura 3.3 Distorsión de voltaje provocada por carga no lineal

Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

Con una carga no lineal no se tiene relación directa entre el voltaje y la corriente como las lineales. Un ejemplo se muestra en la figura 3.4.

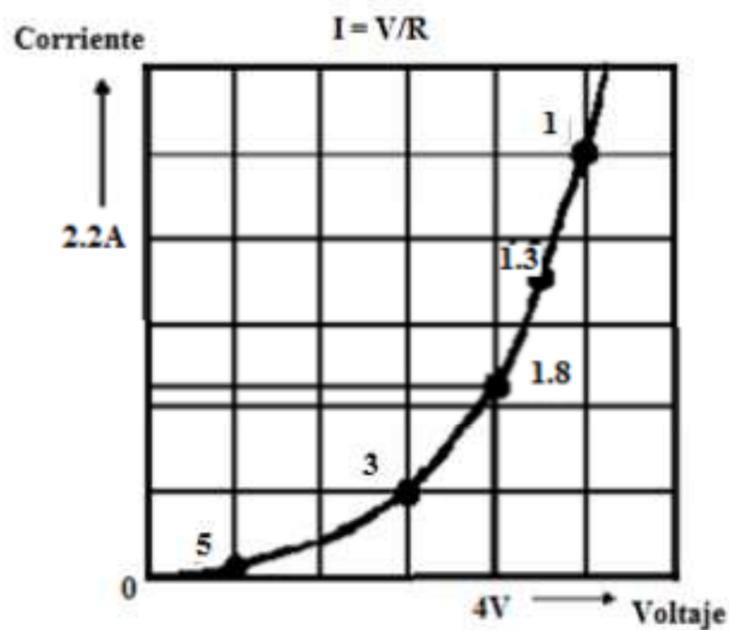


Figura 3.4.- Curva del comportamiento de una carga no lineal
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

El uso de las cargas no lineales se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Los convertidores estáticos son las cargas no lineales más utilizadas en la industria donde se las usa para una gran variedad de aplicaciones, tales como fuentes de poder para procesos electroquímicos, variadores de velocidad y fuentes ininterrumpibles de poder (UPS).

Una alta distorsión de corriente provoca calentamiento excesivo en conductores y transformadores así como interferencia en equipos de comunicación mientras que la distorsión del voltaje provoca una operación incorrecta de equipos sensibles (computadoras, microcontroladores).

Los efectos de las cargas no lineales en los sistemas eléctricos son:

- ✓ Distorsión de voltaje en el Sistema eléctrico
- ✓ Interrupción de procesos productivos
- ✓ Altos niveles de voltaje de neutro a tierra
- ✓ Sobrecalentamientos en los transformadores y elevados campos electromagnéticos
- ✓ Disminución en la capacidad de los equipos de distribución
- ✓ Penalizaciones tarifarias debido al bajo factor de potencia.

3.2 SISTEMA POR UNIDAD (P.U.)

El sistema por unidad (pu, per-unit en inglés) de cualquier cantidad se define como la relación entre esta cantidad y la cantidad base y se expresa como un decimal. En la Ingeniería Eléctrica, en el campo de los sistemas eléctricos de potencia, se expresan las cantidades eléctricas (potencia, tensión, Corriente, impedancia) como valores en por unidad.

$$pu = \frac{\text{Cantidad}}{\text{Cantidad Base}}$$

Por ejemplo, pensemos en el tablero de una subestación, observamos en el indicador de voltaje de barras y tenemos un voltaje de 126 kV, este valor adquiriría un significado adicional si establecemos como base un voltaje nominal de 120 kV entonces sabríamos que tenemos un sobre voltaje ya que el valor de 126 kV equivale a un 1.05 pu del valor nominal base de 120 kV.

$$V_{pu} = \frac{V_{barras}}{V_{base}}$$

$$V_{pu} = \frac{126kV}{120kV} = 1.05pu$$

La relación en por ciento (%) es 100 veces el valor en por unidad (1/0). Ambos métodos de cálculo; el porcentual y el por unidad son más simples y más informativos que los voltios, amperios y ohmios reales.

3.3 PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

3.3.1 TRANSITORIOS

En ingeniería eléctrica el término transitorio caracteriza a aquellos eventos indeseables en el sistema que son de naturaleza momentánea.

3.3.1.1 TRANSITORIO IMPULSIVO

Un transitorio impulsivo no provoca alteraciones en las condiciones de estado estable de tensión o corriente, su polaridad es unidireccional, esto es, positivo o negativo. Debido a la falta de frecuencia un transitorio impulsivo es atenuado rápidamente al recorrer la resistencia presente de los componentes del sistema y no se propagan muy lejos del lugar donde fueron generados. Son considerados transitorios de origen atmosféricos y son también llamados impulsos atmosféricos. Como principal efecto de este disturbio tenemos que puede causar una falla inmediata en el aislamiento de los equipos y fuentes electrónicas. En la figura 3.5 se muestra la curva de espectro de transitorio impulsivo.

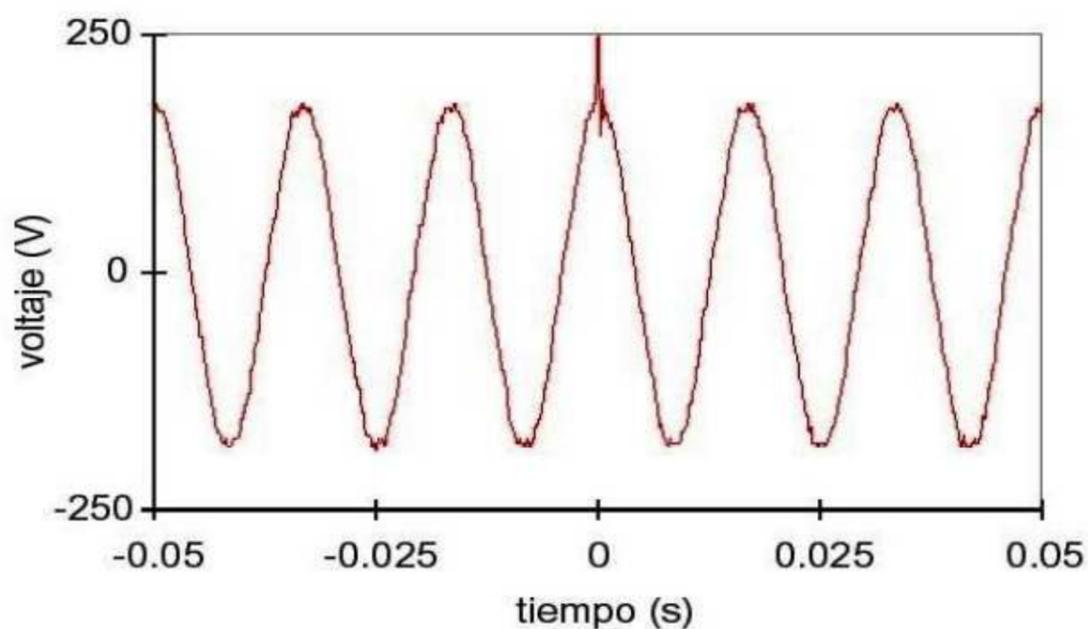


Figura 3.5.- Curva de espectro de transitorio impulsivo
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

3.3.1.2 TRANSITORIO OSCILATORIO

Un transitorio oscilatorio consiste de variaciones de tensión y corriente cuyos valores instantáneos cambian de polaridad rápidamente. Normalmente son resultado de modificaciones de la configuración de un sistema como por ejemplo, maniobras en líneas de transmisión, enclavamiento de bancos de capacitores.

Como el transitorio impulsivo el transitorio oscilatorio puede causar la quema o daños en los equipos electrónicos. A continuación la figura 3.6 nos muestra la curva de espectro de transitorio oscilatorio.

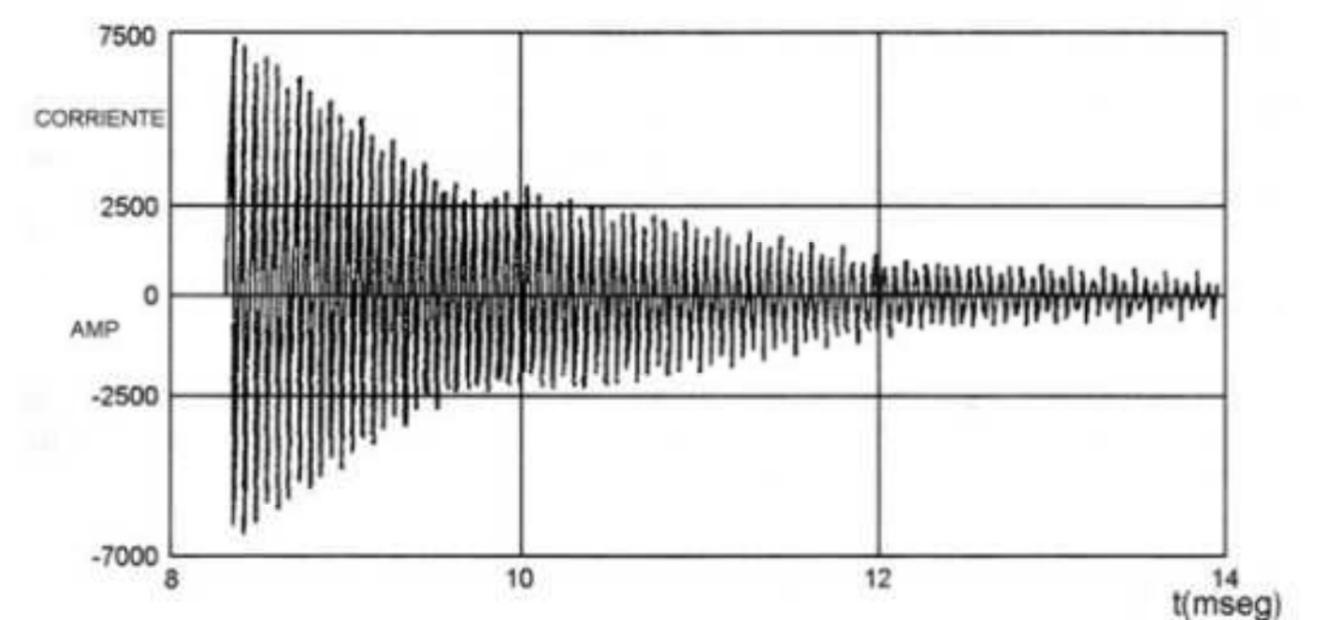


Figura 3.6.- Curva de espectro de transitorio oscilatorio
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

3.3.2 VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN

Las variaciones de tensión de corta duración generalmente se originan por las fallas del un sistema eléctrico, energización de grandes bloques de carga. Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones de operación del sistema, la falla puede ocasionar elevación de tensión (Swell), depresión de tensión (Sag) o una interrupción.

3.3.2.1 INTERRUPCIÓN

Una interrupción se caracteriza por ser un decremento de la tensión de alimentación a un valor menor que 0,1 [p.u] por un período de tiempo de 0,5 ciclos a un minuto. Una interrupción puede ser resultado de fallas en el sistema eléctrico, fallas de los equipos o el mal funcionamiento de los sistemas de control.

La duración de la interrupción debido a fallas en el sistema está determinada por los eventos que generan la falla. De modo general, las interrupciones casi siempre causan daño o mal funcionamiento de los equipos electrónicos. En la figura 3.7 observamos la curva de espectro de interrupción.

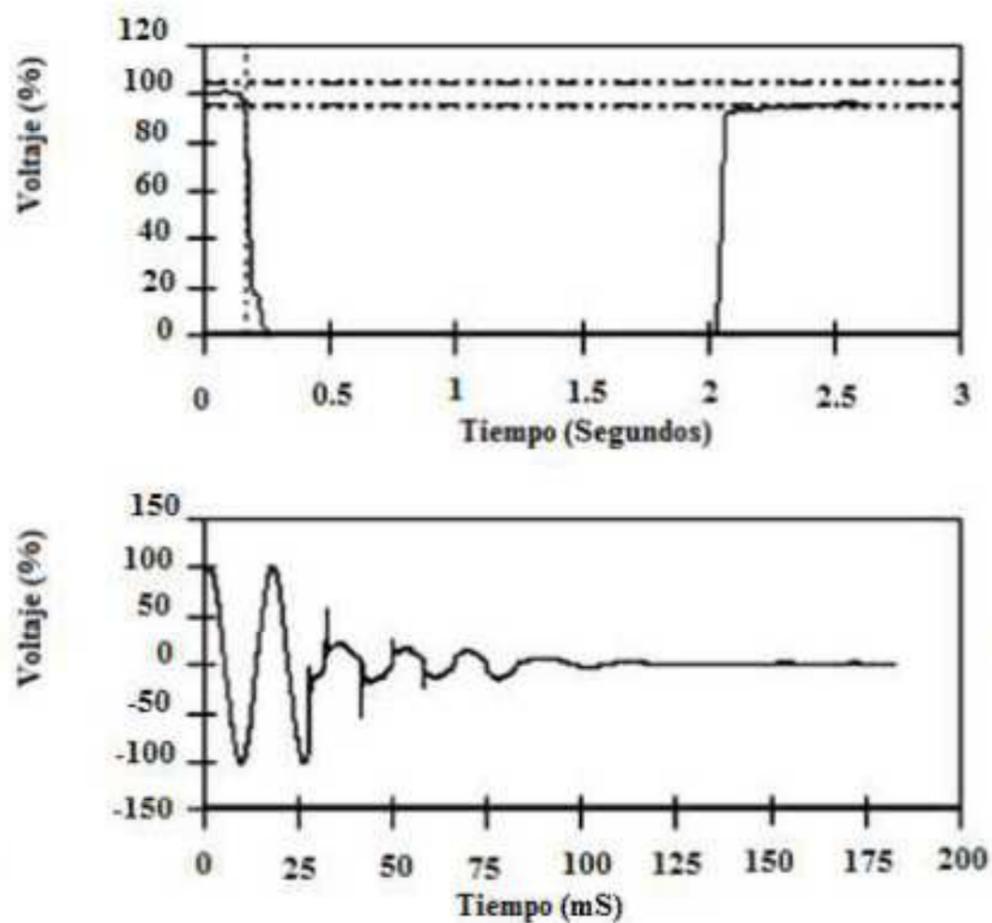


Figura 3.7.- Curva de espectro de interrupción
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

3.3.2.2 DEPRESIÓN DE TENSION (SAG)

La depresión de tensión es una reducción momentánea del valor eficaz de la tensión al orden de 0,1 a 0,9 [p.u.], con una duración entre 0,5 ciclos a 1 minuto. Generalmente está asociada a fallas del sistema, pero también puede ser producida por la entrada de grandes bloques de carga o arranque de grandes motores. La depresión de tensión puede provocar la parada de equipos electro – electrónicos y la interrupción de los procesos productivos. En la figura 3.8 se observa la curva de espectro de sag.

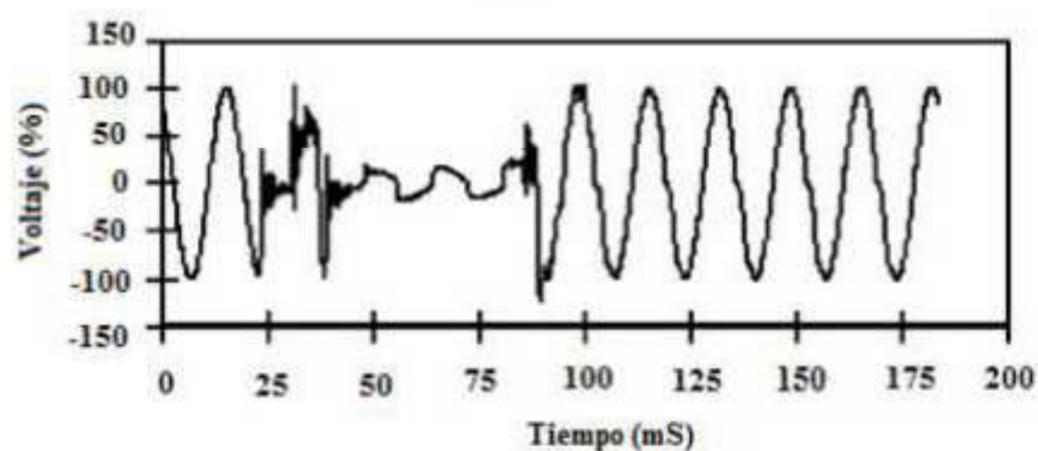


Figura 3.8.- Curva de espectro de sag
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

3.3.2.3 SALTO DE TENSION (SWELL)

El salto de tensión es caracterizado por el incremento del valor eficaz de la tensión en el orden de 1,1 a 1,8 [p.u.] con una duración entre 0,5 a 1 minuto. El salto de tensión es generalmente asociado a condiciones de falla desequilibrada en el sistema, salida de grandes bloques de carga y entrada de bancos de capacitores.

El salto de tensión puede causar degradación y falla inmediata del aislamiento de los equipos y fuentes electrónicas, quema de varistores y de diodos zener.

En la figura 3.9 se observa la curva de espectro de swell:

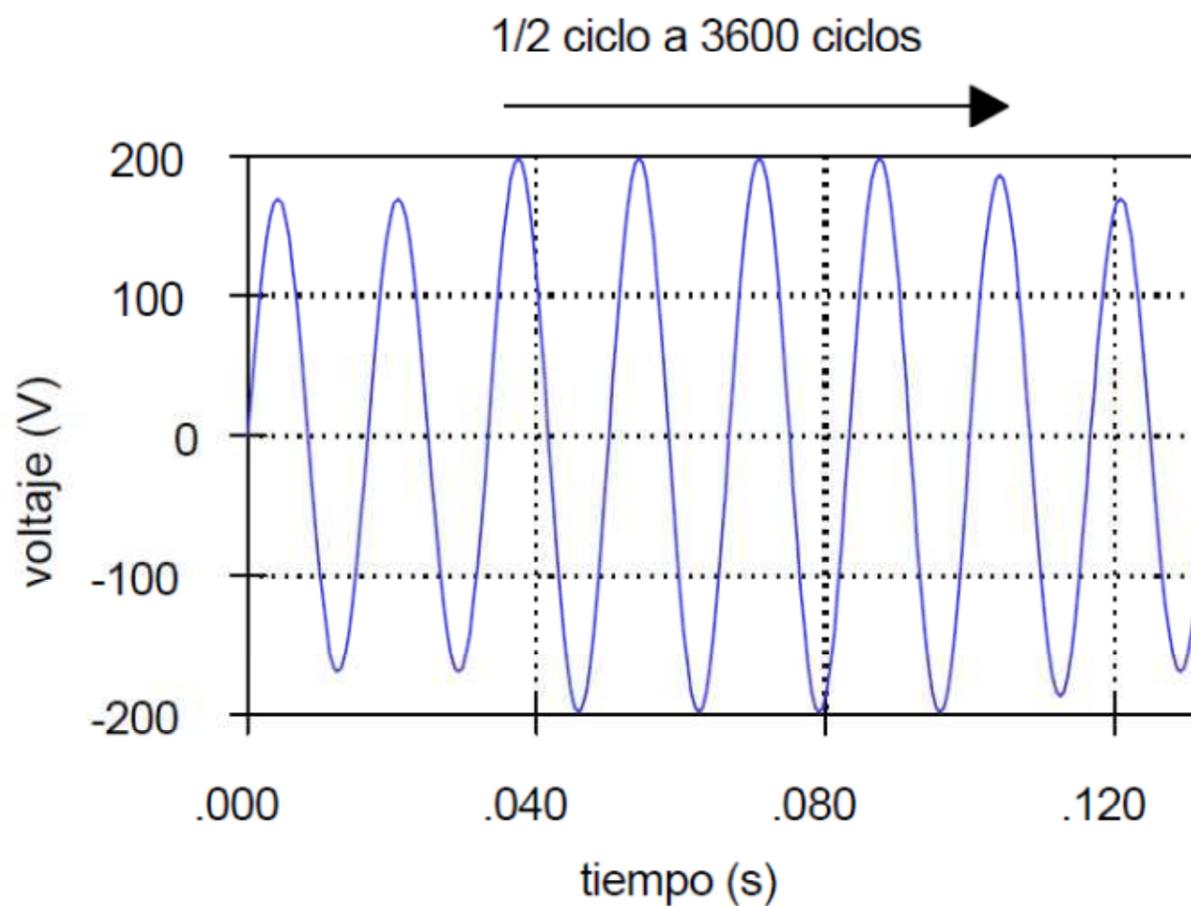


Figura 3.9.- Curva de espectro de swell
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

3.3.3 VARIACIONES DE LARGA DURACIÓN

Engloban variaciones del valor eficaz de la tensión durante un tiempo superior a 1 minuto, por lo tanto son consideradas como disturbios de régimen permanente.

3.3.3.1 INTERRUPCIÓN SOSTENIDA

Se considera una interrupción sostenida a la reducción de la tensión de alimentación al valor de cero por un tiempo superior a un minuto. Son de naturaleza permanente y requieren intervención manual para restablecimiento de la energía eléctrica del sistema.

3.3.3.2 SUBTENSIÓN

Las subtensiones son definidas como una reducción del valor eficaz de la tensión de 0,8 a 0,9 [p.u.] por un período superior a 1 minuto. La entrada de carga o salida de bancos de capacitores pueden provocar subtensiones, esto hace que los equipos de regulación de tensión del sistema actúen y retornen la tensión a sus límites normales, estas subtensiones también pueden ser causadas por sobrecargas en los alimentadores.

Las subtensiones causan un aumento en las pérdidas en los motores de inducción, parada de la operación de dispositivos electrónicos y mal funcionamiento de los sistemas de mando de motores.

3.3.3.3 SOBRETENSIÓN

Las sobretensiones son caracterizadas por el aumento del valor eficaz de la tensión de 1,1 a 1,2 [p.u.] durante un tiempo superior a 1 minuto. Las sobretensiones pueden tener origen en la salida de grandes bloques de carga, entrada de bancos de capacitores y también al ajuste incorrecto de los taps de los transformadores.

3.3.4 DESEQUILIBRIO DE TENSIÓN

Es definido como la razón entre la componente de secuencia negativa y la componente de secuencia positiva. La tensión de secuencia negativa en los sistemas de potencia es el resultado del desequilibrio de carga lo cual causa un flujo de corriente de secuencia negativa.

Un desequilibrio de tensión puede ser estimado como el máximo desvío de la media de las tensiones de las tres fases dividido por la media de las tensiones, expresado en forma de porcentaje. La principal fuente de desequilibrio de tensión es la conexión de cargas monofásicas en circuitos trifásicos; anomalías en bancos de capacitores.

3.3.5 DISTORSIÓN DE LA FORMA DE ONDA

Es un desvío de la forma de onda de corriente o tensión en relación a la señal sinusoidal pura.

3.3.5.1 ARMÓNICOS

Se conoce como distorsión armónica a la deformación de la onda de su característica sinusoidal pura original. Un análisis matemático (Fourier) de ondas distorsionadas por cargas no lineales muestra que ellas están compuestas de la onda seno fundamental, además de una o más ondas con una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

Por ejemplo: una onda fundamental de 60 Hz, una onda de 180 Hz y otra de 300 Hz cuando se suman juntas resulta en un tipo de onda distorsionada específica. Estos múltiplos de la frecuencia fundamental han sido llamados "armónicos".

Las formas de onda no senoidales consisten de (y pueden ser descompuestas en) un número finito de ondas seno puras de diferentes frecuencias. En la figura 3.10 se muestra la combinación de una forma de onda de voltaje senoidal y una forma de onda de 3er armónico crea una forma de onda armónicamente distorsionada. La forma de onda resultante dependerá del desplazamiento de fase del 3er armónico

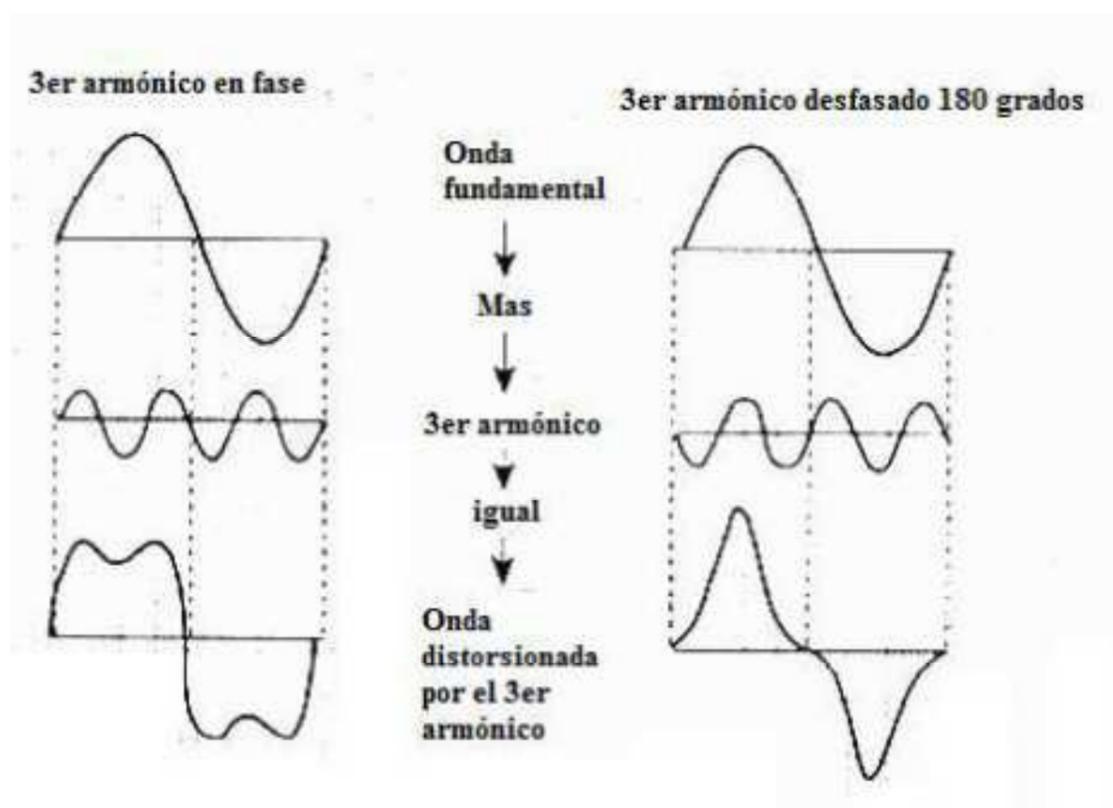


Figura 3.10.- Distorsión de una onda fundamental por armónicos
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

3.3.5.2 CORTE

Corte es un disturbio periódico de la tensión normal de los equipos que utilizan electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Durante este período ocurre un corto circuito entre las dos fases. Si el efecto de corte ocurre continuamente (estado permanente), este puede ser caracterizado a través del espectro armónico. La principal fuente de cortes de tensión son los convertidores trifásicos. En la figura 3.11 se indica la curva del espectro de corte.

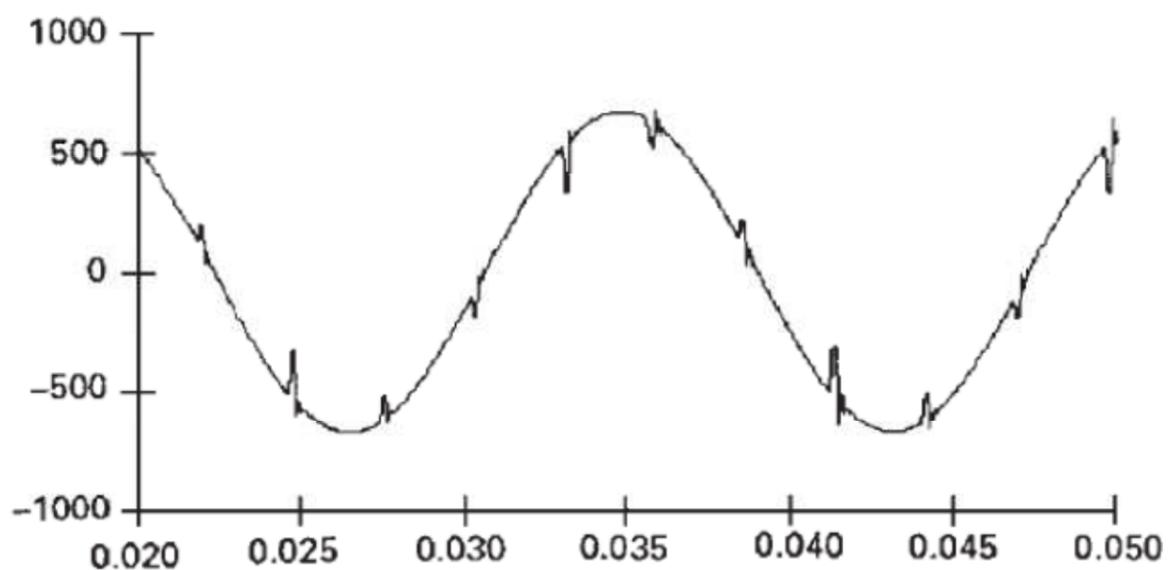


Figura 3.11.- Curva de espectro de corte
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

3.3.5.3 RUIDO

El fenómeno conocido como ruido es una señal indeseable, como espectro de frecuencia amplia, menor que 200 [kHz], de baja intensidad, superpuesto a la corriente o tensión en los conductores de fase, o encontrado en los conductores de neutro.

Normalmente este tipo de interferencia es resultado de operaciones defectuosas, de equipos, instalación inadecuada de componentes en el sistema por las empresas suministradoras o por los usuarios y por los aterrizamientos impropios.

En la grafica 3.12 se muestra la curva del espectro de ruido:

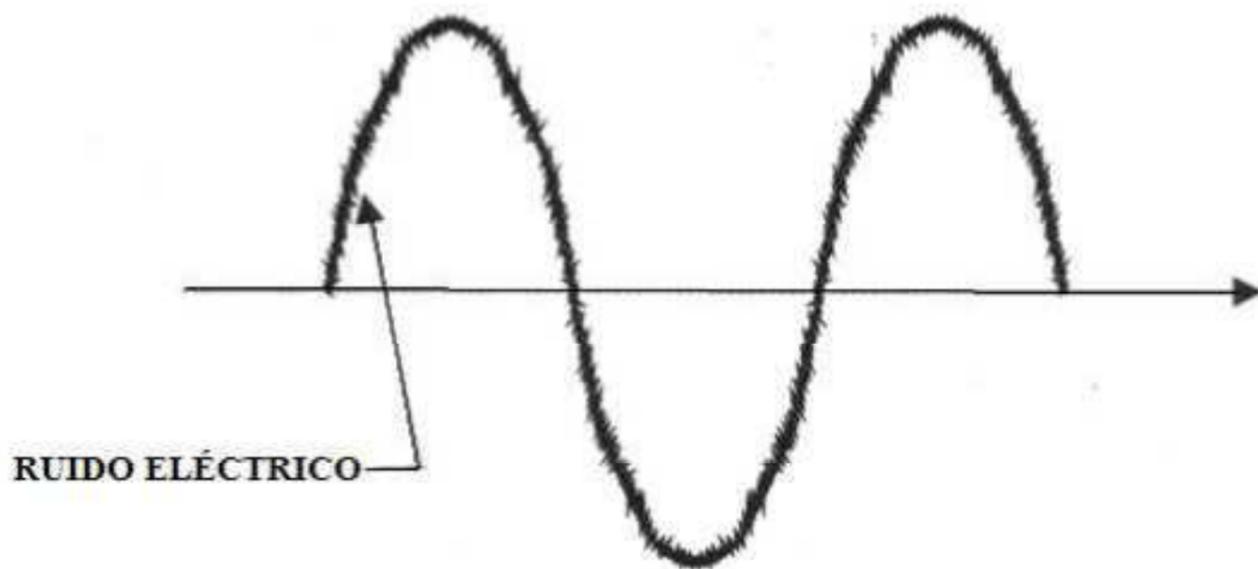


Figura 3.12.- Curva de espectro de ruido
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

3.3.6 FLUCTUACIONES DE TENSIÓN, FLICKERS

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas del perfil de la tensión o una serie de variaciones aleatorias de la magnitud de la tensión, las cuales normalmente exceden el límite especificado de 0,95 a 1,05 [p.u.].

El flicker o parpadeo de la luz (del inglés: flicker = parpadear, titilar) se define como “impresión subjetiva de fluctuación de la luminancia”. Es un fenómeno de origen fisiológico visual que sufren los usuarios de lámparas alimentadas por una fuente común a iluminación y a una carga perturbadora.

Normalmente las variaciones de tensión que provocan el flicker poseen una amplitud inferior a 1% y la frecuencia de ocurrencia de falla de 0 a 30 Hz.

La molestia del parpadeo se pone de manifiesto en las lámparas de baja tensión. Por el contrario, las cargas perturbadoras pueden encontrarse conectadas a cualquier nivel de tensión. En el origen de este fenómeno están las fluctuaciones bruscas de la tensión de red.

Principalmente el flicker es el resultado de fluctuaciones rápidas de pequeña amplitud de la tensión de alimentación, provocadas por la variación fluctuante de

potencia que absorben diversos receptores: hornos de arco, máquinas de soldar, motores, etc. Por la alimentación o desconexión de cargas importantes: arranque de motores, maniobra de baterías de condensadores, etc. La figura 3.13 muestra la curva de espectro de fluctuación de tensión.

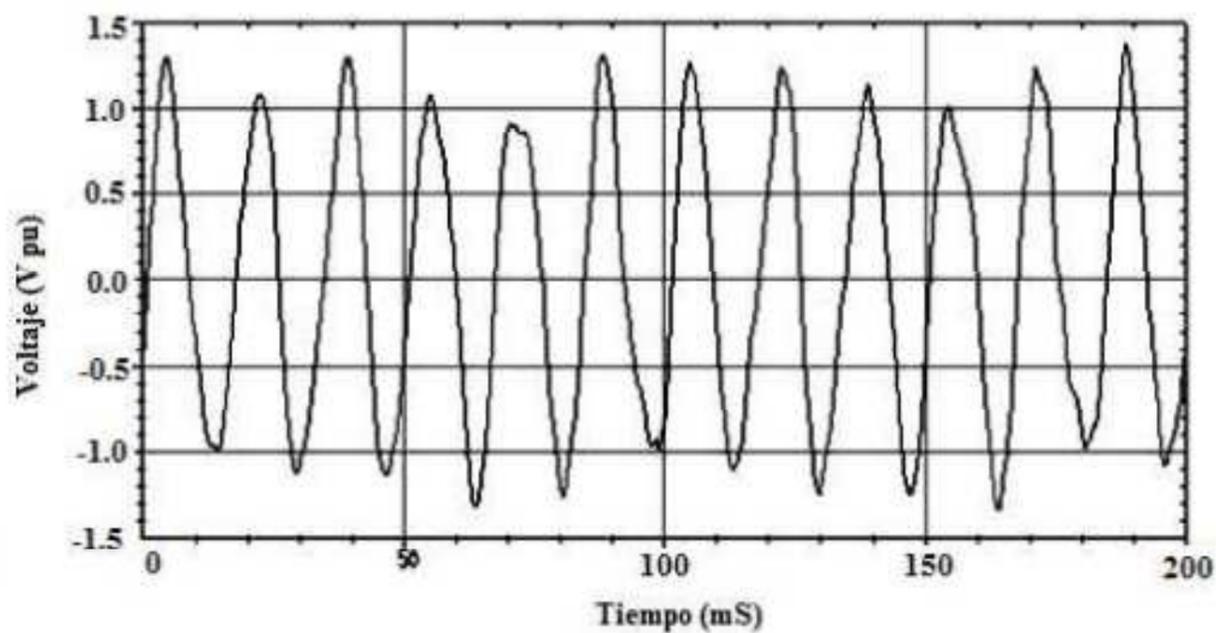


Figura 3.13.- Curva de espectro de fluctuación de tensión
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

Umbral de irritabilidad del Flicker: Fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Índice de severidad del Flicker de corta duración (Pst): Índice que evalúa la severidad del Flicker en cortos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 10 minutos). Se considera $Pst = 1$ como el umbral de irritabilidad.

Índice de severidad del Flicker de larga duración (Plt): Índice que evalúa la severidad del Flicker en largos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 2 horas), teniendo en cuenta los sucesivos valores del índice de severidad del Flicker de corta duración según la siguiente expresión:

$$P_{It} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

Nivel de Referencia: Se define como aquel nivel de perturbación garantizado en un punto de suministro (definido para cada tipo de perturbación), que asegura que si no sobrepasa un tiempo mayor al 5% del período de medición, la calidad del producto técnico es adecuada y existe compatibilidad electromagnética satisfactoria entre las instalaciones y equipos del consumidor con la red de suministro.

Estos niveles de referencia son garantizados, lo que significa que en cualquier punto de suministro es exigible el Nivel de Referencia con la probabilidad especificada (95%), y se corresponden a valores establecidos por normativa internacional. Dichos valores no pueden ser sobrepasados durante más de un 5% del período de medición.

3.3.6.1 Tolerancia para Flicker en el Voltaje

El índice de tolerancia máxima para el Flicker está dado por:

$$P_{st} \leq 1.$$

Donde:

P_{st}: Índice de severidad de Flicker de corto plazo

3.4 TABLA DE RESUMEN: PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

En un sistema de potencia es muy común que se presenten eventos o fenómenos electromagnéticos que se deben a una serie de factores, como los mencionados anteriormente, y que se traducen en variaciones o fluctuaciones en la tensión, corriente o frecuencia del sistema de potencia. Es debido a estas variaciones que los usuarios detectan los mencionados problemas de calidad de energía responsables de causar malos funcionamientos de equipos y en algunos casos interrupción de procesos.

En la tabla 3.1 se resume los fenómenos electromagnéticos que se han estudiado debido a su presencia en los sistemas de potencia y algunas de sus características.

Categoría	Duración típica	Magnitud Típica del Voltaje
1. Transitorios		
1.1 Transitorio Impulsivo	< 0.5 ciclos	
1.2 Transitorio Oscilatorio	< 0.5 ciclos	0 – 8 p.u.
2. Corta Duración		
2.1 Interrupción	0.5 ciclos – 1 min	< 0.1 p.u.
2.2 Depresión de Tensión (Sag)	0.5 ciclos – 1 min	0.1 – 0.9 p.u.
2.3 Salto de Tensión (Swell)	0.5 ciclos – 1 min	1.1 – 1.8 p.u.
3. Larga Duración		
3.1 Interrupción Sostenida	> 1 min	0 p.u.
3.2 Subtensión	> 1 min	0.8 – 0.9 p.u.
3.3 Sobretensión	> 1 min	1.1 – 1.2 p.u.
4. Desequilibrio de Tensión	Estado Estable	0.5 – 2 %
5. Distorsión de la forma de onda		

5.1 Armónicos	Estado Estable	0 – 20 %
5.2 Corte	Estado Estable	
5.3 Ruido	Estado Estable	0 – 1 %
6.Fluctuación de Tensión (Flicker)	Intermitente	0.1 – 7 %

Tabla 3.1 Perturbaciones en los sistemas eléctricos de potencia

Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

3.5 COMO AFECTA LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA LA OPERACIÓN DEL EQUIPO ELÉCTRICO

La calidad de la energía, es el grado en el cual la utilización y el suministro de potencia eléctrica afecta la operación del equipo eléctrico. Otra forma usual para describir la calidad de la energía es en términos de voltaje. Cualquier desviación de la magnitud o frecuencia de la onda senoidal de voltaje puede ser considerada como un disturbio en la calidad de energía.

1. Cuando se usan estas definiciones, es importante no pasar por alto los siguientes factores:

- ✓ Rango de “aceptación” en el diseño de equipos eléctricos sensibles y compatibles con el sistema.
- ✓ Selección, instalación y conexión a tierra de equipos eléctricos.

2. La mejor medición de la calidad de la energía es la capacidad del equipo eléctrico para operar de una manera satisfactoria, dándole su propio cuidado y mantenimiento.

3. La carga deberá ser seleccionada y adaptada para ser compatible con el sistema eléctrico.

4. El desarrollo de mediciones y las guías de operación para elegir equipo eléctrico deben estar definidas en normas, políticas y procedimientos.

5. La calidad de la energía es un tema cada vez de mayor importancia, dependiendo de la frecuencia de los problemas experimentados por el usuario final.

6. Los factores que más contribuyen a los problemas asociados con la calidad de la energía son los siguientes:

- ✓ Cargas sensibles.
- ✓ Complejidad de equipos e instalaciones.
- ✓ Equipos que provocan disturbios.

3.6 CONSIDERACIONES SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Como se sabe, la potencia eléctrica se genera en varias centrales distantes entre sí y de los centros de consumo, eléctricamente y geográficamente se envía hacia los centros de consumo en alta tensión a través del sistema de transmisión, de donde se toma del sistema de transmisión y se envía por medio del sistema de subtransmisión hacia las redes de distribución donde se distribuye localmente.

El voltaje del sistema local de distribución se reduce a un nivel apropiado y se conecta a la acometida del usuario.

3.6.1 LOS NIVELES DE VOLTAJE Y CONFIGURACIONES

- ✓ La energía suministrada al usuario puede ser monofásica o trifásica.
- ✓ La energía monofásica se suministra usualmente para usuarios residenciales, de oficina y comercios pequeños.
- ✓ El nivel de voltaje típico para la alimentación monofásica es de 127/220 V.
- ✓ La alimentación trifásica se proporciona generalmente a usuarios comerciales, agrícolas e industriales de consumos mayores.
- ✓ Los niveles de energía para alimentaciones trifásicas para usuarios comerciales e industriales en baja tensión son de 220, 440 y 480 volts, medidos de fase a fase.

- ✓ El equipo rotatorio, tal como motores y otros equipos de potencia considerable, requieren de alimentación trifásica para operar, pero muchas cargas requieren únicamente alimentación monofásica, que se obtiene de la trifásica, conectando la carga entre dos fases o de una fase al conductor neutro.
- ✓ De la conexión para la obtención de diferentes niveles de voltaje, pueden resultar distintos esquemas.

3.6.2 LA DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA AL USUARIO

- ✓ La alimentación eléctrica llega al usuario a través de la acometida y pasa a través del medidor al centro de carga (también llamado “caja de fusibles”, “tablero de interruptores”, etcétera).
- ✓ En muchas aplicaciones, varios usuarios están conectados al mismo centro de carga.
- ✓ En sistemas de distribución grandes, estos centros de carga pueden alimentar a su vez a otros centros de carga.
- ✓ Se usa transformador si se requiere un voltaje diferente o aislarse del resto del sistema de distribución.
- ✓ El transformador crea efectivamente un nuevo sistema de alimentación, un nuevo punto de conexión a tierra neutro.

3.6.3 LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA Y EL EFECTO DE LA CONEXIÓN A TIERRA

De acuerdo a investigaciones recientes, la mayoría de los problemas de calidad de la energía se deben a una inapropiada o inefectiva forma de distribución de la energía eléctrica y la conexión a tierra dentro de las instalaciones del usuario. Los problemas típicos por la conexión a tierra y distribución resultan de los siguientes aspectos:

- ✓ Alambrado inapropiado, debido a la falta de compatibilidad entre tierra y conexión a tierra para seguridad.

- ✓ Alta impedancia en el sistema de tierra.
- ✓ Niveles excesivos de corrientes en el sistema de tierras, debidos a errores de alambrado, corriente de fuga, corrientes circulantes en el sistema de tierra y otros problemas.

Se debe entender que no obstante que el uso del equipo de corrección apropiado puede resolver los problemas de calidad de la energía, ello no resuelve por sí mismo los problemas ocasionados por la distribución propia del usuario y sus sistemas de conexión a tierra.

Es esencial que la distribución del usuario y su sistema de conexión a tierra sean diseñados e instalados apropiadamente y de acuerdo con las normas vigentes, para proveer la seguridad del personal y la correcta operación del equipo.

3.7 CONEXIÓN A TIERRA

La conexión a tierra es uno de los aspectos más importantes en un sistema de distribución eléctrica, pero también de los que menos importancia se les da.

La conexión a tierra se ha establecido de una manera eficiente y sirve para los siguientes propósitos:

- ✓ Proteger la vida del usuario de una descarga eléctrica y la propiedad de daños.
- ✓ Limitar el voltaje de un circuito cuando es expuesto a voltajes más altos de los que fue diseñado.
- ✓ En general, limitar el voltaje de un circuito de CA a 150 volts o menos en circuitos de alambrado interior.
- ✓ Facilitar la operación de aparatos y sistemas eléctricos.
- ✓ Limitar el voltaje en un circuito en el que de otra forma se puede exponer a una descarga.
- ✓ A fin de tener lo anterior, se requiere una tierra efectiva y una conexión a tierra del equipo apropiado.

3.7.1 CONEXIÓN A TIERRA EFECTIVA

- ✓ Conexión a tierra efectiva, establece el voltaje cero como referencia para un sistema de distribución eléctrico y provee protección para el sistema eléctrico y el equipo de voltajes superpuestos por descarga y contacto con sistemas de alto voltaje. La conexión a tierra proviene la aparición de voltajes de tipo estático y potencialmente peligroso en un edificio.
- ✓ El electrodo de tierra más común es una varilla de acero recubierta de cobre.
- ✓ La resistencia a tierra debe ser tan baja como sea posible, lo que dará un buen funcionamiento al sistema de distribución y una buena protección al personal.
- ✓ La conexión del sistema de distribución eléctrico a tierra se hace en la entrada del servicio.
- ✓ El neutro del sistema de distribución se conecta a tierra en la entrada del servicio.
- ✓ El neutro y la tierra también se conectan juntos al secundario del transformador en el sistema de distribución, donde el secundario forma un sistema aterrizado.
- ✓ El sistema puede ser aterrizado, si cuando se conecta a tierra el voltaje máximo a tierra no excede de 150 V.
- ✓ Los anteriores son los únicos lugares donde se conecta a tierra el neutro y, cualquier otra conexión, sea intencional o no, puede ser peligrosa y traer problemas de calidad de la energía.

3.8 LOS COSTOS PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Los costos asociados con la solución o reducción de problemas de la calidad de la energía pueden variar, desde los costos reducidos como los asociados a revisar las conexiones flojas de alambrado, hasta los muy altos, tales como comprar e instalar una fuente de potencia ininterrumpible o asegurando la compatibilidad de los circuitos de distribución.

Los costos asociados con la sensibilidad del equipo, emisión de disturbios e instalación suelen ser incluidos en la compra de cualquier producto eléctrico; por ejemplo, equipos productores de armónicas tienen incorporados sus propios filtros, que por supuesto tienen costos asociados.

Aún si no se han experimentado problemas de calidad de la energía en las instalaciones del usuario, se deben observar los pasos para minimizar la propagación de disturbios, los cuales pueden originarse y reflejarse hacia el sistema de distribución, contaminando a este y afectando a otros usuarios conectados a la misma red.

Es difícil determinar qué tanto se debe pagar por la reducción o eliminación de problemas de calidad de la energía. Para evitar problemas costosos, existen algunas medidas preventivas que puede tener el usuario. Algunos de los costos específicos, adicionales al precio de compra de un equipo y que deben ser considerados en la adquisición de cualquier producto eléctrico, son los siguientes:

- ✓ Costos de la preparación del sitio (requerimientos de espacio, aire acondicionado, etcétera).
- ✓ Costos de instalación.
- ✓ Mantenimiento.
- ✓ Costos de operación, considerando la eficiencia para las condiciones de operación actuales.
- ✓ Refacciones y partes de repuesto.
- ✓ Disponibilidad de servicio al equipo y costo de la indisponibilidad.
- ✓ Consultoría (si está disponible).
- ✓ Requerimientos de equipo reductor de disturbios.

Los costos de compra de cualquier equipo reductor de disturbios deben sopesarse con el grado de protección requerida. Por ejemplo: en aplicaciones no críticas, tal vez no sea necesario conectar una fuente ininterrumpible para proteger contra interrupciones del sistema.

3.9 FRECUENCIA RELATIVA CON QUE SE PRESENTAN LOS PROBLEMAS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Comúnmente, la fuente de un disturbio se encuentra en las instalaciones o edificios de los usuarios. Recientes estudios hechos en Estados Unidos indican que el 90% de las causas de los problemas en la calidad de la energía son originados por el usuario,

por el uso de equipo que produce disturbios, alambrado y conexión a tierra impropios o mala aplicación del equipo.

La tendencia en general puede determinarse por comparación con resultados registrados. Estos resultados son bastante inconsistentes, en cierto modo por la diferencia entre la muestra y la técnica de análisis utilizada. Adicional a esto, los resultados de exámenes no consideran factores como son: conexión a tierra, la presencia de armónicas y muchos otros disturbios en el suministro de la energía.

Uno de los análisis más comúnmente utilizados en los estudios de la calidad de la energía es el desarrollo por ALLEN Y SEGALL, en un período de dos años y en varias localidades de Estados Unidos, éstos incluían tiendas de servicio, industrias, edificios de oficinas y áreas residenciales, con los resultados que se presentan en la tabla 3.2 a continuación:

DISTURBIOS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE CÓMPUTO		
DISTURBIO	PROMEDIO MENSUAL	PORCIENTO
Oscilación transitoria	62.06	48.8
Picos de voltaje	50.7	39.5
Caídas de voltaje	14.4	11.2
Sobrevoltaje	0	0
Falta de energía	0.6	0.5

Tabla 3.2 Disturbios de energía en sistemas de cómputo

Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

Otro análisis bastante popular en los estudios de la calidad de la energía fue desarrollado por GOLDSTEIN Y SPERANZA, para este estudio los disturbios de energía fueron registrados por un período de dos años y medio, en 24 puntos distribuidos geográficamente en laboratorios de computadoras de la empresa BELL.

La información para los estudios de ALLEN/SEGAL y GOLDSTEIN/SPERANZA fue tomada de los registros de disturbios de energía, que son una mezcla de problemas con entrada y salida de generadores locales.

Existen considerables diferencias en la calidad de la energía en la ubicación, así como de la localidad. Esto es debido a un gran número de factores involucrados, como lo es el equipo del usuario y las prácticas de cableado, efectos en la energía que

producen los clientes aledaños, así como la ubicación geográfica y condiciones meteorológicas.

Las localidades que cuentan con una pequeña fuente de alimentación o un transformador que suministra a un determinado número de usuarios, como lo son los centros comerciales y edificios grandes, son prácticamente propensos a problemas de calidad en la energía. Esto es debido a que los disturbios y cargas sensibles comparten la misma fuente de alimentación, aunado a esto, las cargas individuales pueden representar una porción grande de la totalidad de la energía suministrada a un edificio. Así que los cambios en el voltaje pueden ser muy significativos cuando estas cargas entran y salen.

3.10 LA PROTECCIÓN CONTRA FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LAS EMPRESAS SUMINISTRADORAS

El resultado de una falla se puede presentar como una tensión y/o una sobrecorriente en un sistema de distribución, debido principalmente a causas primarias como descargas atmosféricas, efectos de construcciones, accidentes, fuertes vientos, árboles o animales y vandalismo, que afectan los conductores. Estas fallas son normalmente detectadas por los relevadores de sobrecorriente que inicializan la operación de equipo para liberar la falla.

Las fallas se pueden clasificar en general como temporales y permanentes.

Las fallas temporales son aquellas ocasionadas momentáneamente, como por ejemplo, por contacto de árboles, descargas atmosféricas y presencia de animales.

Las fallas permanentes son requieren de mayor tiempo para reparación, mantenimiento o equipo antes de ser energizadas nuevamente. El equipo de seccionamiento automático, cuando se usa, desconecta la parte dañada del sistema para minimizar así el número de usuarios afectados.

Los sistemas de distribución incluyen una serie de dispositivos, como son los relevadores, interruptores, restauradores, fusibles y seccionadores, que liberan las fallas. Los restauradores e interruptores restablecen el servicio en forma inmediata

después de una falla transitoria. No así los cortacircuitos que han operado y que se les debe reponer el fusible antes de ser establecidos.

Los dispositivos de protección pueden reducir el número de usuarios afectados por una falla, reducen el tiempo de interrupción por fallas temporales y ayudan a localizar las fallas, disminuyendo la duración de la interrupción.

Los restauradores e interruptores abren el circuito con señal de sobrecorriente para prevenir el flujo de corriente y recierran después de un corto lapso de tiempo. Si la falla no desaparece después de la operación de un recierre, puede ocurrir un ciclo de apertura y cierre, o bien, quedar el circuito abierto.

3.11 TÉCNICAS DE ATENUACIÓN DE LOS PROBLEMAS

Los elementos de calidad de la energía claves para atenuar los problemas en la calidad del suministro son:

- ✓ Una conexión a tierra apropiada para las instalaciones.
- ✓ La selección y aplicación del equipo atenuador efectivo.
- ✓ La consideración de una fuente externa de disturbio en la instalación o instalaciones, sólo se hace después de que el comportamiento eléctrico interno ha sido completamente verificado, vía medición y/o estudios.

3.11.1 LOS CIRCUITOS DEDICADOS

- ✓ Un circuito dedicado es un simple circuito con una carga. Es una técnica de distribución relativamente barata que puede reducir un ruido.
- ✓ La capacidad de un circuito dedicado para resolver problemas en la calidad de la energía depende de su localización, impedancia y otros factores.
- ✓ Para obtener la más baja impedancia posible, teóricamente la carga del circuito deberá estar tan cerca como sea posible de la acometida del servicio, de cualquier forma esto puede agravar la situación si los transitorios tienen un problema, ya que pueden viajar más libremente a través del sistema.
- ✓ Para mejorar la operación del circuito, el neutro y los cables para conexión a tierra, deberán ser del mismo calibre que el conductor de corriente.

3.11.2 ALGUNOS CONSEJOS Y PRECAUCIONES

- ✓ Los circuitos derivados resuelven sólo problemas locales.
- ✓ Una instalación inapropiada con alambrado de la conexión a tierra aislada en las tomas de corriente es una causa común de problema de calidad en la energía.

3.11.3 EL EQUIPO ATENUADOR DE PROBLEMAS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA

- ✓ Existe una amplia variedad de productos que están disponibles para ayudar en la atenuación de los disturbios en las líneas eléctricas.
- ✓ Se debe poner atención en la selección apropiada del equipo de atenuación efectiva. Una aplicación inapropiada de estos productos, puede ser una causa común de problemas en la calidad de la energía.
- ✓ Antes de seleccionar un producto, el cliente deberá tener un buen entendimiento de la causa del problema, así como las características del equipo disponible.
- ✓ Un apropiado funcionamiento del sistema puede ser afectado adversamente por cualquier cambio en el comportamiento eléctrico, por ejemplo, un cambio de carga en la instalación. Por lo tanto, el equipo atenuador que fue efectivo una vez, pueda fallar para proteger el equipo sensible después de que un cambio semejante ocurra.
- ✓ Cuando se seleccione el equipo que tenga una pérdida operacional por calor, lo cual es indicado por una eficiencia menor al 100%, éste puede proveerse de un sistema adecuado de aire acondicionado, si el equipo es localizado o ubicado en una sala o cuarto de cómputo.

En la figura 3.14 se muestra la aplicación del estabilizador de voltaje para mejorar la onda en la salida de nuestra señal.

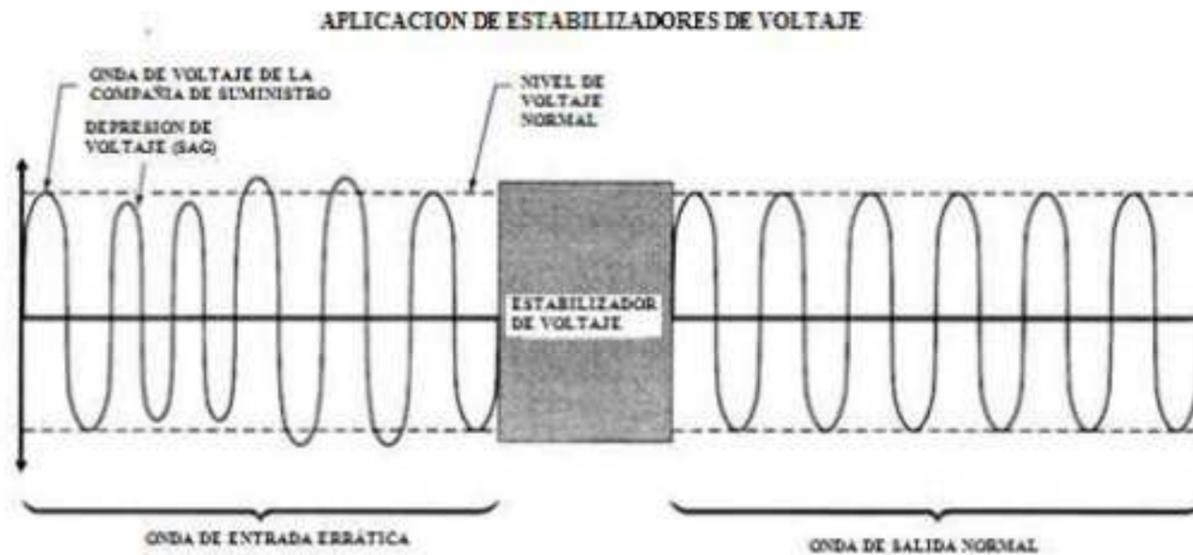


Figura 3.14.- Aplicación del estabilizador de voltaje
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

En la figura 3.15 se observa la aplicación del estabilizador de voltaje en una computadora.

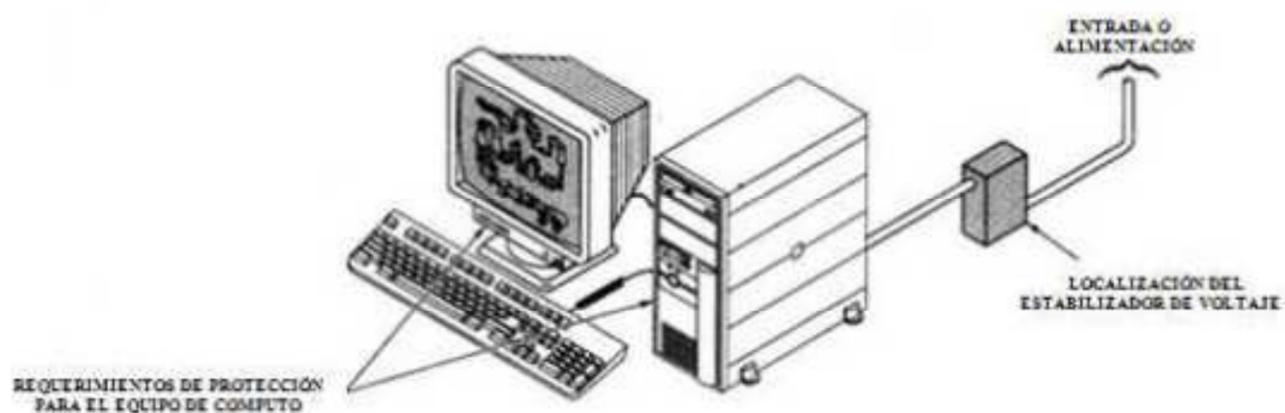


Figura 3.15.- Aplicación del estabilizador de voltaje en una computadora
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

En la figura 3.16 se muestra la aplicación del equipo supresor de ondas y ruido para mejorar la onda en la salida de nuestra señal



Figura 3.16.- Aplicación del equipo supresor de ondas y ruido
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

En la figura 3.17 se observa la aplicación del supresor de ondas en equipos que requieren esta protección.

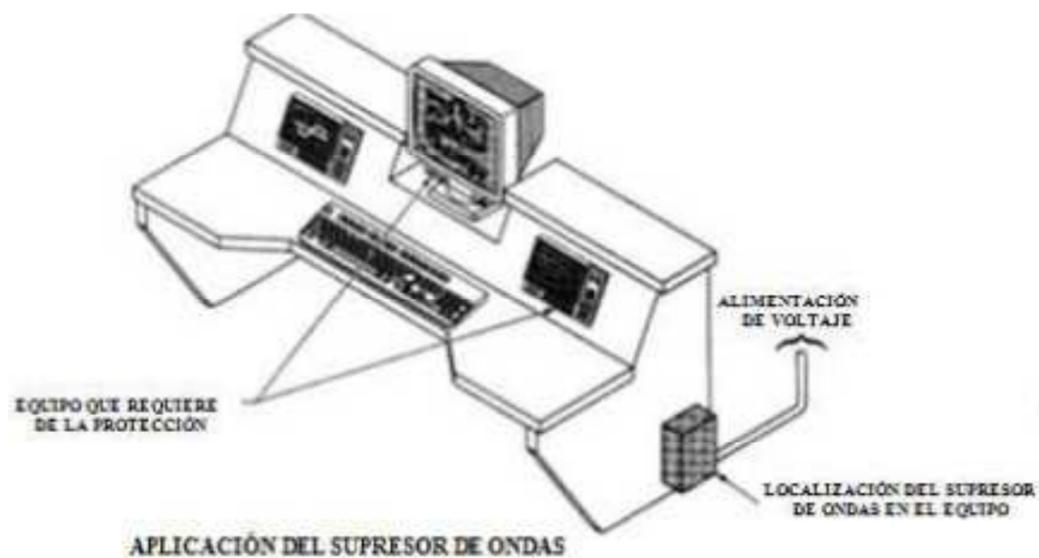


Figura 3.17.- Aplicación del supresor de ondas en equipos que requieren esta protección
Fuente: El ABC de la calidad de la energía eléctrica

CAPÍTULO 4

NORMAS SOBRE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

4.1 REGULACIÓN EN ECUADOR Y NORMA EN-50160

En este análisis se realiza una descripción de la norma del CONELEC 004/01 acerca de la Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, también se describirá la norma de calidad de voltaje EN-50160.

4.2 NORMA DEL CONELEC

El CONELEC es el organismo encargado de regular todo lo que concierne al uso de energía eléctrica en el Ecuador, como en sugeneración, transmisión, distribución y en este caso calidad de voltaje a través de la norma No. CONELEC-004/01. Para determinar su calidad este organismo establece parámetros a través de fórmulas como la que mostraremos a continuación:

4.3 REGULACIÓN 004/01

Para garantizar un sistema eléctrico continuo y confiable, fue necesario dictar regulaciones relacionadas con los estándares mínimos de la calidad y procedimientos técnicos de medición y evaluación a los que deben someterse las empresas distribuidoras del servicio eléctrico, los mismos que fueron emitidos y aprobados por el CONELEC, nos referimos a la regulación 004/01 emitida en el año 2001.

Por lo tanto el CONELEC con esta regulación, controla y vigila la calidad del servicio eléctrico que ofrecen las empresas eléctricas del Ecuador.

Se medirán los siguientes aspectos:

4.3.1 CALIDAD DEL PRODUCTO

Los parámetros de calidad de energía eléctrica que se controlarán son el nivel de voltaje, las perturbaciones y el factor de potencia, siendo la empresa distribuidora

responsable de efectuar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos levantados, la determinación de las compensaciones que pudieran corresponder a los consumidores afectados y su pago a los mismos. Toda la información deberá estar a disposición del CONELEC al momento que se le requiera.

4.3.2 NIVEL DE VOLTAJE

Voltaje: Es la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, el cual se produce al inducir un campo magnético sobre un conductor.

En la Legislación Nacional los niveles de voltaje establecidos por el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC son:

- Bajo voltaje: inferior a 0,6 kv.
- Medio voltaje: entre 0,6 y 40 kv.
- Alto voltaje: mayor a 40 kv.

La calidad del nivel de voltaje define las variaciones de voltaje, que son incrementos o disminuciones de esta variable aplicado a las cargas de la Red de Distribución. El control de calidad del voltaje se determina mediante un análisis estadístico del error relativo en referencia a sus valores nominales medidos cada 10 minutos, según la siguiente ecuación:

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100$$

Donde:

ΔV_k : variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

V_k : voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n : voltaje nominal en el punto de medición.

Mediciones de Nivel de Voltaje:

La calidad de voltaje se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles.

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

1. Un registro de voltaje en cada uno de los siguientes puntos de medición:
 - a) 20% de las barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV, no menos de 3.
 - b) 0,15% de los transformadores de distribución, no menos de 5.
 - c) 0,01 % de los Consumidores de Bajo Voltaje del área de concesión, no menos de 10.
2. Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.
3. Simultáneamente con el registro del voltaje se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.
4. Para cada mes, el registro en cada punto de medición se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

Límites de Nivel de Voltaje:

El Distribuidor no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo, cuando durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, en cada mes, el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje.

Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan en la tabla 4.1 a continuación:

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	$\pm 7,0 \%$	$\pm 5,0 \%$
Medio Voltaje	$\pm 10,0 \%$	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje. Urbanas	$\pm 10,0 \%$	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje. Rurales	$\pm 13,0 \%$	$\pm 10,0 \%$

Tabla 4.1 Variaciones de voltajes admitidas con respecto al voltaje nominal
Fuente: www.conelec.gov.ec

4.3.3 PERTURBACIONES

Las perturbaciones en una red eléctrica ocasionan menor calidad en la señal de alimentación suministrada a los equipos; es por esta razón, que cuando se presentan es necesario conocer el tipo, magnitud y origen de la perturbación que afecta a la calidad de la energía eléctrica, si las perturbaciones existentes en la red eléctrica llegan a sobrepasar los niveles preestablecidos como máximos, el servicio deberá ser suspendido hasta eliminar estos inconvenientes.

4.3.3.1 PARPADEO (FLICKER)

Los Flicker son llamados también parpadeos y son variaciones rápidas de voltaje, este efecto puede ser detectable por el ojo humano.

Índices de calidad de los Flicker

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al Flicker, se considerará el índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (P_{st}), en intervalos de medición de

10 minutos, definida de acuerdo a las normas IEC; misma que es determinado mediante la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314 P_{0.1} + 0.0525 P_1 + 0.0657 P_3 + 0.28 P_{10} + 0.08 P_{50}}$$

Donde:

P_{st} : Índice de severidad de Flicker de corta duración.

$P_{0.1}$, P_1 , P_3 , P_{10} , P_{50} : Niveles de efecto “Flicker” que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

Mediciones de los Flicker:

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

1. Un registro en cada uno de los puntos de medición, en un número equivalente al 0,15% de los transformadores de distribución, en los bornes de bajo voltaje, no menos de 5.
2. Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.
3. Simultáneamente con este registro se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.
4. Para cada mes, el registro en cada punto de medición se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

Las mediciones se deben realizar con un medidor de efecto “Flicker” para intervalos de 10 minutos y de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 60868.

Con la finalidad de ubicar de una manera más eficiente los medidores de flicker, se efectuarán mediciones de monitoreo de flicker, de manera simultánea con las mediciones de voltaje indicadas anteriormente; por lo que los medidores de voltaje deberán estar equipados para realizar tales mediciones de monitoreo.

Límites de los Flicker:

El índice de severidad del FlickerPst en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite $Pst = 1$ como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano en una muestra específica de población.

Se considerará que el suministro de electricidad no cumple con el límite admisible arriba señalado, en cada punto de medición, si las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancia establecido en este numeral, por un tiempo superior al 5 % del período de medición de 7 días continuos.

4.3.3.2 ARMÓNICOS

Los armónicos son señales eléctricas cuyas frecuencias son múltiplos de la onda fundamental de 60 Hz. La mayoría de los equipos utilizados en los sistemas eléctricos actuales generan armónicos:

- Equipos con dispositivos electrónicos que controlan otros aparatos, por ejemplo, motores de velocidad variable, arrancadores suaves, compensadores estáticos, rectificadores, etc.
- Hornos de arco.
- En ciertos casos, transformadores, reactancias y máquinas giratorias.

- Aparatos electrónicos domésticos y de oficina.

Aunque los armónicos no sólo se encuentran en las redes industriales. También se transmiten por las redes de distribución y causan problemas a los otros usuarios.

Índices de Calidad de los Armónicos

A continuación se muestran las fórmulas para calcular el factor de distorsión armónica individual de voltaje (V_i') y el factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje (THD).

$$V_i' = \left(\frac{V_i}{V_n} \right) * 100$$

$$THD = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right) * 100$$

Donde:

V_i' : Factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THD: Factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje

V_i : Valor eficaz (rms) del voltaje armónico “i” (para $i = 2... 40$) expresado en voltios.

V_n : Voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

Mediciones de los Armónicos

La empresa distribuidora deberá realizar mensualmente los siguientes pasos:

1. Un registro en cada uno de los puntos de medición, en un número equivalente al 0,15% de los transformadores de distribución, en los bornes de bajo voltaje, no menos de 5.
2. Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.
3. Simultáneamente con este registro se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.
4. En cada punto de medición, para cada mes, el registro se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

Las mediciones se deben realizar con un medidor de distorsiones armónicas de voltaje de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 61000-4-7.

Con la finalidad de ubicar de una manera más eficiente los medidores de distorsiones armónicas, se efectuarán mediciones de monitoreo de armónicas, de manera simultánea con las mediciones de voltaje indicadas anteriormente; por lo que los medidores de voltaje deberán estar equipados para realizar tales mediciones de monitoreo.

Límites de los Armónicos:

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, no deben superar los valores límite (V_i' y THD') señalados a continuación. Para efectos de esta regulación se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive.

En la siguiente tabla 4.2 se presenta los valores límites de los armónicos:

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i' $ o $ THD' $ (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (transformadores de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

Tabla 4.2 Valores límites de los armónicos

Fuente: www.conelec.gov.ec

4.3.4 FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia es un índice que permite evaluar la calidad de energía eléctrica de un determinado equipo, y está definido como la división entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), que es cociente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura (Ver fórmula en figura 4.1)

Además en la figura 4.1 se observa el triángulo de potencias con sus componentes: potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente.



Figura 4.1.- Triangulo de Potencias

Fuente: www.conelec.gov.ec

Es importante saber que si un consumidor final mantiene en su instalación un factor de potencia inferior al establecido por la Regulación de Calidad, tiene la obligación de corregirlo, es decir mejorar el factor de potencia de lo contrario el distribuidor establecerá cargos por este concepto.

Medición del Factor de potencia

Adicionalmente a las disposiciones que constan en el artículo 12 del Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad, el Distribuidor efectuará registros del factor de potencia en cada mes, en el 2% del número de Consumidores servidos en Alto Voltaje y Medio Voltaje. Las mediciones se harán mediante registros en períodos de 10 minutos, con régimen de funcionamiento y cargas normales, por un tiempo no menor a siete (7) días continuos.

Límites del Factor de potencia

Para efectos de la evaluación de la calidad de la energía eléctrica, si el valor del factor de potencia es inferior a su límite de 0.92 el Consumidor está incumpliendo con el índice de calidad entonces deberá corregirlo para mejorarlo, caso contrario la empresa distribuidora aplicará sanciones.

Cálculo de penalización por bajo Factor de potencia

Para aquellos consumidores de la Categoría General, con medición de energía reactiva, que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0.92, el distribuidor aplicará lo establecido en el Art. 27 de la Codificación del Reglamento de Tarifas: “Cargos por bajo de factor de potencia”.

La penalización por bajo factor de potencia será igual a la facturación mensual correspondiente a: consumo de energía, demanda, pérdidas en transformadores y comercialización, multiplicada por el siguiente factor:

$Bfp = (0,92/Fpr) - 1$ donde:

Bfp = Factor de penalización por bajo factor de potencia.

Fpr = Factor de potencia registrado.

4.4 NORMA EN-50160

Para analizar la Calidad del Producto que impone el CONELEC, se ha tomado en consideración la norma española de calidad de energía eléctrica EN50160, esta norma describe las características principales que debe tener la tensión suministrada por una red general de distribución en baja y media tensión en condiciones normales y en el punto de entrega al cliente. Como dice su primer apartado: “esta norma da los límites o los valores de las características de la tensión que todo cliente tiene derecho a esperar, y no los valores típicos en la red general de distribución.

Define los límites para la frecuencia nominal de la tensión suministrada, la amplitud de la tensión, las variaciones de la tensión suministrada, las variaciones rápidas de la tensión (amplitud de las variaciones y severidad de los parpadeos), los huecos de tensión, las interrupciones de corta y larga duración del suministro, las sobretensiones temporales y transitorias, el desequilibrio de la tensión suministrada, las tensiones armónicas e ínter armónicas y la transmisión de señales de información por la red, así como los protocolos de medida.

Es importante resaltar que la norma solo es aplicable en condiciones normales de operación e incluye una lista de operaciones en las que los límites no son aplicables, como las operaciones realizadas después de una falla, acciones industriales o cortes de suministro debidos a eventos externos.

A continuación se comienza a describir esta norma:

4.5 CARACTERÍSTICAS DE LA ALIMENTACIÓN EN BAJA TENSION

4.5.1 FRECUENCIA

La frecuencia nominal de la tensión suministrada debe ser de 60 Hz. En condiciones normales de explotación, el valor medio de la frecuencia fundamental medida por períodos de 10 s debe situarse en los intervalos siguientes:

Para redes acopladas por conexiones síncronas a un sistema interconectado:

60 Hz \pm 1% (de 59,5 Hz a 60,5 Hz) durante el 99,5% de un año

60 Hz +4%/- 6% (de 57 Hz a 62 Hz) durante el 100% del tiempo

Para redes sin conexión síncrona a un sistema interconectado (redes de alimentación que existen en ciertas islas):

60 Hz \pm 2% (de 59 Hz a 61 Hz) durante el 95% de una semana

60 Hz \pm 15% (de 52,5 Hz a 67,5 Hz) durante el 100% del tiempo

4.5.2 AMPLITUD DE LA TENSIÓN SUMINISTRADA

La tensión nominal normalizada (U_n) para las redes generales de baja tensión es:

En el caso de un sistema trifásico de 4 conductores:

$U_n = 120 \text{ V}$ entre fase y neutro

En el caso de un sistema trifásico de 3 conductores:

$U_n = 220/240 \text{ V}$ entre fases

4.5.3 VARIACIONES DE LA TENSIÓN SUMINISTRADA

En las condiciones normales de explotación, aparte de las situaciones que siguen a defectos o a interrupciones:

Para cada período de una semana, el 95% de los valores eficaces de la tensión suministrada promediados en 10 min deben situarse en un intervalo $U_n \pm 10\%$.

Para todos los períodos de 10 min, los valores promediados del valor eficaz de la tensión deben situarse en el intervalo $U_n + 10\% / -15\%$.

4.5.4 VARIACIONES RÁPIDAS DE TENSIÓN

Amplitud de las variaciones rápidas de tensión: Las variaciones rápidas de la tensión suministrada provienen esencialmente de las variaciones de la carga en las instalaciones de los clientes o de maniobras en la red.

En condiciones normales de explotación, una variación rápida de la tensión no sobrepasa generalmente el 5% de U_n (tensión nominal normalizada); pero, en ciertas circunstancias, pueden producirse variaciones que alcanzan hasta el 10% de U_n , durante cortos instantes, varias veces en el mismo día.

Severidad del parpadeo: En condiciones normales de explotación, para cada período de una semana, el nivel de severidad de larga duración del parpadeo debido a las fluctuaciones de la tensión debería ser Plt menor o igual a 1 durante el 95% del tiempo.

4.5.5 HUECOS DE TENSIÓN

Los huecos de tensión son generalmente debidos a defectos que sobrevienen en las instalaciones de los clientes o en la red general. Estos sucesos fundamentalmente aleatorios son imprevisibles. Su frecuencia anual depende principalmente del tipo de red de distribución y del punto de observación. Además, su distribución en un año puede ser muy irregular.

Valores indicativos:

En condiciones normales de explotación, el número esperado de huecos de tensión en un año puede ir de algunas decenas a un millar. La mayor parte de los huecos de tensión tienen una duración de menos de un segundo y una profundidad inferior al 60%. Sin embargo a veces pueden producirse huecos de tensión de una profundidad y duración superior.

En ciertos lugares, es frecuente que se produzcan huecos de tensión de profundidad comprendida entre el 10% y el 15% de U_n (tensión nominal normalizada), que están provocados por conmutaciones de carga en las instalaciones de los clientes.

4.5.6 INTERRUPCIONES BREVES DE LA TENSIÓN SUMINISTRADA

Valores indicativos:

En condiciones normales de explotación, el número anual de interrupciones breves de la tensión suministrada puede variar de algunas decenas a varias centenas. La duración de aproximadamente el 70% de las interrupciones breves es inferior a 1 s.

4.5.7 INTERRUPCIONES LARGAS DE LA TENSIÓN SUMINISTRADA

Las interrupciones accidentales tienen en general por origen causas externas o sucesos que no pueden ser previstos por el distribuidor. No es posible indicar valores típicos para la frecuencia anual y la duración de las interrupciones largas. Esto es debido a diferencias considerables en la arquitectura de las redes en los diferentes países, así como a los efectos imprevisibles de la inclemencia del tiempo y de las causas externas.

Valores indicativos:

En las condiciones normales de explotación, la frecuencia anual de las interrupciones de tensiones que sobrepasan 3 min puede ser inferior a 10 o alcanzar hasta 50, según las regiones.

Los valores indicativos de las interrupciones previstas no se dan por entenderse que son anunciadas de antemano.

4.5.8 SOBRETENSIONES TEMPORALES EN LA RED ENTRE FASES Y TIERRA

Una sobretensión temporal a la frecuencia de la red aparece generalmente durante un defecto en la red general de distribución o en una instalación de un cliente y desaparece en el momento de la eliminación de ese defecto. Generalmente, la sobretensión puede alcanzar el valor de la tensión entre fases, a causa del desplazamiento del punto neutro de la red trifásica.

Valores indicativos:

En ciertas condiciones, un defecto que se produce aguas arriba de un transformador puede temporalmente producir sobretensiones del lado de baja tensión mientras dure la corriente de falta. Tales sobretensiones no sobrepasan generalmente el valor eficaz de 1,5 kV.

4.5.9 SOBRETENSIONES TRANSITORIAS ENTRE FASES Y TIERRA

Las sobretensiones transitorias no sobrepasan generalmente 6 kV (valor de cresta), pero a veces pueden sobrevenir valores más elevados. El tiempo de subida puede variar de menos de un microsegundo a varios milisegundos.

4.5.10 DESEQUILIBRIO DE LA TENSION SUMINISTRADA

En condiciones normales de explotación, para cada período de una semana, el 95% de los valores eficaces promediados en 10 min de la componente inversa de la tensión de alimentación debe situarse entre el 0% y el 2% de la componente directa.

En ciertas regiones equipadas con líneas parcialmente monofásicas o bifásicas, los desequilibrios pueden alcanzar el 3% en los puntos de suministros trifásicos.

4.5.11 TENSIONES ARMÓNICAS

En condiciones normales de explotación, durante cada período de una semana, el 95% de los valores eficaces de cada tensión armónica promediados en 10 min no debe sobrepasar los valores indicados en la tabla 4.3. Tensiones más elevadas para un armónico dado pueden ser debidas a resonancias.

Además, la tasa de distorsión armónica total de la tensión suministrada (THD) (comprendidos todos los armónicos hasta el orden 40) no debe sobrepasar el 8%.

En la tabla 4.3 se presentan los valores de las tensiones de armónicos individuales en los puntos de suministro, hasta el armónico de orden 25, expresados en porcentaje de U_n (tensión nominal normalizada).

ARMÓNICOS IMPARES				ARMÓNICOS PARES	
NO MULTIPLOS DE 3		MULTIPLOS DE 3			
Orden h	Tensión relativa	Orden h	Tensión relativa	Orden h	Tensión relativa
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	6...24	0,5%
13	3%	21	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Tabla 4.3 Valores de las tensiones de armónicos individuales en los puntos de suministro
Fuente: Norma EN-50160

4.5.12 TENSIONES INTERARMÓNICAS

El nivel de los interarmónicos va aumentando debido al desarrollo de los convertidores de frecuencia y otros equipos similares de control-mando. A causa de la poca experiencia en este campo, los niveles de interarmónicos quedan por estudiar.

En ciertos casos, los interarmónicos, incluso de débil nivel, provocan parpadeo de las lámparas o interferencias con los sistemas de telemando centralizado.

4.5.13 TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE INFORMACIÓN POR LA RED

En ciertos países, la red general de distribución puede estar utilizada por el distribuidor para transmitir señales. El valor de la tensión de las señales transmitidas, promediado en 3 s, no deberá en ningún caso sobrepasar los valores indicados por la figura 1 en un tiempo de duración igual al 99% de un día.

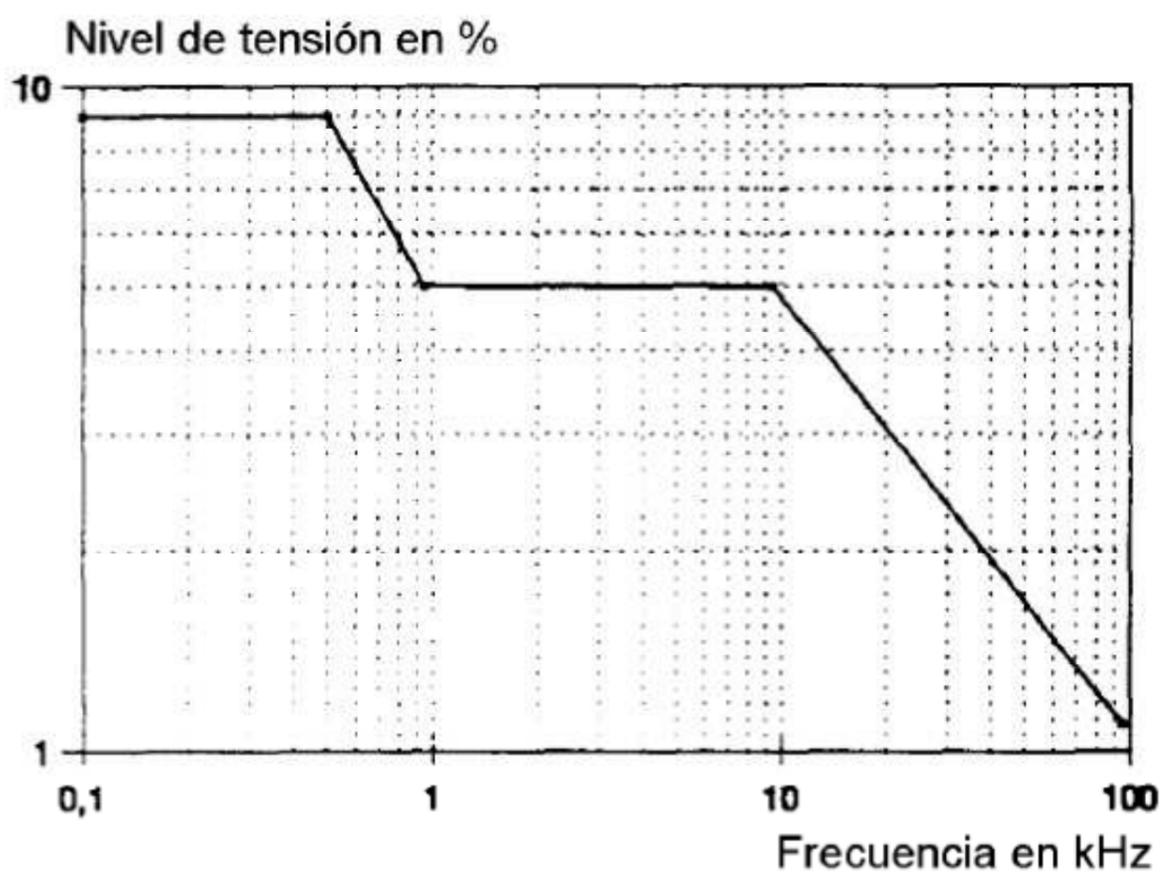


Figura 4.2.- Niveles de tensión de las frecuencias de las señales en porcentaje de Un utilizadas en la red general de distribución de Baja Tensión
Fuente: Norma EN 50160

CAPÍTULO 5

EQUIPO ANALIZADOR DE RED

5.1 EQUIPO UTILIZADO PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica se caracteriza por ser una onda perfecta, pero esta se ve afectada por diferentes anomalías que hacen que ésta se distorsione y difiera de lo que era originalmente, todas estas variaciones que se producen en la señal de energía eléctrica, hacen que el sistema comience a dar problemas en la operación de los equipos conectados al suministro, mal funcionamiento de protecciones eléctricas, calentamiento anormal de los conductores eléctricos, e interrupción del suministro de energía eléctrica.

Para determinar estas anomalías en el sistema, es conveniente realizar un estudio de calidad de la energía, y de acuerdo a este, realizar la toma de decisiones de forma inteligente y segura, con el fin de poder manejar nuevas expansiones, eliminación de fenómenos eléctricos, correcto dimensionamiento de protecciones y poder regirse a lo que establecen las regulaciones referentes a la calidad de la energía.

Para lograr este fin nos valemos de algunos equipos o analizadores eléctricos, los cuales nos sirven para realizar un monitoreo y también llevar un registro de la calidad de la energía; un analizador eléctrico de calidad de suministro, debe ser capaz de analizar por sí mismo todos los fenómenos eléctricos no deseados que podrían afectar a la carga y/o a la fuente suministradora de la energía eléctrica.

En el caso de sistemas de corriente alterna, estos equipos deberán ser capaces de mostrar en pantalla en tiempo real a la onda variable en el tiempo (voltaje o corriente) con todas las perturbaciones asociadas a esta, con un muestreo superior a las 128 muestras por ciclo eléctrico (1 Hz) y por canal de medida, sin multiplexación de ningún tipo de los muestreos de los diversos canales, analizando los ciclos pre y

post evento. También es necesario que los eventos sean categorizados, para su análisis independiente e interpretación correcta de resultados.

Los equipos o tecnologías empleados para llevar el registro y monitoreo de la calidad de la energía eléctrica son numerosos, pues muchas casas comerciales han lanzado sus propias unidades para lograr este fin.

A continuación se realizará una descripción general del equipo analizador de red utilizado para este estudio.

5.2 FLUKE 1744

El registrador de calidad de potencia Fluke 1744 es un aparato de registro de la energía eléctrica sofisticado.

Puede conectar el registrador a una red de distribución de energía eléctrica y registrar una serie de parámetros eléctricos como valores secuenciales promediados a lo largo de un período de promediación definido por usted. El registrador puede medir un máximo de tres tensiones y cuatro corrientes a la vez.

El registrador permite realizar un estudio de la carga a lo largo de un período especificado o monitorizar la calidad de la potencia para descubrir e informar perturbaciones en las redes de tensión baja y media.

El registrador presenta un diseño ligero y compacto. Su caja está sellada según las especificaciones IP 65, por lo que puede utilizarse al aire libre en cualquier tipo de clima.

5.2.1 FUNCIONES DEL REGISTRADOR

El registrador monitoriza la calidad de la potencia y localiza perturbaciones en redes de distribución de tensión baja y media. Mide un máximo de 3 tensiones y 4 corrientes. Los valores registrados se guardan en los períodos secuenciales de promediación elegidos. Los valores medidos pueden evaluarse gráfica o numéricamente con el software PQ Log.

Cuenta con dos tipos de funciones de registro: función de registro A (avanzada) y función de registro P (potencia). La función A es el conjunto completo de parámetros y la función P aporta capacidades de registro optimizadas para estudios de carga y registro básico de la energía eléctrica. La función P contiene todos los parámetros de la función A salvo los armónicos y los interarmónicos de tensión y corriente.

Los valores medidos se guardan como valores promediados a lo largo de los períodos seleccionados por el usuario. Los valores medidos se pueden evaluar gráficamente o en forma tabulada con el software PQ Log.

Parámetros y funciones de registro:

- ✓ Tensión eficaz de cada fase (media, mínima, máxima)
- ✓ Corriente eficaz de cada fase y neutra(media, mínima, máxima)
- ✓ Eventos de tensión (caídas, subidas, interrupciones)
- ✓ Potencia (kW, kVA, kVAR, factor de potencia)
- ✓ Energía, energía total
- ✓ Flicker (Pst, Plt)
- ✓ Distorsión armónica total de la tensión suministrada (THD) de la tensión
- ✓ Distorsión armónica total de la tensión suministrada (THD) de la corriente
- ✓ Factor de Cresta (FC) de la corriente
- ✓ Armónicos de tensión hasta el 50^o orden
- ✓ Interarmónicos de tensión
- ✓ Tensión de señalización de la red eléctrica
- ✓ Desequilibrio

✓ Frecuencia

En la figura 5.1 se observa el equipo registrador de calidad de potencia, modelo FLUKE 1744 utilizado para esta tesis.

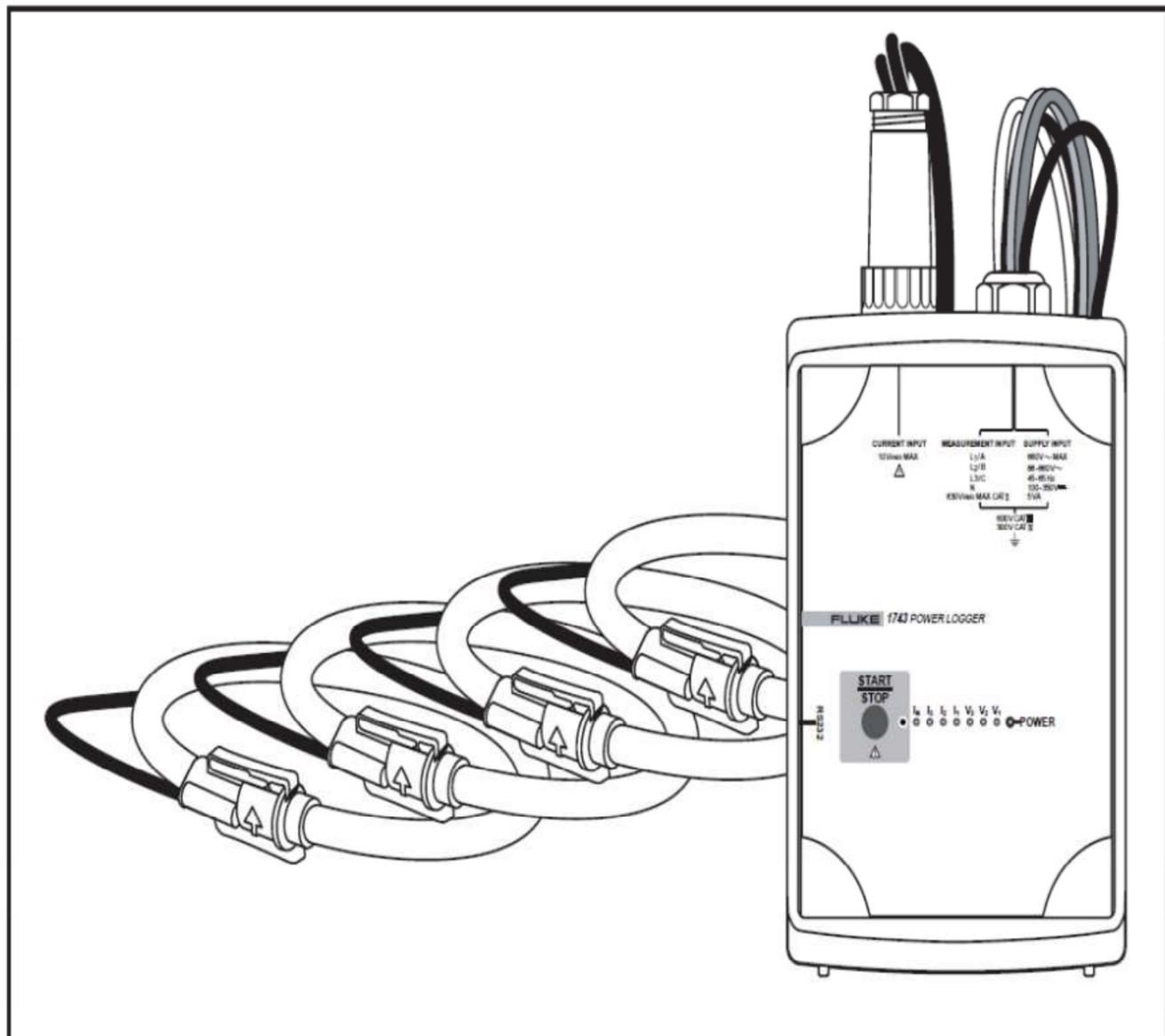


Figura 5.1.- Registrador de calidad de potencia, modelo Fluke 1744
Fuente: Manual de Uso de Fluke 1744

5.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL REGISTRADOR

Esta sección introduce los controles, indicadores y otras características de registrador. Ver figura 5.2

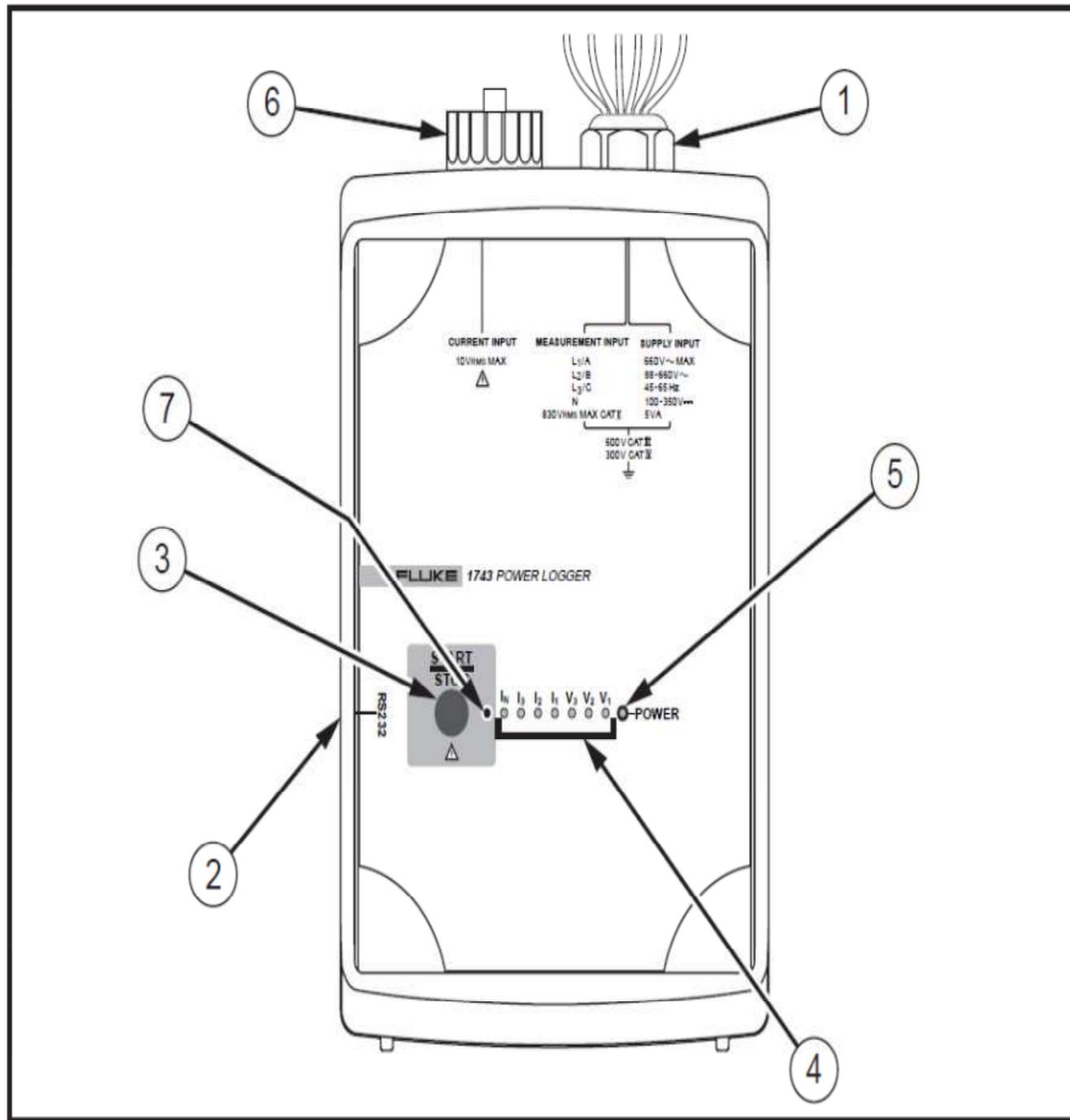


Figura 5.2.- Registrador de calidad de potencia 1744 - Vista frontal
Fuente: Manual de Uso de Fluke 1744

A continuación se procede a explicar cada parte del equipo registrador de calidad de potencia, modelo FLUKE 1744:

1. Cables de alimentación y cables de prueba para la medición de la tensión de tres fases más neutro.

Rango de tensión de alimentación: 88-660 V CA o 100-350 V CC, 50 Hz / 60 Hz.

Cables de entrada de tensión fijos e instalados para Línea 1 o A, Línea 2 o B, Línea 3 o C, Neutro.

La máxima tensión nominal admisible para la entrada de alimentación es 660 V.

La máxima tensión nominal admisible para la entrada de la señal es 830 V en una red de 3 hilos con conexión en triángulo.

En una red de 4 hilos con conexión en estrella, la máxima tensión nominal admisible es 480 V.

2. Puerto de interfaz RS232

La interfaz serie RS232 se usa para establecer comunicación con un computador. El registrador está conectado al puerto serie del computador (o a un módem para comunicación remota) con ayuda del cable de interfaz.

3. START/STOP

El botón START/STOP (Inicio/Parada) se utiliza para iniciar o terminar sesiones de registro accionadas mediante interruptor.

4. Indicadores LED de canales

Los indicadores LED de los canales de registro indican si las tensiones y las corrientes aplicadas están dentro del rango nominal fijado mediante el software PQ Log.

Las tres señales LED de los canales son:

Encendido = Señal de registro en rango nominal

Parpadeo breve = Señal de bajo nivel o ausente

Parpadeo largo = Sobrecarga

5. Indicador LED de estado de la alimentación

Son los siguientes:

Encendido = Tensión de alimentación en el rango admisible

Apagado = No hay alimentación

6. Conector para juego flexible o pinzas amperimétricas

Los juegos flexibles o las pinzas amperimétricas se detectan automáticamente en el encendido. Si cambia el tipo de sonda de corriente, asegúrese de apagar y encender el registrador para que se detecte la nueva sonda de corriente.

Los rangos nominales para el juego flexible son 15 A, 150 A, 1500 A y 3000 A de CA. La entrada nominal para las pinzas amperimétricas es 0,5 V.

7. Indicador LED de estado de registro

Son los siguientes:

Encendido = registro en curso

Parpadeante = registro detenido o no iniciado

5.2.3 CONFIGURACIONES DE LA RED ELÉCTRICA

El registrador puede prepararse para funcionar con cinco configuraciones de redes eléctricas:

- Tensión monofásica
- Tensión monofásica, corriente, potencia
- Tensión trifásica
- Tensión trifásica, corriente trifásica, potencia
- Tensión trifásica, corriente trifásica, corriente neutra, potencia

5.2.4 TRABAJO CON LOS DATOS REGISTRADOS

Los datos registrados pueden evaluarse con el software PQ Log para obtener la siguiente información:

- Cantidad, fecha/hora y duración de las variaciones rápidas y lentas de la tensión.
- Valores extremos de 10 ms de medio ciclo para mínimo y máximo a 50 Hz (8,3 ms a 60 Hz) para cada intervalo de medición.
- Profundidad y duración de las caídas de tensión.
- Correlación entre corriente pico y caídas de tensión.
- Valores de flicker del 95 % de acuerdo con EN 50160.
- Número y duración de las interrupciones.
- Cumplimiento de los niveles armónicos con límites definidos.
- Valores medio y pico de las corrientes de fase.
- Valor de la corriente del conductor neutro.
- Distorsión armónica total (THD) de las corrientes de los conductores de fase y neutro.
- Perfil de potencia activa, reactiva y aparente frente al tiempo.

- Monitorización del factor de potencia (FP) e información acerca de la efectividad de los sistemas de compensación.
- Representaciones gráficas de los datos de registro y estadísticas.

5.2.5 TRABAJOS DE REGISTRO

Los trabajos de registro se definen con el software PQ Log y se transfieren al registrador a través del cable RS232. Cada trabajo contiene la información siguiente:

- Función de registro
- Período de medición, definido por las horas de inicio y finalización.
- Trabajo activado por hora, interruptor o inmediato.
- Rango de entrada.
- Tensión nominal, tensión primaria y secundaria para registro con convertidores de tensión.
- Registro de hilo fase-neutro o fase-fase.
- Modelo de memoria.
- Duración del período de promediación.
- Períodos de tiempo de registro.
- Interarmónicos y tensiones de señalización.
- Valores límite para los eventos.
- Registro de corriente-hilo neutro.
- Relaciones del convertidor para corriente y tensión si se están usando transformadores de potencial (TP) y transformadores de corriente (TC) en un emplazamiento con una red de tensión media

5.2.6 PREPARACIÓN DEL REGISTRADOR PARA EL USO

Para usar el registrador 1744 con el software PQ Log siga los siguientes pasos:

1. Conectar el registrador a la red de suministro eléctrico.
2. Utilizar los cables de alimentación para conectar el registrador a un enchufe de pared, a los conductores fase y neutro de los cables de prueba para configuraciones en estrella o a cualquier cable bifásico para configuraciones en triángulo.
3. Conectar el cable de interfaz RS232 al puerto serie del PC.
4. Ejecutar el software PQ Log.
5. Configurar el trabajo de registro y transfiera la configuración al registrador.

A continuación se muestra como se conecta el equipo registrador de potencia a un suministro de alimentación eléctrica. Ver figura 5.3

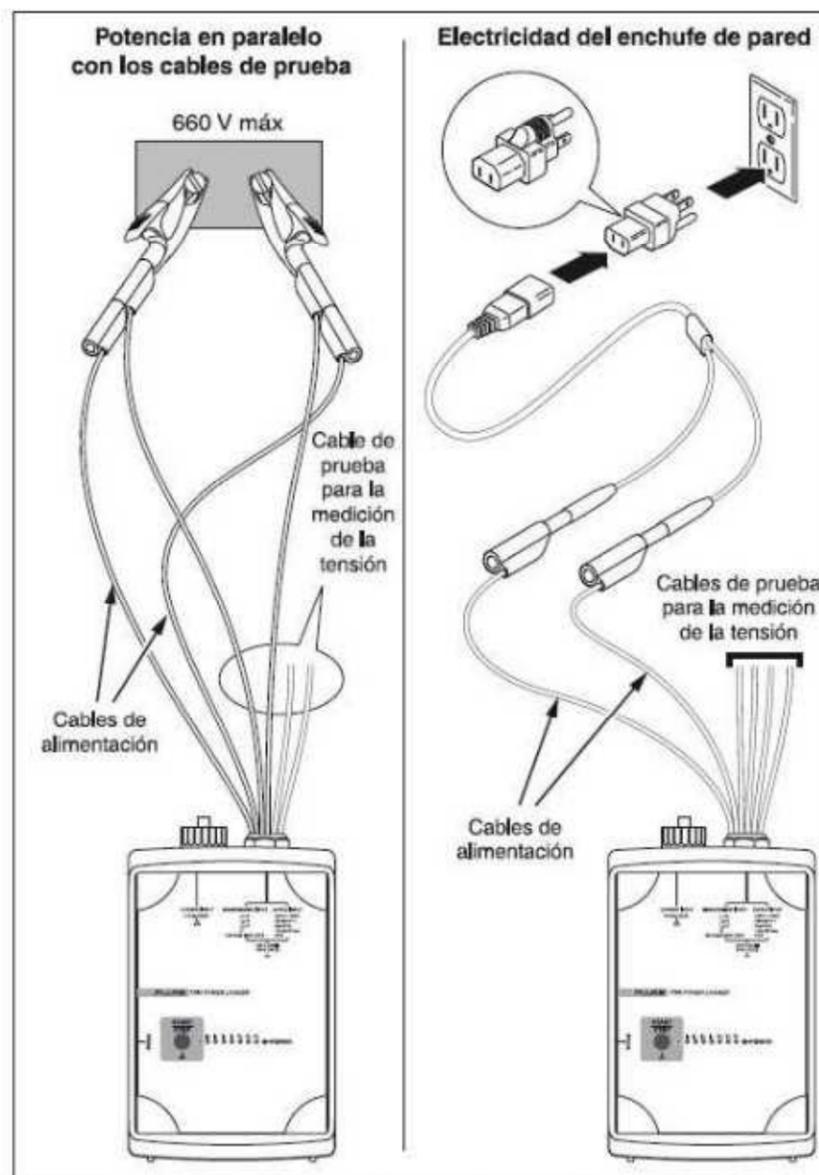


Figura 5.3.- Suministro de alimentación eléctrica al registrador
Fuente: Manual de Uso de Fluke 1744

5.2.7 CABLES DE PRUEBA – MARCAS

El registrador 1744 incluye cables de prueba incorporados y etiquetados para terminales de tensión L1 o A, L2 o B, L3 o C, y N, así como dos para la fuente de alimentación interna. El juego flexible o las pinzas amperimétricas se conectan mediante un enchufe de siete clavijas al registrador.

En la siguiente tabla 5.1 se muestran las marcas de los cables de prueba:

CABLES DE PRUEBA	MARCAS
Fase L1 o A	L1 / A
Fase L2 o B	L1 / A
Fase L3 o C	L1 / A
Hilo neutro N	N
Alimentación	SUPPLY
Alimentación	SUPPLY

Tabla 5.1 Marcas de los cables de prueba
Fuente: Manuel de Uso de Fluke 1744

5.2.8 CONEXIÓN DE LAS SONDAS DE CORRIENTE

Conectar las pinzas amperimétricas y las sondas del juego flexible de manera que la corriente fluya en la dirección marcada por las flechas en las sondas.

La corriente debe fluir del generador de energía al consumidor de energía (la carga) para que se mantenga una potencia activa positiva (la polarización del cable de prueba para la corriente del conductor neutro no es importante porque el ángulo de fase de la corriente del conductor neutro no se evalúa).

5.2.9 CONEXIÓN DEL REGISTRADOR

Mediciones Δ (en triángulo) o en Y (en estrella)

El registrador 1744 está preparado para registrar datos en sistemas trifásicos de 4 hilos (en estrella) (fase-neutro) o en sistemas trifásicos de 3 hilos (en triángulo) (fase-fase). Observe los diferentes tipos de conexión y configuración en el software PQ Log.

1. Conectar todos los cables de medición requeridos.
2. Si desea conectar el registrador a un enchufe extra, utilice el adaptador de alimentación de línea suministrado. Los cables de alimentación pueden también conectarse en paralelo a los cables de prueba para la medición de la tensión, pero la tensión está limitada a 660 V rms de corriente alterna.
3. Conectar las pinzas amperimétricas o el juego flexible al registrador.
4. Conectar el sensor de corriente al conductor bajo prueba.
5. Conectar las pinzas a los cables de prueba. Para sistemas trifásicos de cuatro hilos, conecte el cable de prueba neutro (N) primero y luego las otras fases.

5.2.10 CONEXIONES EN SISTEMAS TRIFÁSICOS DE 4 HILOS (EN ESTRELLA)

La siguiente figura 5.4 muestra las conexiones para sistemas de registro trifásicos de 4 hilos (en estrella).

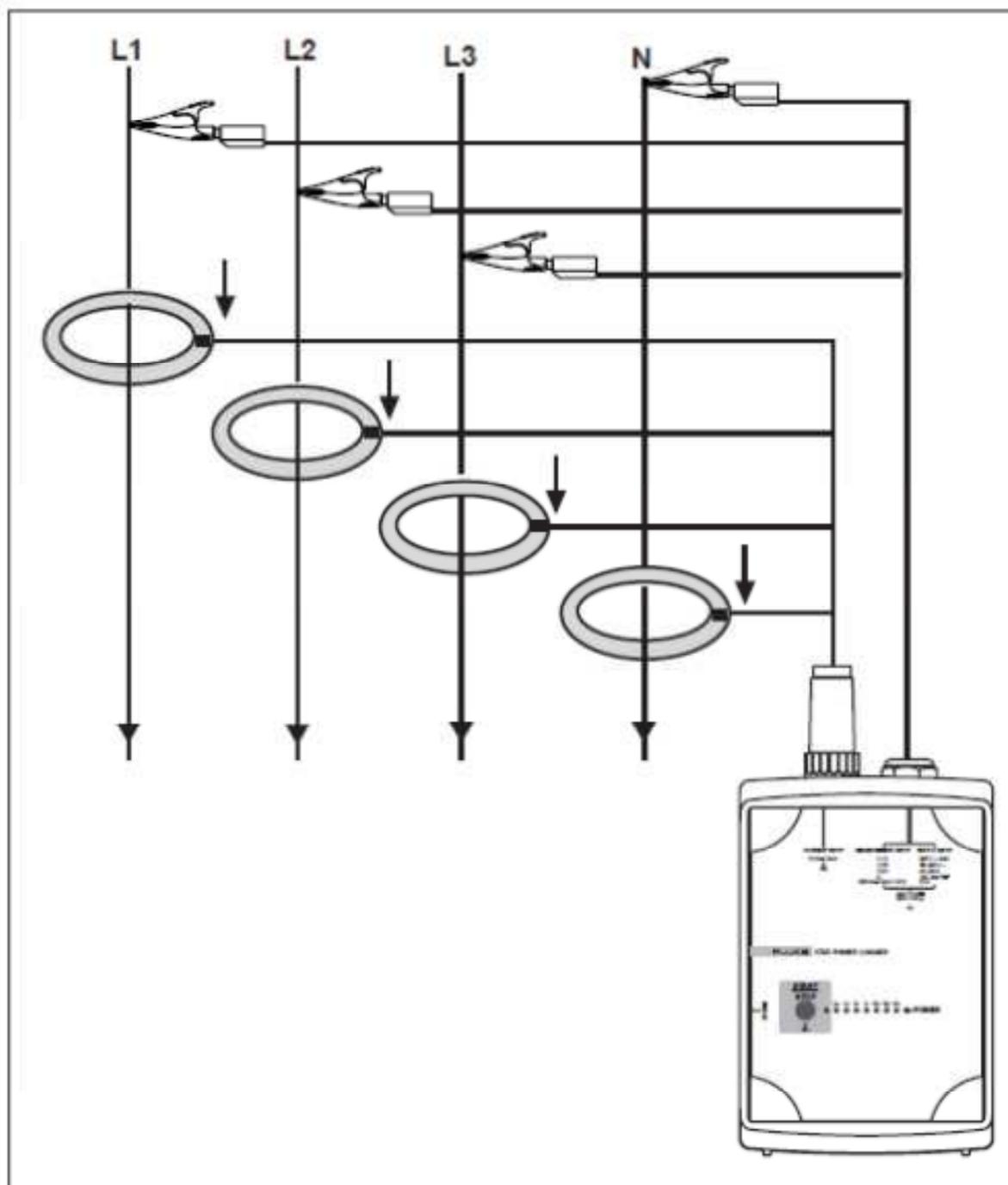


Figura 5.4.- Registro en un sistema trifásico de 4 hilos (en estrella)

Fuente: Manual de Uso de Fluke 1744

5.2.11 CONEXIONES EN SISTEMAS TRIFÁSICOS DE 3 HILOS (EN TRIÁNGULO)

La figura 5.5 muestra las conexiones para sistemas de registro trifásicos de 3 hilos (en triángulo):

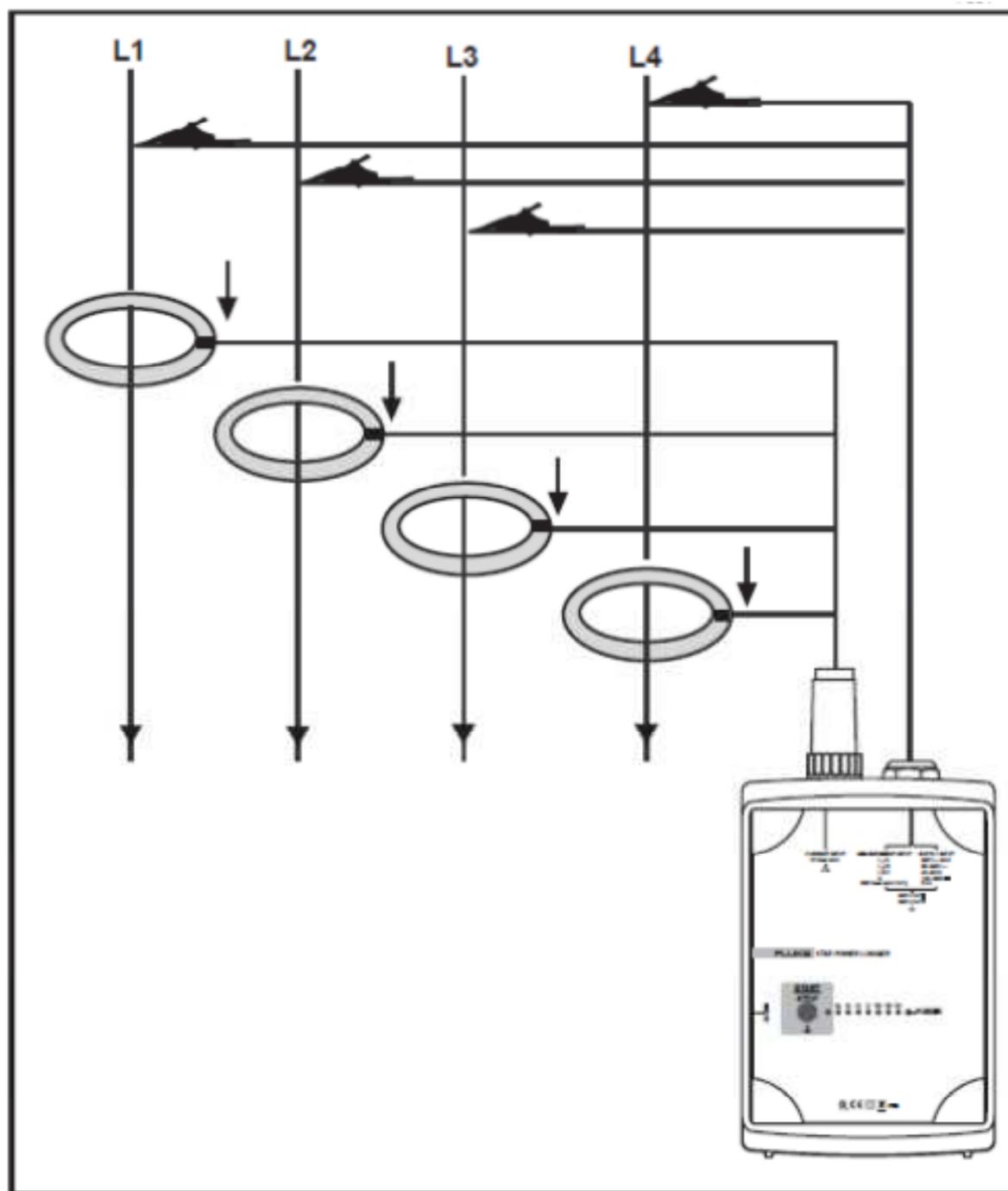


Figura 5.5.- Registro en un sistema trifásico de 3 hilos (en triángulo)
Fuente: Manual de Uso de Fluke 1744

5.2.12 CONEXIONES PARA EL REGISTRO MONOFÁSICO

La figura 5.6 muestra las conexiones para sistemas de registro monofásicos.

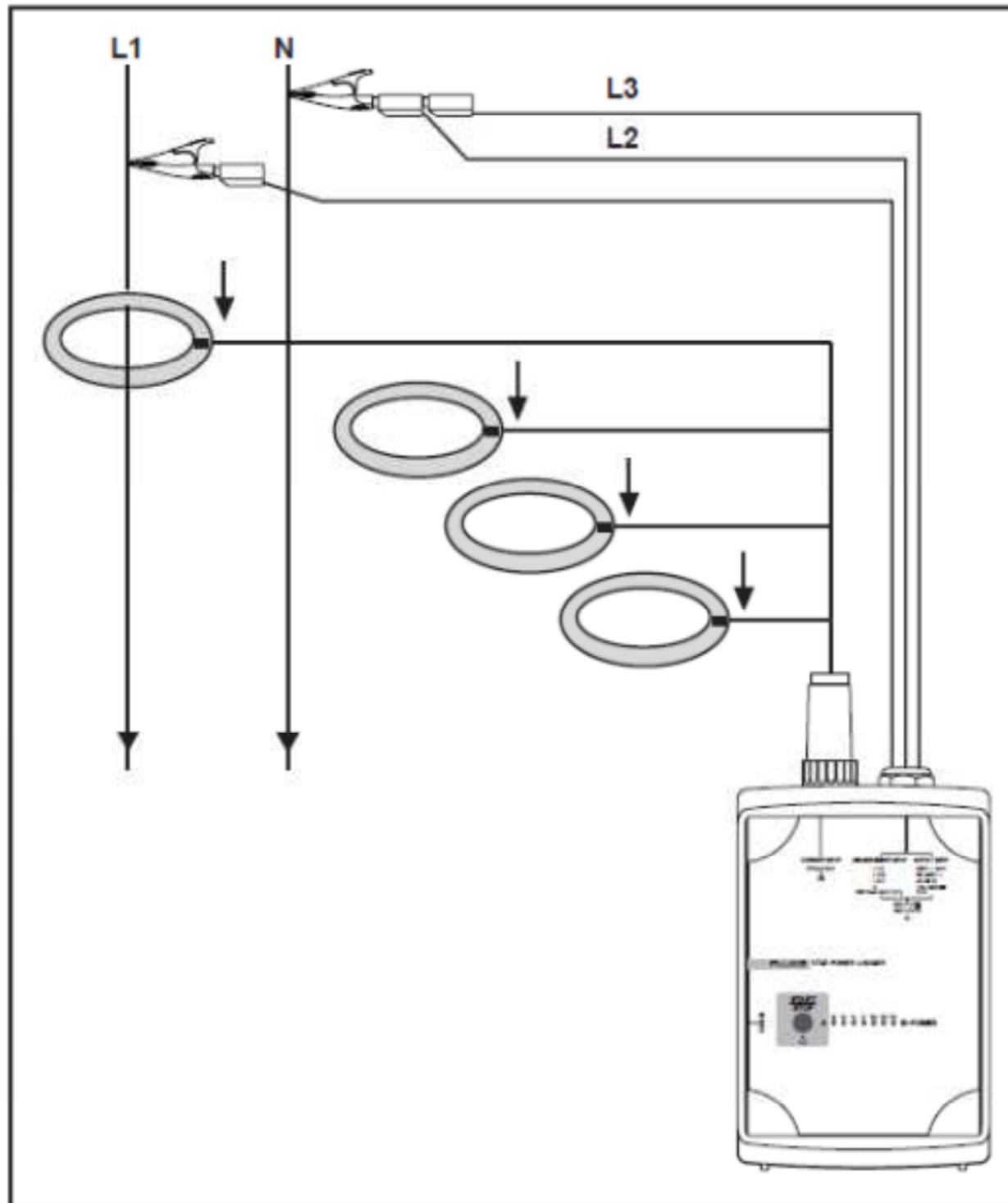


Figura 5.6.- Conexiones monofásicas
Fuente: Manual de Uso de Fluke 1744

5.3 PQ LOG

PQ Log es el programa de PC para los registradores de la serie 1740. PQ Log es compatible con MS Windows NT, 2000 y XP. PQ Log prepara el registrador para su uso y recibe los datos descargados del registrador. Los datos registrados se transfieren a un PC para su evaluación gráfica y tabular, su exportación a una hoja de cálculo o la generación de informes para imprimirlos.

5.3.1 ACTIVIDADES QUE SE PUEDEN REALIZAR CON PQ LOG

Las actividades que se pueden realizar con PQ Log son:

- ✓ Preparar el registrador para su uso, una vez conectado con el registrador o por adelantado.
- ✓ Monitorizar datos en directo desde el registrador.
- ✓ Descargar datos registrados en el registrador al PC.
- ✓ Ver, imprimir y exportar diagramas de dispersión respecto del tiempo (timeplot) de todos los canales.
- ✓ Realizar análisis orientados a aplicaciones (conjuntos de parámetros que se representan en gráficos para llevar a cabo diferentes tareas de análisis habituales)
- ✓ Realizar estudios de armónicos.
- ✓ Realizar análisis estadísticos.
- ✓ Generar tablas de datos.
- ✓ Imprimir tablas, gráficos e informes formateados completos.
- ✓ Exportar datos a un archivo ASCII.
- ✓ Actualizar el firmware del registrador (software operativo) cuando se disponga de una nueva versión en el sitio web de Fluke.
- ✓ Realizar un análisis estandarizado de valores medidos de acuerdo con la norma europea EN 50160.

CONCLUSIONES

Se concluye después del análisis de calidad de la energía eléctrica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil que existen problemas como:

- ✓ Interrupciones eléctricas.- El principal problema es producto de la energía eléctrica entregada por el proveedor del servicio eléctrico, por eso se presentan las caídas de voltajes en las líneas, debido a que la empresa eléctrica local genera la condición, en la que el valor eficaz de la tensión en los puntos de suministros presentan pequeños cortes de energía eléctrica, lo que provoca que los equipos como computadoras y sistemas electrónicos de la universidad se apaguen y en algunos casos estos equipos presentan daños, debido a que al tener una interrupción en el sistema cuando se restablece el sistema eléctrico el voltaje tiende a ser más elevado del voltaje nominal de alimentación de los equipos, lo que puede provocar daños o averías en equipos de preferencia electrónicos debido al alto voltaje al restablecer el sistema, dañando fusibles y fuentes de poder de equipos electrónicos en general.
- ✓ Flicker de severidad de corta y larga duración.- Esto se debe a la característica de la carga eléctrica propia instalada en la Universidad, lo que genera un comportamiento en la corriente debido a la gran cantidad de balastos y fuentes de alimentación de computadoras, equipos de impresión; y al existir momentos de coincidencia de estas cargas, genera una distorsión de la forma de onda original que entrega la empresa del suministro eléctrico.
- ✓ Armónicas de voltaje.- Son el reflejo del comportamiento de la carga eléctrica propia de la universidad y que afecta directamente al voltaje distorsionándolo, esto es debido a las cargas que conforman un sistema no lineal y que afecta la amplitud y fase del voltaje de alimentación en los equipos eléctricos de la Universidad.

- ✓ Desbalance de voltaje y corriente.- El desbalance de voltaje es generado por el proveedor del suministro eléctrico y también es afectado por la mala distribución de las cargas eléctricas (Computadoras, Acondicionadores de Aire, Servidores, Impresoras, etc.) que producen un desbalance de corriente eléctrica. De acuerdo a las mediciones tomadas con el equipo de calidad de la energía eléctrica, presenta que dos fases están sobrecargadas y la tercera fase con poca carga eléctrica en varios puntos de la Universidad.

- ✓ Bajo factor de potencia.- De acuerdo a las mediciones tomadas con el equipo de calidad de la energía eléctrica, concluimos que existe un bajo factor de potencia en períodos mayores de 15 minutos en varios puntos de recepción, por lo que la Universidad está propensa a multas por parte de la empresa distribuidora.

RECOMENDACIONES

Para mejorar el funcionamiento actual del sistema eléctrico de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil se recomienda:

- ✓ Instalar un sistema de alimentación ininterrumpida UPS (Uninterrupted Power Supply) On line o UPS, es un dispositivo que gracias a su batería de gran tamaño y capacidad, puede proporcionar energía eléctrica luego de un corte en el suministro a todos los dispositivos electrónicos conectados a él, además de regular el flujo de electricidad, y controlar los picos de tensión y corriente existentes en la red o las variaciones de frecuencia, para evitar que los equipos de computación, telefonía se apaguen o se dañen por las interrupciones eléctricas debido a que son los equipos más sensibles que cuenta la Universidad. De preferencia utilizar UPS ON LINE porque este tipo de UPS entregan todo el tiempo, una alimentación perfecta y estable. Son muy usadas en instalaciones de dispositivos de misión crítica, que no pueden tolerar cortes de ningún tipo.

- ✓ Es necesario balancear las tres fases del sistema eléctrico, para esto se debe retirar carga de la fase con mayor amperaje e instalarla en la fase de menor amperaje, para conseguir que las tres fases, tengan igual corriente (Amperios).

- ✓ Mejorar la instalación del sistema de puesta a tierra, en los lugares donde existen grandes cargas no lineales de la Universidad, como el centro de cómputo y área de los servidores. Y colocar filtro de armónicas o transformadores de aislamiento para disminuir la contaminación de armónicas a la red de los diferentes edificios o facultades de la Universidad.

- ✓ Para corregir el bajo factor de potencia es necesario realizar un cálculo para determinar la capacidad de los bancos de capacitores autodesconectables y así mejorar el factor de potencia.
- ✓ La compensación del bajo factor de potencia representaría un ahorro significativo para la UCSG, debido a que las empresas distribuidoras de electricidad penalizan a sus usuarios por esta infracción.
- ✓ Actualmente la UCSG está siendo penalizada por bajo factor de potencia, lo que representa un incremento en su facturación de aproximadamente \$8.000 mensuales, que de realizar los correctivos necesarios tendrían un ahorro de alrededor de \$ 96.000 anuales.
- ✓ Se sugiere continuar el análisis de los demás puntos de recepción de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil para determinar los índices de calidad de energía en cada uno de ellos.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AC	Corriente Alterna
CEE	Calidad de Energía Eléctrica
CENELEC	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
CONELC	Consejo Nacional de Electricidad
CREG	La Comisión de Regulación de Energía y Gas
EPRI	Instituto de Investigación de Potencia Eléctrica
FP	Factor de Potencia
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos
PC	Computadora Personal
PLC	Controlador Lógico Programable
PQ LOG	Power Quality Logic
TC	Transformadores de corriente
TP	Transformadores de potencial
UN	Tensión Nominal Normalizada
UPS	Sistema de Alimentación Ininterrumpida

BIBLIOGRAFÍA

- Aladro, J. C. (2011). *Análisis de Sistemas de Energía Eléctrica*. Oviedo: Servicio de Publicaciones Universidad de Oviedo.
- Alexander Kusko and Marc T. Thompson (2007). *Power Quality in Electrical Systems*. McGraw-Hill.
- Barry W. Kennedy (2000). *Power Quality Primer*. McGraw-Hill.
- CENELEC, D. (1999). Norma Europea EN-50160 . *Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución* . AENOR España.
- CONELEC, D. (2001). Regulación No. CONELEC 004/01. *Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución* . Ecuador.
- DeDad, John Waggoner, Ray, Intertec (1997). *Quality Power For Sensitive Electronic Equipment 2nd. Edition*. EC&M Book.
- Douglas J. (1985). *Quality Power in the Electronic Age*. EPRI Journal.
- Enríquez Harper (2006). *EL ABC de la Calidad de la Energía* . Noriega Editores.
- Fluke Corporation. (2006). *Manual de uso Fluke 1744-1743* /Publications Fluke.
- IEEE Libro Esmeralda (1999). *Standard on Power Quality*. Publicaciones del IEEE.
- Mazur, G. (2005). *Power Quality - Measurement and Monitoring*. Publications FLUKE.
- Ontario Hydro (1996). *Power Quality Reference Guide 6nd. Edition* . Canadá
- Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, Wayne Beaty (1996). *Electrical Power Systems Quality* . McGraw-Hill.
- Torres Sanchez Horacio, Acero G. Gloria María, Villamil Jairo Flechas, Saucedo B. Juan Vicente, Quintana Carlos Ariel (2001). *Calidad de la Energía Eléctrica CEL, Primera edición*. Editorial Asociación Colombiana de Ingenieros ACIEM
- Theodore Wildi (2007). *Sistemas de Potencia, Armónicos y Calidad de Energía Eléctrica 6^{ta} edición*. Prentice-Hall Inc.

DIRECCIONES WEB

[http:// www.fluke.com](http://www.fluke.com)

<http://www.conelec.gov.ec>

http://www.electromatica.cl/docum/ACE_lowres.pdf

<http://www.elprisma.com>

<http://www.iec.org>

<http://www.ieee.org>

http://www.myflukestore.com/crm_uploads/fe_pqlog_users_manual.pdf

http://www.myflukestore.com/p3693/fluke_1744.php

http://www.rtrenergia.es/rtr/ficheros/armonicos_2012.pdf

http://www.testequipmentdepot.com/fluke/pdf/1743-1744_manu.pdf

<http://www.testequity.com/documents/pdf/power-quality-overview.pdf>

<http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Calidad%20de%20la%20Energia.pdf>

ANEXO

6.3 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA FACULTAD DE JURISPRUDENCIA

Se procedió con la instalación del equipo por un período de siete días de acuerdo a la normativa No. CONELEC-004/01, basada en la norma internacional EN 50160.

Se empieza a programar el equipo para proceder con el registro de las mediciones de energía eléctrica de acuerdo a la placa de datos del transformador de distribución del punto a medir. Ver Fig. 6.3.1.



Figura 6.3.1- Programación de equipo Fluke 1744 – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se instaló el equipo por un período mayor a siete días desde el 16 de Julio a las 13:20 hasta el 23 de Julio hasta las 12:30. Se procede a retirar el equipo y descargar la información registrada en este período a través del programa PQ Log de la marca Fluke.

Se empieza el análisis de las variables eléctricas, a continuación mostramos el voltaje de la línea 1, Ver Fig. 6.3.2. Se observa que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$.

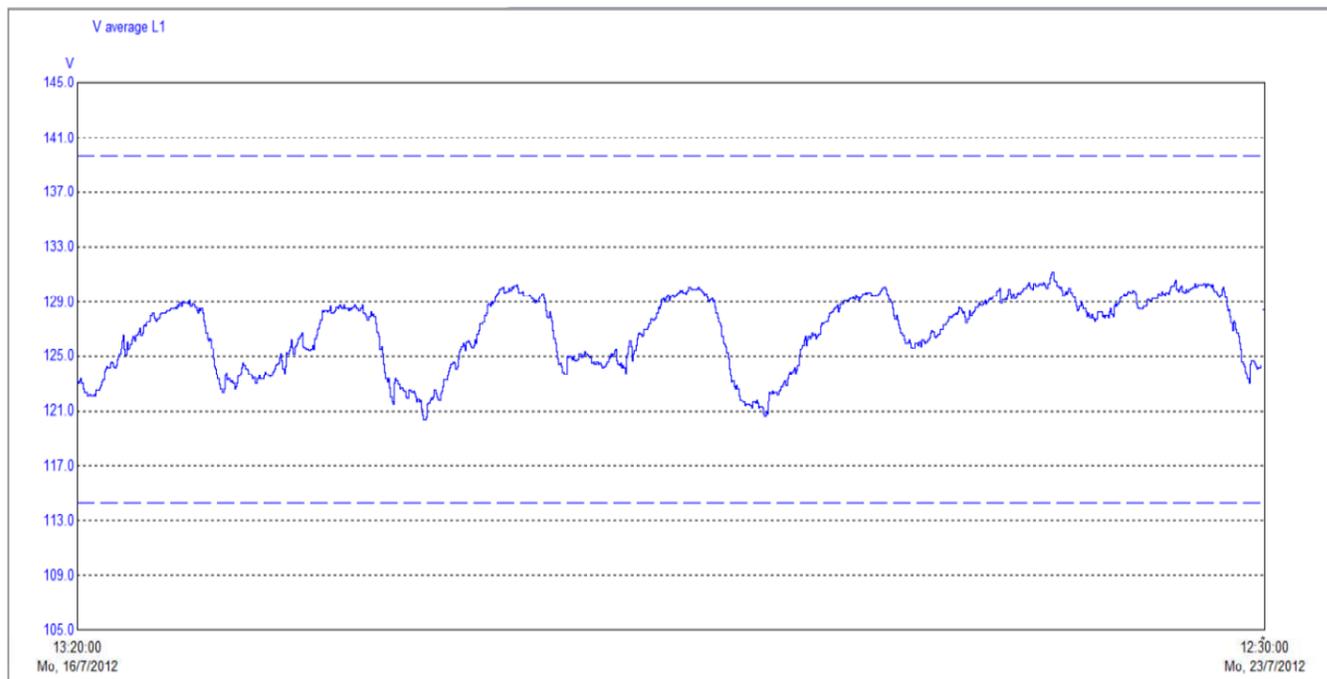


Figura 6.3.2- Voltaje de L1 – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de Voltaje de la línea 2, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.3.3.

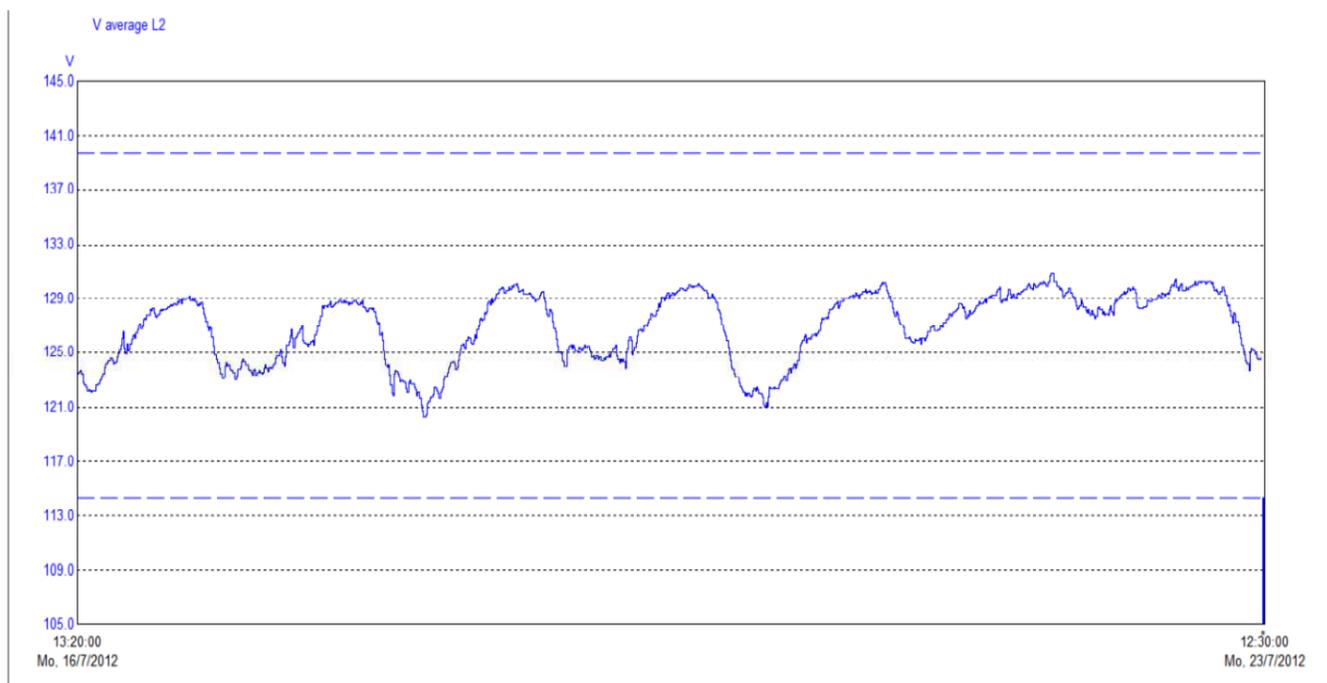


Figura 6.3.3- Voltaje de L2 – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de Voltaje de la línea 3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.3.4.

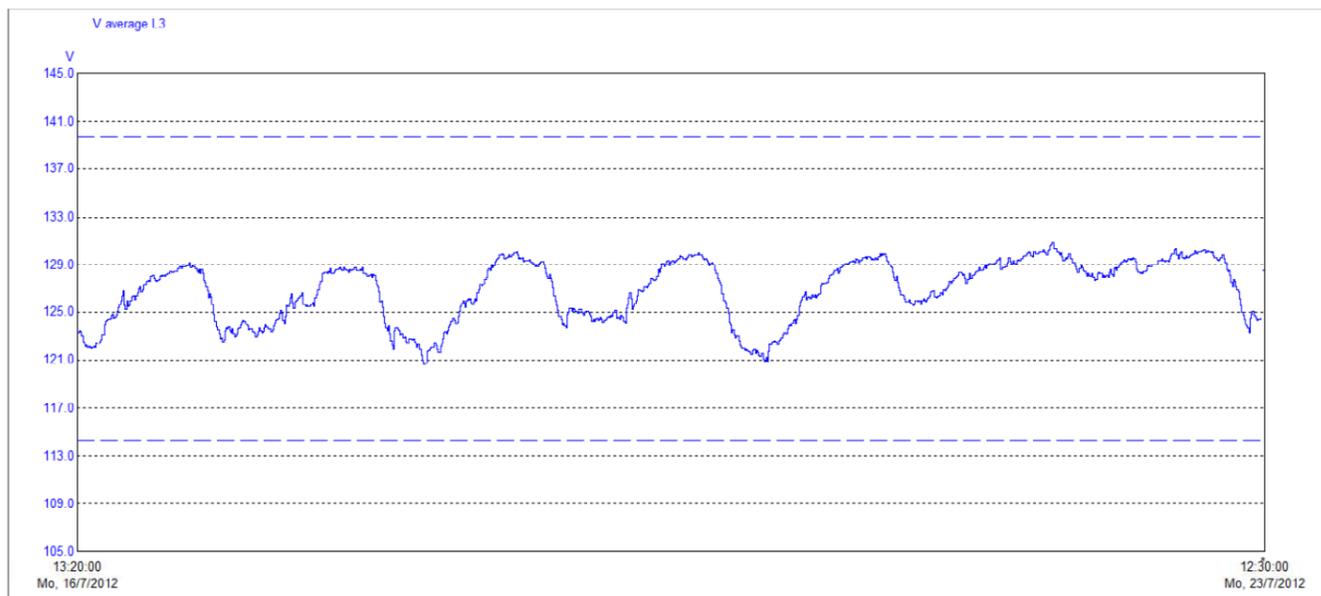


Figura 6.3.4- Voltaje de L3 – Fac. Jurisprudencia

Fuente: Autores

Se examina la gráfica de Voltaje Máximo de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.3.5.

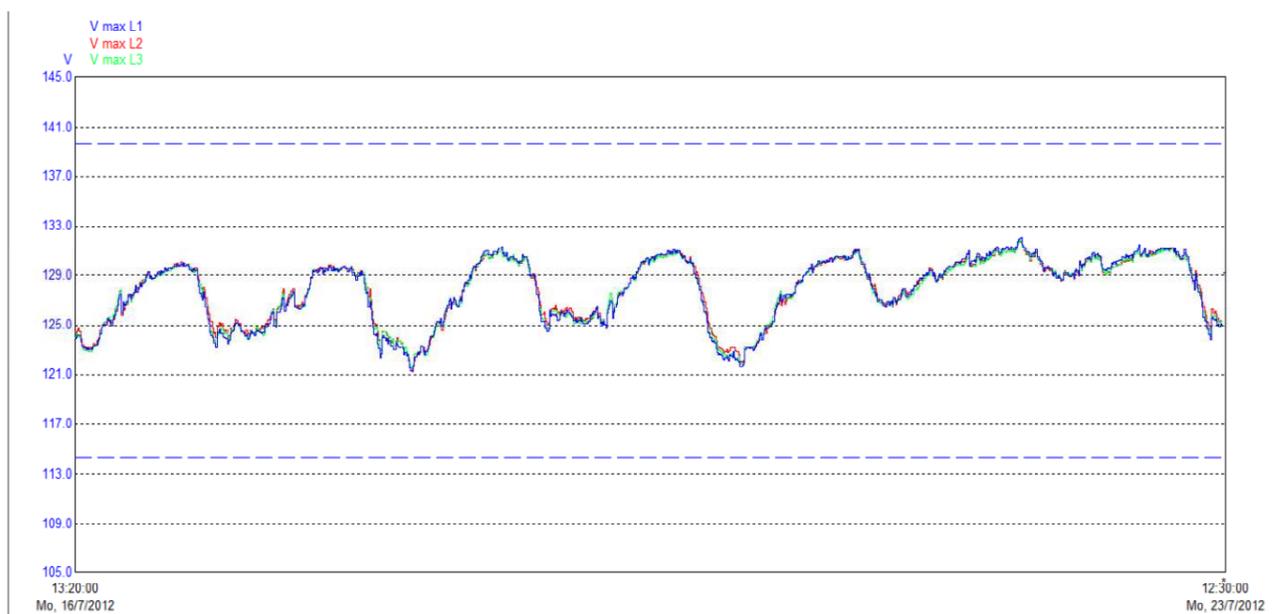


Figura 6.3.5- Voltaje Máximo de L1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia

Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Voltaje Min de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje está fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están fuera $\pm 10\%$. Se produjo una falla por parte del proveedor del suministro eléctrico que generó un nivel de voltaje por debajo de 107 VAC en las tres líneas, se recomienda el uso de sistemas de UPS para sistemas electrónicos y de computación que se pueden ver afectados por este tipo de fallas. Ver Fig. 6.3.6.

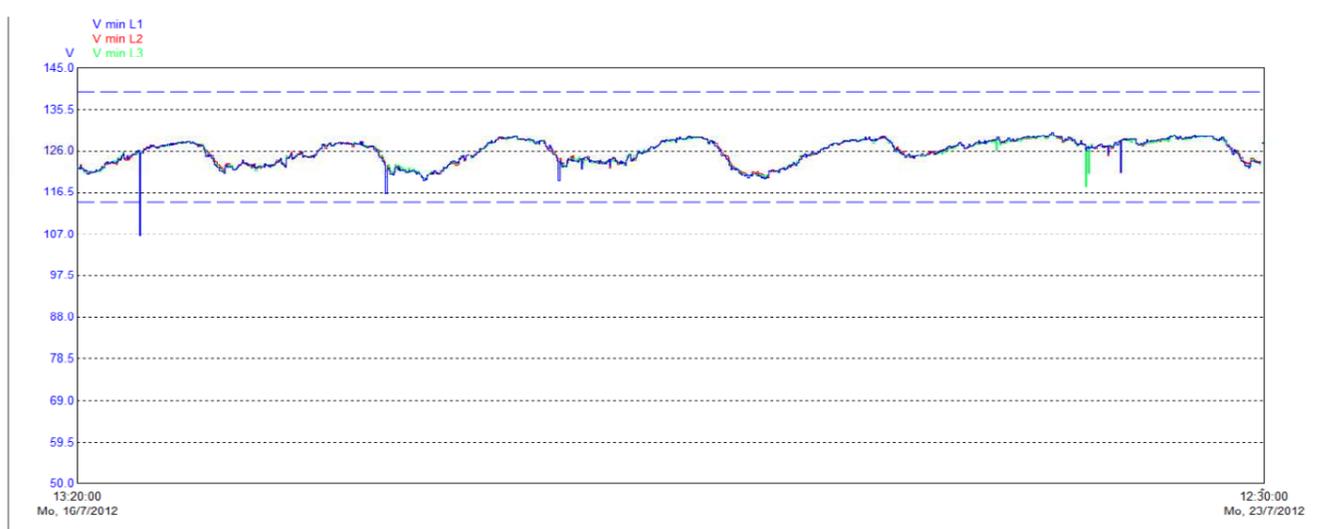


Figura 6.3.6- Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de Voltaje de Línea a Línea de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.3.7.

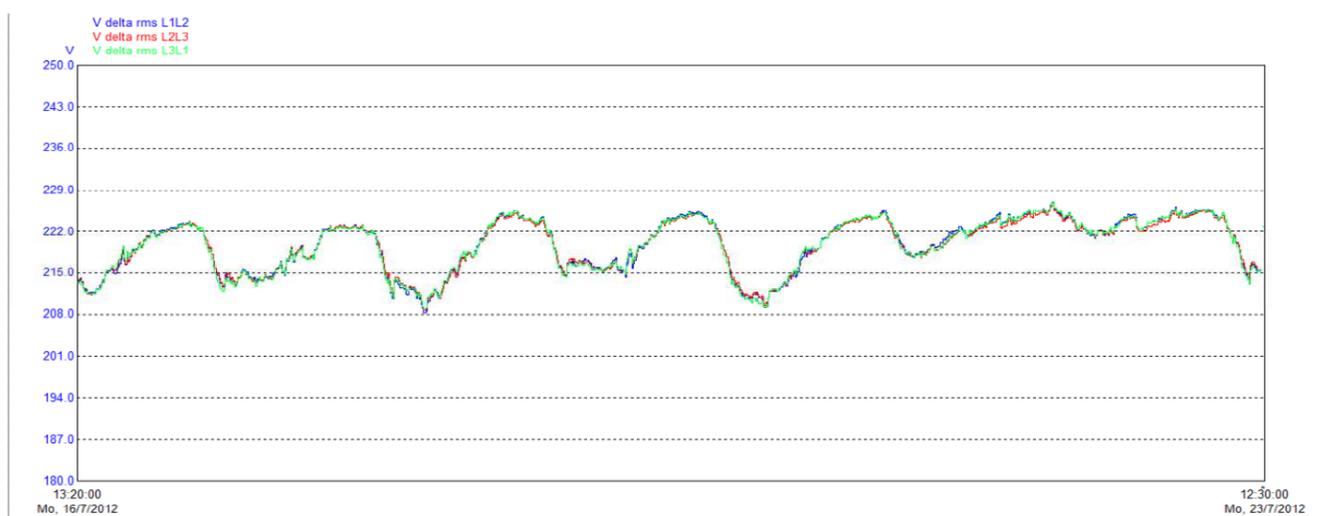


Figura 6.3.7- Voltaje Línea a Línea – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de THD Voltaje de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las tensiones armónicas promedio del THD de la tensión referido a U_n (tension nominal normalizada) en cada ciclo durante 10 min $<8\%$. Ver Fig. 6.3.8.

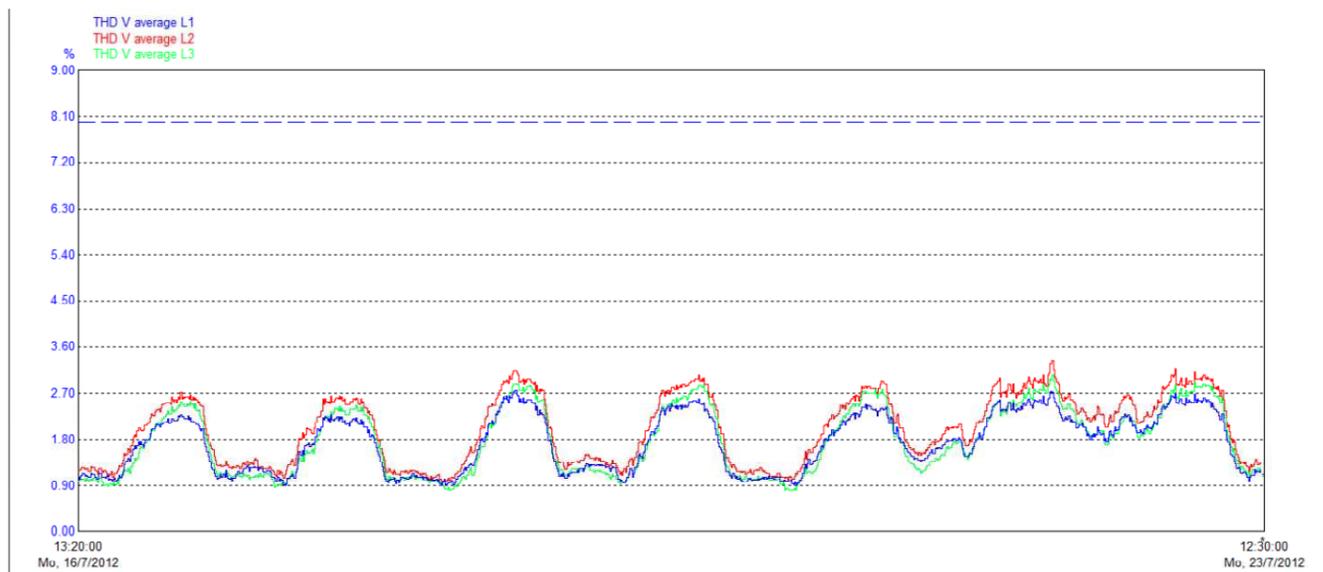


Figura 6.3.8- THD Voltaje – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se observa la gráfica del desbalance de Voltaje, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque desequilibrio de la tensión promedio de la U_{inv} / U_{dir} de cada ciclo durante 10 min $<2\%$. Ver Fig. 6.3.9.

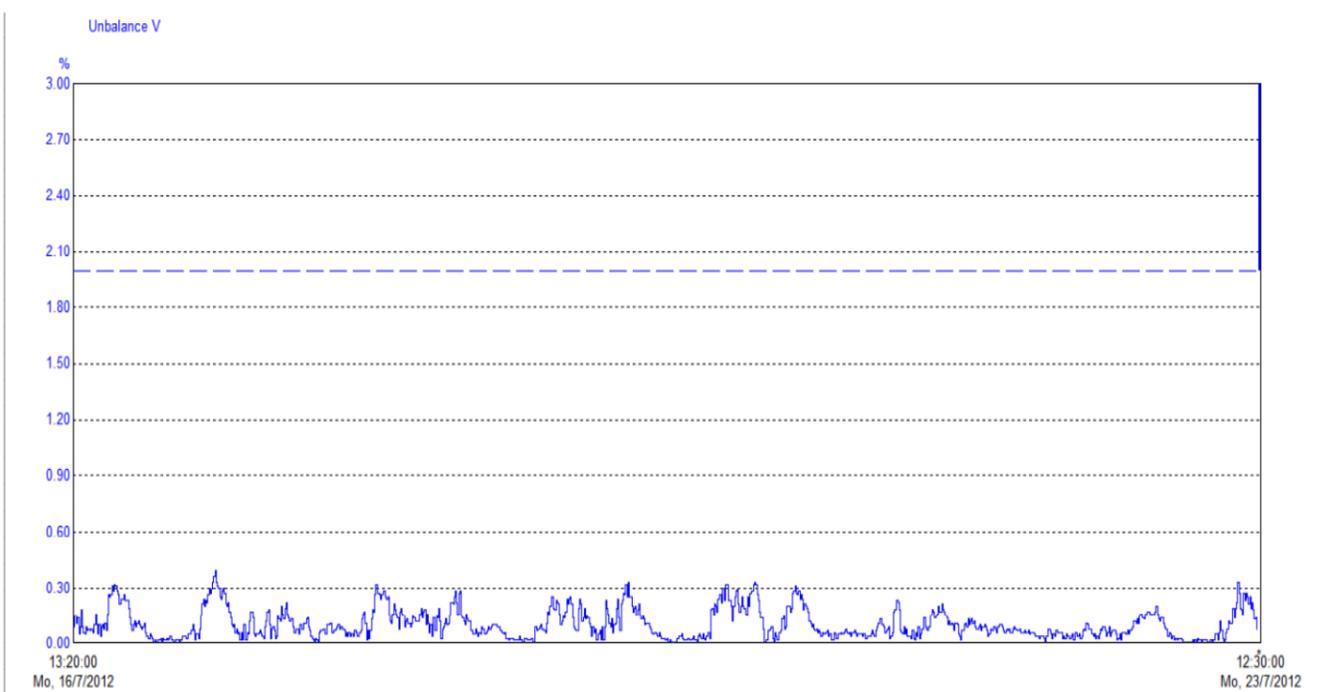


Figura 6.3.9- Voltaje Desbalance – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de flicker de severidad de larga duración, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma CEI 61000-4-15, porque el flicker Plt de larga duración (lt = long-term) (tomando el promedio variable de 12 valores de corta duración) se registra en un intervalo estándar predeterminado mayor de 10 minutos <1%. Ver Fig. 6.3.10.

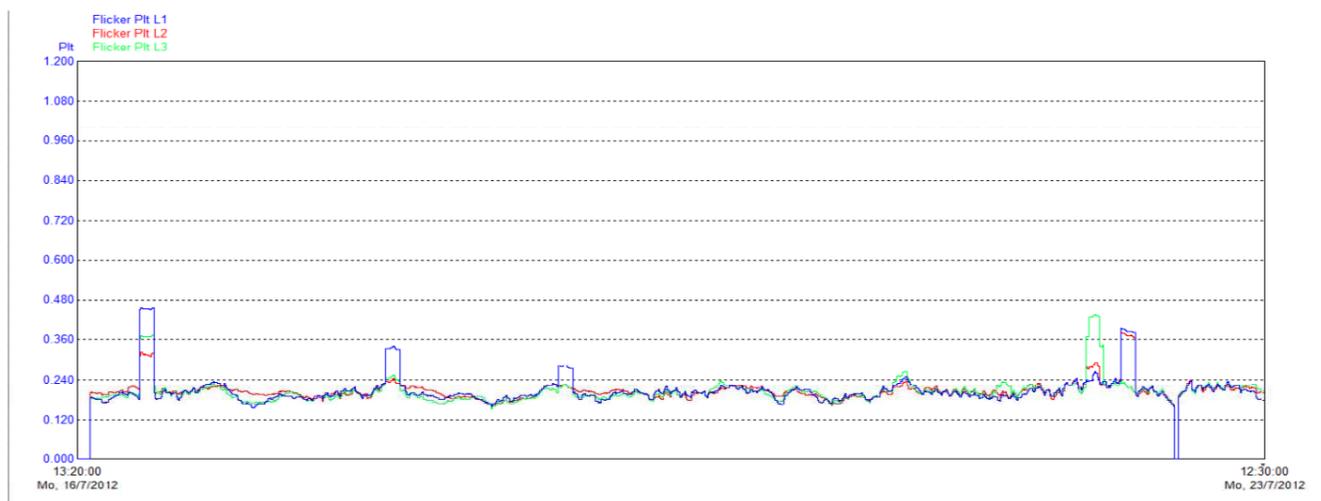


Figura 6.3.10- Flicker de severidad de larga duración – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de flicker de severidad de corta duración, concluyendo que en la línea 1 está fuera de los límites permisibles de acuerdo de la norma IEC 61000-4-15. El flicker Pst de corta duración (st =short-term) se registra en un intervalo estándar predeterminado de 10 minutos <1%. Esto se debe a una falla del suministro de energía eléctrica por parte del proveedor del servicio eléctrico. Fig. 6.3.11.

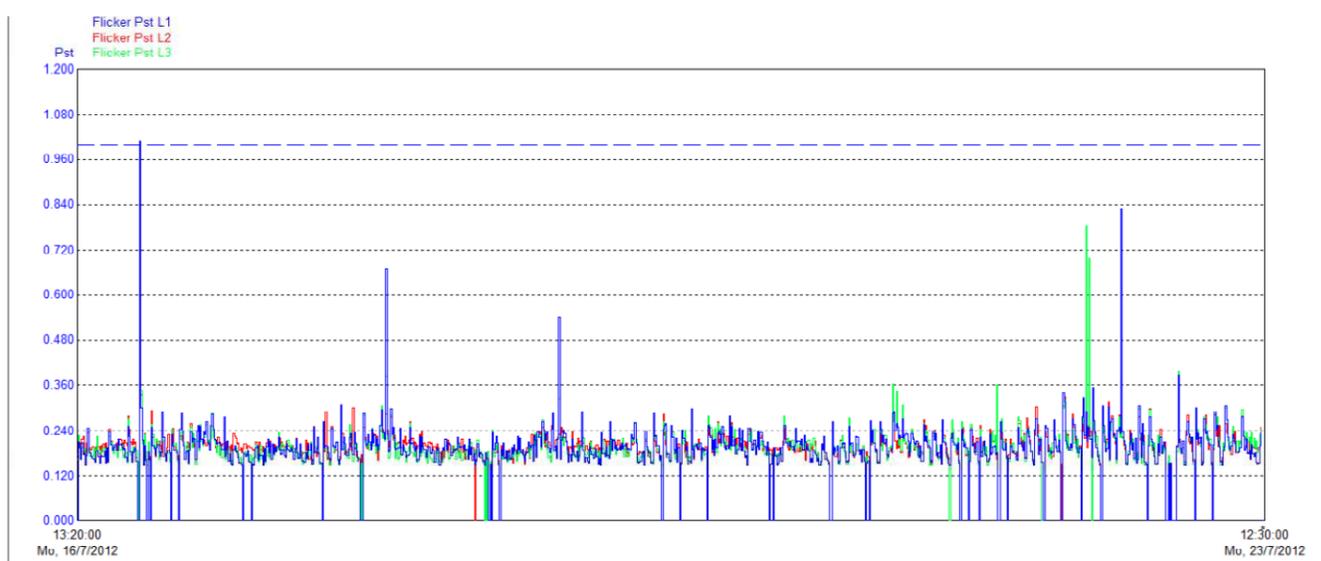


Figura 6.3.11- Flicker de severidad de corta duración – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se examina la gráfica de frecuencia, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s $\pm 1\%$. Ver Fig. 6.3.12.

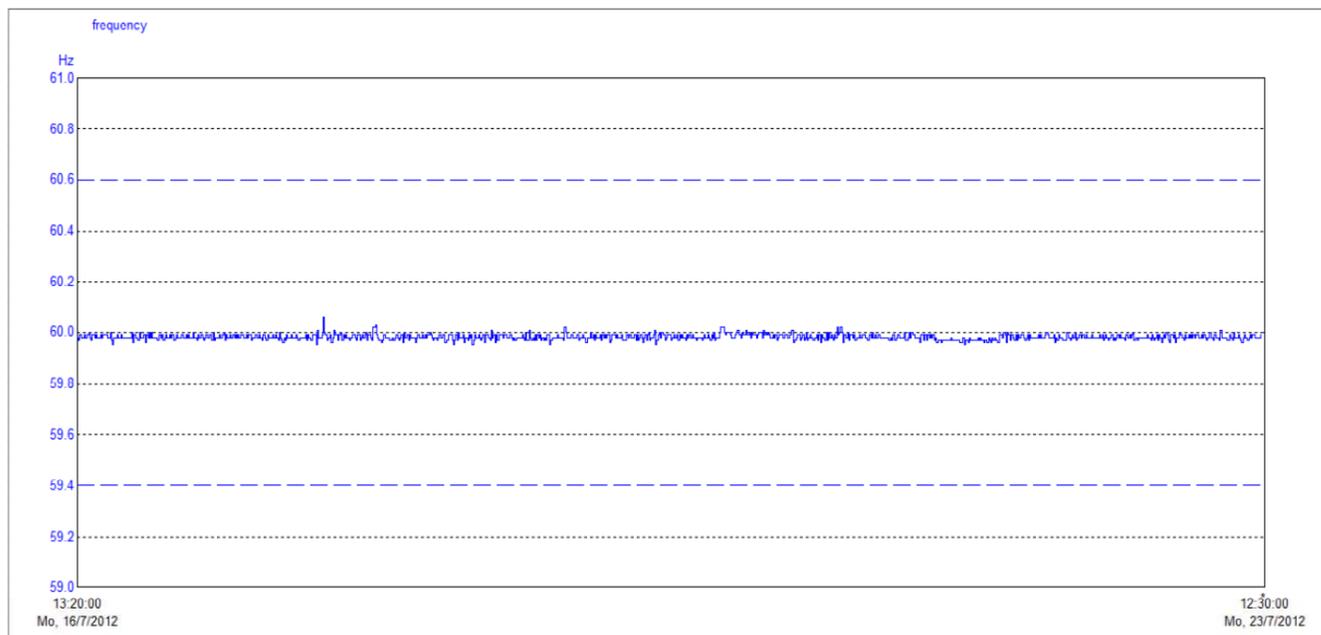


Figura 6.3.12- Frecuencia de línea – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de factor de potencia, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Por lo que es necesario mejorar el factor de potencia mediante banco de capacitores automáticos. Ver Fig. 6.3.13.

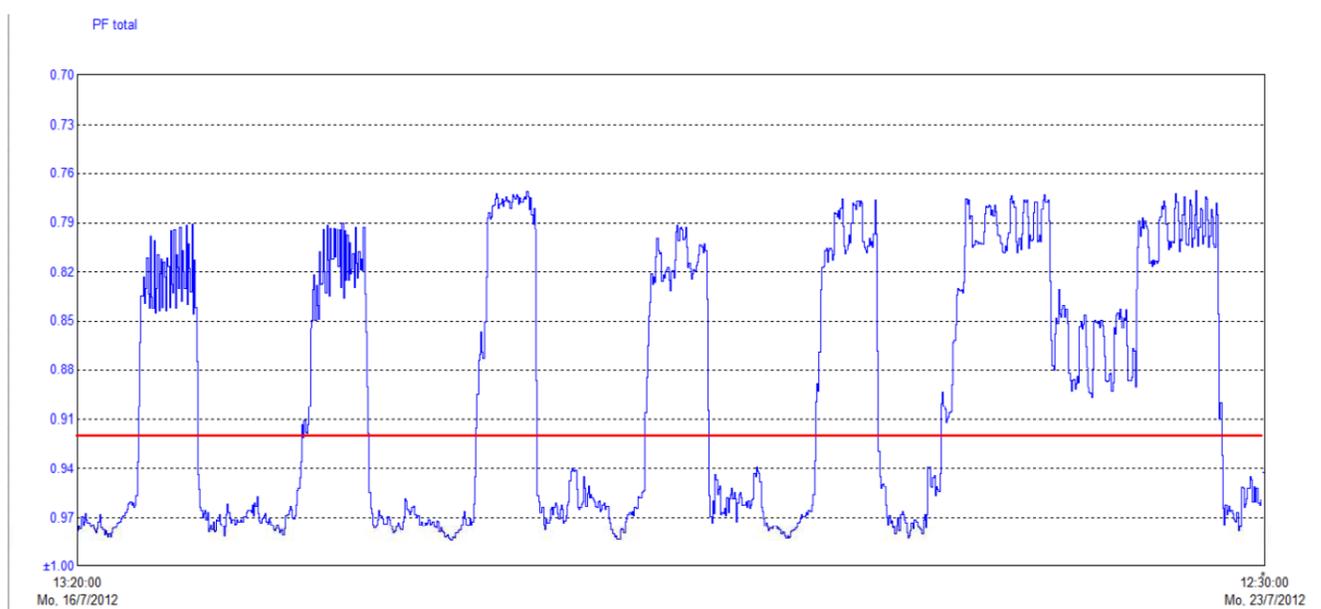


Figura 6.3.13- Factor de Potencia – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de factor de potencia de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Por lo que es necesario mejorar el factor de potencia mediante banco de capacitores automáticos, la línea que mayor problema presenta es la línea 1. Ver Fig. 6.3.14.

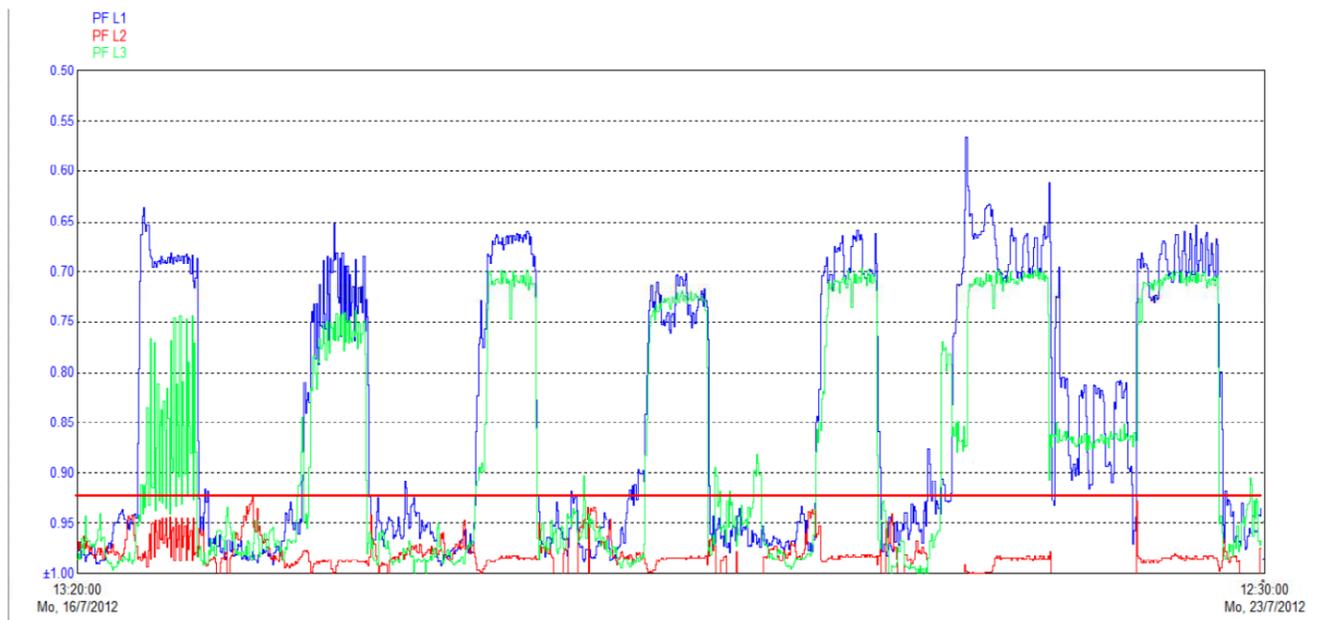


Figura 6.3.14- Factor de Potencia de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 1050 amperios. Ver Fig. 6.3.15.

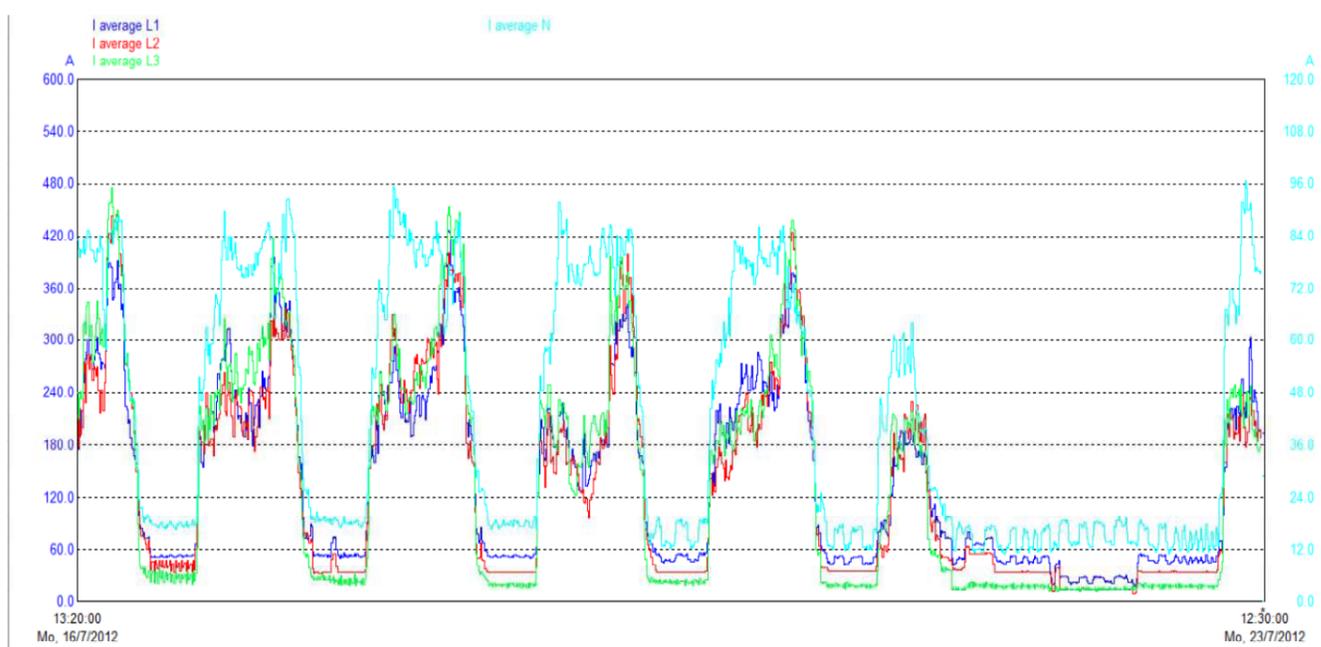


Figura 6.3.15- Corriente de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de Corriente máxima de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 1050 amperios. Ver Fig. 6.3.16.

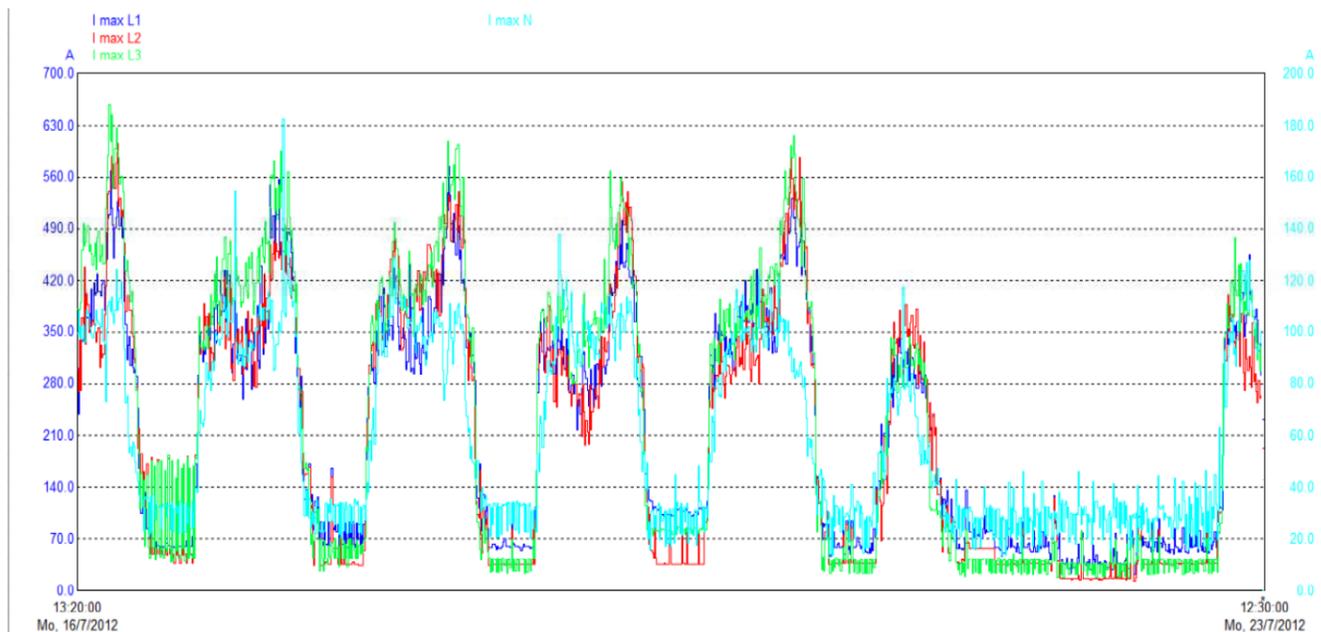


Figura 6.3.16- Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de desbalance de corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que no se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores sobrepasa el 25% de desbalance por un período largo mayor de 15 minutos, como mejora se debe revisar las cargas para mejorar este desbalance. Ver Fig. 6.3.17.

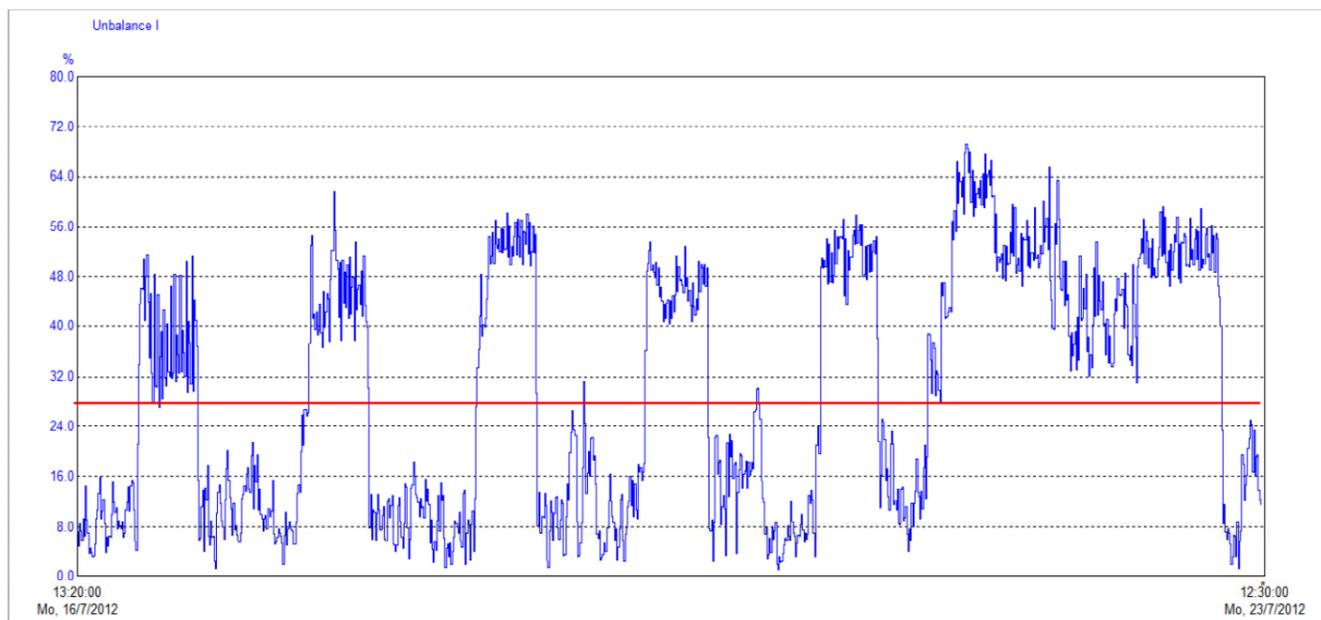


Figura 6.3.17- Desbalance de corriente – Fac. Jurisprudencia

Fuente: Autores

Se observa la gráfica de THD Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7 sobrepasa el 20% de acuerdo a un comportamiento de cargas no lineales. Por lo que será necesario mejorar el sistema de tierra. Ver Fig. 6.3.18.

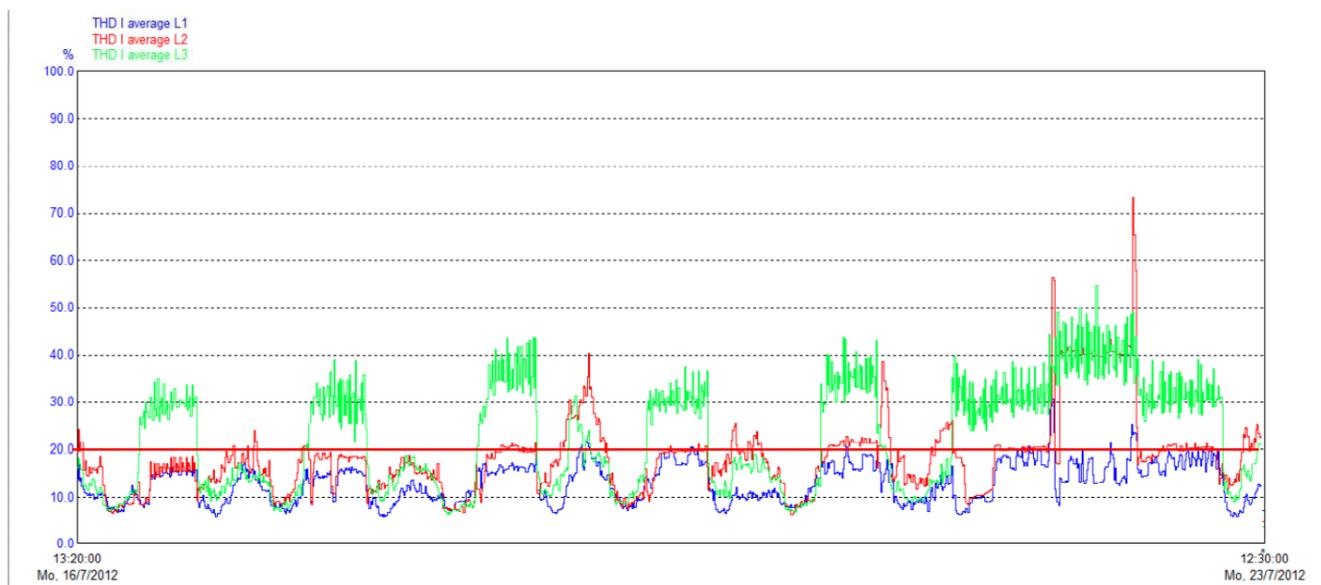


Figura 6.3.18- THD Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de armónicas de voltaje, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. En pequeños períodos cortos de tiempo sobrepasa los límites $> 8\%$ esto es debido a un comportamiento de la carga no lineal instalada pero no como crítico. Ver Fig. 6.3.19.

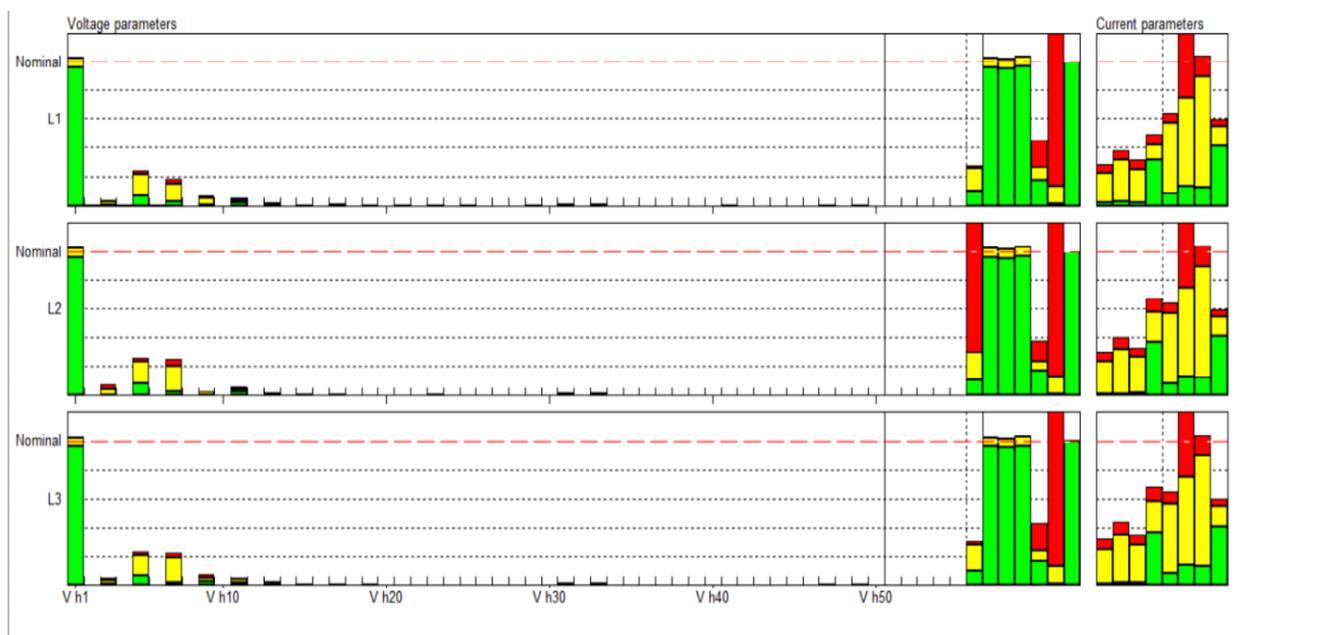


Figura 6.3.19- Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se examina la gráfica de armónicas de corriente, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. En pequeños períodos cortos de tiempo sobrepasa los límites >20% permisibles esto es debido a un comportamiento de la carga no léneal instalada pero no como crítico. Ver Fig. 6.3.20.

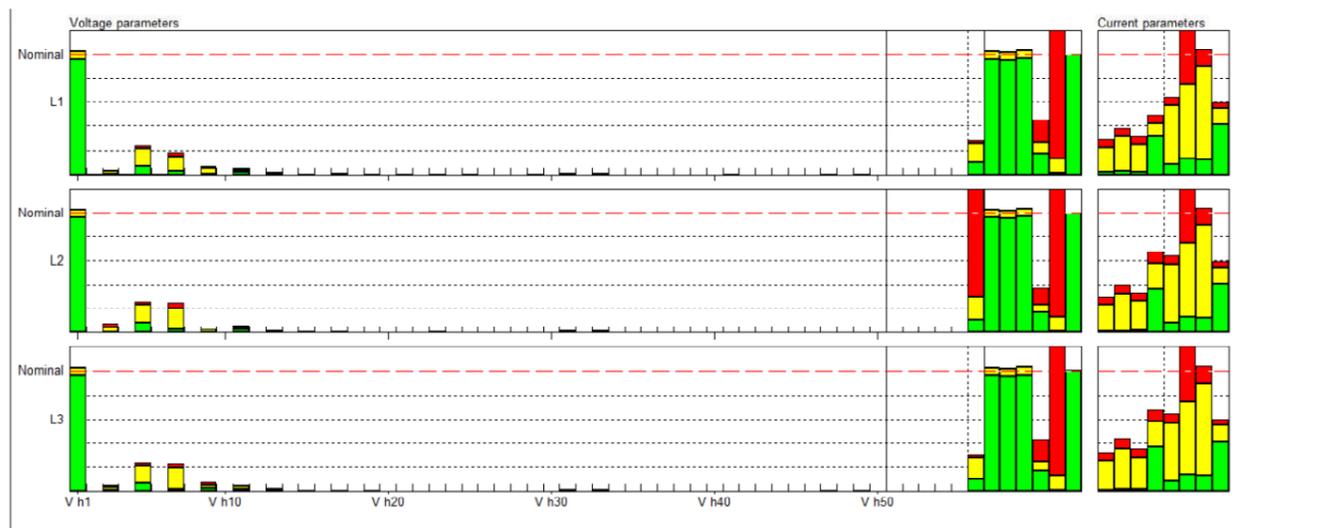


Figura 6.3.20- Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de Potencia total, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 368 KW. Ver Fig. 6.3.21.

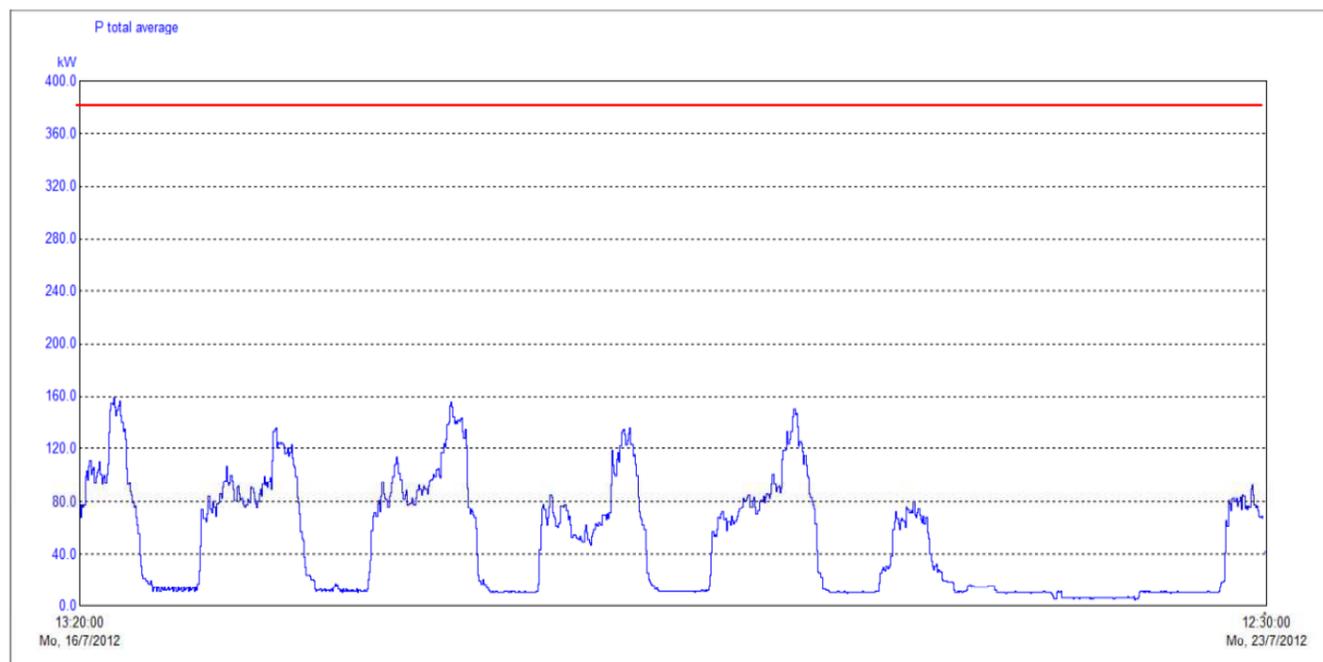


Figura 6.3.21- Potencia total – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de eventos con problemas, Ver Fig. 6.3.22 concluyendo que existen problemas como:

- 1) Interrupciones eléctricas
- 2) Flicker de severidad de corta duración.

El principal problema es producto de la energía eléctrica entregada por el proveedor del servicio eléctrico. Por lo que se recomienda tener sistemas de UPS para evitar que los equipos de computación se apaguen o se dañen. Además se observa en la gráficas que existe un factor de potencia bajo en períodos mayores de 10 minutos, existe desbalance de corriente. Por lo que es necesario mejorar el banco de capacitores y balancear las cargas de acuerdo a un plano eléctrico de la instalación.

Voltage average value [V] limit value: 127.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no
Voltage Max value [V] limit value: 127.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no
Voltage Min value [V] limit value: 127.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
18/07/2012 22:20:00	108.64	120.80	121.22
Flicker Pst [Pst] limit value: 1.00			
Date time	L1	L2	L3
18/07/2012 22:20:00	1.010	0.642	0.794
Flicker Plt [Plt] limit value: 1.00			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no
Unbalance V [%] limit value: 2.00			
Date time		no	
frequency [Hz] limit value: 60Hz +/- 1% - Data from interval			
Date time		no	
THD V [%] limit value: 8.00			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Figura 6.3.22- Eventos con problemas – Fac. Jurisprudencia
Fuente: Autores

CAPITULO 6

ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

6.1 CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS PUNTOS DE RECEPCIÓN

Para el análisis de calidad de energía de la Universidad se consideró seis puntos de recepción de energía eléctrica porque de las tres celdas de media tensión que posee el sistema eléctrico del campus universitario se escogieron los puntos de recepción con las cargas más críticas de acuerdo al diagrama unifilar, debido a que en los demás ramales existen más transformadores. Los puntos de recepción son los siguientes: (Ver Fig. 6.1.1)

- 1) Edificio principal de la UCSG
- 2) Facultad de Jurisprudencia
- 3) Biblioteca de la UCSG
- 4) Edificios CEIS
- 5) Facultad de Empresariales
- 6) Facultad de Economía



Figura 6.1.1- Ubicación de los puntos de medición de energía
Fuente: www.ucsg.edu.ec

Se procede a la instalación de equipo de acuerdo al siguiente diagrama de conexión ver Fig. 6.1.2. Esta conexión es utilizada para todas las mediciones.

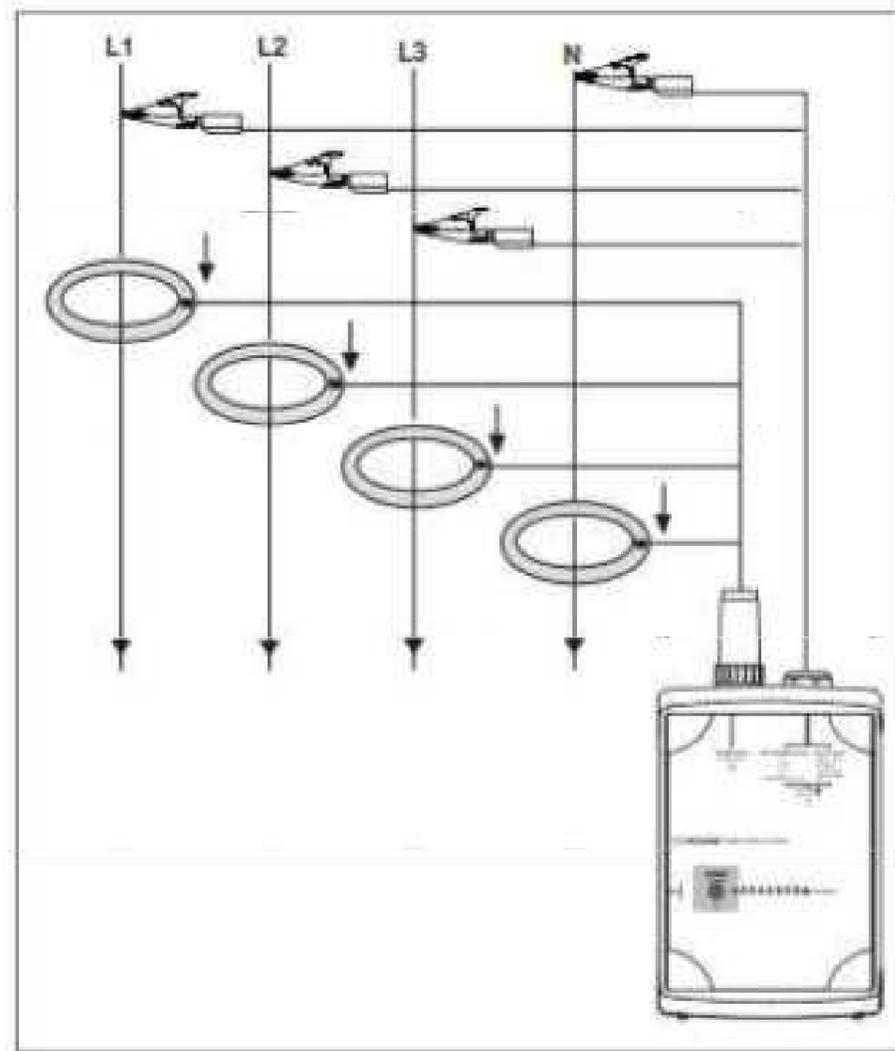


Figura 6.1.2- Diagrama de conexión de 4 Hilos en Estrella
Fuente: Manual de Uso de Fluke 1744

6.2 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO PRINCIPAL

Se procedió con la instalación del equipo por un período de siete días de acuerdo a la normativa No. CONELEC-004/01, basada en la norma internacional EN 50160.

Se verifica la configuración del equipo Fluke 1744, para la medición de calidad de energía eléctrica ver Fig. 6.2.1. Se utiliza el programa PQ log Versión 2.2.2.

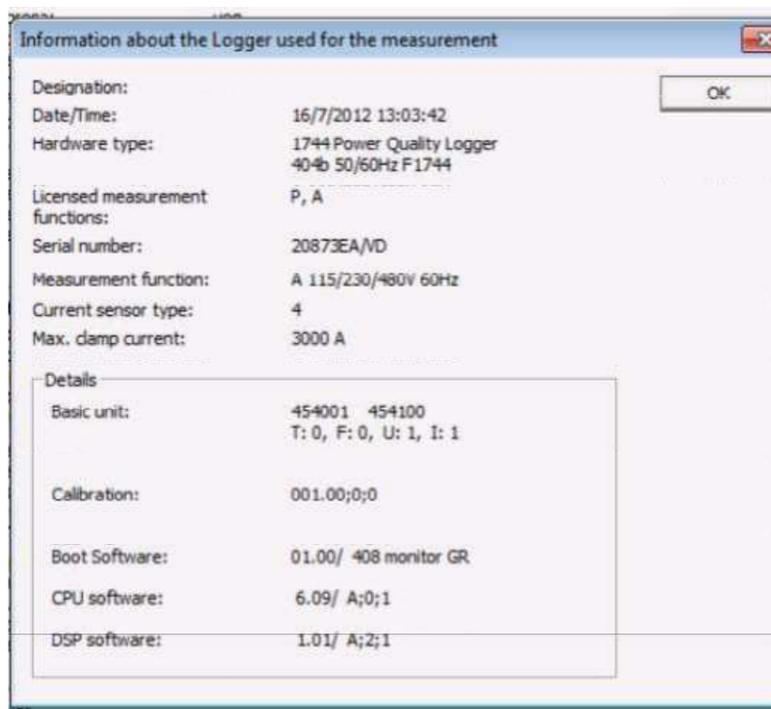


Figura 6.2.1- Configuración de equipo Fluke 1744
Fuente: Autores

Se empieza a programar el equipo para proceder con registro de las mediciones de energía eléctrica acuerdo a la placa de datos del transformador de distribución del punto a medir. Ver Fig. 6.2.2.

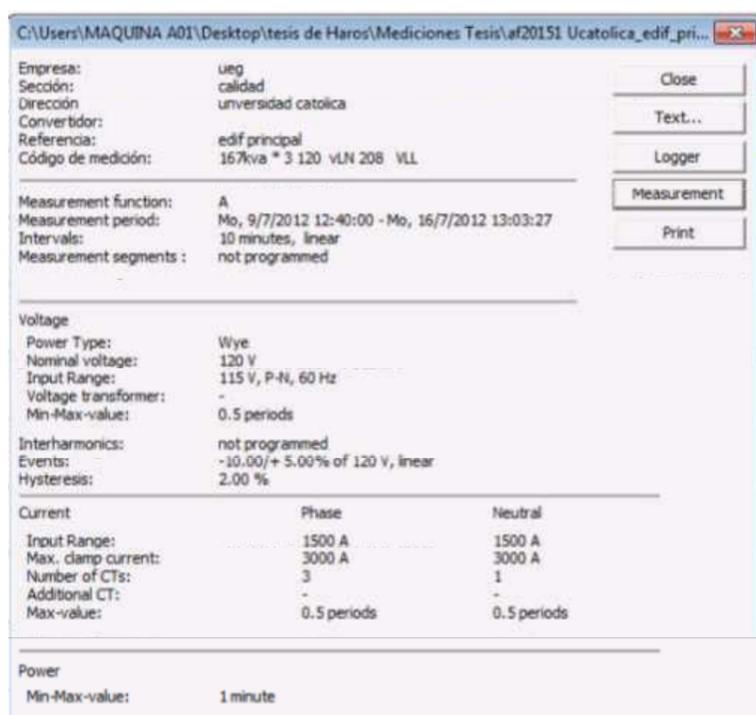


Figura 6.2.2- Programación de equipo Fluke 1744 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se instaló el equipo por un período mayor a siete días desde el 9 de Julio a las 12:40 hasta el 16 de Julio hasta las 13:03. Se procede a retirar el equipo y descargar la información registrada en este período a través del programa PQ Log de la marca Fluke.

Se empieza el análisis de las variables eléctricas, a continuación mostramos el voltaje de la línea 1, Ver Fig. 6.2.3. Se observa que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$.

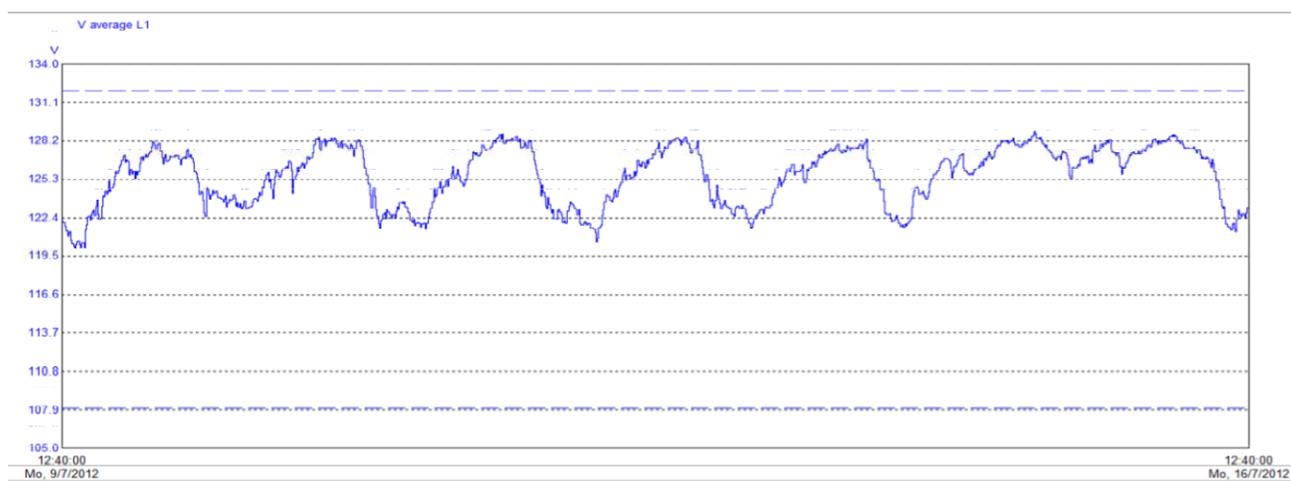


Figura 6.2.3- Voltaje de L1 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de Voltaje de la línea 2, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.2.4.

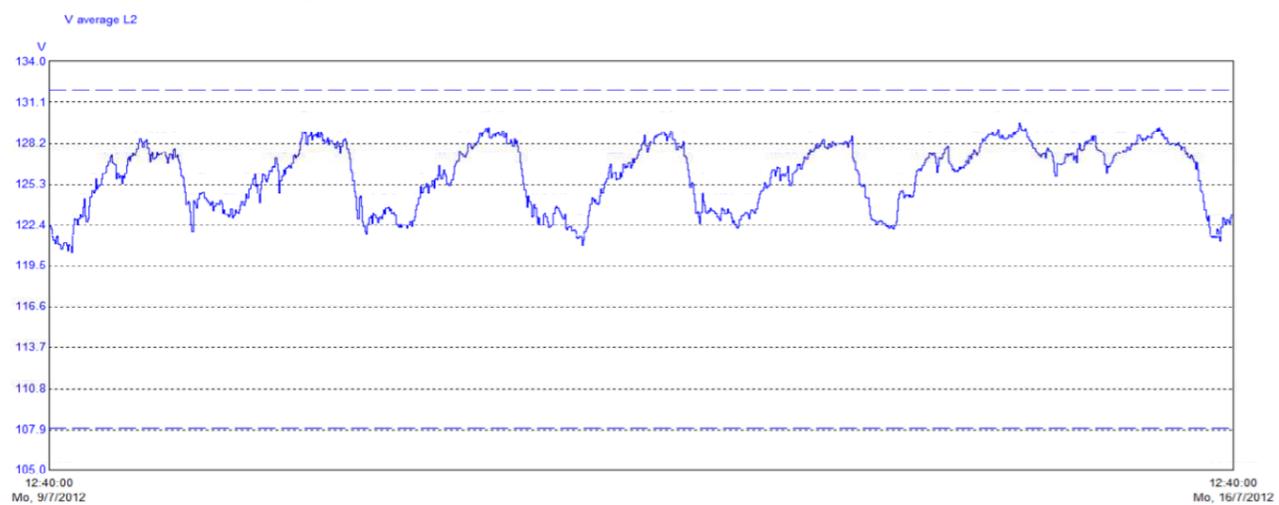


Figura 6.2.4- Voltaje de L2 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de Voltaje de la línea 3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.2.5.

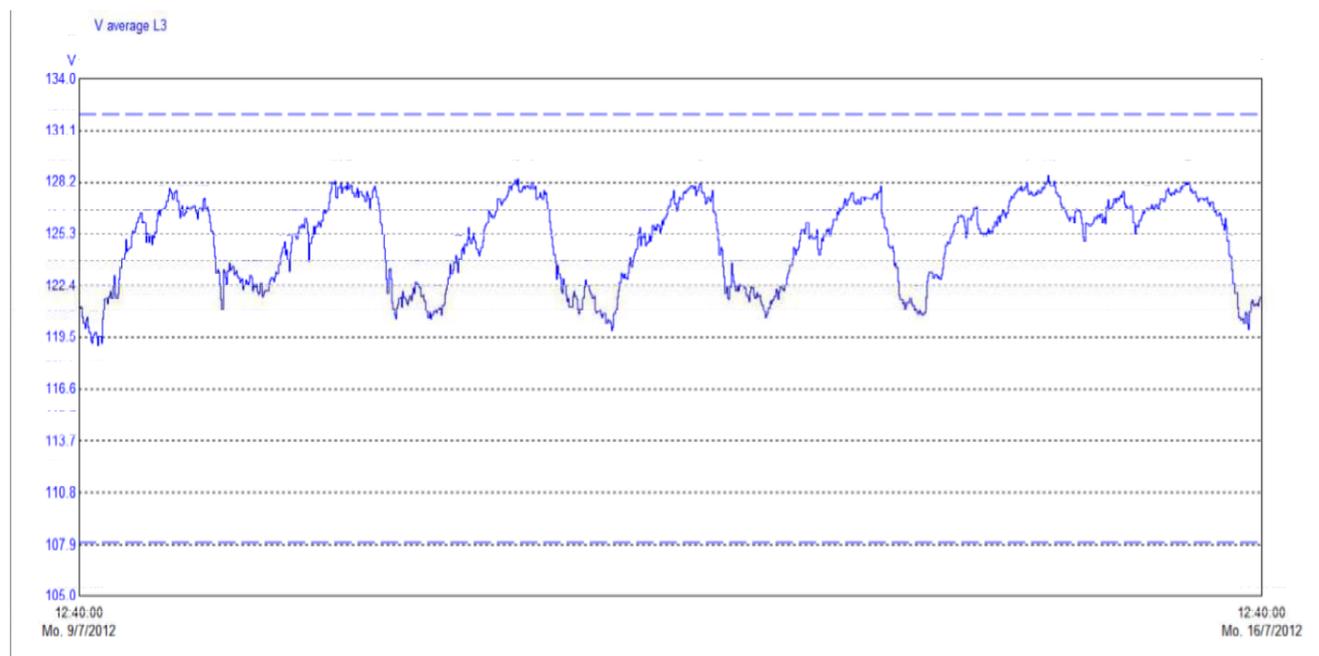


Figura 6.2.5- Voltaje de L3 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se examina la gráfica de Voltaje Máximo de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.2.6.

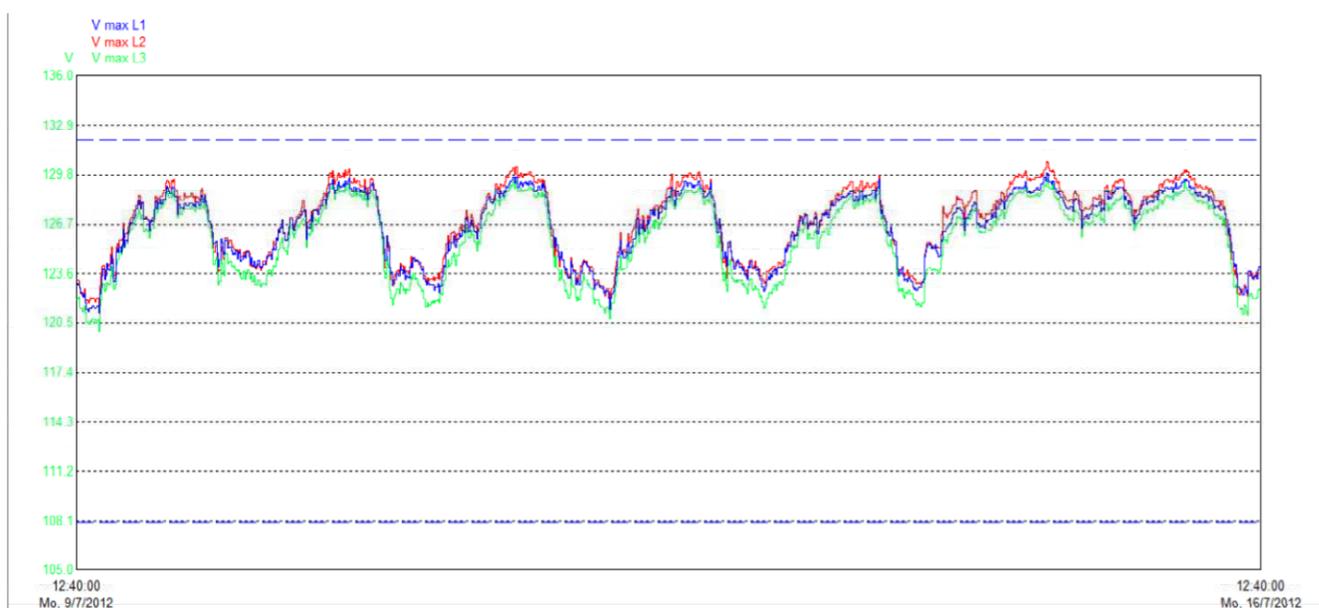


Figura 6.2.6- Voltaje Máximo de L1, 2, 3 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Voltaje Min de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje está fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están fuera $\pm 10\%$. Se produjo una falla por parte del proveedor del suministro eléctrico que generó un nivel de voltaje por debajo de 60 VAC en las tres líneas, se recomienda el uso de sistemas de UPS para sistemas electrónicos y de computación que se pueden ver afectados por este tipo de fallas. Ver Fig. 6.2.7.

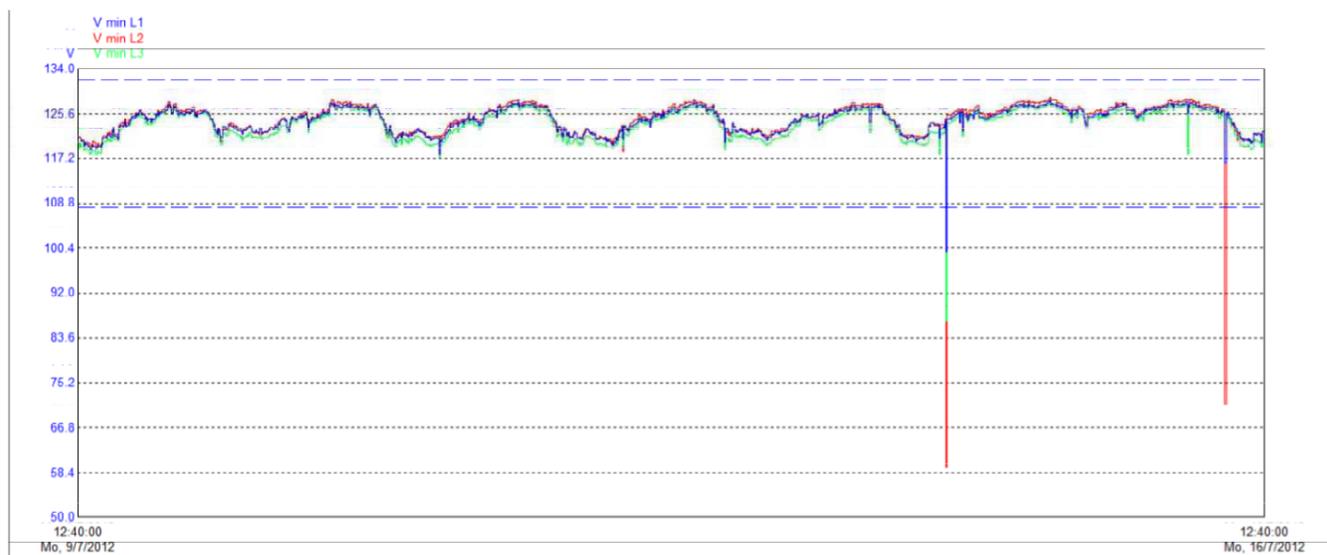


Figura 6.2.7- Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de Voltaje de Línea a Línea de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig.6.2.8.

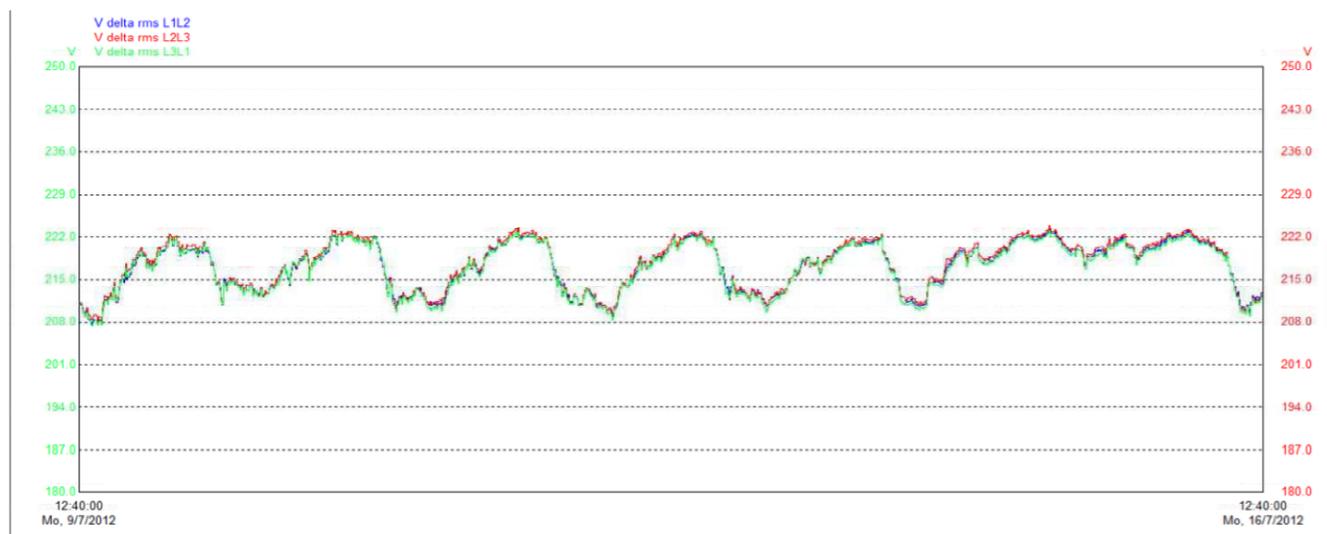


Figura 6.2.8- Voltaje Línea a Línea – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de THD Voltaje de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las tensiones armónicas promedio del THD de la tensión referido a U_n (tensión nominal normalizada) en cada ciclo durante 10 min $< 8\%$. Ver Fig. 6.2.9.

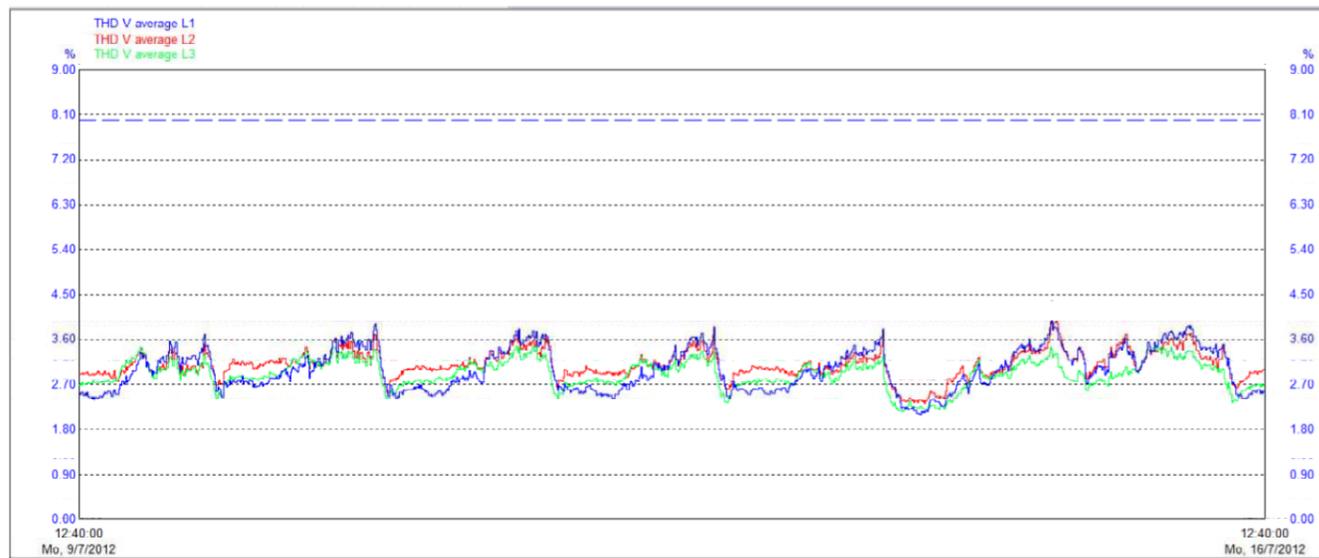


Figura 6.2.9- THD Voltaje – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se observa la gráfica del desbalance de Voltaje, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el desequilibrio de la tensión promedio de la U_{inv} / U_{dir} de cada ciclo durante 10 min $< 2\%$. Ver Fig. 6.2.10.

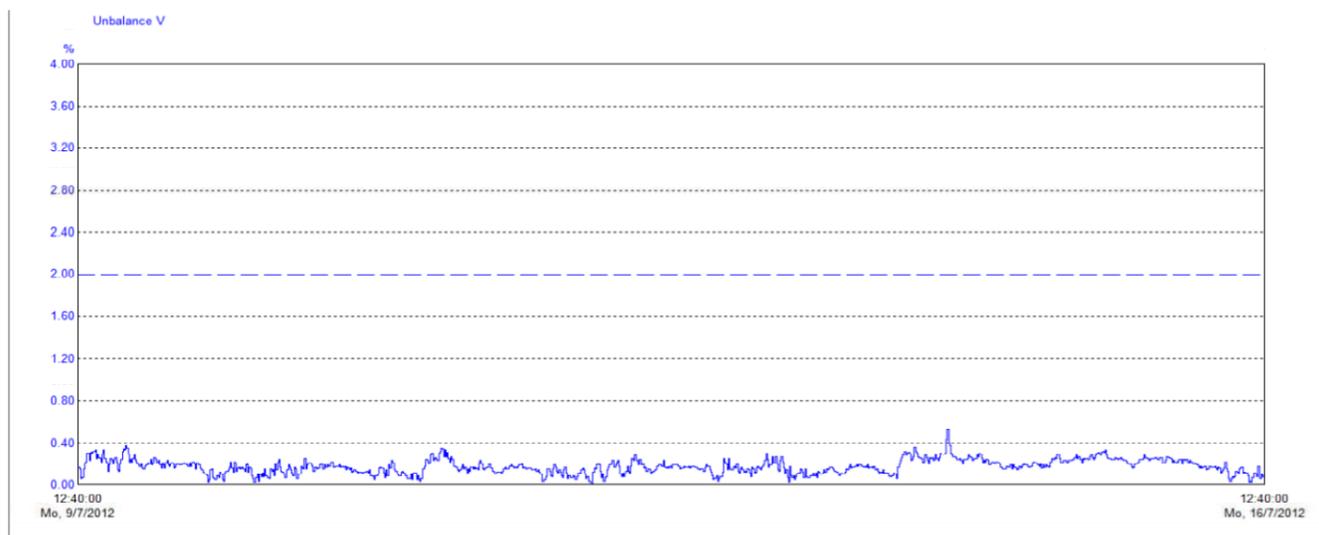


Figura 6.2.10- Voltaje Desbalance – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se examina la gráfica de flicker de severidad de larga duración, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma CEI 61000-4-15, porque el flicker Plt de larga duración (lt = long-term) (tomando el promedio variable de 12 valores de corta duración) se registra en un intervalo estándar predeterminado mayor de 10 minutos $<1\%$. Ver Fig. 6.2.11.

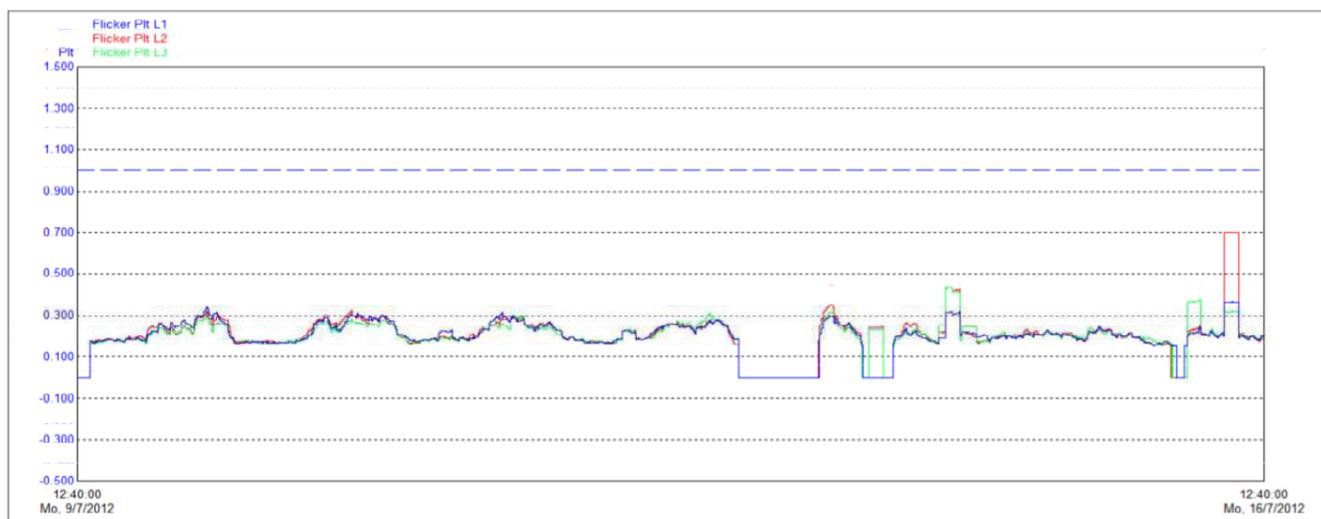


Figura 6.2.11- Flicker de severidad de larga duración – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de flicker de severidad de corta duración, concluyendo que en la línea 2 está fuera de los límites permisibles de acuerdo con la norma IEC 61000-4-15. El flicker Pst de corta duración (st =short-term) se registra en un intervalo estándar predeterminado de 10 minutos $<1\%$. Esto se debe a una falla del suministro de energía eléctrica por parte del proveedor del servicio eléctrico. Ver Fig. 6.2.12.

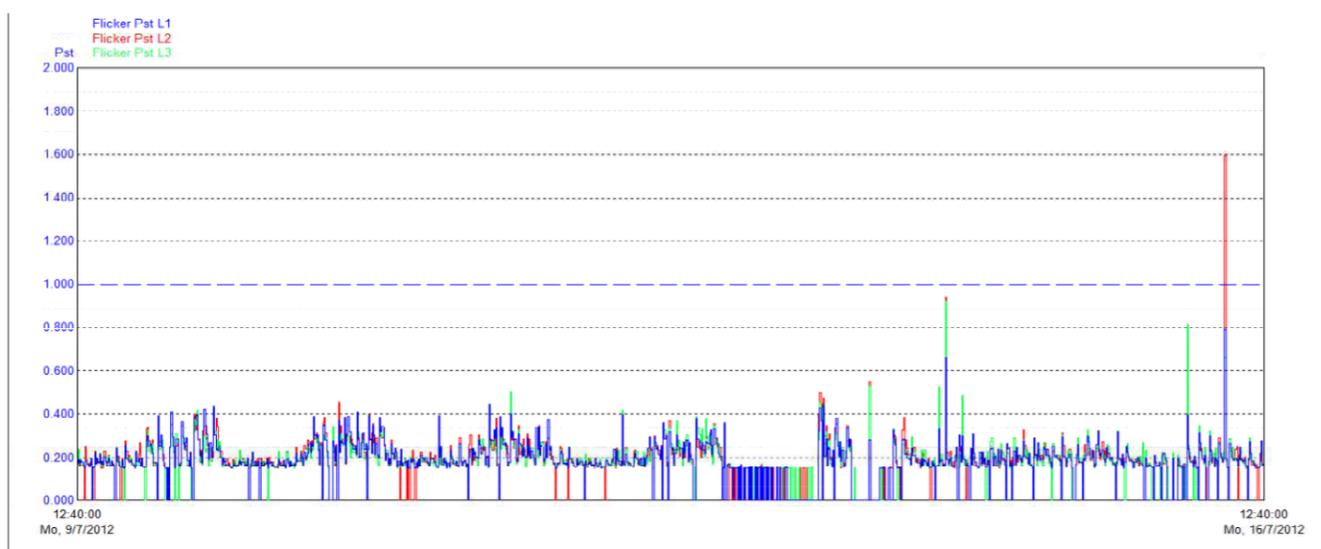


Figura 6.2.12- Flicker de severidad de corta duración – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de frecuencia, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s $\pm 1\%$. Ver Fig. 6.2.13.

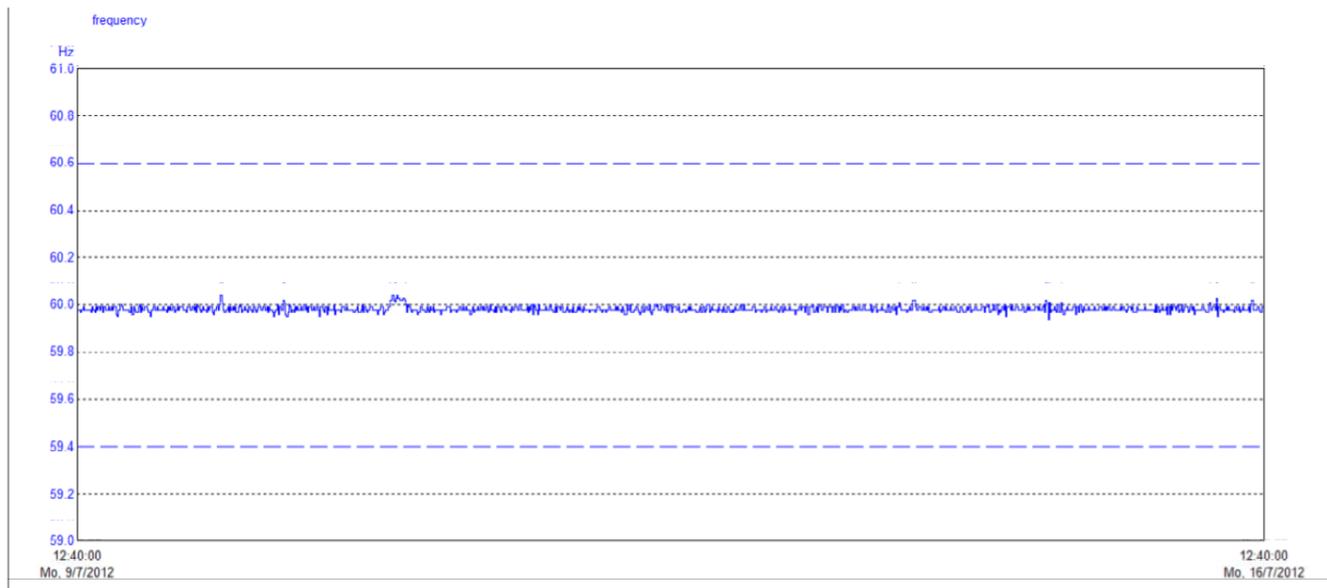


Figura 6.2.13- Frecuencia de línea – Edificio Principal

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica del factor de potencia, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Por lo que es necesario mejorar el factor de potencia mediante banco de capacitores automáticos. Ver Fig. 6.2.14.

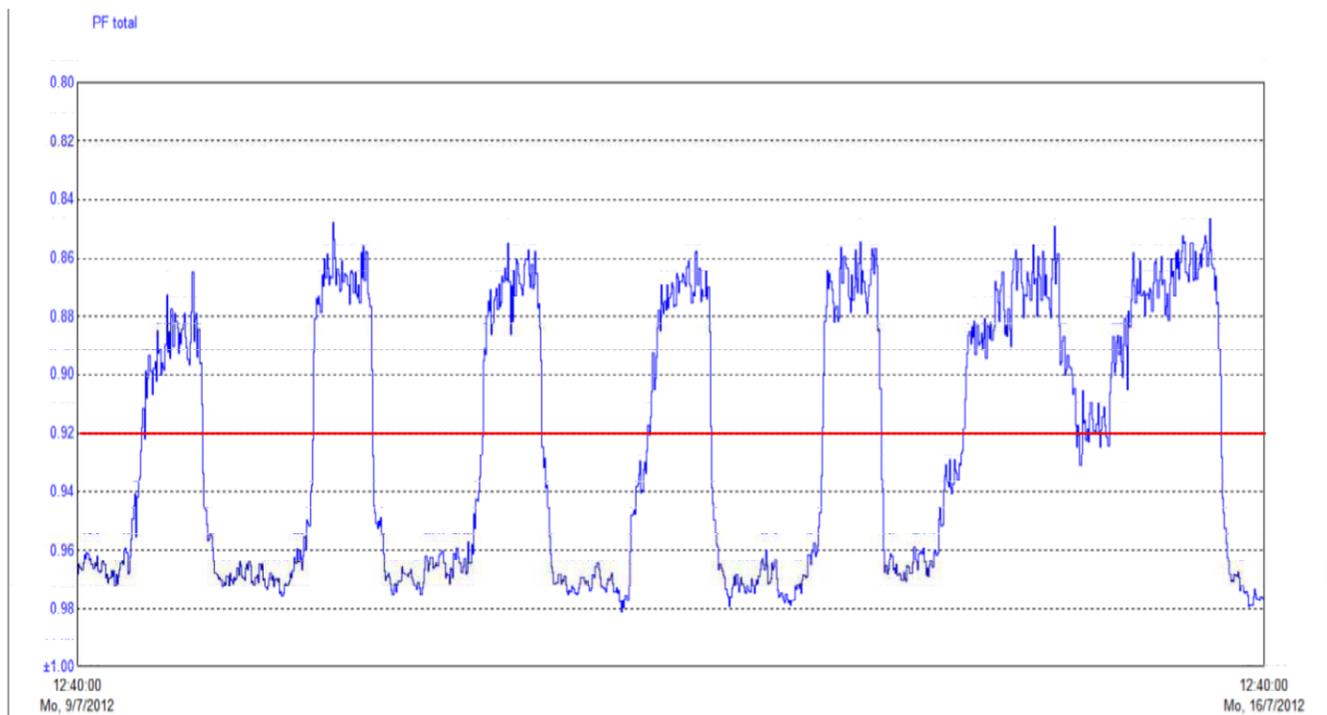


Figura 6.2.14- Factor de Potencia – Edificio Principal

Fuente: Autores

Se observa la gráfica del factor de potencia de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Por lo que es necesario mejorar el factor de potencia mediante banco de capacitores automáticos, la línea que mayor problema presenta es la línea 1. Ver Fig. 6.2.15.

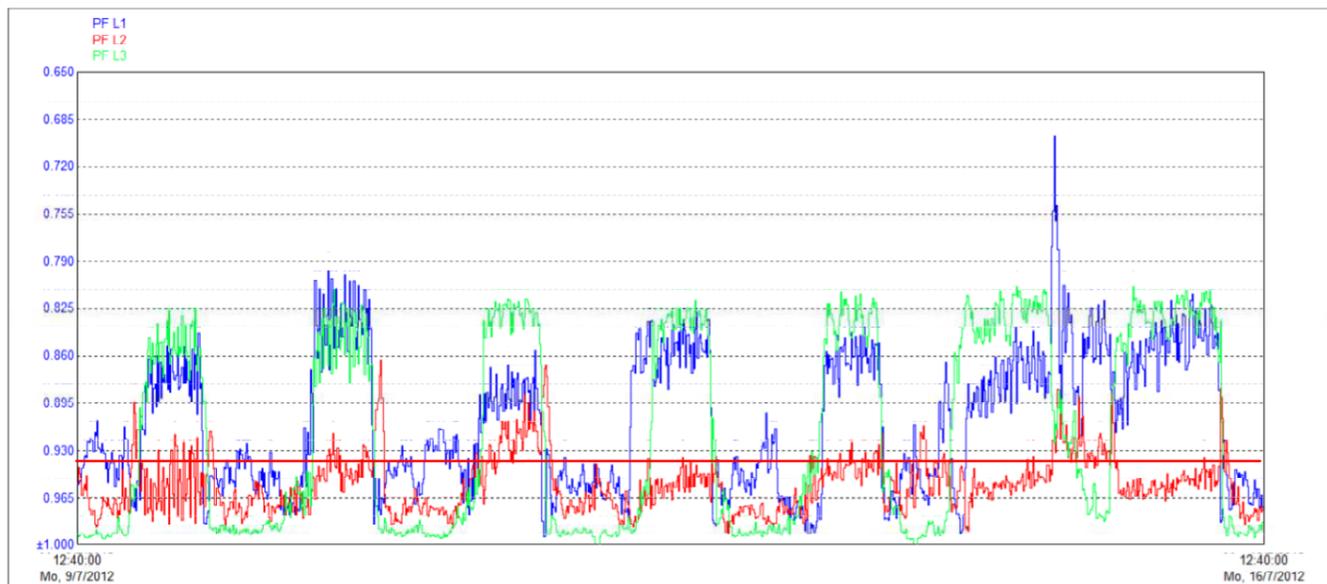


Figura 6.2.15- Factor de Potencia de Líneas 1, 2, 3 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se examina la gráfica de Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 1316 amperios. Ver Fig. 6.2.16.

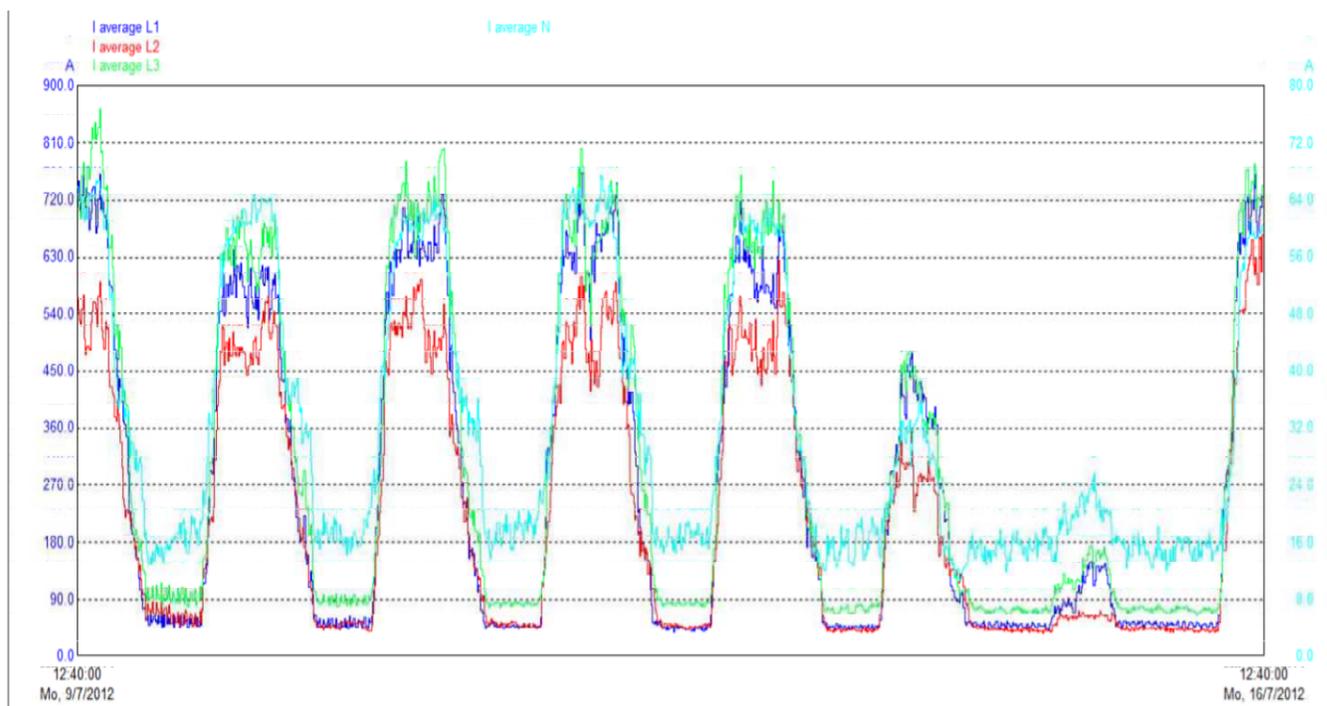


Figura 6.2.16- Corriente de Líneas 1, 2, 3 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Corriente máxima de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 1316 amperios. Ver Fig. 6.2.17.

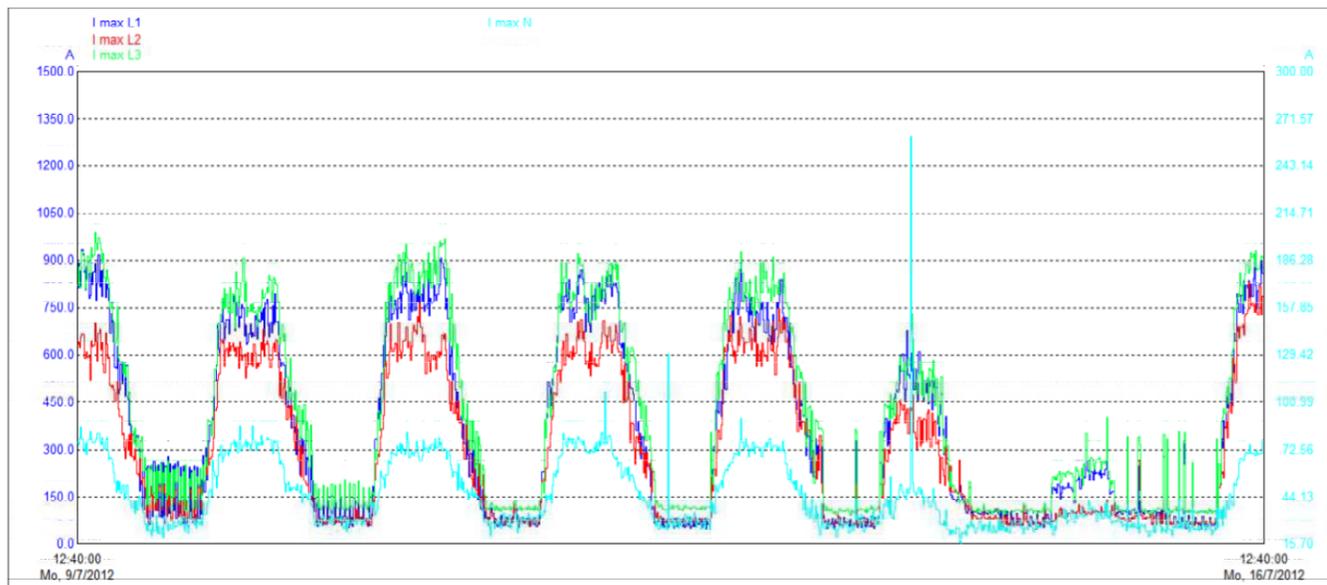


Figura 6.2.17- Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica del desbalance de corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que no se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores sobrepasa el 25% de desbalance por un período largo mayor de 15 minutos, como mejora se debe revisar las cargas para mejorar este desbalance. Ver Fig. 6.2.18.

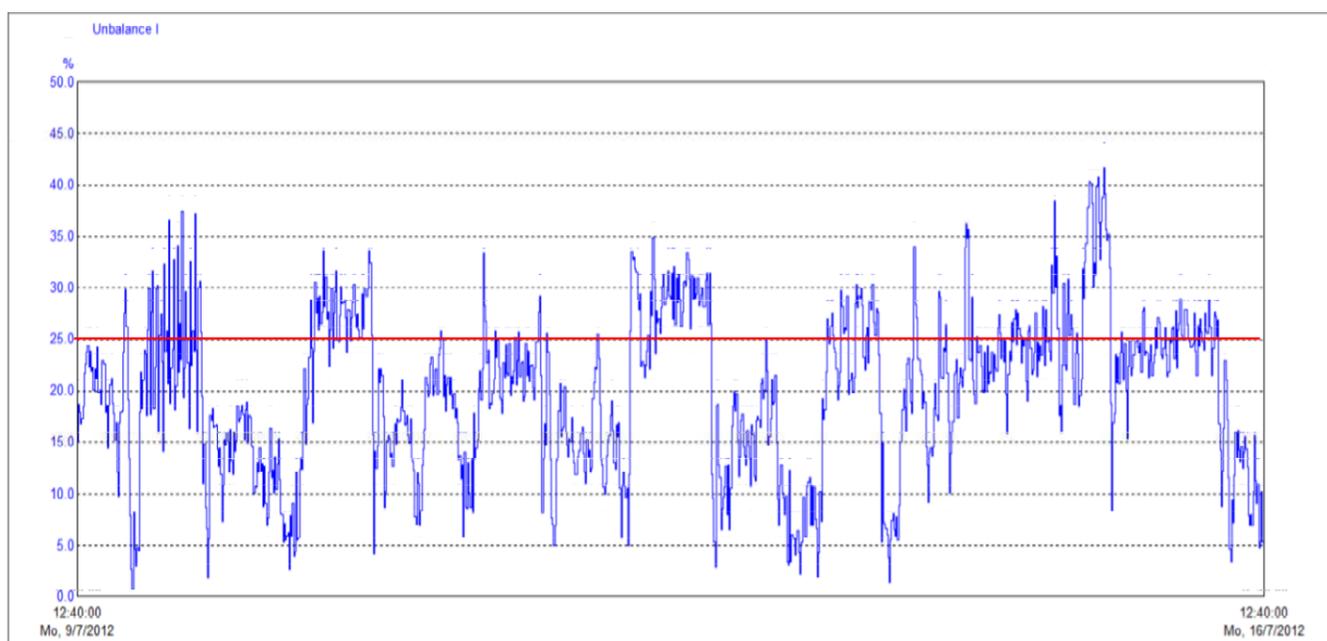


Figura 6.2.18- Desbalance de corriente – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de THD Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7 sobrepasa el 20 % de acuerdo a un comportamiento de cargas no lineales instaladas, para un mejor análisis se debe revisar el manual del fabricante de las carga principales para derminar el comportamiento de la corriente. Ver Fig. 6.2.19.

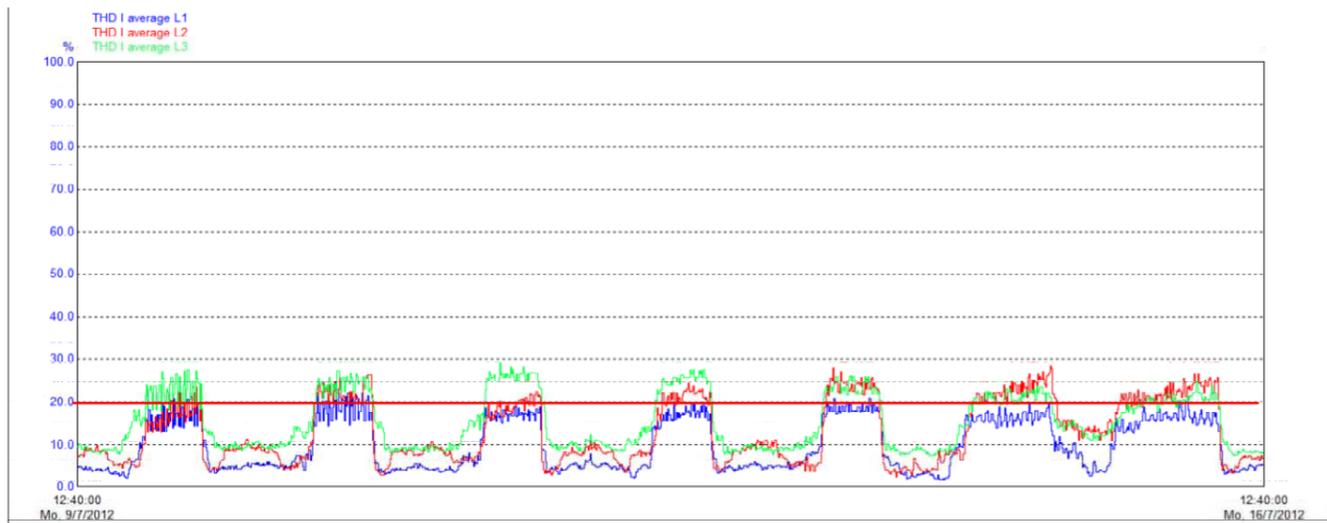


Figura 6.2.19- THD Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de armónicas de voltaje, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. En pequeños períodos cortos de tiempo sobrepasa los límites > 8 % esto es debido a un comportamiento de la carga no léneal instalada pero no como crítico. Ver Fig. 6.2.20.

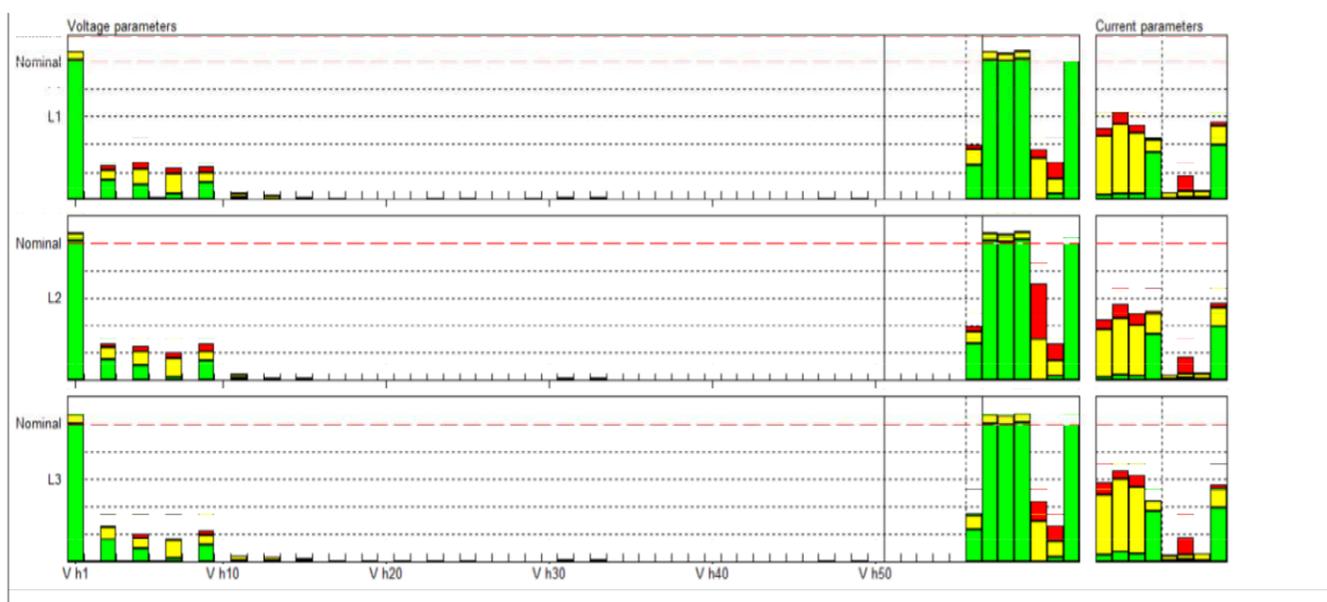


Figura 6.2.20- Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de armónicas de corriente, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. En pequeños períodos cortos de tiempo sobrepasa los límites >20% esto es debido a un comportamiento de la carga no léneal instalada pero no como crítico. Ver Fig. 6.2.21.

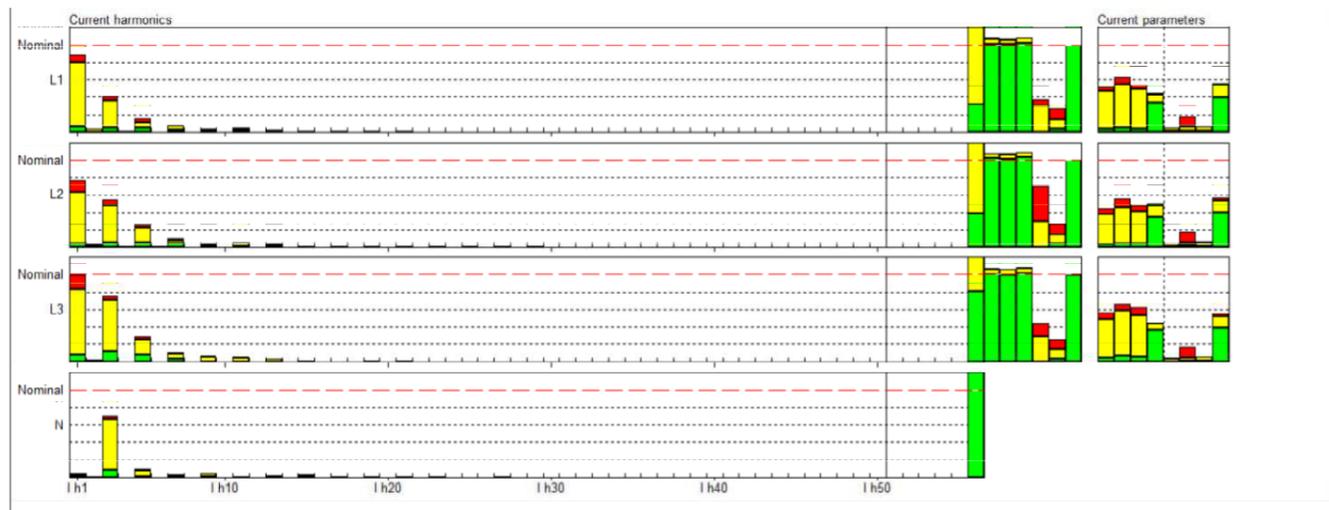


Figura 6.2.21- Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de Potencia total, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 460 KW. Ver Fig. 6.2.22.

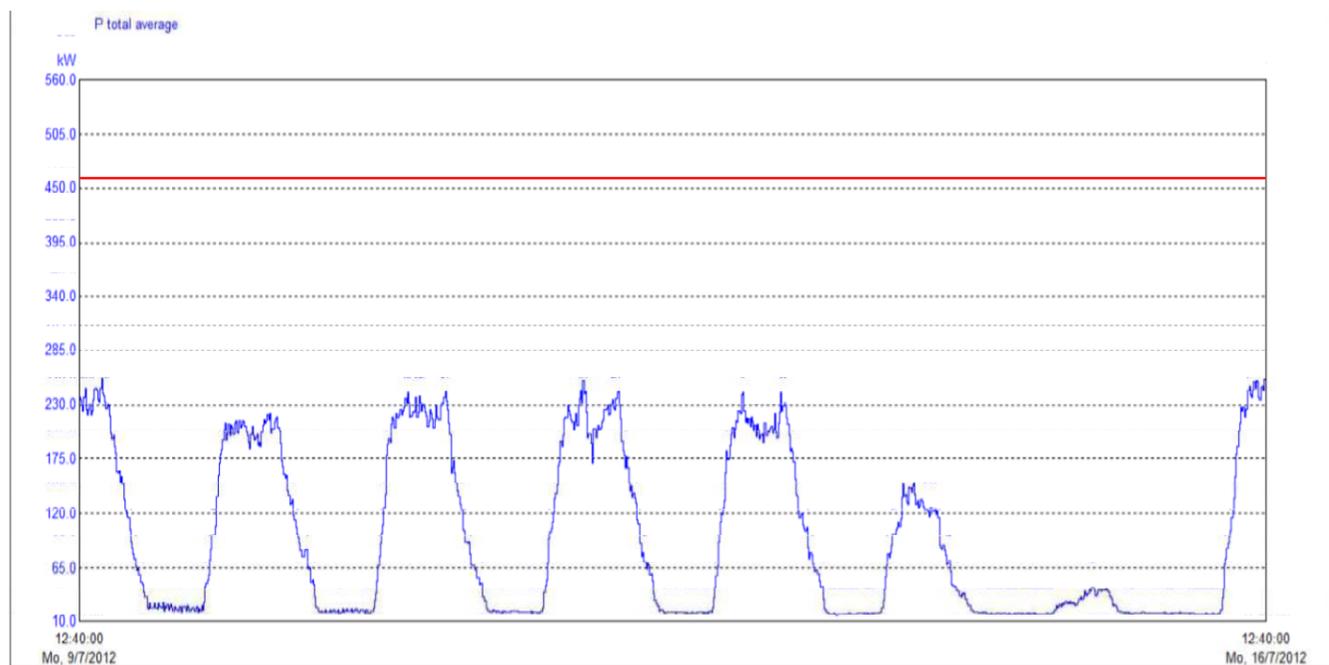


Figura 6.2.22- Potencia total – Edificio Principal
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de eventos con problemas, Ver Fig. 6.2.23 concluyendo que existen problemas como:

- 1) Interrupciones eléctricas
- 2) Flicker de severidad de corta duración.

El principal problema es producto de la energía eléctrica entregada por el proveedor del servicio eléctrico. Por lo que se recomienda tener sistemas de UPS para evitar que los equipos de computación se apaguen o se dañen. Además se observa en la gráficas que existe un factor de potencia bajo en períodos mayores de 10 minutos, existe desbalance de corriente. Por lo que es necesario mejorar el banco de capacitores y balancear las cargas de acuerdo a un plano eléctrico de la instalación.

Voltage average value [V] limit value: 120.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no
Voltage Max value [V] limit value: 120.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no
Voltage Min value [V] limit value: 120.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
14/07/2012 15:50:00	99.79	99.49	98.77
16/07/2012 07:20:00	116.67	71.20	122.21
Flicker Pst [Pst] limit value: 1.00			
Date time	L1	L2	L3
16/07/2012 07:20:00	0.782	1.694	0.662
Flicker Plt [Plt] limit value: 1.00			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no
Unbalance V [%] limit value: 2.00			
Date time	no		
frequency [Hz] limit value: 60Hz +/- 1% - Data from interval			
Date time	no		
THD V [%] limit value: 8.00			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Figura 6.2.23- Eventos con problemas – Edificio Principal
Fuente: Autores

6.4 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD

Se procedió con la instalación del equipo por un período de siete días de acuerdo a la normativa No. CONELEC-004/01, basada en la norma internacional EN 50160.

Se empieza a programar el equipo para proceder con el registro de las mediciones de energía eléctrica de acuerdo a la placa de datos del transformador de distribución del punto a medir. Ver Fig. 6.4.1.

Empresa:	ueg	
Sección:	calidad	
Dirección:	universidad catolica	
Convertidor:		
Referencia:	edif biblioteca	
Código de medición:	200 kva 127 LN	
<hr/>		
Measurement function:	A	
Measurement period:	Mo, 23/7/2012 12:40:00 - Tu, 31/7/2012 12:43:27	
Intervals:	10 minutes, linear	
Measurement segments :	not programmed	
<hr/>		
Voltage		
Power Type:	Wye	
Nominal voltage:	127 V	
Input Range:	115 V, P-N, 60 Hz	
Voltage transformer:	-	
Min-Max-value:	0.5 periods	
Interharmonics:	not programmed	
Events:	- 8.00/+ 8.00% of 127 V, linear	
Hysteresis:	2.00 %	
<hr/>		
Current		
	Phase	Neutral
Input Range:	1500 A	150 A
Max. clamp current:	3000 A	3000 A
Number of CTs:	3	1
Additional CT:	-	-
Max-value:	0.5 periods	0.5 periods
<hr/>		
Power		
Min-Max-value:	1 minute	

Figura 6.4.1- Programación de equipo Fluke 1744 - Biblioteca
Fuente: Autores

Se instaló el equipo por un período mayor a siete días desde el 16 de Julio a las 13:20 hasta el 23 de Julio hasta las 12:30. Se procede a retirar el equipo y descargar la información registrada en este período a través del programa PQ Log de la marca Fluke.

Se empieza el análisis de las variables eléctricas, a continuación mostramos el voltaje de la línea 1. Ver Fig. 6.4.2. Se observa que el voltaje se encuentra dentro de

los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$.

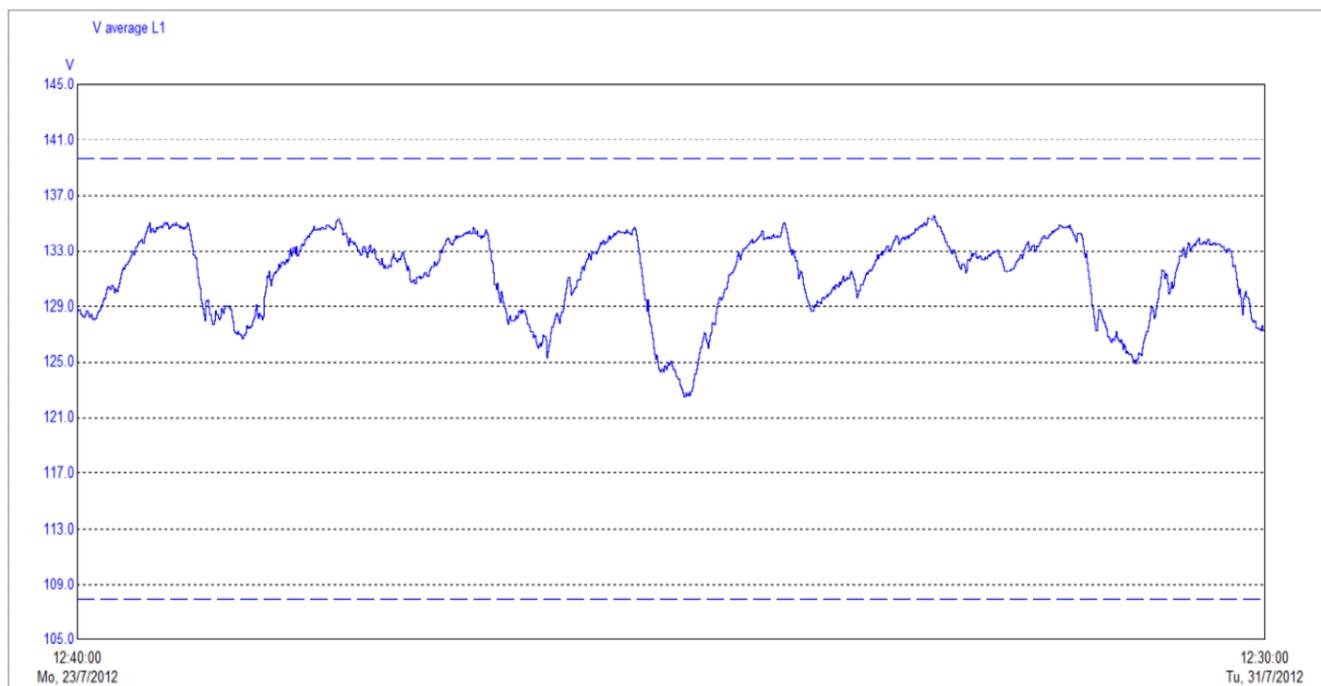


Figura 6.4.2- Voltaje de L1 - Biblioteca

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de Voltaje de la línea 2, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.4.3.

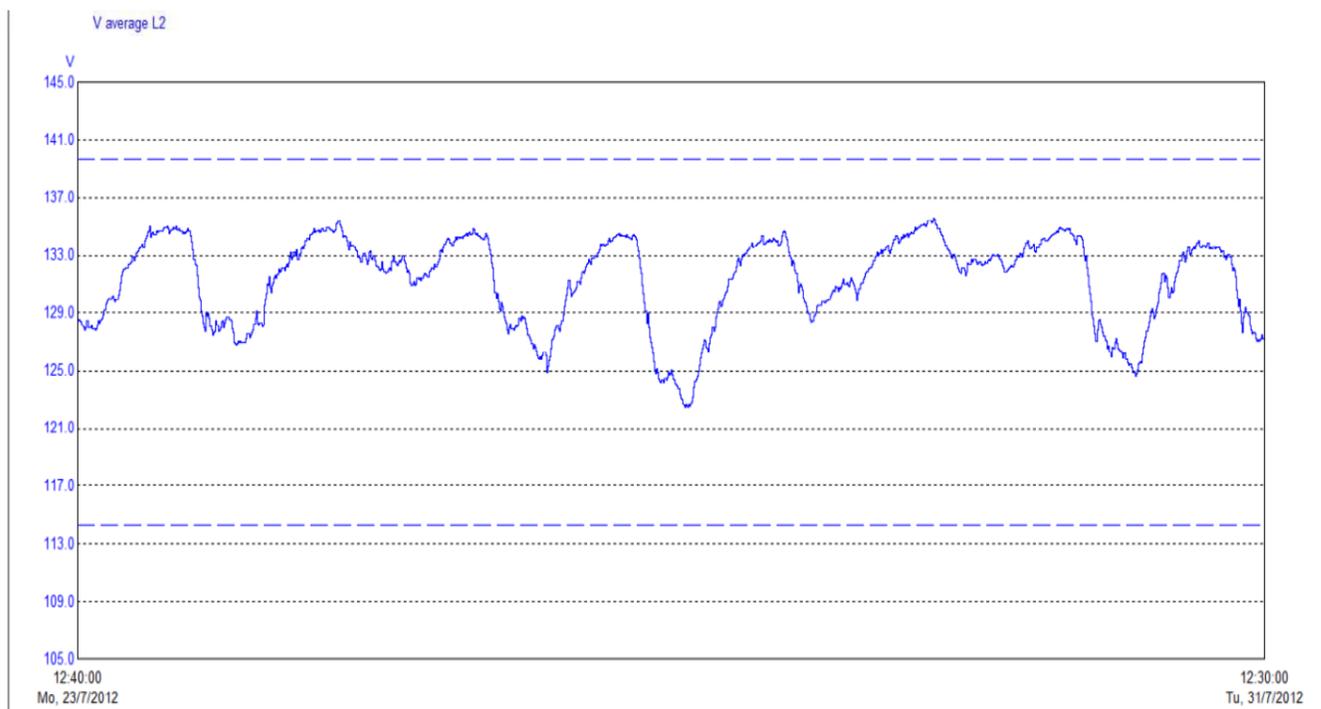


Figura 6.4.3- Voltaje de L2 - Biblioteca

Fuente: Autores

Se examina la gráfica de Voltaje de la línea 3, concluyendo que el voltaje se encuentra fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están fuera $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.4.4.

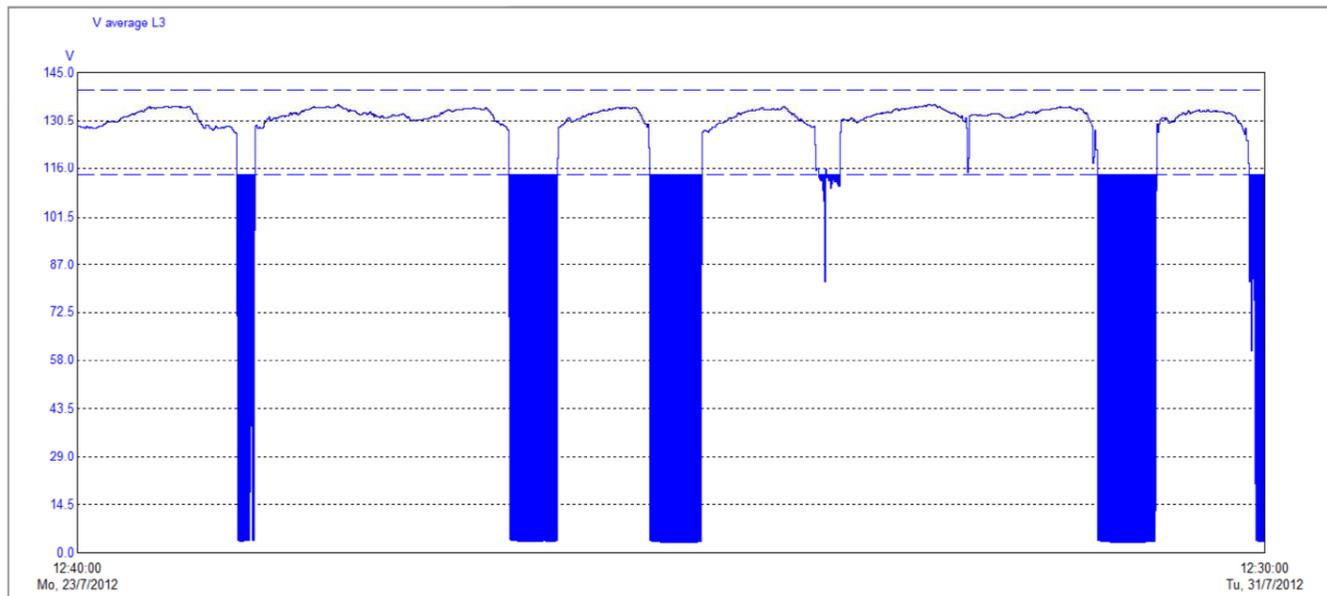


Figura 6.4.4- Voltaje de L3 - Biblioteca

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de Voltaje Máximo de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están fuera $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.4.5.

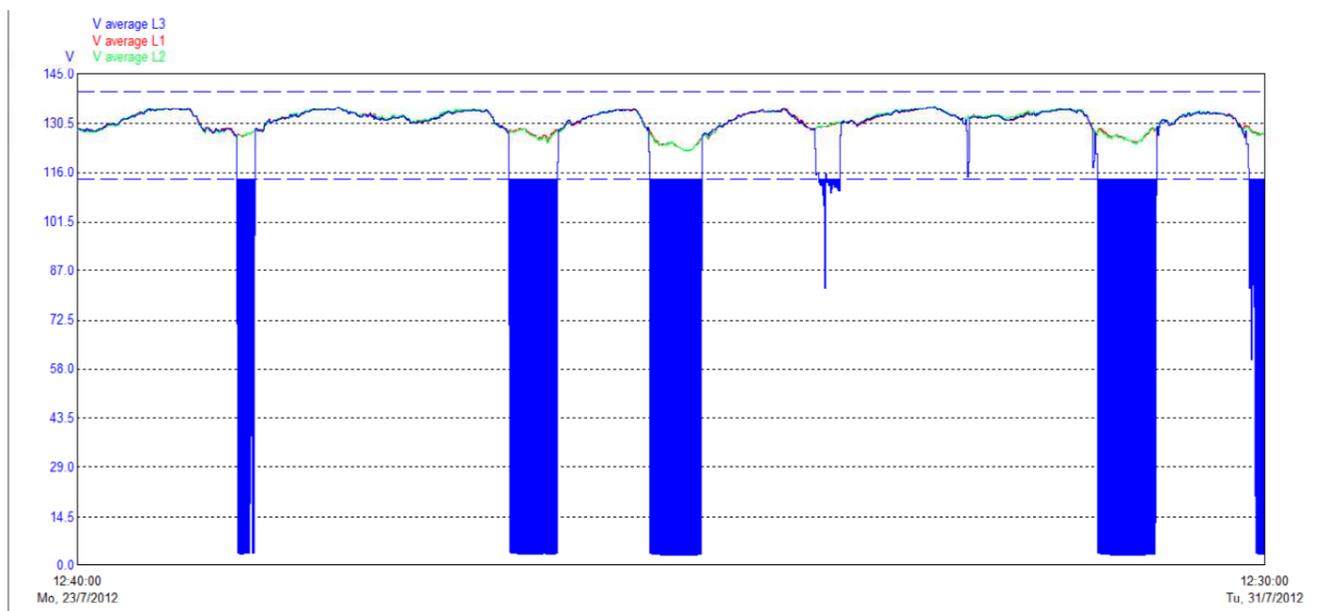


Figura 6.4.5- Voltaje Máximo de L1, 2, 3 - Biblioteca

Fuente: Autores

Se observa la gráfica de Voltaje Min de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje está fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están fuera $\pm 10\%$. Se produjo una falla por parte del proveedor del suministro eléctrico y falla interna del transformador o breaker principal que generó un nivel de voltaje por debajo de 107 VAC en las dos líneas, se recomienda el uso de sistemas de UPS para sistemas electrónicos y de computación que se pueden ver afectados por este tipo de fallas. Ver Fig. 6.4.6.

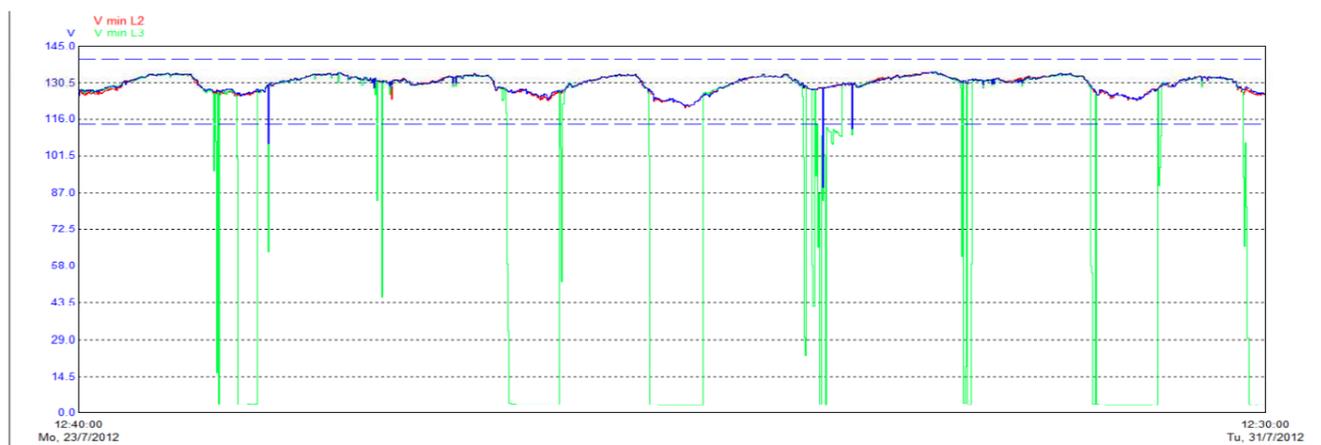


Figura 6.4.6- Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 - Biblioteca
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Voltaje de Línea a Línea de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están fuera $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.4.7.

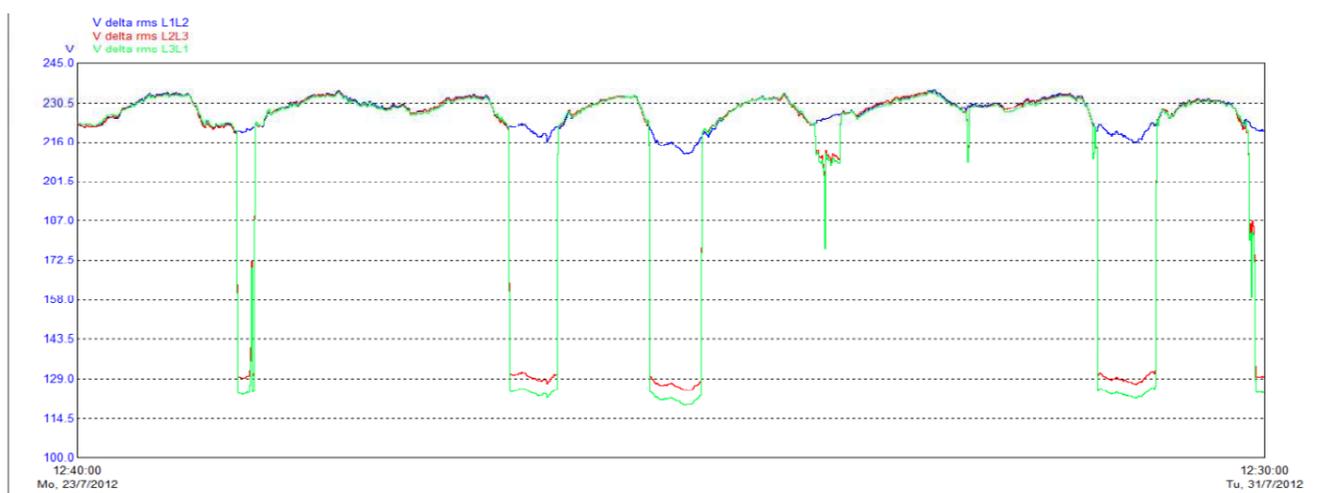


Figura 6.4.7- Voltaje Línea a Línea - Biblioteca
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de THD Voltaje de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las tensiones armónicas promedio del THD de la tensión referido a U_n (tensión nominal normalizada) en cada ciclo durante 10 min $<8\%$. Ver Fig. 6.4.8.

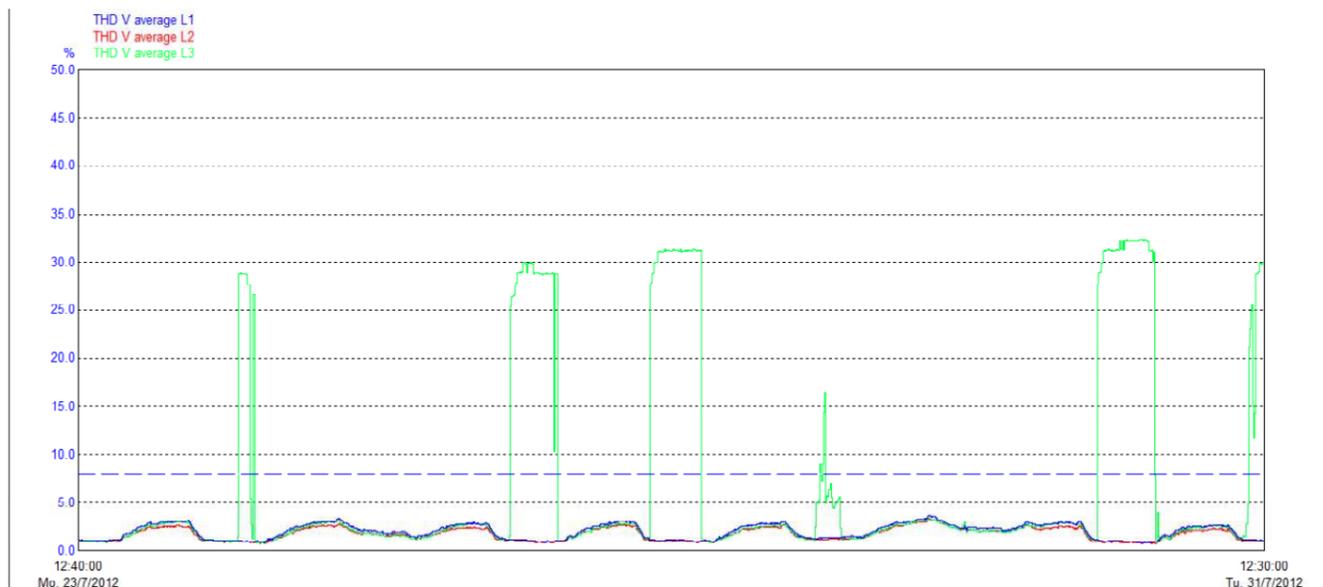


Figura 6.4.8- THD Voltaje - Biblioteca
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica del desbalance de Voltaje, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el desequilibrio de la tensión promedio de la U_{inv} / U_{dir} de cada ciclo durante 10 min $<2\%$. Ver Fig. 6.4.9.

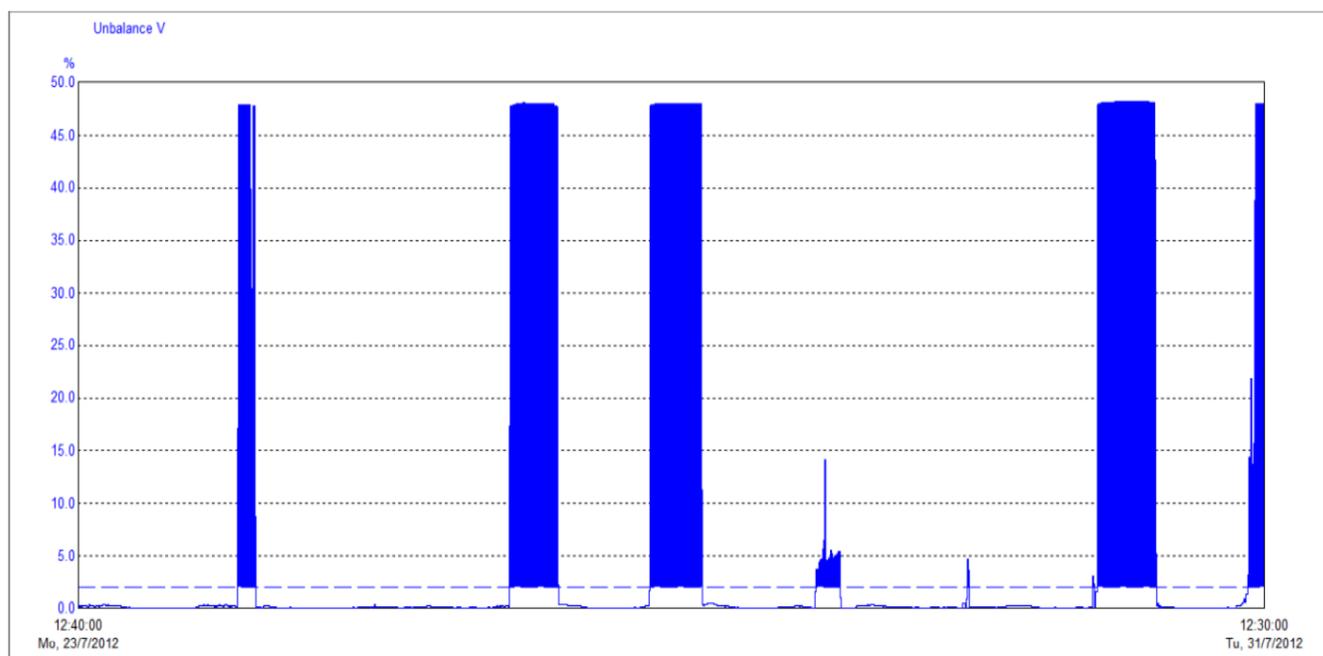


Figura 6.4.9- Voltaje Desbalance - Biblioteca
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de flicker de severidad de larga duración, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de la norma CEI 61000-4-15, porque el flicker Plt de larga duración (lt = long-term) (tomando el promedio variable de 12 valores de corta duración) se registra en un intervalo estándar predeterminado mayor de 10 minutos <1%. Ver Fig. 6.4.10.

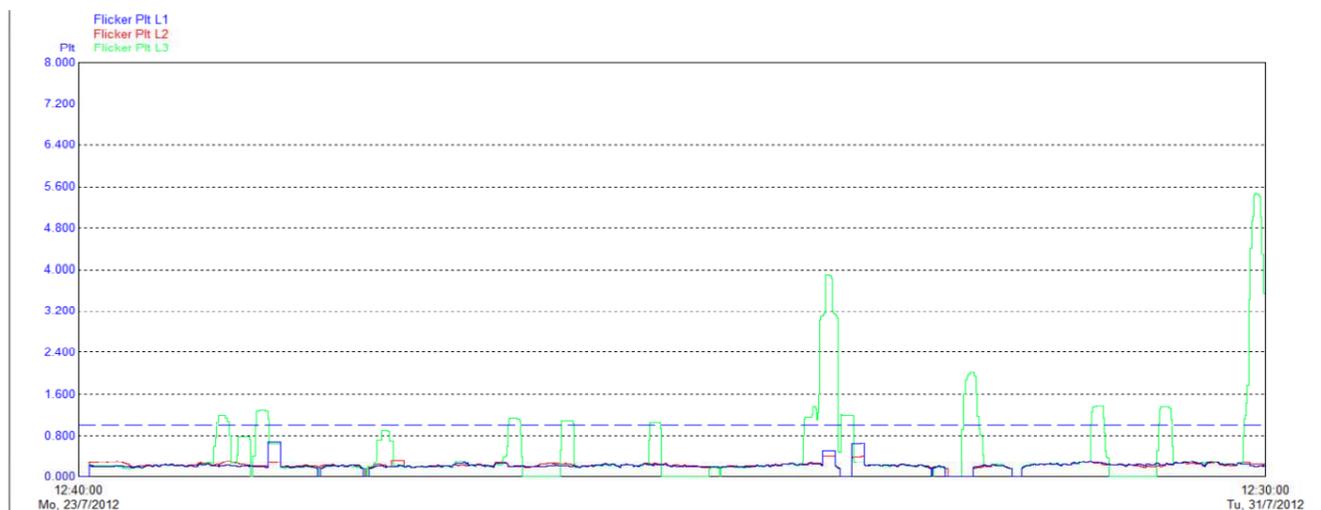


Figura 6.4.10- Flicker de severidad de larga duración - Biblioteca
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de flicker de severidad de corta duración, concluyendo que en las líneas 1 y 3 están fuera de los límites permisibles de la norma IEC 61000-4-15. El flicker Pst de corta duración (st =short-term) se registra en un intervalo estándar predeterminado de 10 minutos <1%. Esto se debe a una falla del suministro de energía eléctrica por parte del proveedor del servicio eléctrico. Fig. 6.4.11.

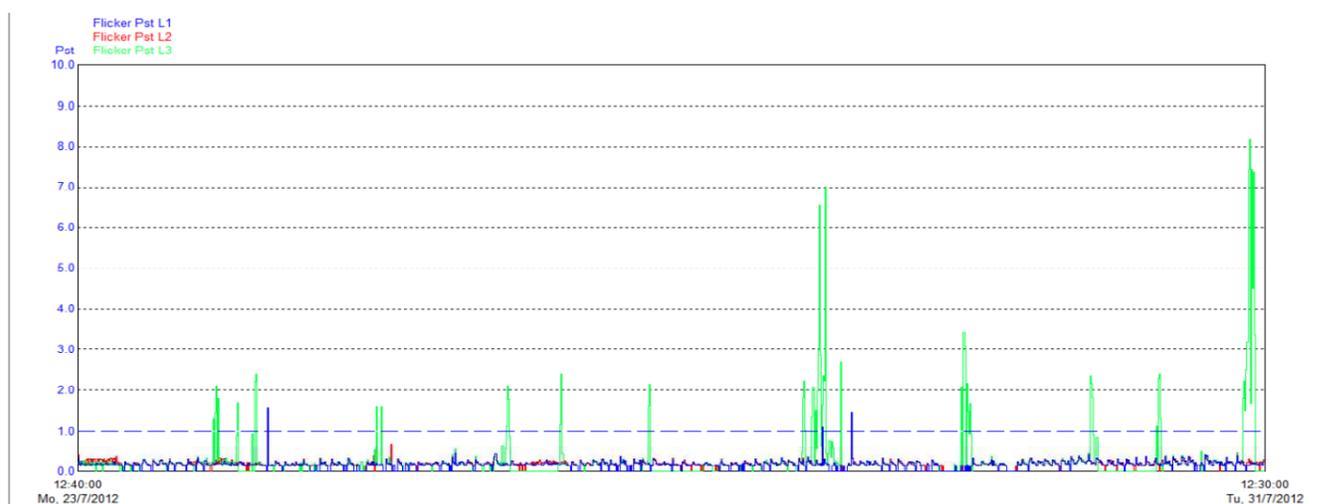


Figura 6.4.11- Flicker de severidad de corta duración - Biblioteca
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de frecuencia, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s $\pm 1\%$. Ver Fig. 6.4.12.

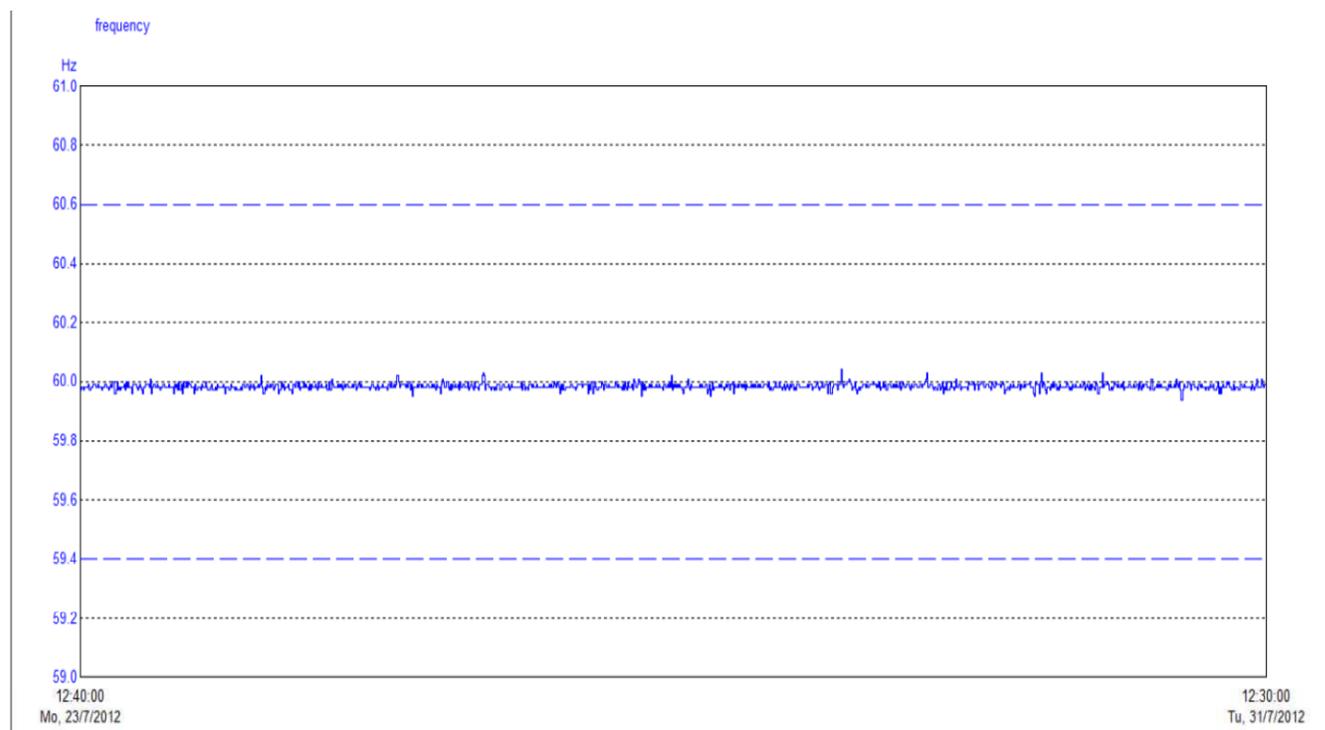


Figura 6.4.12- Frecuencia de línea - Biblioteca
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica del factor de potencia, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles del CONELEC mayor al 0.92. Ver Fig. 6.4.13.

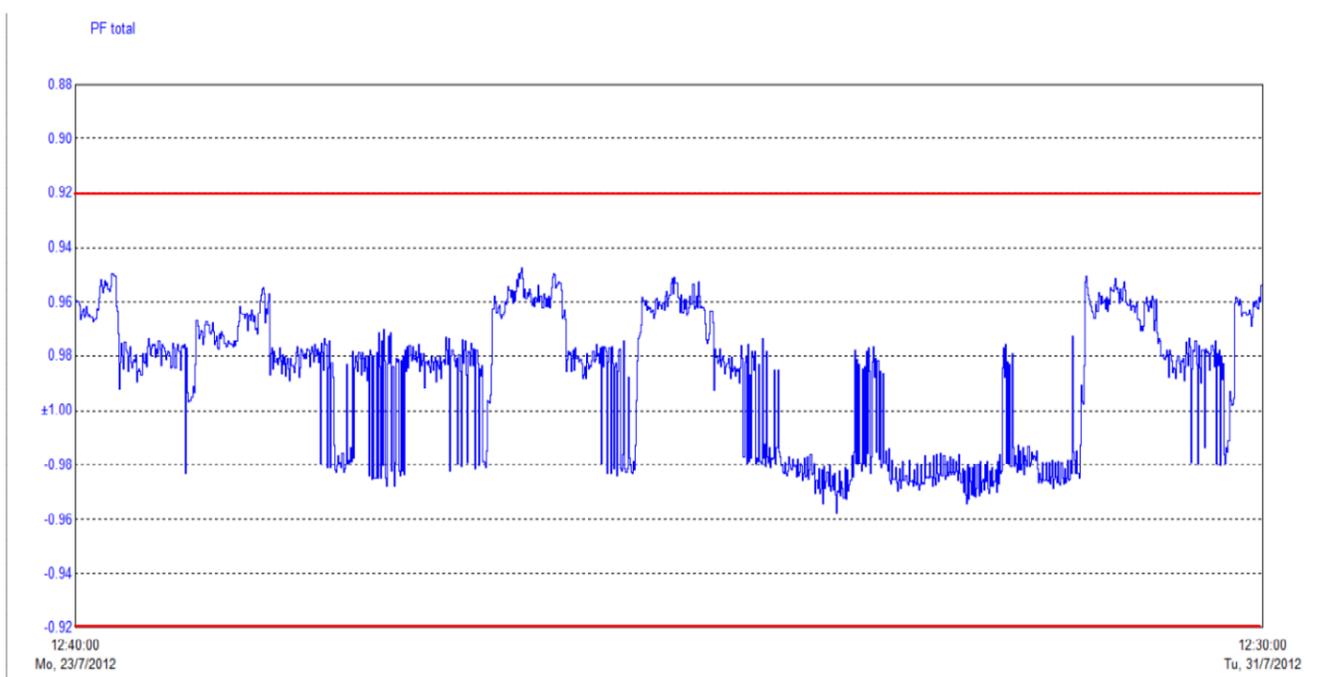


Figura 6.4.13- Factor de Potencia - Biblioteca
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica del factor de potencia de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Por lo que es necesario mejorar el factor de potencia mediante banco de capacitores automáticos, la línea que mayor problema presenta es la línea 3. Ver Fig. 6.4.14.

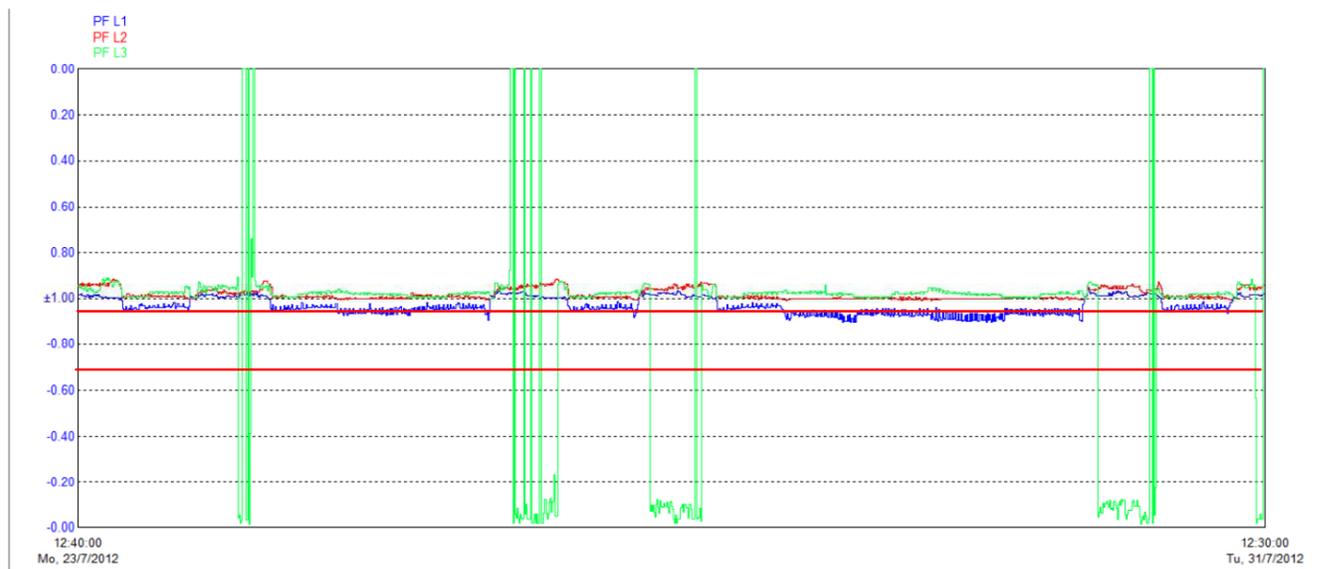


Figura 6.4.14- Factor de Potencia de líneas 1, 2, 3 - Biblioteca
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 525 amperios. Ver Fig. 6.4.15.

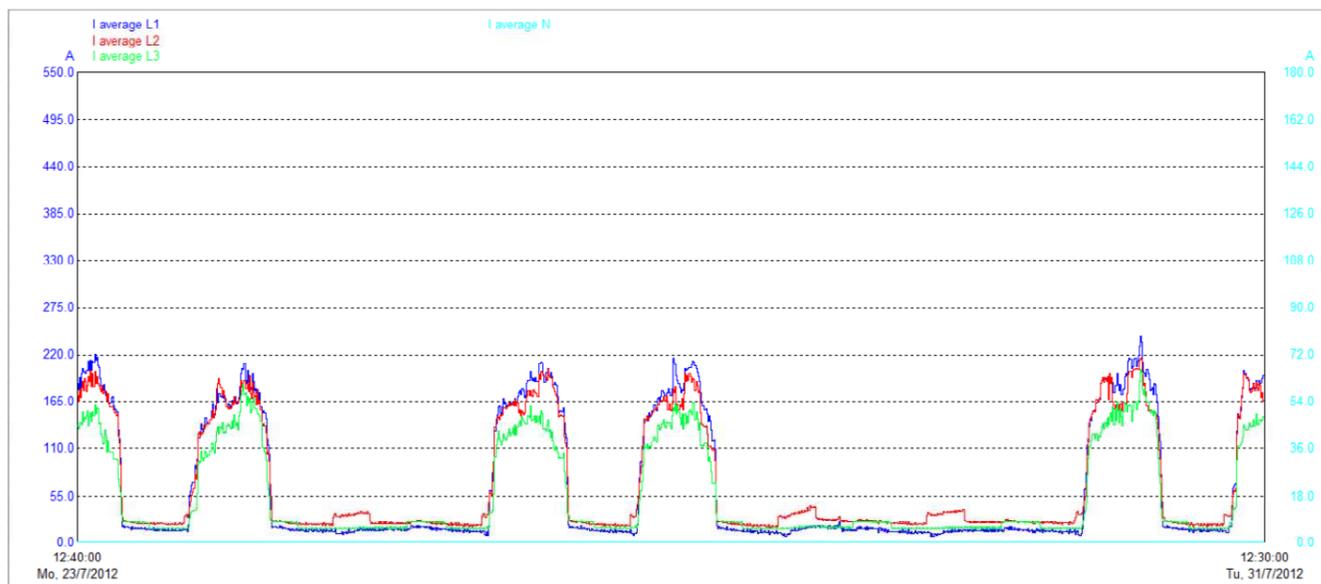


Figura 6.4.15- Corriente de Líneas 1, 2, 3 - Biblioteca
Fuente: Autores

Se examina la gráfica de Corriente máxima de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 525 amperios. Ver Fig. 6.4.16.

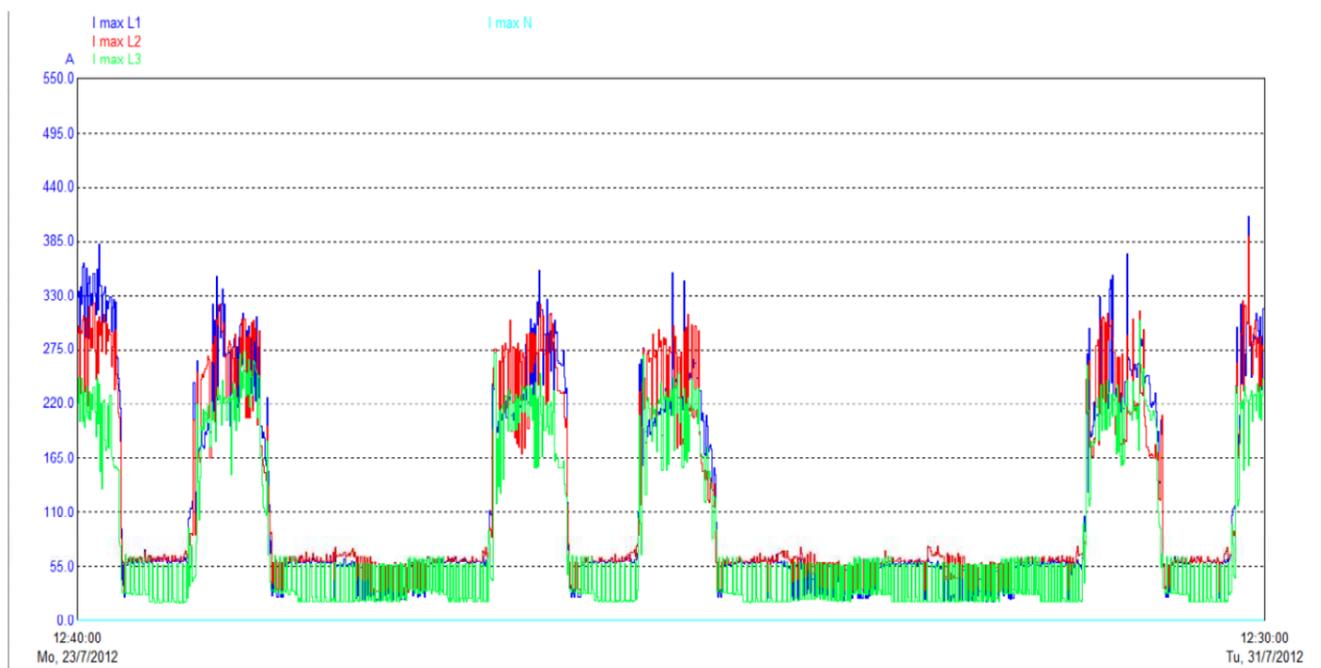


Figura 6.4.16- Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 - Biblioteca
Fuente: Autores

Se examina la gráfica de desbalance de corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que no se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores sobrepasa el 25% de desbalance por un período largo mayor de 15 minutos, como mejora se debe revisar las cargas para mejorar este desbalance. Ver Fig. 6.4.17.

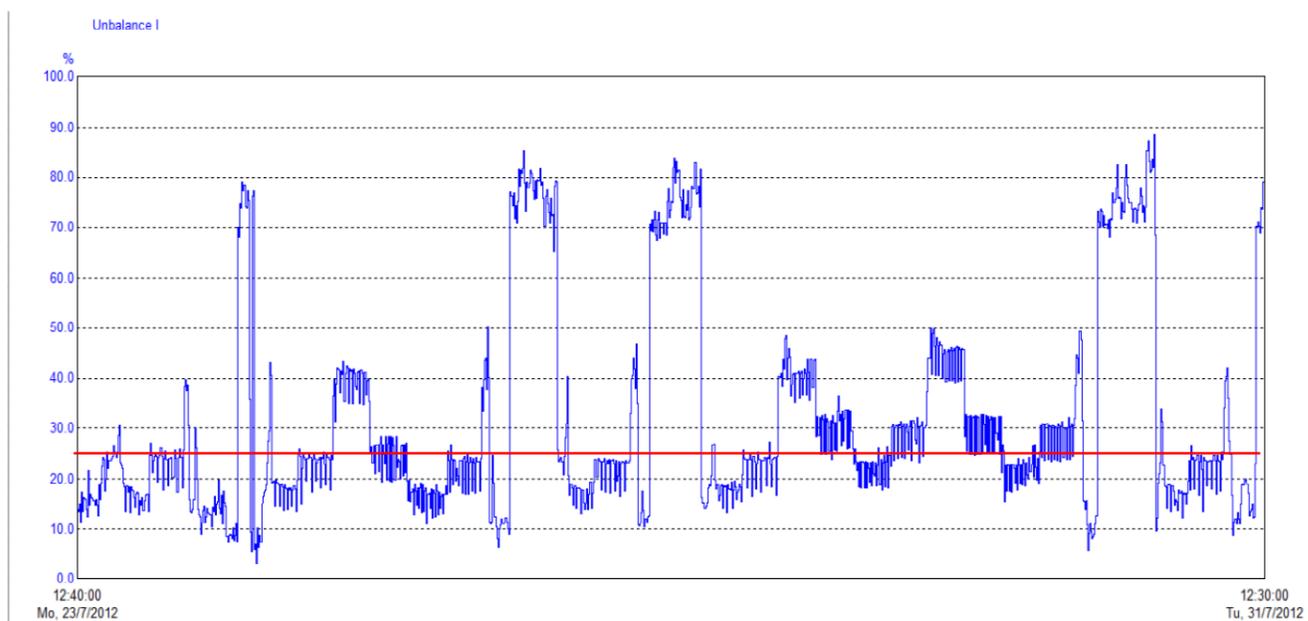


Figura 6.4.17- Desbalance de corriente - Biblioteca
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de THD Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7 sobrepasa el 20 % de acuerdo a un comportamiento de cargas no lineales. Ver Fig. 6.4.18.

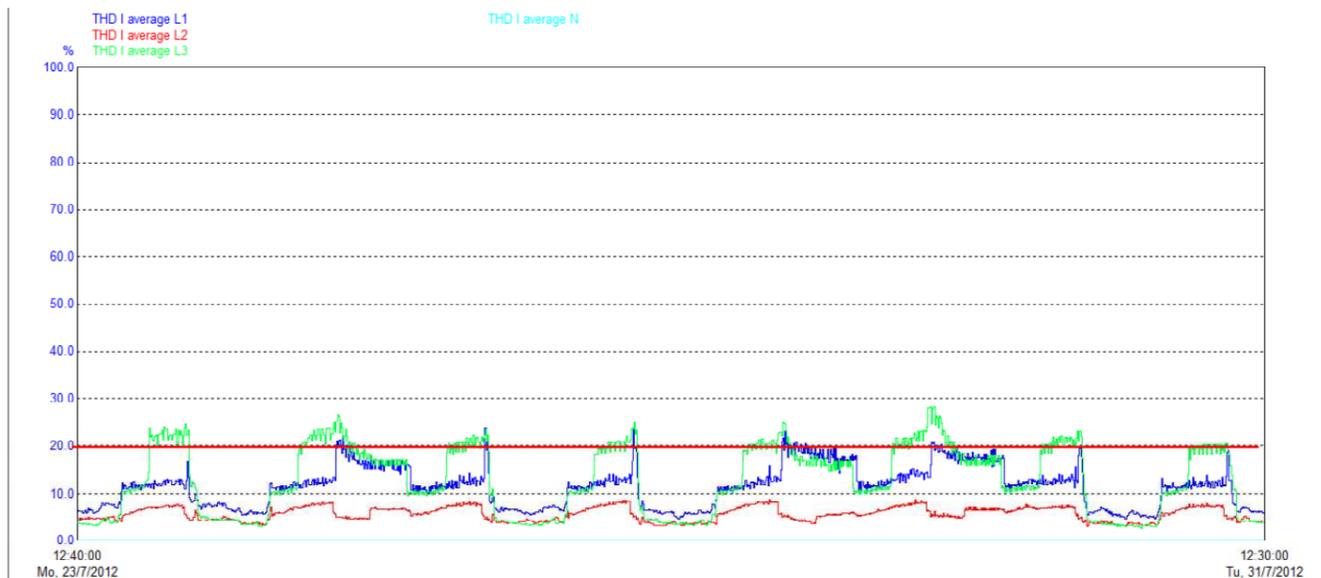


Figura 6.4.18- THD Corriente de las líneas 1, 2, 3 - Biblioteca
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de armónicas de voltaje, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. Sobrepasa los límites > 8 % esto es debido a un comportamiento de la carga no lineal instalada. Ver Fig. 6.4.19.

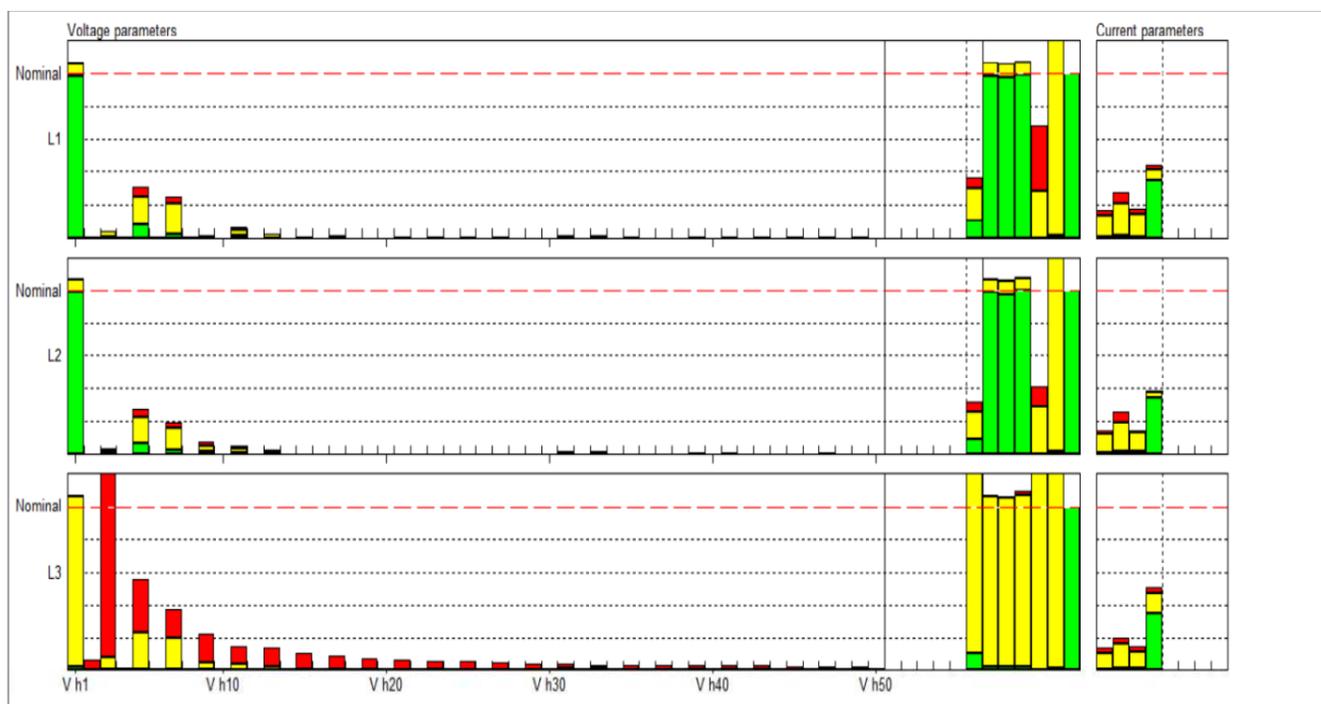


Figura 6.4.19- Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 - Biblioteca
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de armónicas de corriente, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. En pequeños períodos cortos de tiempo sobrepasa los límites $> 20\%$ esto es debido a un comportamiento de la carga no lineal instalada pero no como crítico. Ver Fig. 6.4.20.

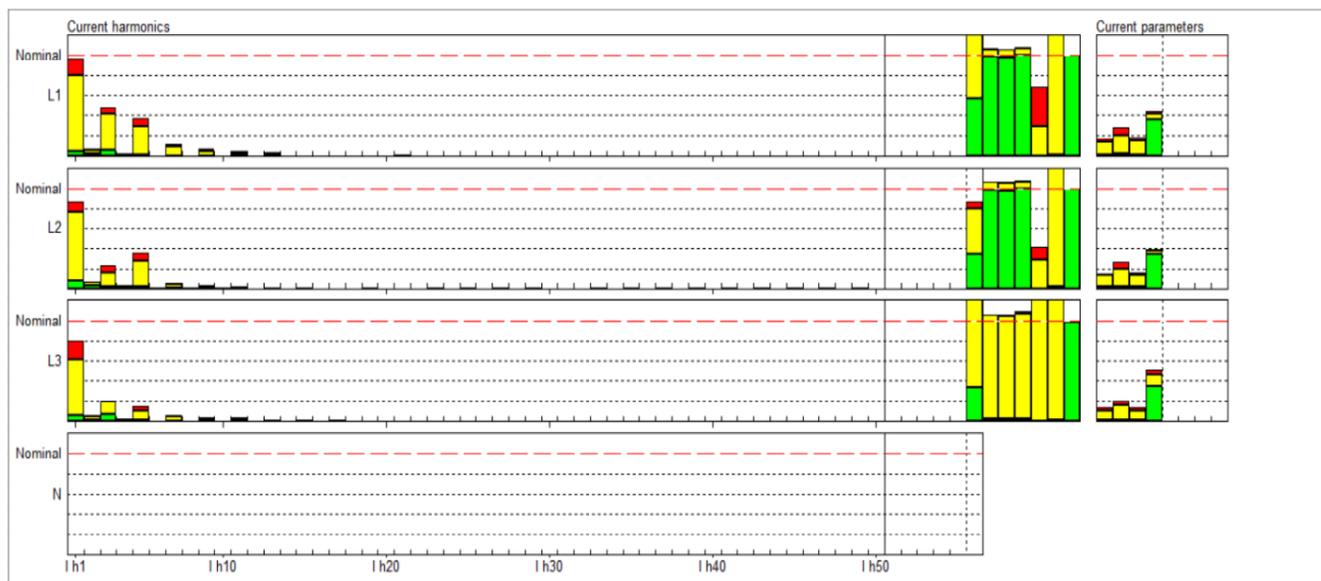


Figura 6.4.20- Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3 - Biblioteca
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de Potencia total, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 184 KW. Ver Fig. 6.4.21

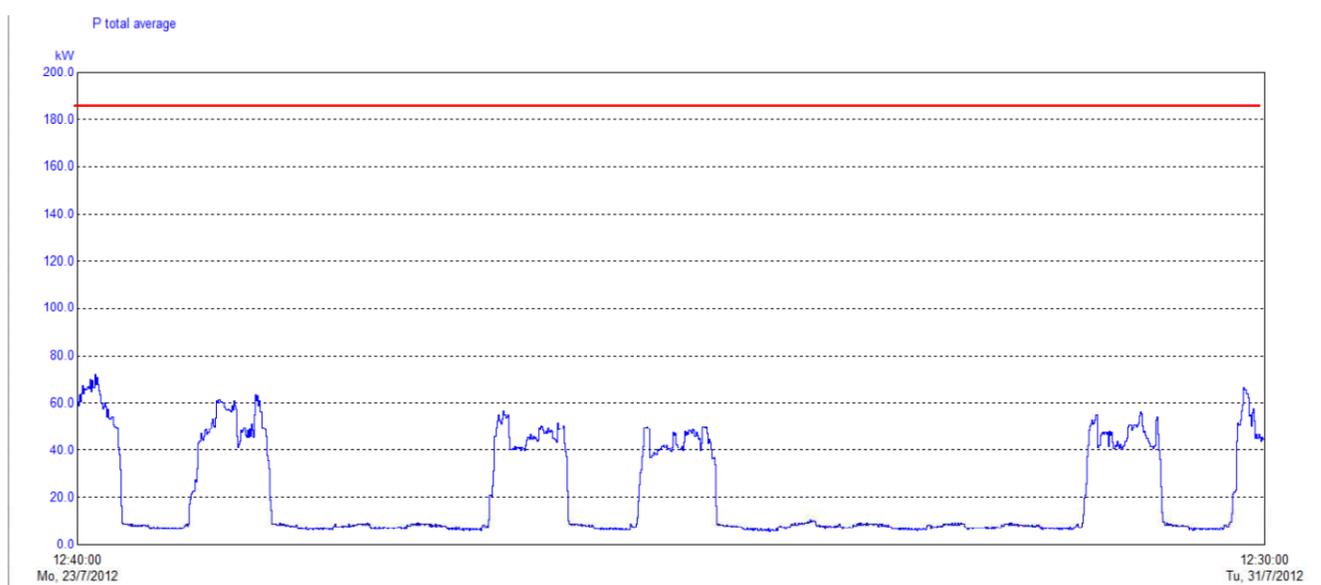


Figura 6.4.21- Potencia total - Biblioteca
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de eventos con problemas, Ver Fig. 6.4.22 concluyendo que existen problemas como:

- 1) Interrupciones eléctricas
- 2) Flicker de severidad de corta y larga duración.
- 3) Armónicas de voltaje
- 4) Desbalance de voltaje y corriente

El principal problema es producto de la energía eléctrica entregada por el proveedor del servicio eléctrico y problemas del transformador o breaker interno debido a que presenta una falla de caída de voltaje de la línea 3. Por lo que se recomienda tener sistemas de UPS para evitar que los equipos de computación se apaguen o se dañen. Además se observa en la gráficas que existe desbalance de corriente y voltaje. Por lo que es necesario balancear las cargas de acuerdo a un plano eléctrico de la instalación y revisar toda la instalación eléctrica para determinar la falla de la línea 3 de voltaje.

Parameter	Unit	Measurement value	Duration		
			L1	L2	L3
Voltage variations	V				
	V	27/07/2012/15:50:00			3.21
	V	30/07/2012/15:50:00			3.21
	V	30/07/2012/15:40:00			3.21
	V	30/07/2012/15:30:00			3.21
	V	27/07/2012/15:40:00			3.21
short Interruptions	Number/ Meas.p.				
		31/07/2012/12:30:26	x		0.00:00:05.080
long Interruptions	Number/ Meas.p.				
		31/07/2012/10:01:27		x	0.02:29:04.170
Events	Number/ Meas.p.				
	V	28/07/2012/13:19:16			3.0
	V	27/07/2012/09:09:03			3.1
	V	27/07/2012/15:08:15			3.1
	V	27/07/2012/17:31:32			3.1
	V	30/07/2012/09:29:09			3.1
3 Harmonic	% [Vh1]				
	% [Vh1]	30/07/2012/14:30:00			31.41
	% [Vh1]	30/07/2012/17:30:00			31.38
	% [Vh1]	30/07/2012/17:00:00			31.37
	% [Vh1]	30/07/2012/16:50:00			31.36
	% [Vh1]	30/07/2012/16:40:00			31.36

5. Harmonic	% [Vh1]			
	% [Vh1]	31/07/2012/10:20:00		8.49
	% [Vh1]	31/07/2012/10:40:00		7.73
	% [Vh1]	31/07/2012/10:10:00		8.94
	% [Vh1]	31/07/2012/10:30:00		8.89
	% [Vh1]	28/07/2012/13:40:00		8.78
7. Harmonic	% [Vh1]			
	% [Vh1]	28/07/2012/13:30:00		4.53
	% [Vh1]	28/07/2012/13:40:00		4.40
	% [Vh1]	30/07/2012/18:20:00		4.33
	% [Vh1]	30/07/2012/18:30:00		4.30
	% [Vh1]	27/07/2012/09:30:00		4.30
9. Harmonic	% [Vh1]			
	% [Vh1]	27/07/2012/13:10:00		3.73
	% [Vh1]	30/07/2012/13:00:00		3.72
	% [Vh1]	30/07/2012/17:20:00		3.70
	% [Vh1]	30/07/2012/12:50:00		3.70
	% [Vh1]	30/07/2012/17:30:00		3.69
THD V	%			
	%	30/07/2012/17:30:00		32.44
	%	30/07/2012/16:40:00		32.42
	%	30/07/2012/16:50:00		32.41
	%	30/07/2012/14:30:00		32.41
	%	30/07/2012/17:20:00		32.39
Flicker	Pst			
	Pst	31/07/2012/11:00:00		5.480
	Pst	31/07/2012/11:10:00		5.475
	Pst	31/07/2012/11:20:00		5.485
	Pst	31/07/2012/11:30:00		5.482
	Pst	31/07/2012/11:40:00		5.447
Unbalance V	%			
	%	30/07/2012/14:10:00		48.17
	%	30/07/2012/14:00:00		48.17
	%	30/07/2012/13:50:00		48.17
	%	30/07/2012/13:40:00		48.17
	%	30/07/2012/13:20:00		48.17
frequency 99.5% and frequency 100%	Hz			
	Hz	-		60.20
	Hz	-		60.20
	Hz	-		60.20
	Hz	-		60.20
	Hz	-		60.20

Figura 6.4.22- Eventos con problemas - Biblioteca
Fuente: Autores

6.5 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO CEIS

Se procedió con la instalación del equipo por un período de siete días de acuerdo a la norma No. CONELEC-004/01, basada en la norma internacional EN 50160.

Se empieza a programar el equipo para proceder con el registro de las mediciones de energía eléctrica de acuerdo a la placa de datos del transformador de distribución del punto a medir. Ver Fig. 6.5.1.

Empresa:	ueg	
Sección:	calidad	
Dirección:	universidad catolica	
Convertidor:		
Referencia:	edif biblioteca	
Código de medición:	3*50 kva 127 LN	
<hr/>		
Measurement function:	A	
Measurement period:	Tu, 31/7/2012 13:00:00 - Th, 16/8/2012 13:53:51	
Intervals:	10 minutes, linear	
Measurement segments :	not programmed	
<hr/>		
Voltage		
Power Type:	Wye	
Nominal voltage:	127 V	
Input Range:	115 V, P-N, 60 Hz	
Voltage transformer:	-	
Min-Max-value:	0.5 periods	
Interharmonics:	not programmed	
Events:	- 8.00/+ 8.00% of 127 V, linear	
Hysteresis:	2.00 %	
<hr/>		
Current		
	Phase	Neutral
Input Range:	1500 A	150 A
Max. clamp current:	3000 A	3000 A
Number of CTs:	3	1
Additional CT:	-	-
Max-value:	0.5 periods	0.5 periods
<hr/>		
Power		
Min-Max-value:	1 minute	

Figura 6.5.1- Programación de equipo Fluke 1744 – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se instaló el equipo por un período mayor a siete días desde el 31 de Julio a las 13:00 hasta el 16 de Agosto hasta las 13:53. Se procede a retirar el equipo y descargar la información registrada en este período a través del programa PQ Log de la marca Fluke.

Se empieza el análisis de las variables eléctricas, a continuación mostramos el voltaje de la línea 1. Ver Fig. 6.5.2. Se observa que el voltaje se encuentra dentro de

los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$.

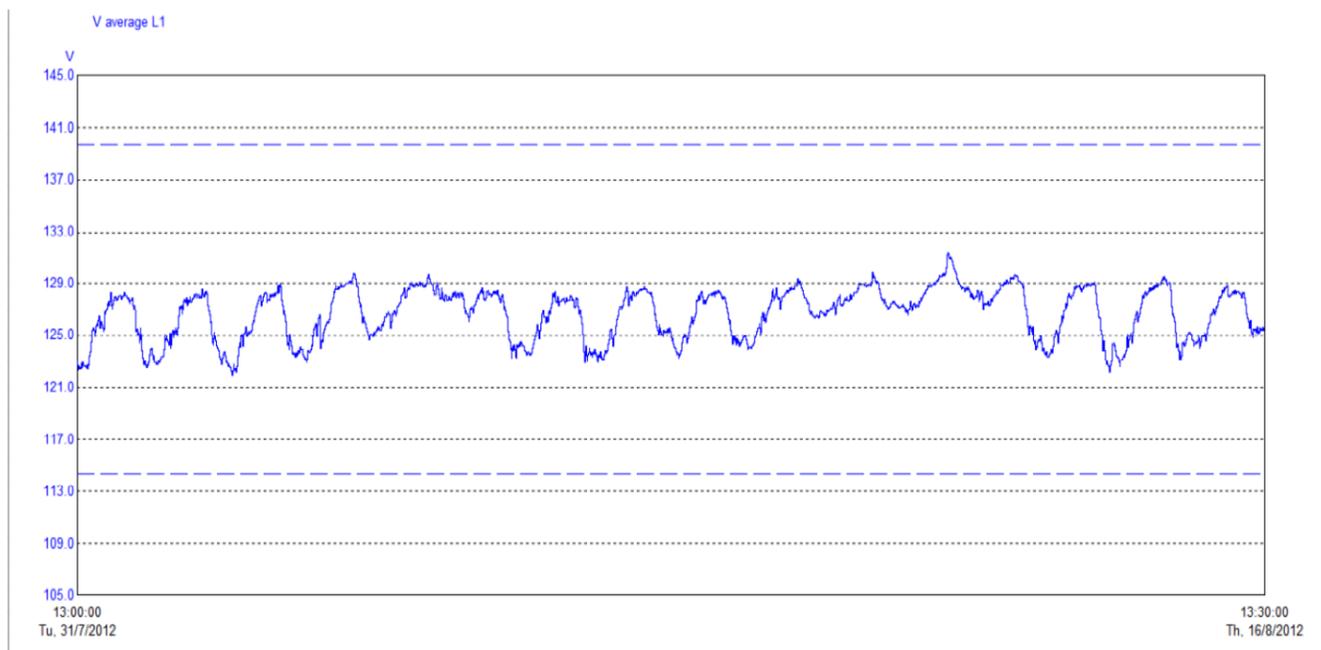


Figura 6.5.2- Voltaje de L1 – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se observa la gráfica de Voltaje de la línea 2, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.5.3.

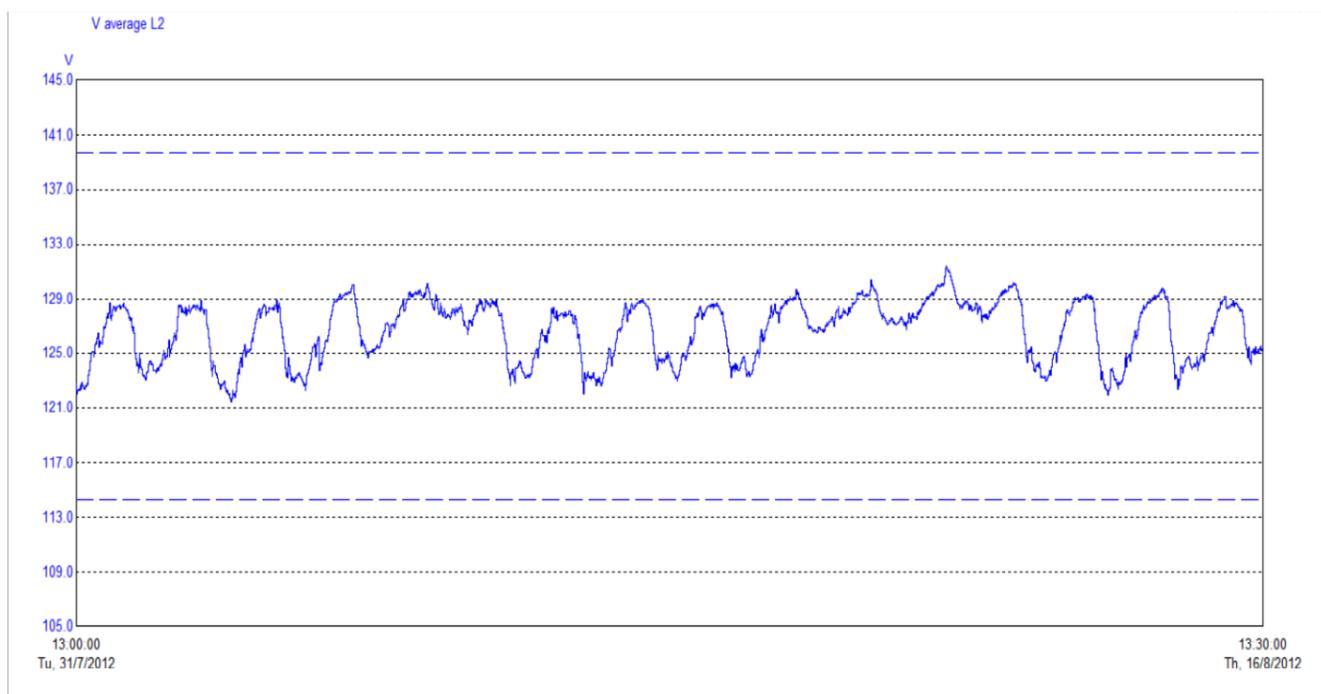


Figura 6.5.3- Voltaje de L2 – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Voltaje de la línea 3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.5.4.

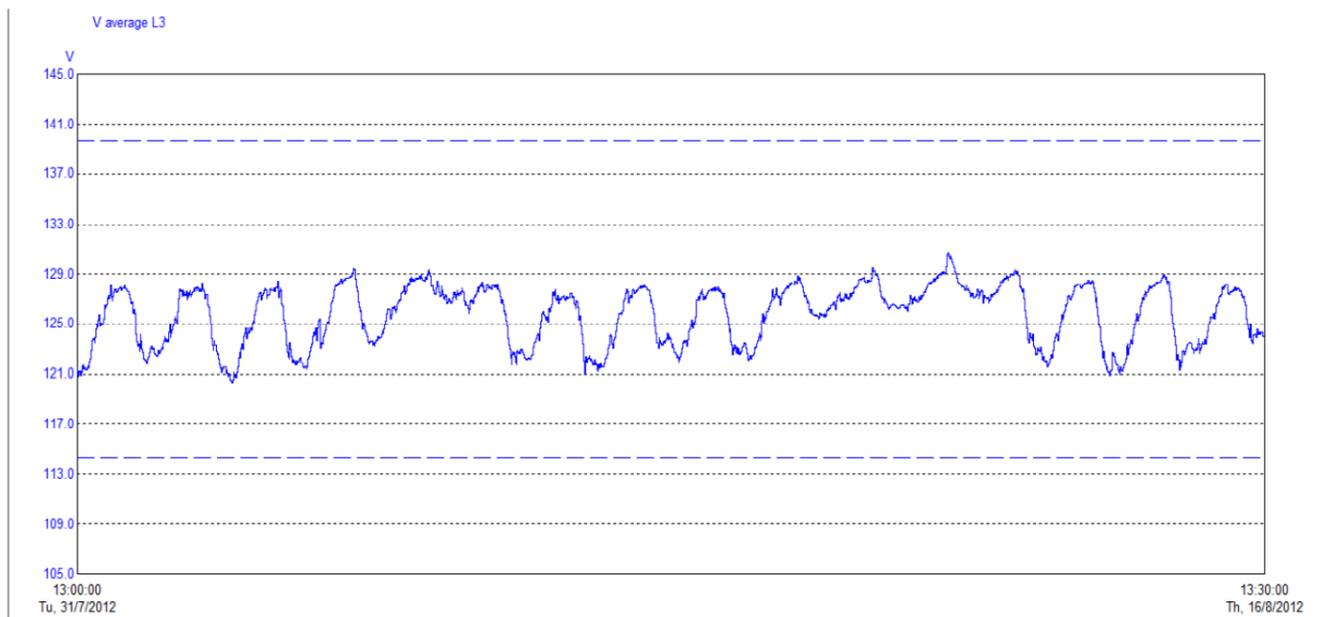


Figura 6.5.4- Voltaje de L3 – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de Voltaje Máximo de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.5.5.

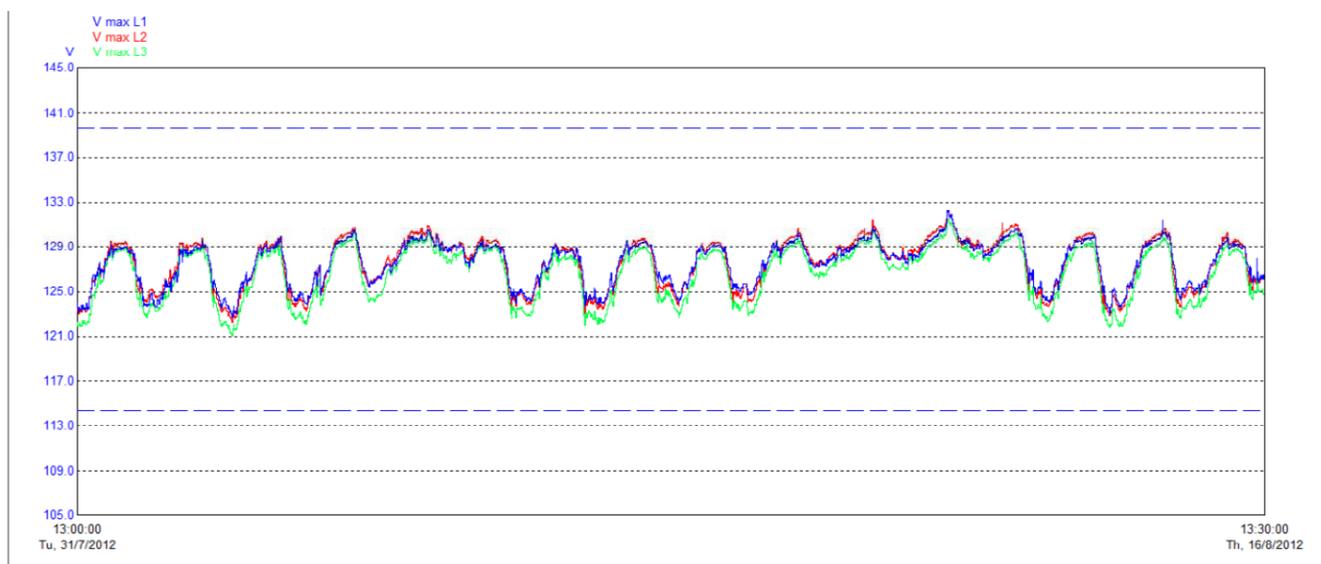


Figura 6.5.5- Voltaje Máximo de L1, 2, 3 – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se observa la gráfica de Voltaje Min de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje está fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están fuera $\pm 10\%$. Se produjo una falla por parte del proveedor del suministro eléctrico por debajo de 107 VAC. Ver Fig. 6.5.6.

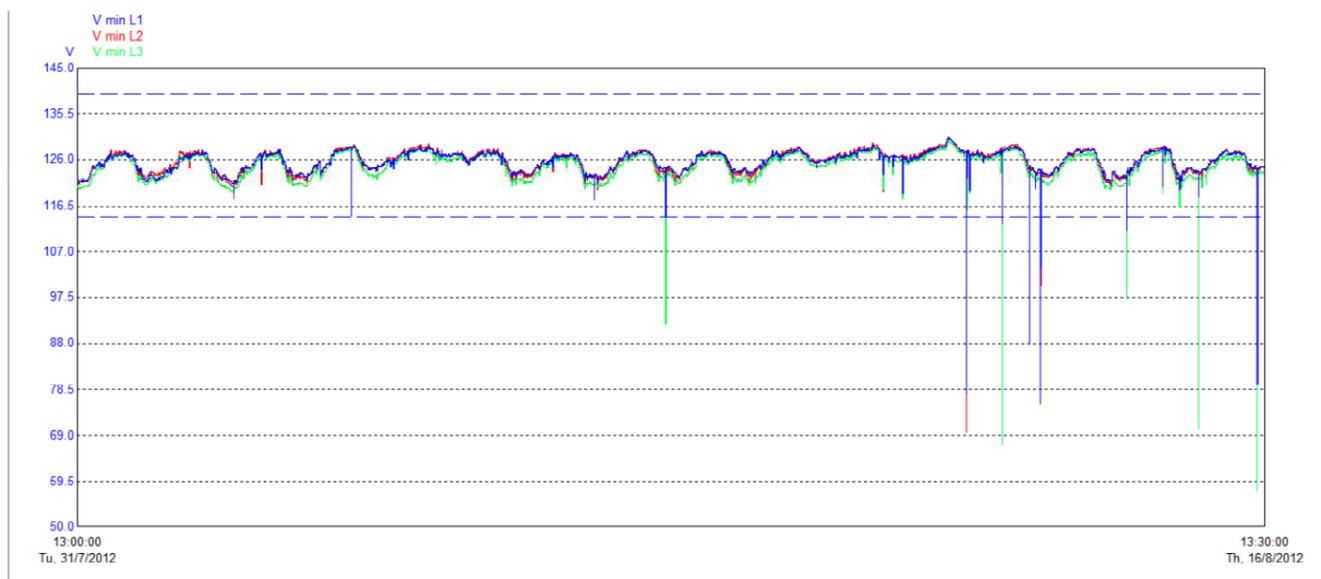


Figura 6.5.6- Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Voltaje de Línea a Línea de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.5.7.

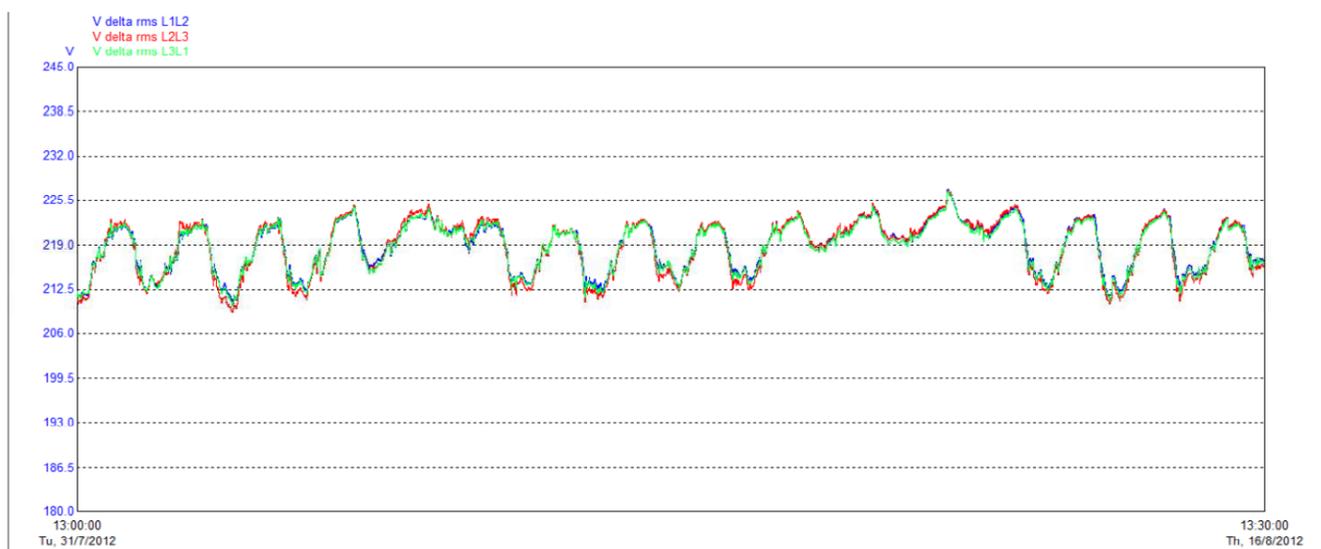


Figura 6.5.7- Voltaje Línea a Línea – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de THD Voltaje de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las tensiones armónicas promedio del THD de la tensión referido a U_n (tensión nominal normalizada) en cada ciclo durante 10 min $<8\%$. Ver Fig. 6.5.8.

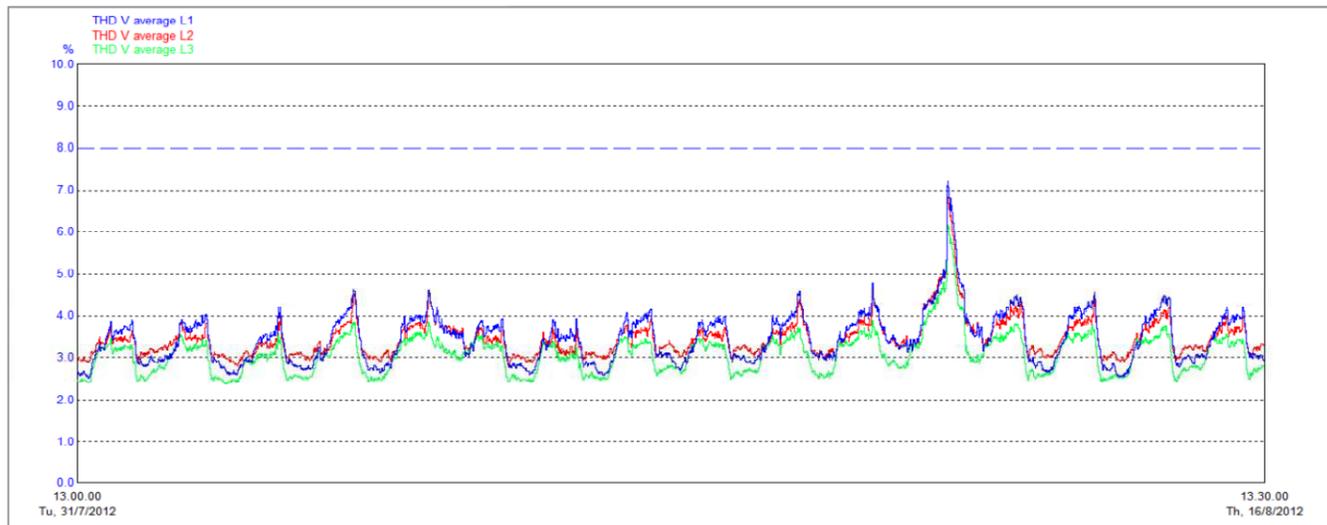


Figura 6.5.8- THD Voltaje – Edificio CEIS
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica del desbalance de Voltaje, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el desequilibrio de la tensión promedio de la U_{inv} / U_{dir} de cada ciclo durante 10 min $<2\%$. Ver Fig. 6.5.9.

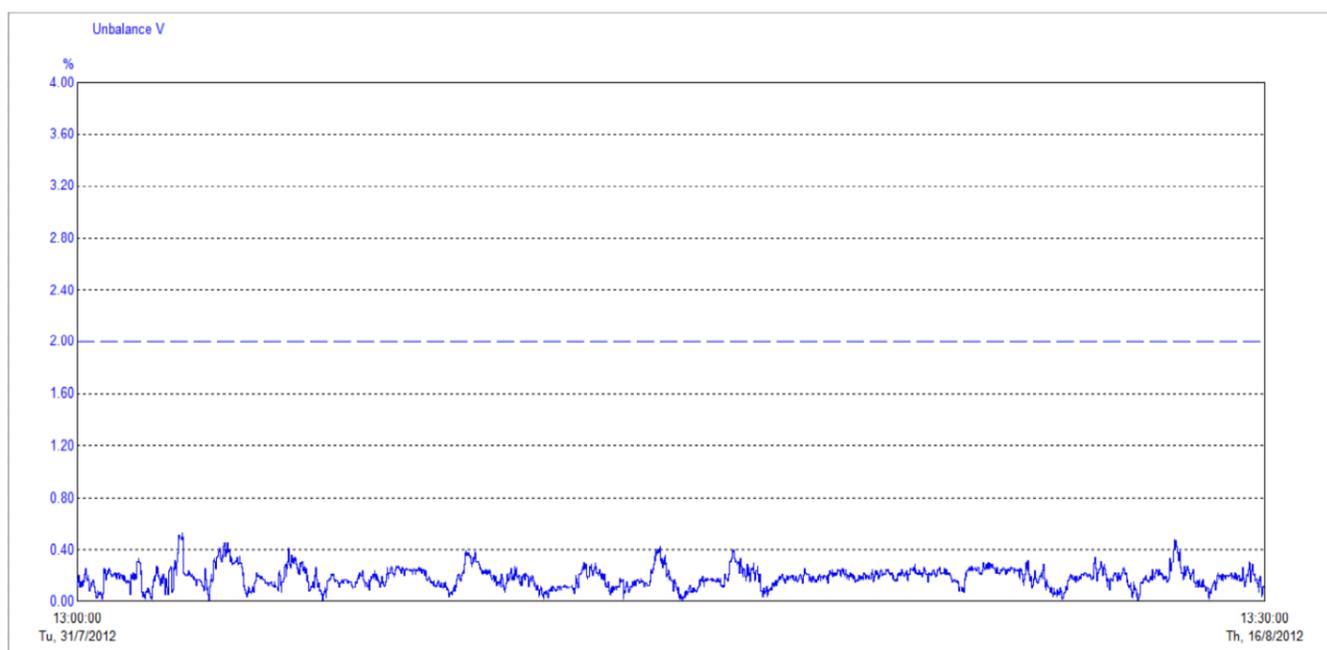


Figura 6.5.9- Voltaje Desbalance – Edificio CEIS
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de flicker de severidad de larga duración, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma CEI 61000-4-15, porque el flicker Plt de larga duración ($l_t = \text{long-term}$) (tomando el promedio variable de 12 valores de corta duración) se registra en un intervalo estándar predeterminado mayor de 10 minutos $<1\%$. Ver Fig. 6.5.10.

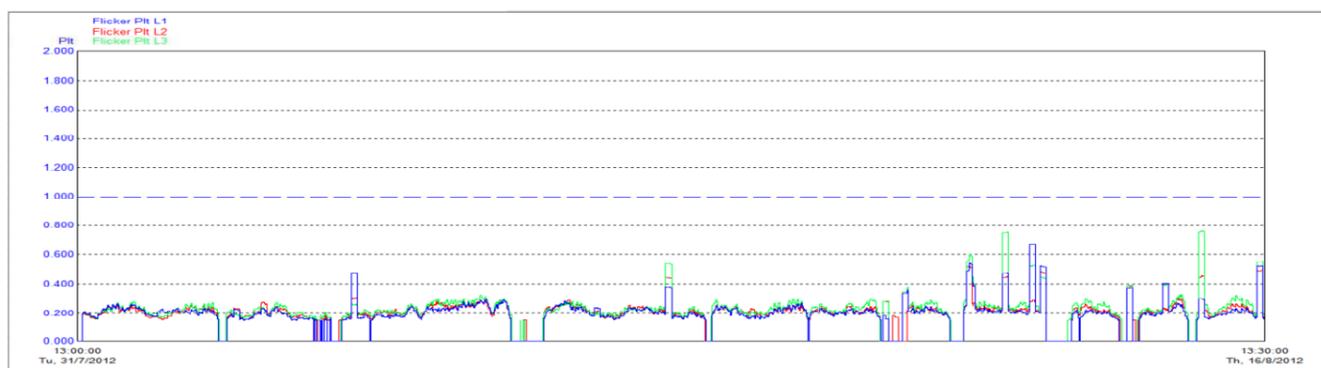


Figura 6.5.10- Flicker de severidad de larga duración – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se observa la gráfica de flicker de severidad de corta duración, concluyendo que está fuera de los límites permisibles de la norma IEC 61000-4-15. El flicker Pst de corta duración ($s_t = \text{short-term}$) se registra en un intervalo estándar predeterminado de 10 minutos $<1\%$. Esto se debe a una falla del suministro de energía eléctrica por parte del proveedor del servicio eléctrico. Fig. 6.5.11.

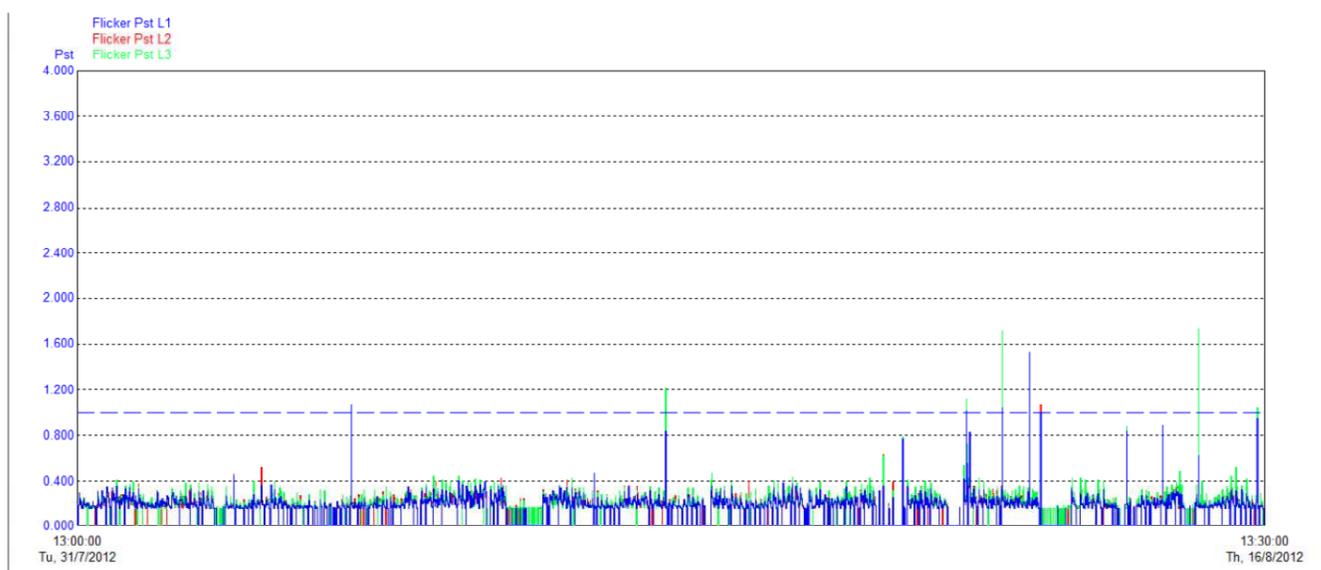


Figura 6.5.11- Flicker de severidad de corta duración – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de frecuencia, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s $\pm 1\%$. Ver Fig. 6.5.12.

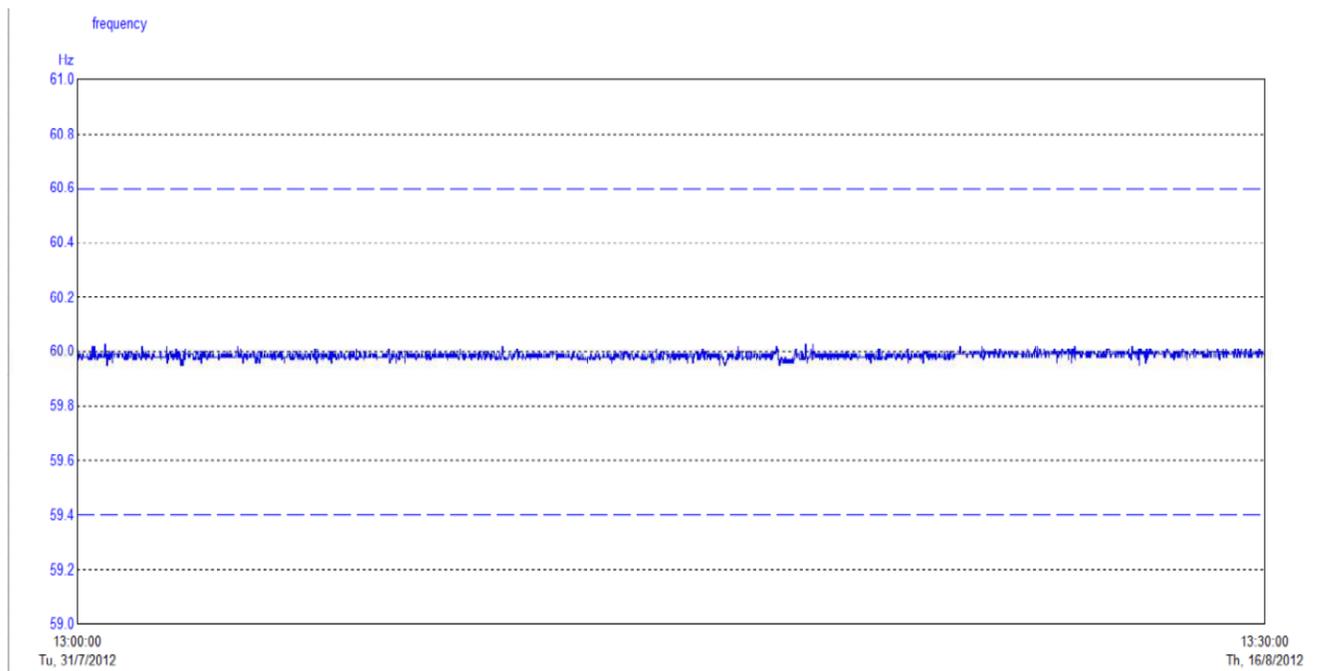


Figura 6.5.12- Frecuencia de línea – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se examina la gráfica del factor de potencia, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Ver Fig. 6.5.13.

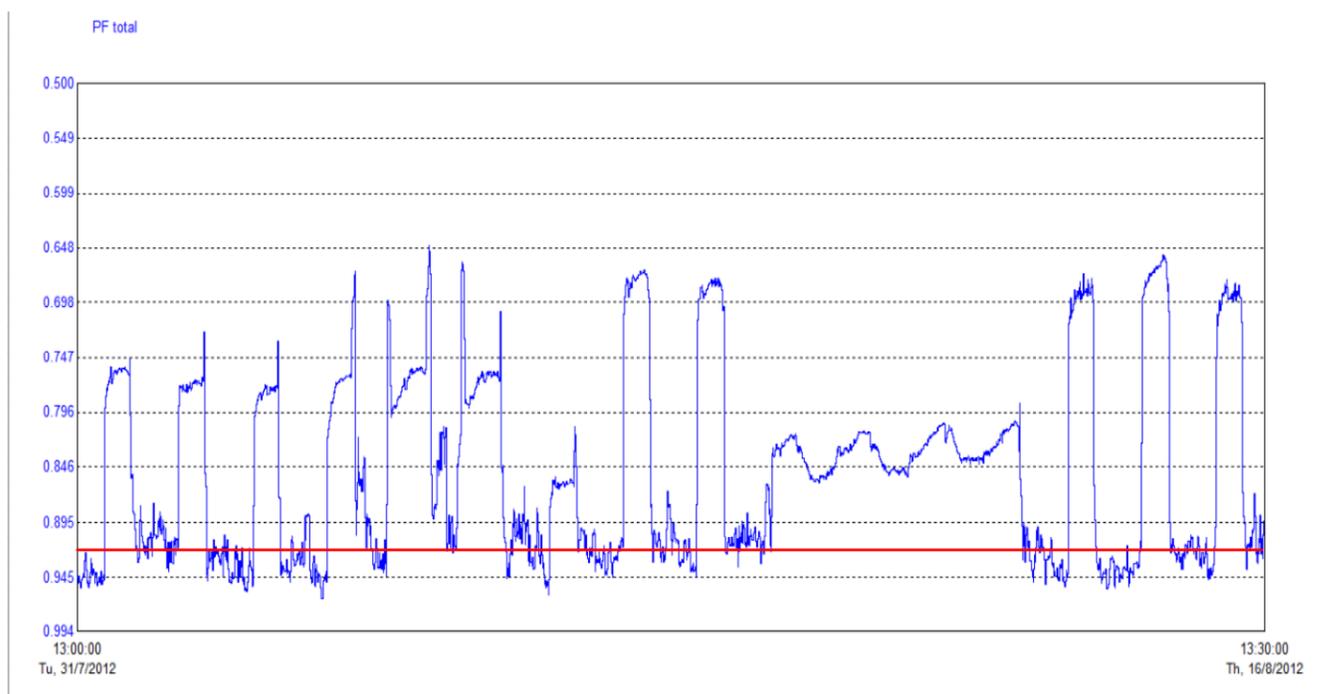


Figura 6.5.13- Factor de Potencia – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica del factor de potencia de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentran fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Ver Fig. 6.5.14.

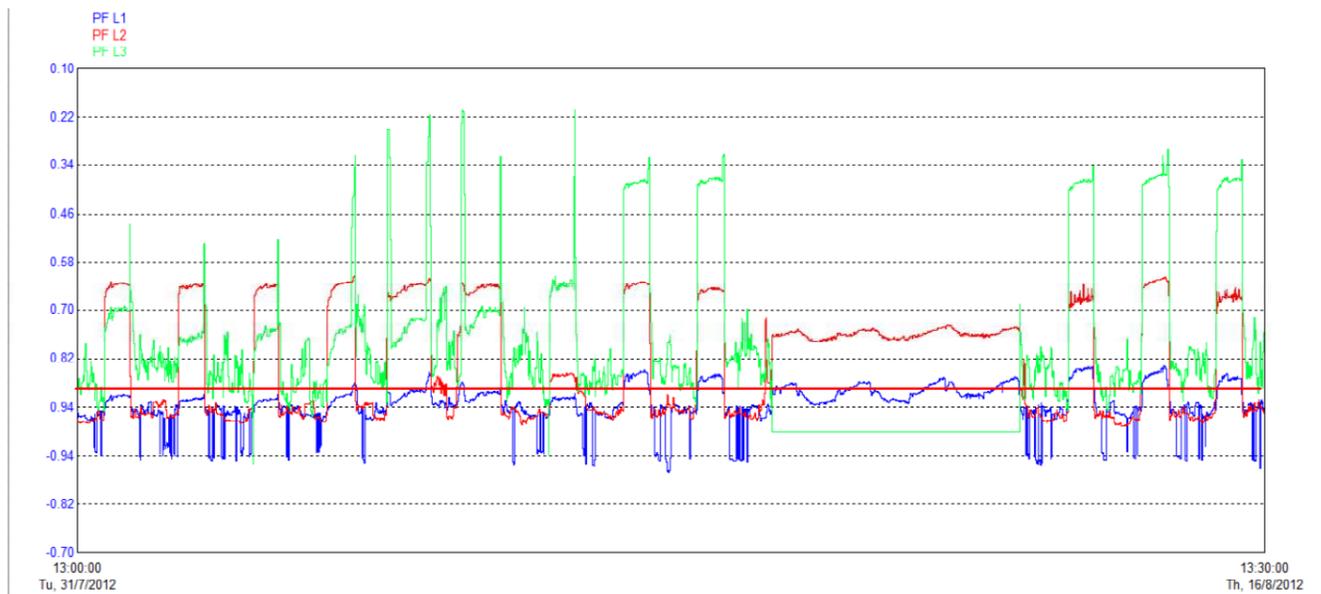


Figura 6.5.14- Factor de Potencia de Líneas 1,2,3 – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 394 amperios. Ver Fig. 6.5.15.

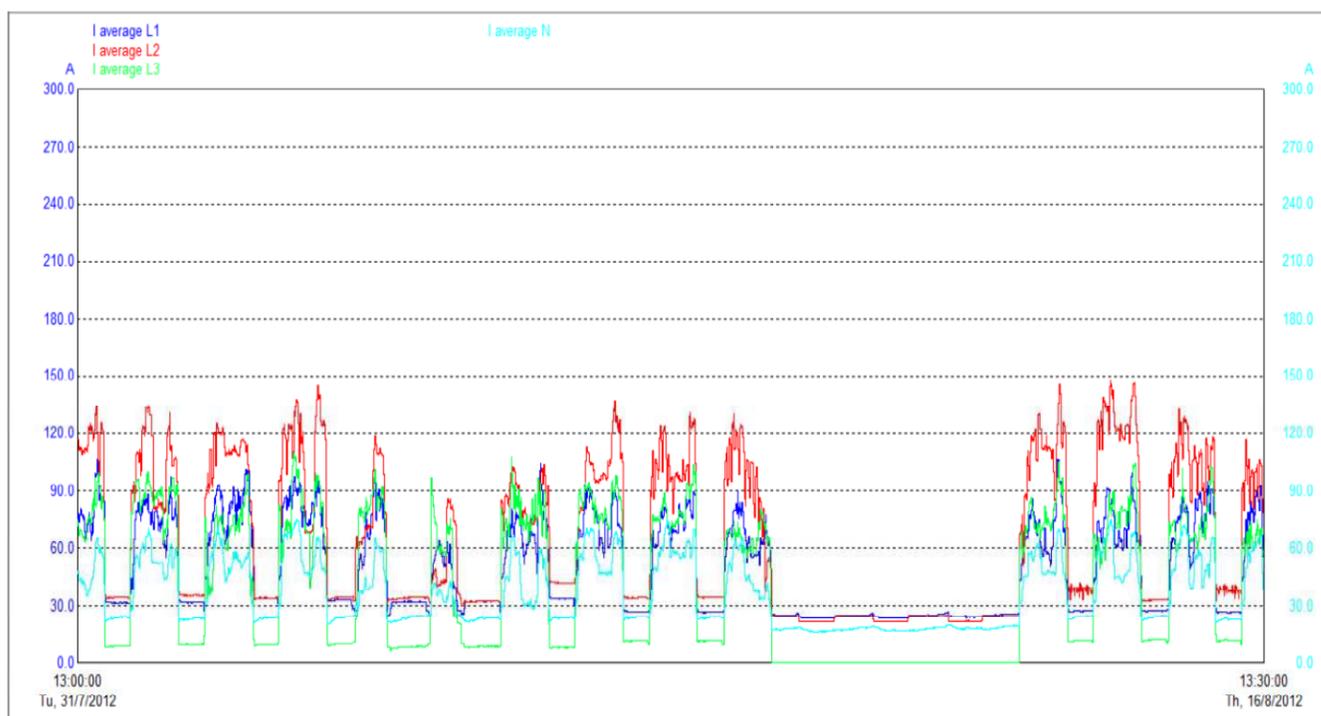


Figura 6.5.15- Corriente de Líneas 1, 2, 3 – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se examina la gráfica de Corriente máxima de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 394 amperios. Ver Fig. 6.5.16.

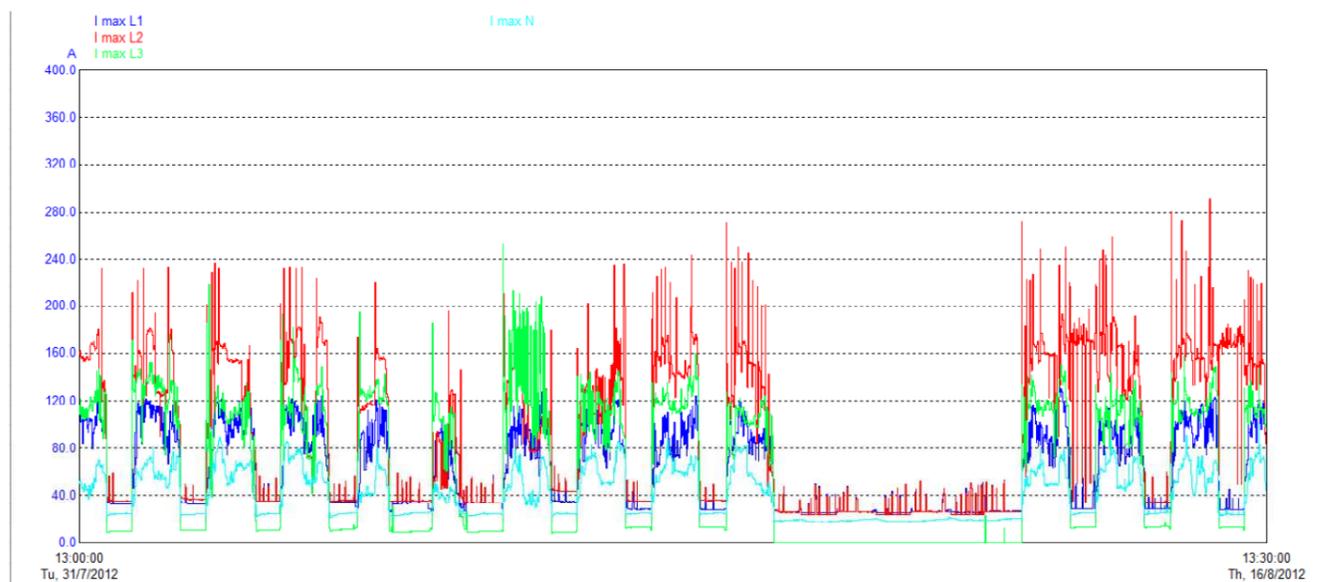


Figura 6.5.16- Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de desbalance de corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que no se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores sobrepasa el 25% de desbalance por un período largo mayor de 15 minutos, como mejora se debe revisar las cargas para mejorar este desbalance. Ver Fig. 6.5.17.

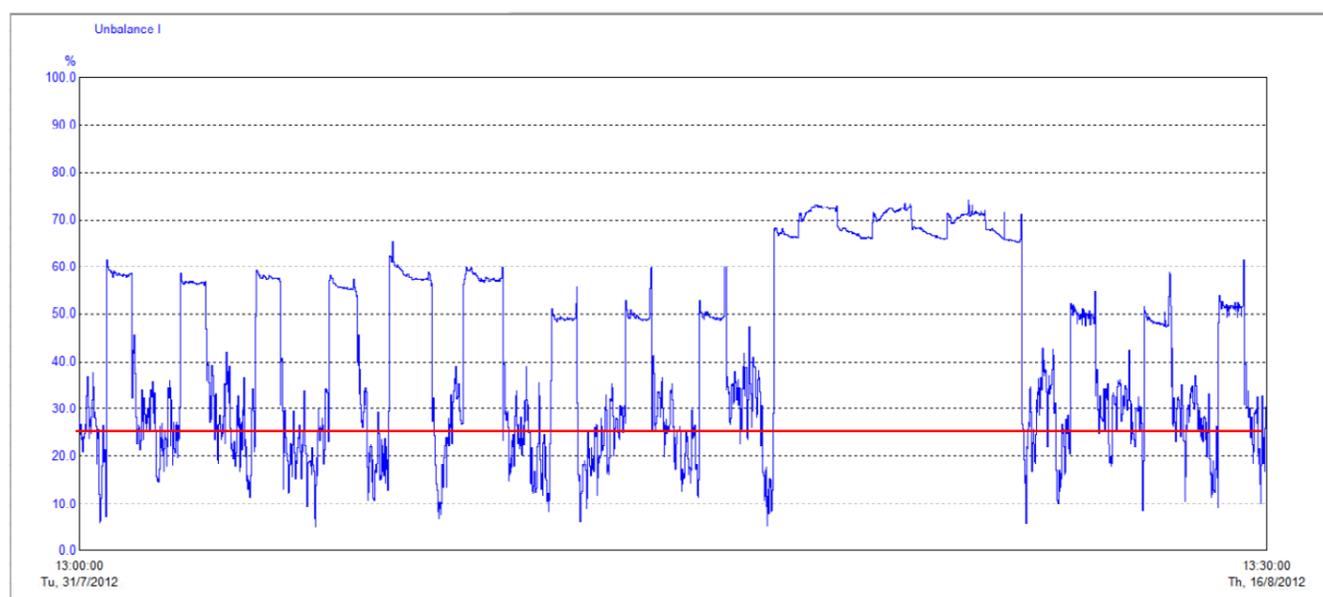


Figura 6.5.17- Desbalance de corriente – Edificio CEIS

Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de THD Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7 sobrepasa el 20 % de acuerdo a un comportamiento de cargas no lineales. Ver Fig. 6.5.18.

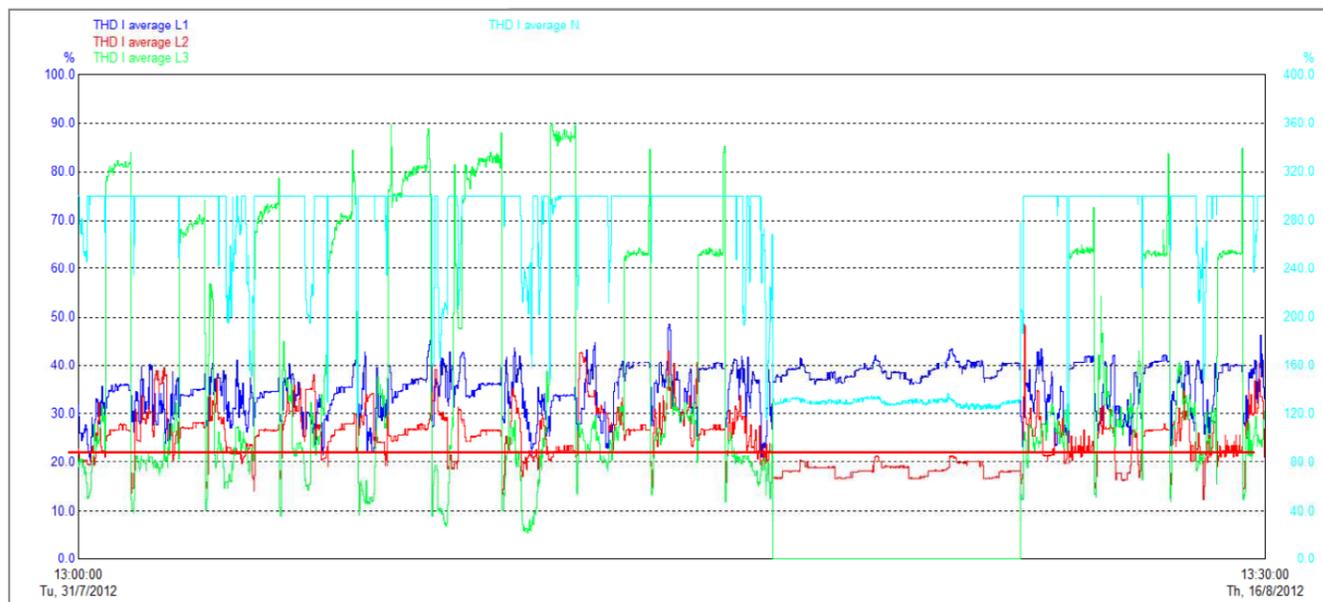


Figura 6.5.18- THD Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Edificio CEIS
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de armónicas de voltaje, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. Sobrepasa los límites > 8 % esto es debido a un comportamiento de la carga no lineal instalada. Ver Fig. 6.5.19.

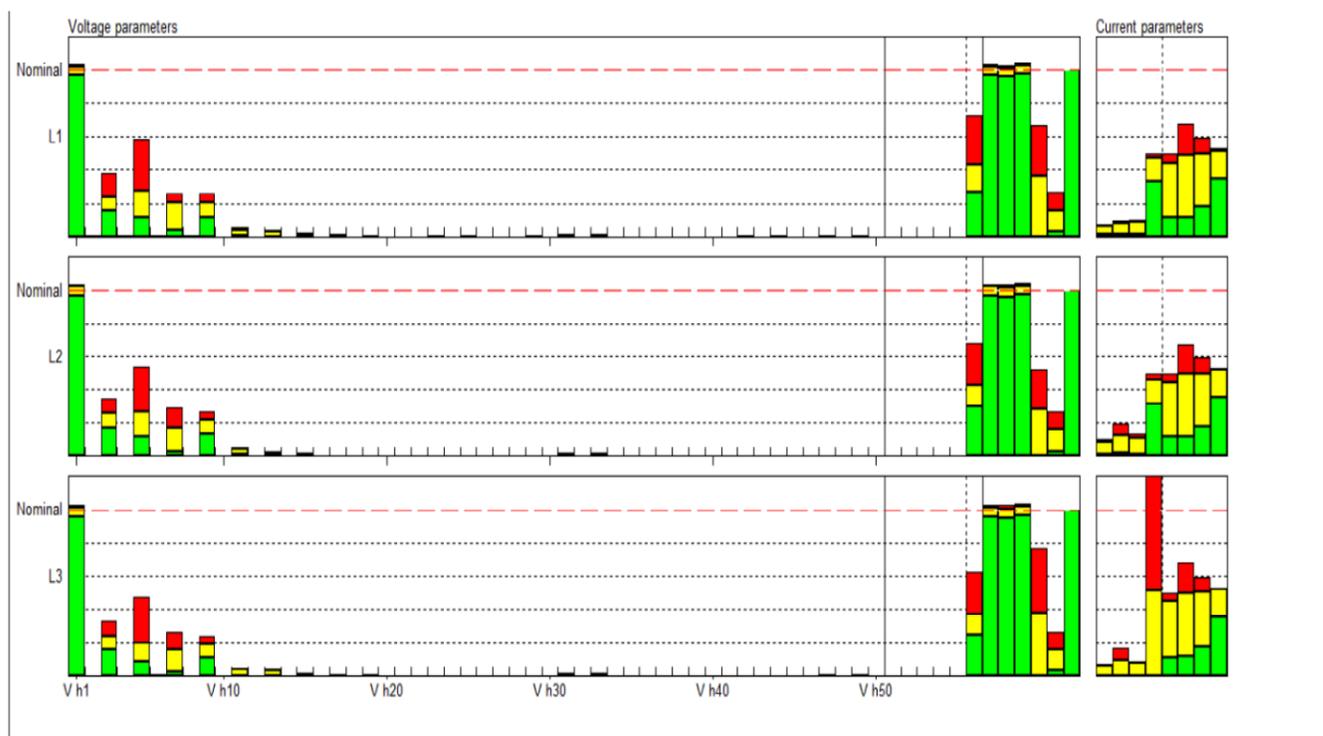


Figura 6.5.19- Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 – Edificio CEIS
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de armónicas de corriente, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. En pequeños períodos cortos de tiempo sobrepasa los límites > 20 % esto es debido a un comportamiento de la carga no lineal instalada pero no como crítico. Ver Fig. 6.5.20.

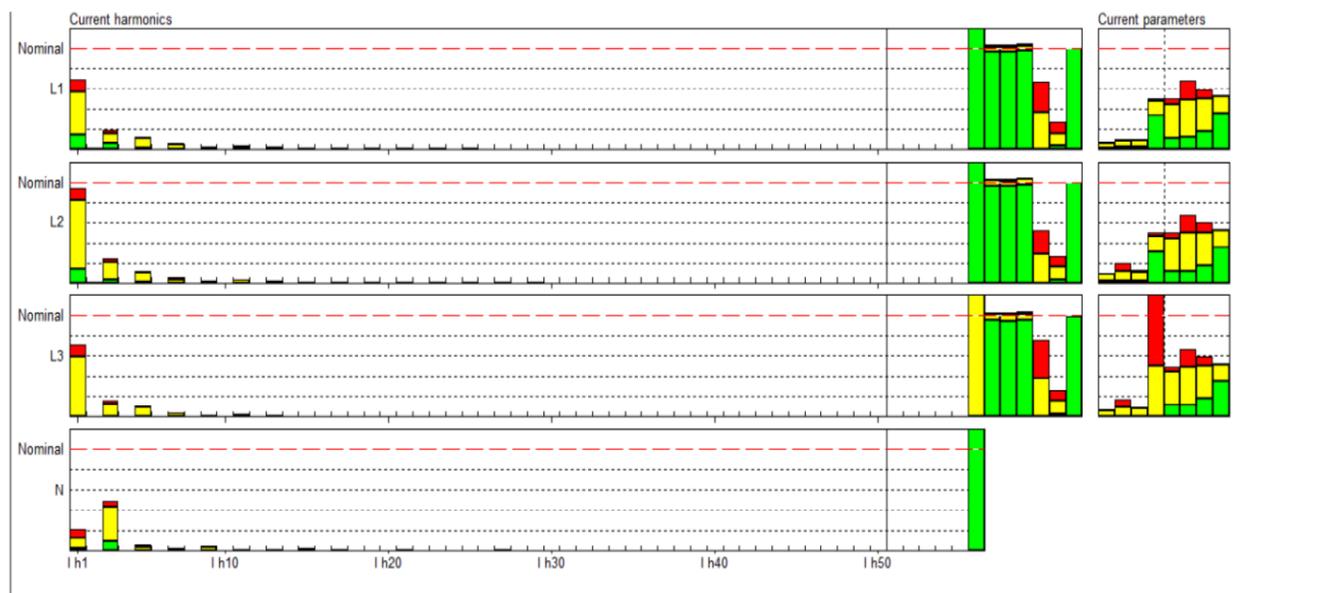


Figura 6.5.20- Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Edificio CEIS
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Potencia total, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 138 KW. Ver Fig. 6.5.21

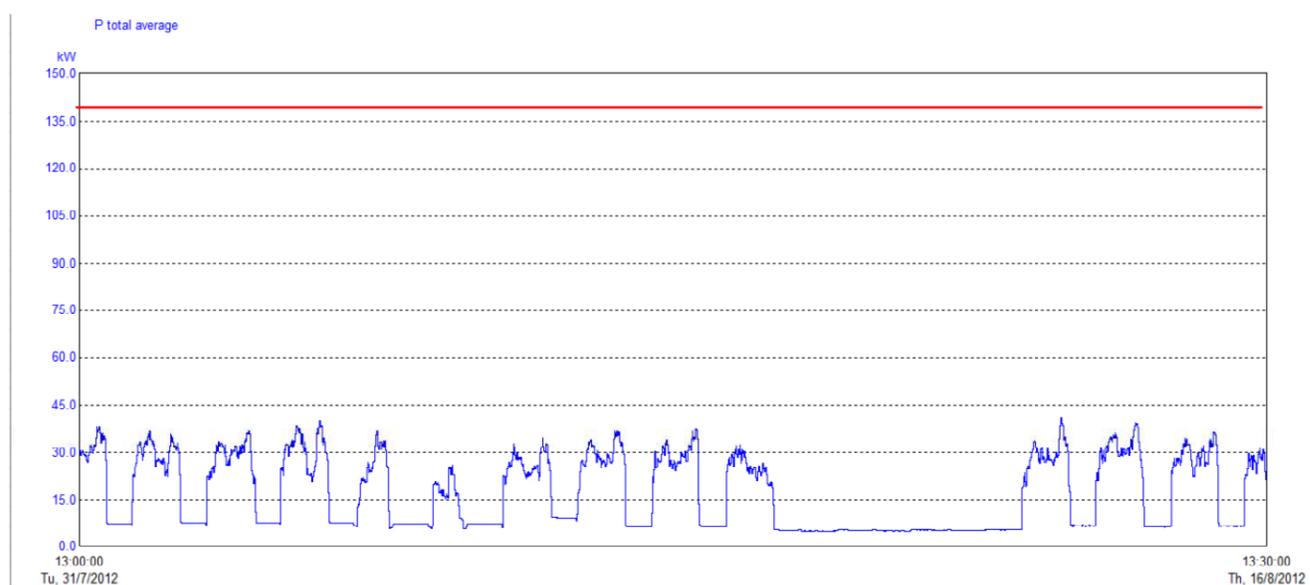


Figura 6.5.21- Potencia total – Edificio CEIS
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de eventos con problemas, Ver Fig. 6.5.22 concluyendo que existen problemas como:

- 1) Interrupciones eléctricas
- 2) Flicker de severidad de corta duración
- 3) Desbalance de corriente
- 4) Bajo factor de potencia

El principal problema es producto de la energía eléctrica entregada por el proveedor del servicio eléctrico debido a que presenta una falla de caída de voltaje de las líneas. Por lo que se recomienda tener sistemas de UPS para evitar que los equipos de computación se apaguen o se dañen. Además se observa en la gráficas que existe desbalance de corriente. Por lo que es necesario balancear las cargas de acuerdo a un plano eléctrico de la instalación y revisar toda la instalación eléctrica para determinar fallas de las líneas.

Voltage average value [V] limit value: 127.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Voltage Max value [V] limit value: 127.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Voltage Min value [V] limit value: 127.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
08/08/2012 11:50:00	114.37	103.87	92.05
12/08/2012 13:10:00	77.83	89.83	98.80
13/08/2012 00:50:00	112.80	105.33	87.12
13/08/2012 09:40:00	87.71	119.97	97.80
13/08/2012 13:00:00	75.64	119.44	120.91
13/08/2012 13:10:00	103.71	99.95	111.81
14/08/2012 17:00:00	111.29	107.83	97.23
15/08/2012 18:20:00	118.45	108.00	70.41
16/08/2012 11:10:00	99.95	107.05	87.45
16/08/2012 11:20:00	79.82	109.82	101.77

Flicker Pst [Pst] limit value: 1.00			
Date time	L1	L2	L3
04/08/2012 08:00:00	1.070	0.834	0.482
08/08/2012 11:50:00	0.833	0.988	1.214
12/08/2012 13:10:00	1.014	1.121	1.120
13/08/2012 00:50:00	1.042	0.987	1.711
13/08/2012 09:40:00	1.520	0.508	1.162
13/08/2012 13:10:00	0.988	1.089	0.988
15/08/2012 18:20:00	0.622	0.992	1.727
16/08/2012 11:20:00	0.952	0.899	1.045

Flicker PIt [PIt] limit value: 1.00			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Unbalance V [%] limit value: 2.00			
Date time			
	no		

frequency [Hz] limit value: 60Hz +/- 1% - Data from interval			
Date time			
	no		

THD V [%] limit value: 8.00			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Figura 6.5.22- Eventos con problemas – Edificio CEIS
Fuente: Autores

6.6 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA FACULTAD DE EMPRESARIALES

Se procedió con la instalación del equipo por un período de siete días de acuerdo a la norma No. CONELEC-004/01, basada en la norma internacional EN 50160.

Se empieza a programar el equipo para proceder con el registro de las mediciones de energía eléctrica de acuerdo a la placa de datos del transformador de distribución del punto a medir. Ver Fig. 6.6.1.

Empresa:	ueg	
Sección:	calidad	
Dirección:	universidad catolica	
Convertidor:		
Referencia:	edif empresarial	
Código de medición:	750 kva 13200 - 220 tap 4 12870	
<hr/>		
Measurement function:	A	
Measurement period:	Th, 16/8/2012 14:10:00 - Tu, 18/9/2012 13:03:52	
Intervals:	10 minutes, linear	
Measurement segments :	not programmed	
<hr/>		
Voltage		
Power Type:	Wye	
Nominal voltage:	127 V	
Input Range:	115 V, P-N, 60 Hz	
Voltage transformer:	-	
Min-Max-value:	0.5 periods	
Interharmonics:	not programmed	
Events:	- 8.00/+ 8.00% of 127 V, linear	
Hysteresis:	2.00 %	
<hr/>		
Current	Phase	Neutral
Input Range:	1500 A	150 A
Max. clamp current:	3000 A	3000 A
Number of CTs:	3	1
Additional CT:	-	-
Max-value:	0.5 periods	0.5 periods
<hr/>		
Power		
Min-Max-value:	1 minute	

Figura 6.6.1- Programación de equipo Fluke 1744 – Fac. Empresariales

Fuente: Autores

Se instaló el equipo por un período mayor a siete días desde el 16 de Agosto a las 14:10 hasta el 18 de Septiembre hasta las 13:03. Se procede a retirar el equipo y descargar la información registrada en este período a través del programa PQ Log de la marca Fluke.

Se empieza el análisis de las variables eléctricas, a continuación mostramos el voltaje de la línea 1. Ver Fig. 6.6.2. Se observa que el voltaje se encuentra dentro de los

límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$.

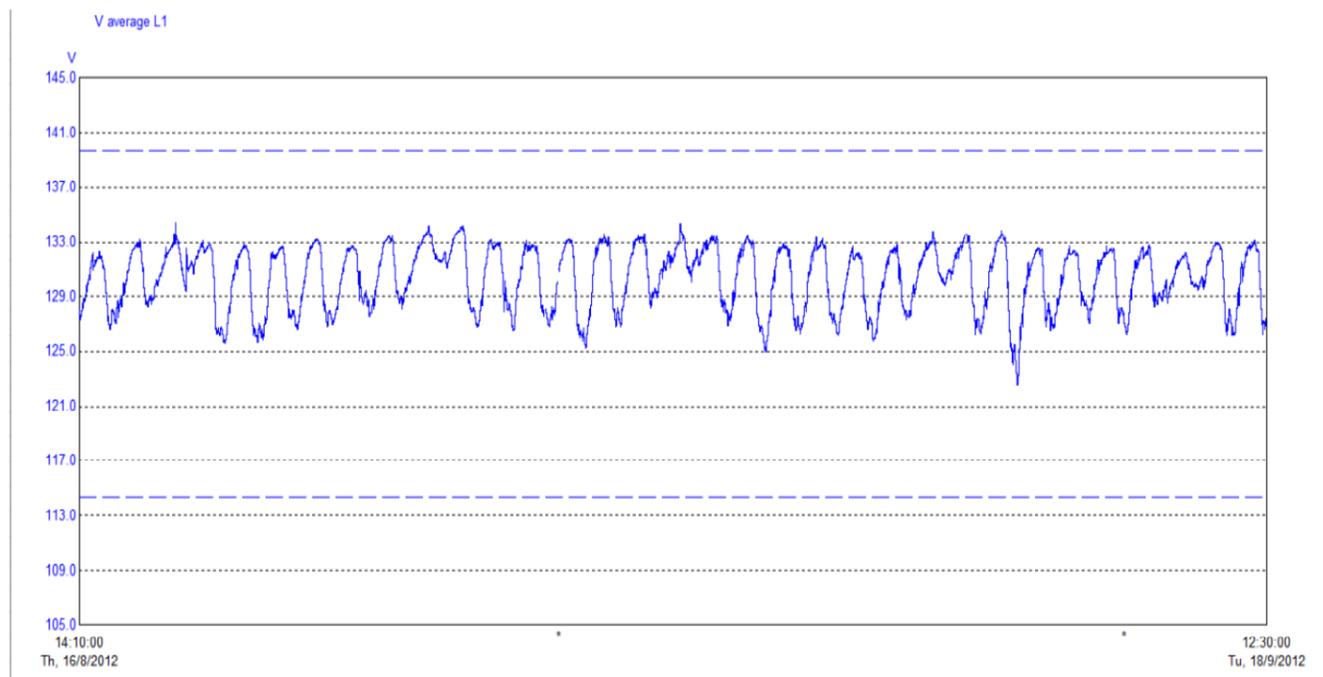


Figura 6.6.2- Voltaje de L1 – Fac. Empresariales

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de Voltaje de la línea 2, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.6.3.

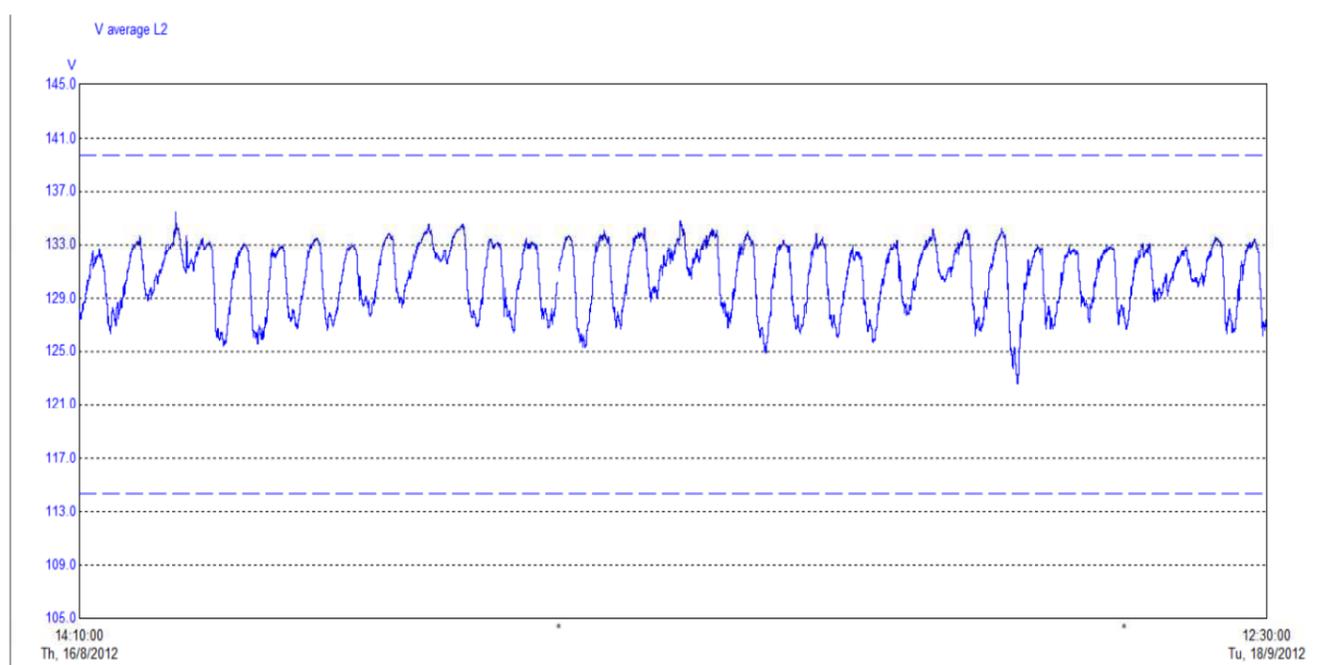


Figura 6.6.3- Voltaje de L2 – Fac. Empresariales

Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Voltaje de la línea 3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.6.4.

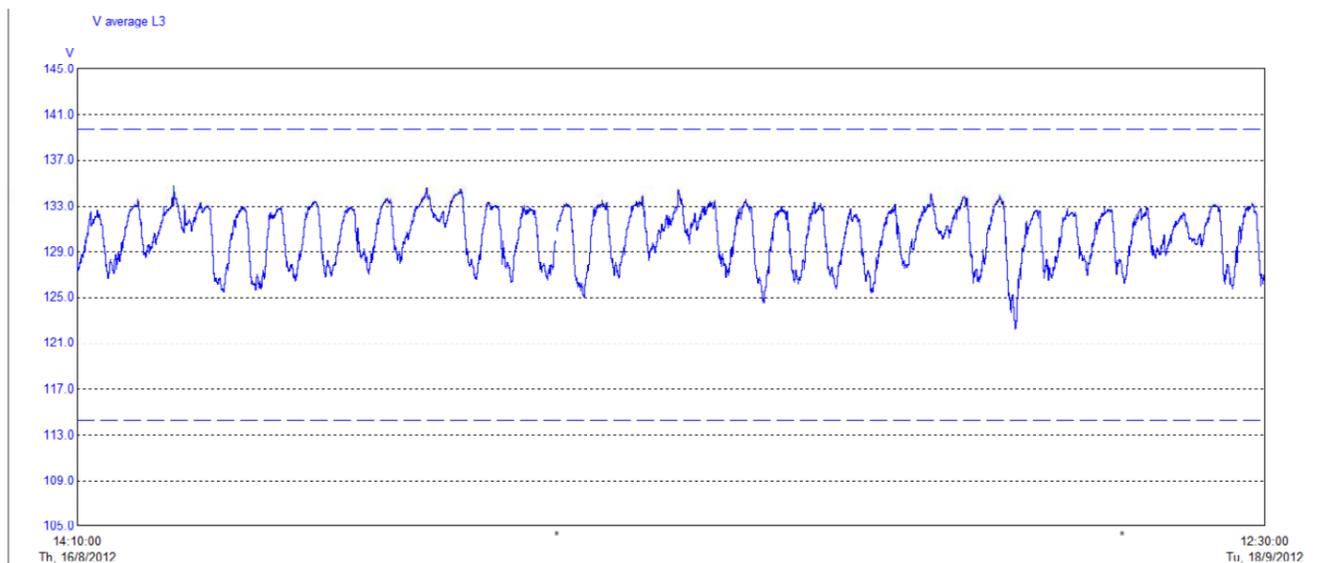


Figura 6.6.4- Voltaje de L3 – Fac. Empresariales

Fuente: Autores

Se observa la gráfica de Voltaje Máximo de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.6.5.

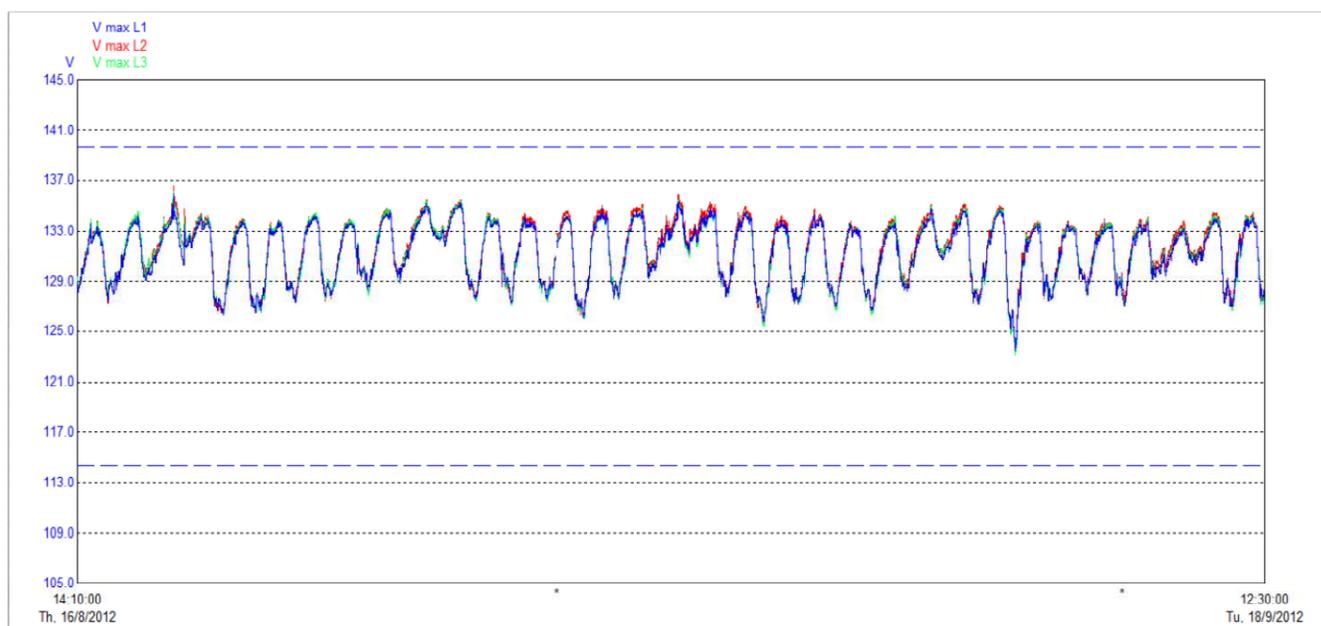


Figura 6.6.5- Voltaje Máximo de L1, 2, 3 – Fac. Empresariales

Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de Voltaje Min de las líneas 1,2 y 3, concluyendo que el voltaje está fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están fuera $\pm 10\%$. Se produjo una falla por parte del proveedor del suministro eléctrico por debajo de 114 VAC. Ver Fig. 6.6.6.

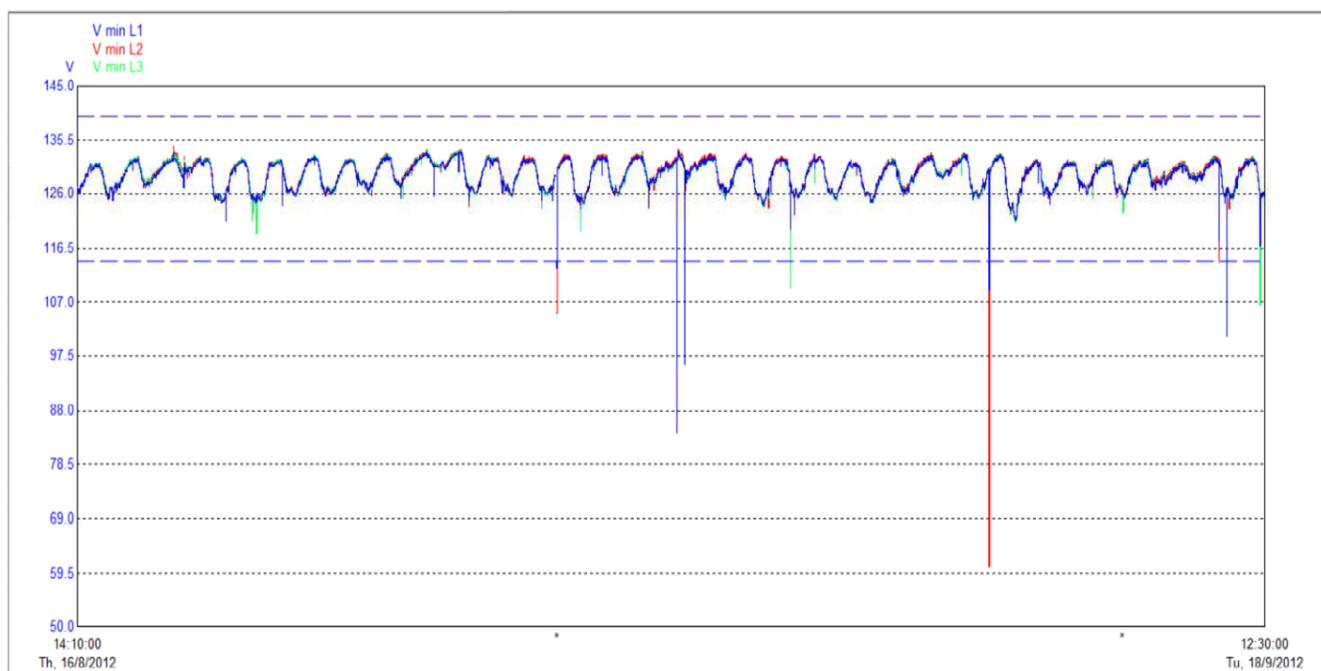


Figura 6.6.6- Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de Voltaje de Línea a Línea de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.6.7.

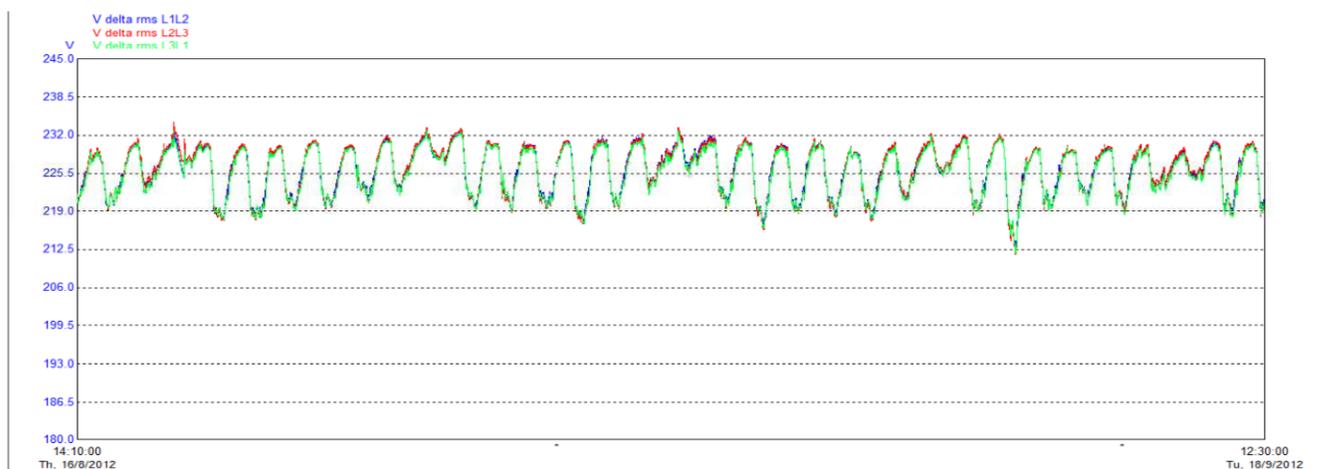


Figura 6.6.7- Voltaje Línea a Línea – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de THD Voltaje de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las tensiones armónicas promedio del THD de la tensión referido a U_n (tensión nominal normalizada) en cada ciclo durante 10 min $<8\%$. Ver Fig. 6.6.8.

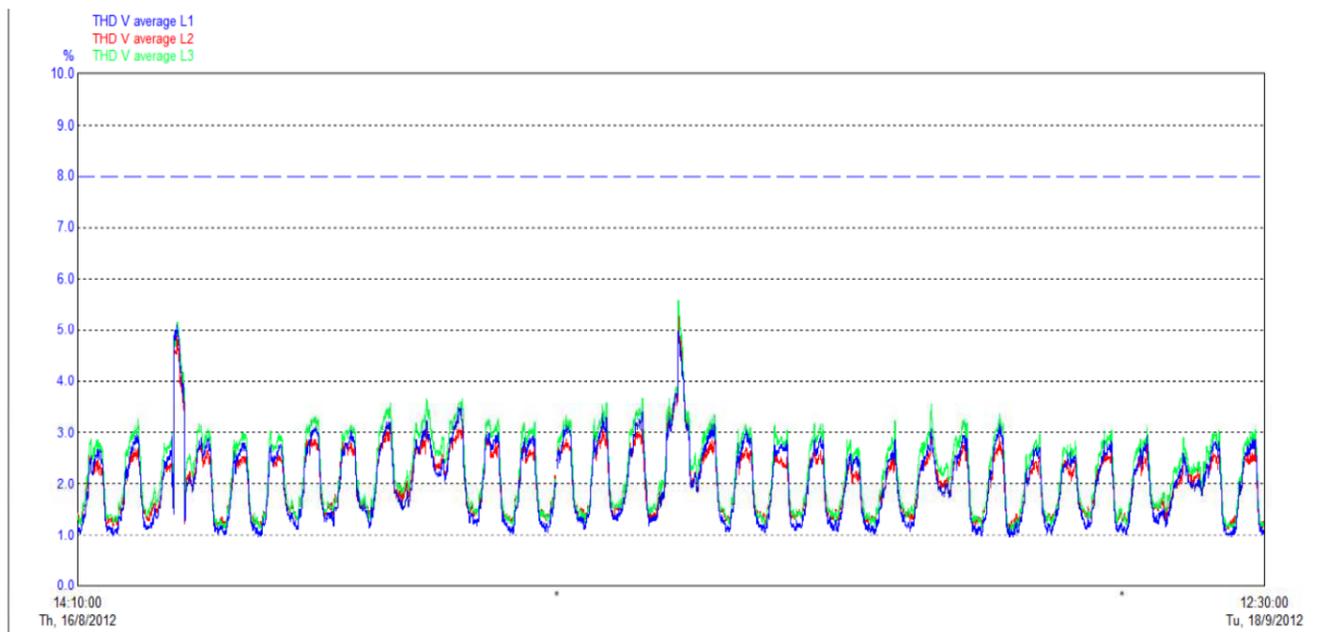


Figura 6.6.8- THD Voltaje – Fac. Empresariales
 Fuente: Autores

Se estudia la gráfica del desbalance de Voltaje, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el desequilibrio de la tensión promedio de la U_{inv} / U_{dir} de cada ciclo durante 10 min $<2\%$. Ver Fig. 6.6.9.

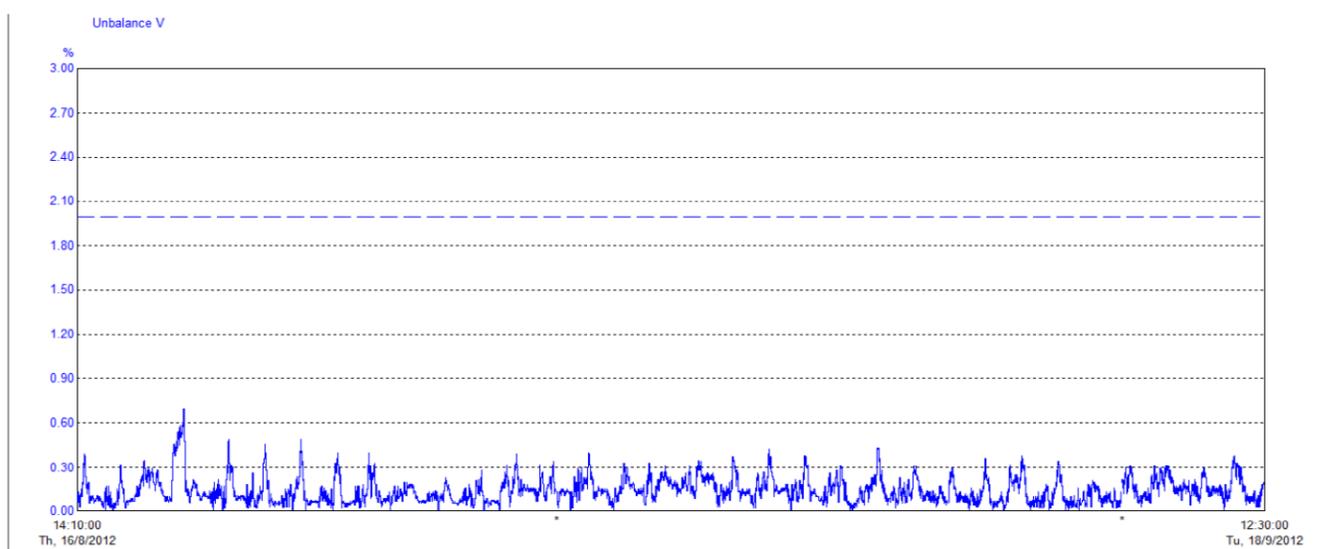


Figura 6.6.9- Voltaje Desbalance – Fac. Empresariales
 Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de flicker de severidad de larga duración, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma CEI 61000-4-15, porque el flicker Plt de larga duración (lt = long-term) (tomando el promedio variable de 12 valores de corta duración) se registra en un intervalo estándar predeterminado mayor de 10 minutos $<1\%$. Ver Fig. 6.6.10.

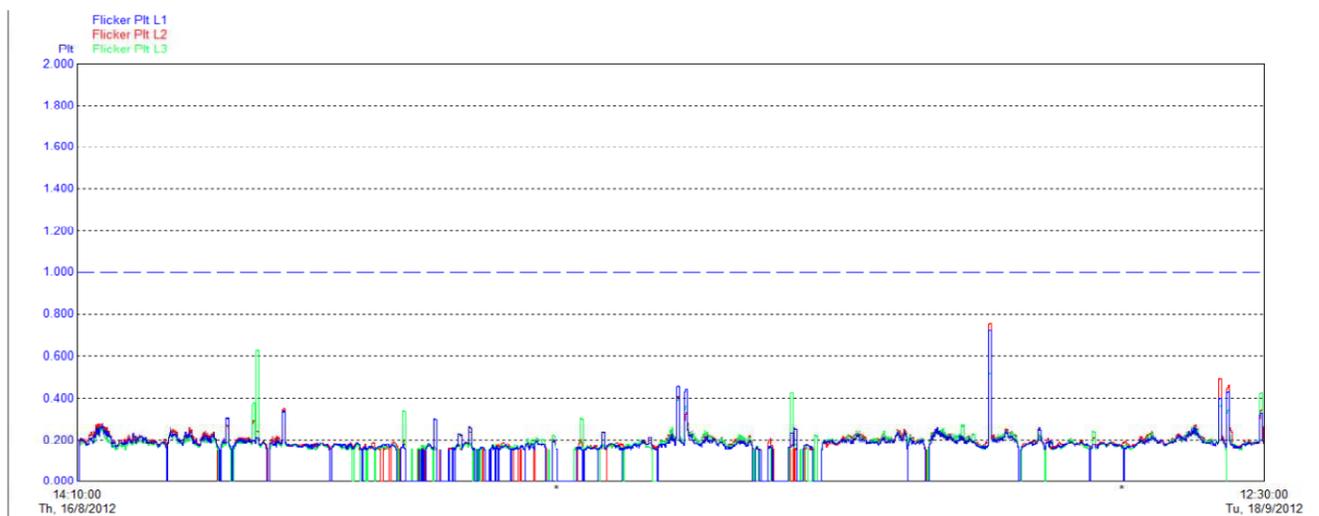


Figura 6.6.10- Flicker de severidad de larga duración – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de flicker de severidad de corta duración, concluyendo que está fuera de los límites permisibles de la norma IEC 61000-4-15. El flicker Pst de corta duración (st =short-term) se registra en un intervalo estándar predeterminado de 10 minutos $<1\%$. Esto se debe a una falla del suministro de energía eléctrica por parte del proveedor del servicio eléctrico. Ver Fig. 6.6.11.

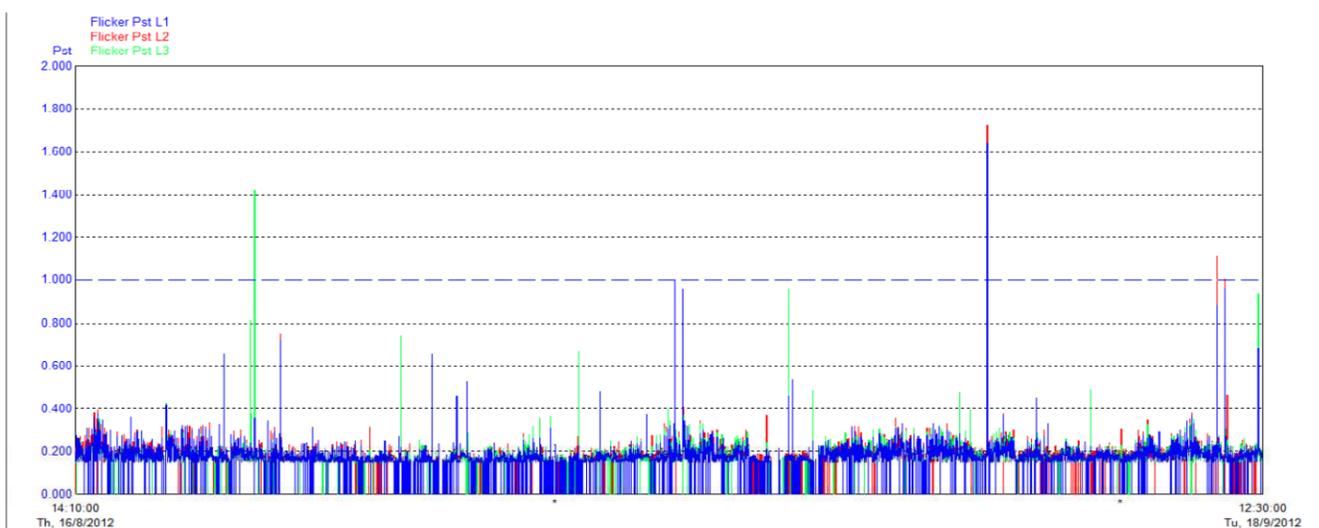


Figura 6.6.11- Flicker de severidad de corta duración– Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de frecuencia, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s $\pm 1\%$. Ver Fig. 6.6.12.

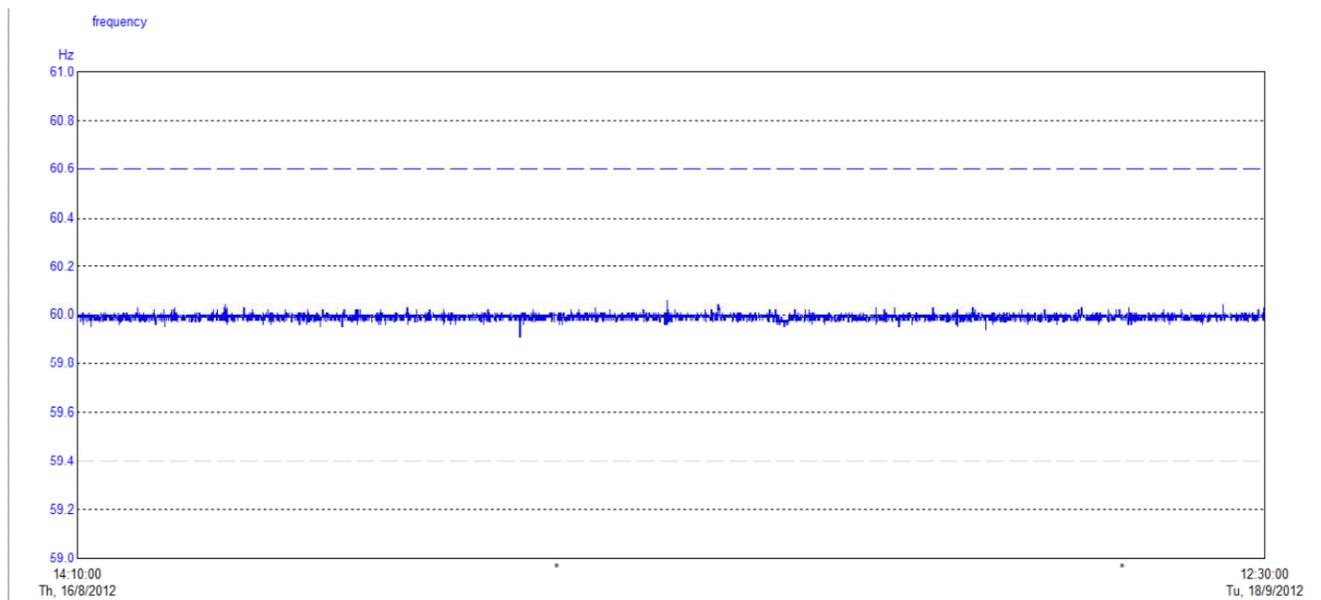


Figura 6.6.12- Frecuencia de línea – Fac. Empresariales

Fuente: Autores

Se estudia la gráfica del factor de potencia, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Ver Fig. 6.6.13.

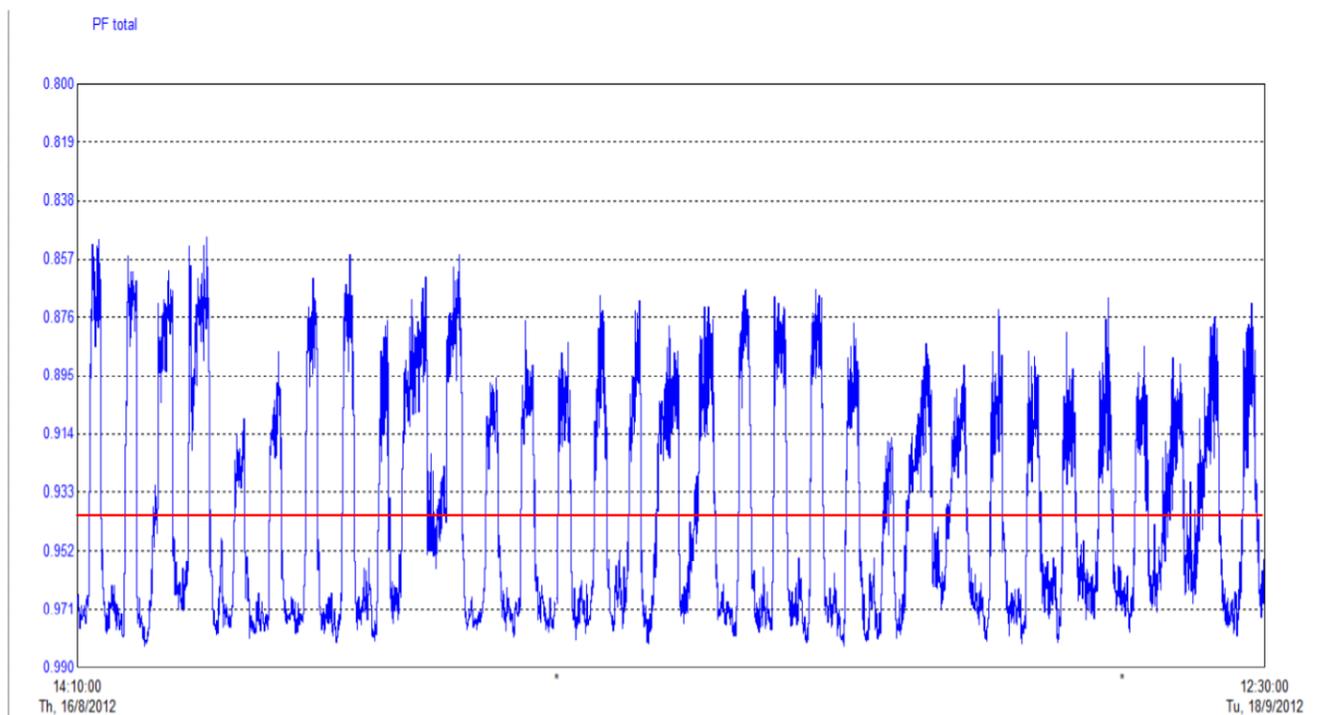


Figura 6.6.13- Factor de Potencia – Fac. Empresariales

Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de factor de potencia de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Ver Fig. 6.6.14.

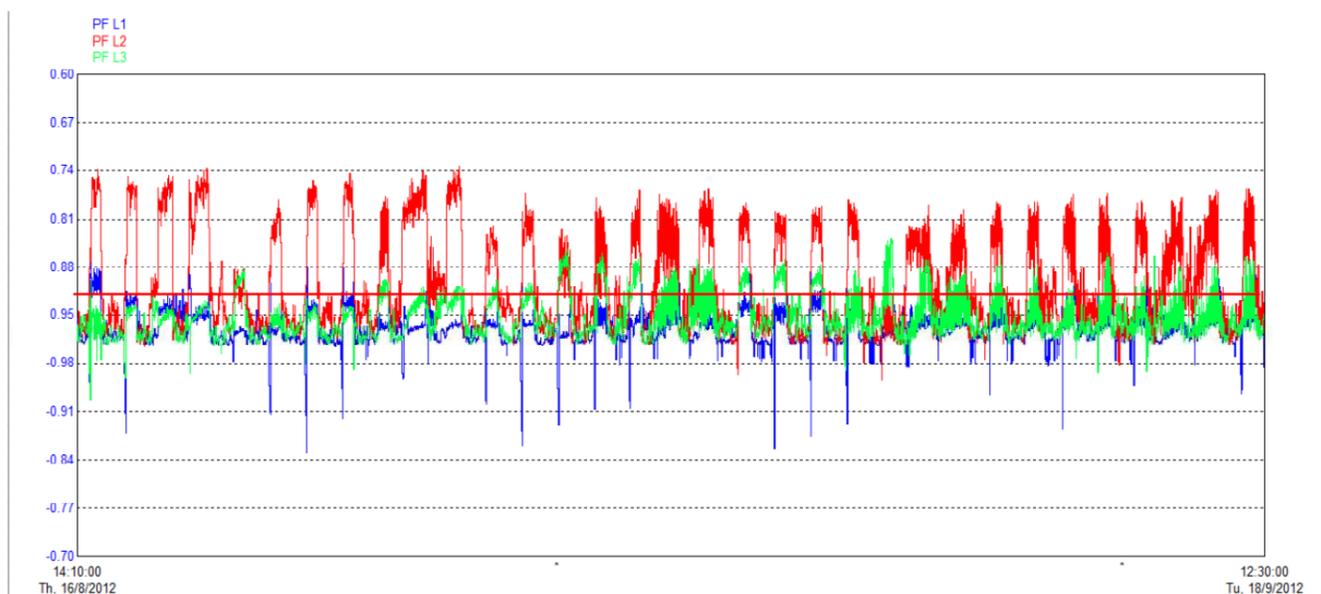


Figura 6.6.14- Factor de Potencia de Líneas 1,2,3 – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 1970 amperios. Ver Fig. 6.6.15.

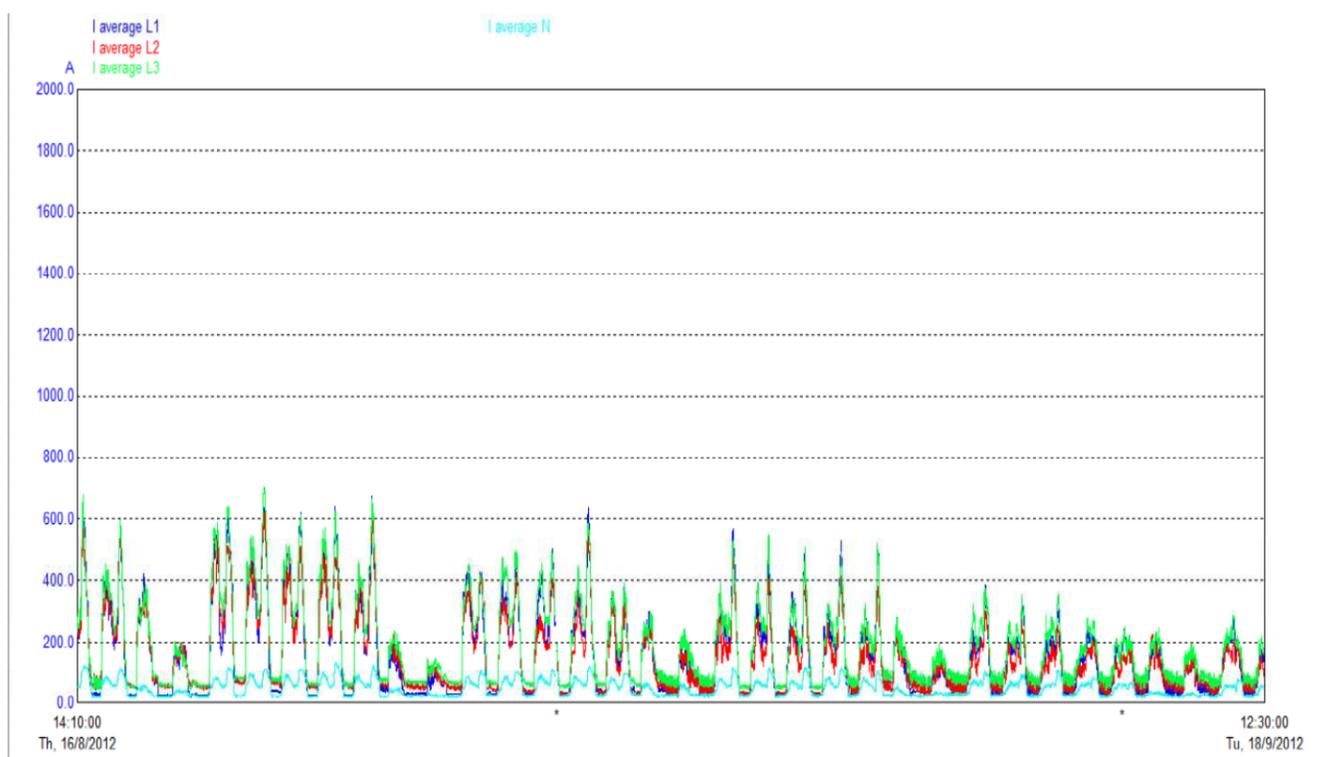


Figura 6.6.15- Corriente de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Corriente máxima de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 1970 amperios. Ver Fig. 6.6.16.

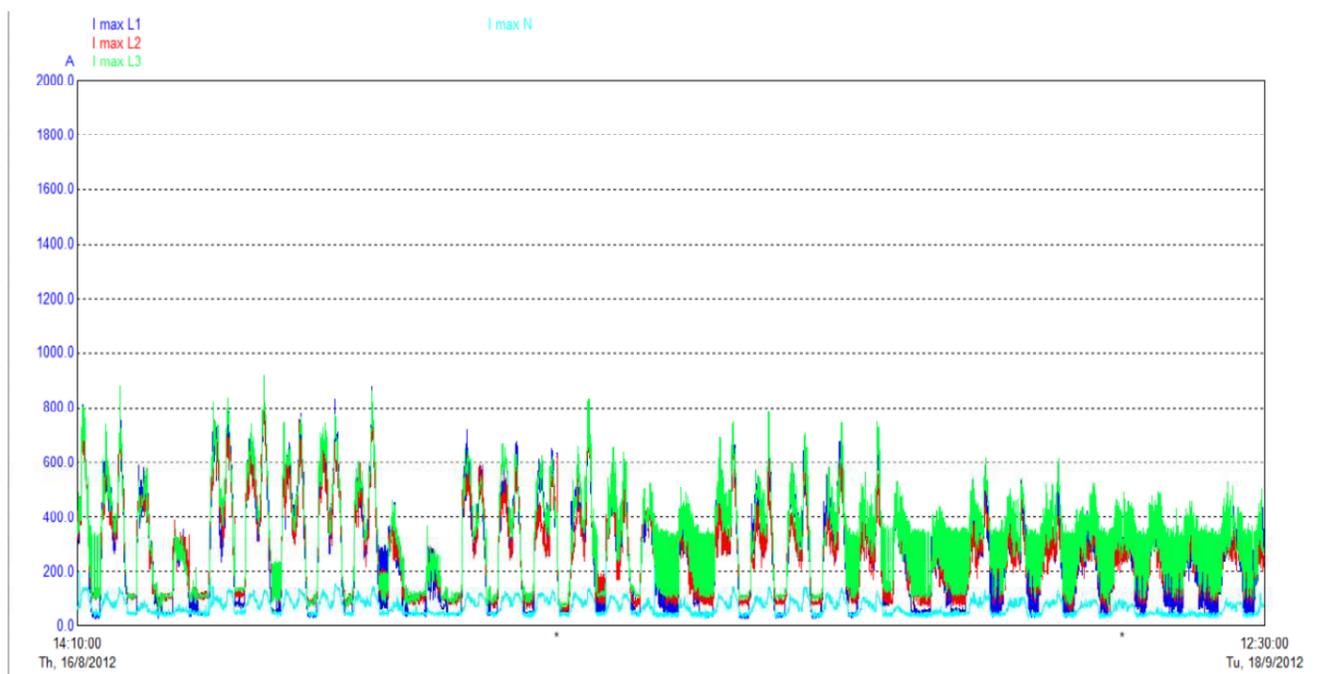


Figura 6.6.16- Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de desbalance de corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que no se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores sobrepasa el 25% de desbalance por un período largo mayor de 15 minutos, como mejora se debe revisar las cargas para mejorar este desbalance. Ver Fig. 6.6.17.

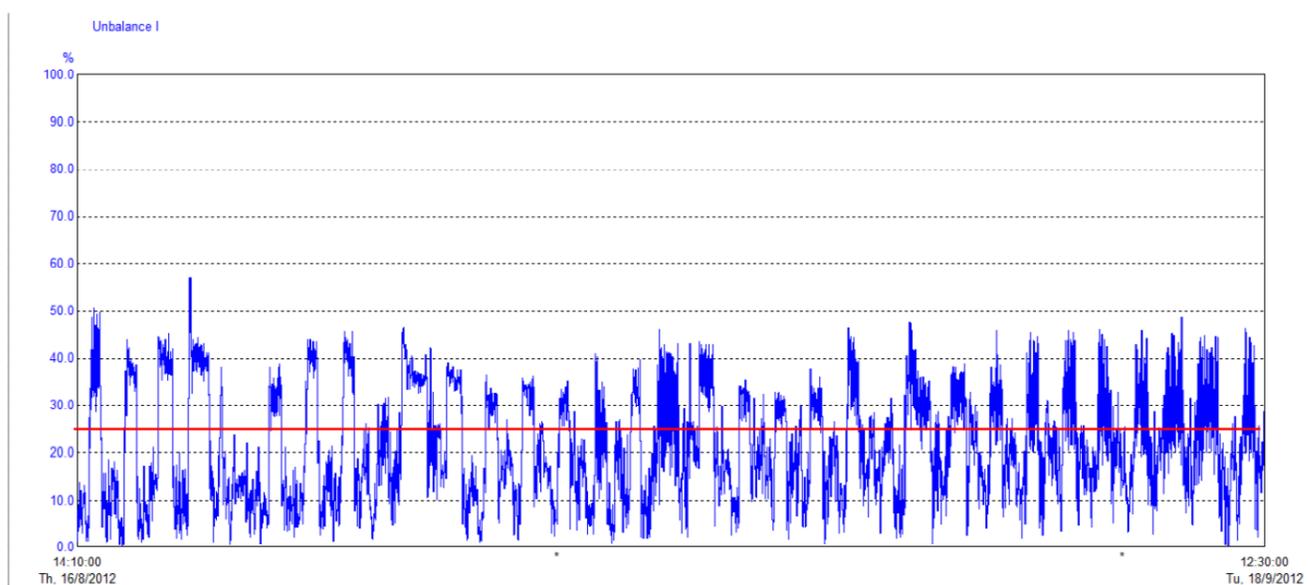


Figura 6.6.17- Desbalance de corriente – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de THD Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7 sobrepasa el 20% de acuerdo a un comportamiento de cargas no lineales. Ver Fig. 6.6.18.

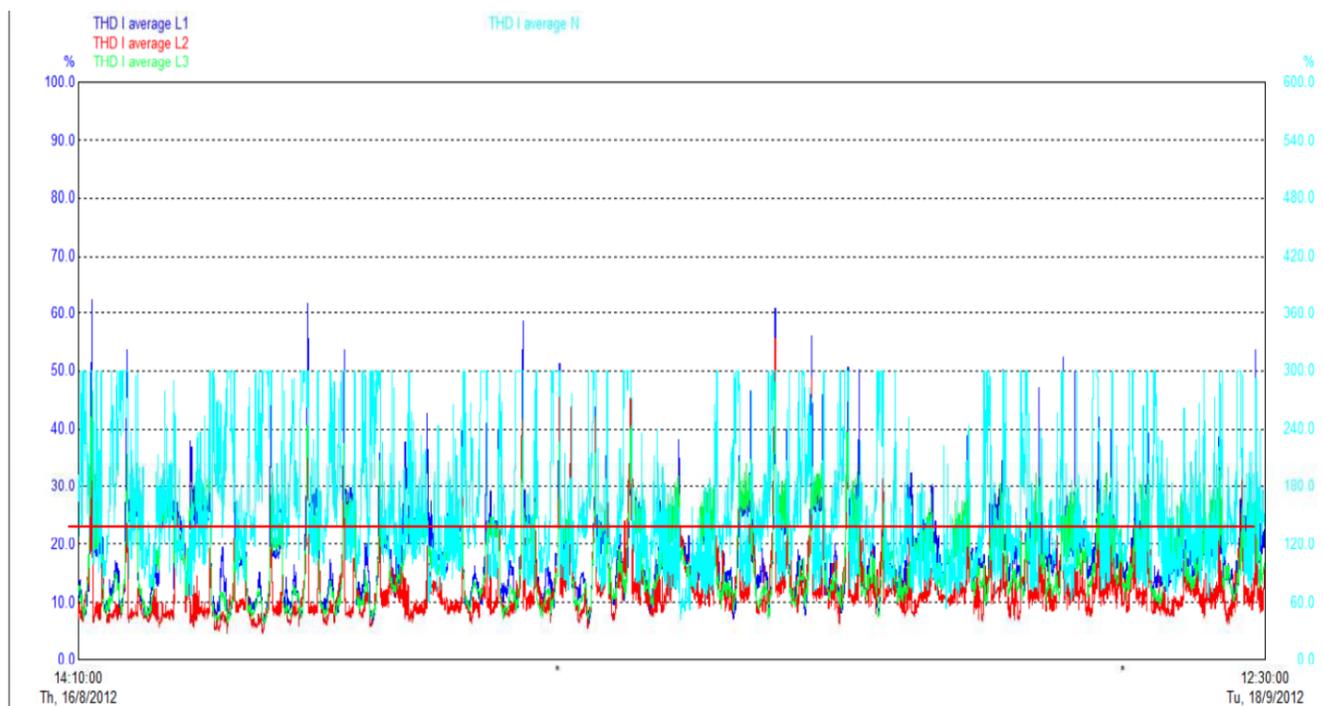


Figura 6.6.18- THD Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de armónicas de voltaje, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. Sobrepasa los límites > 8 % esto es debido a un comportamiento de la carga no lineal instalada. Ver Fig. 6.6.19.

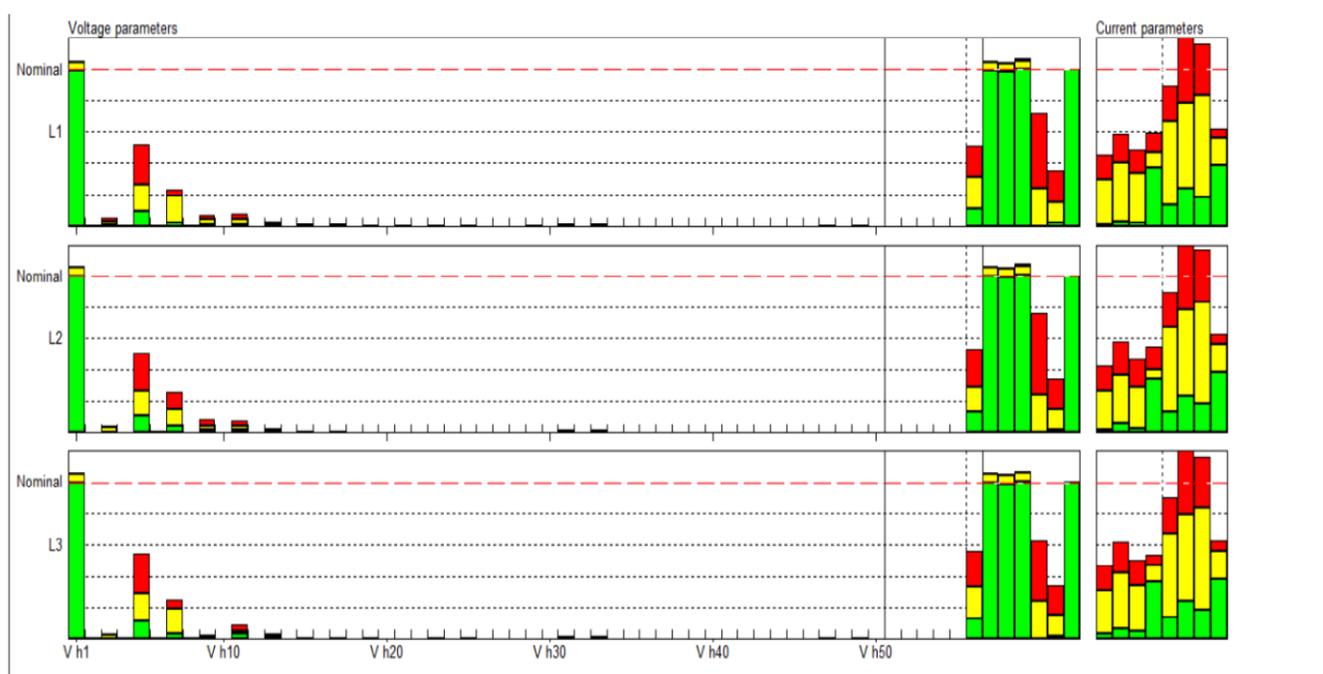


Figura 6.6.19- Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de armónicas de corriente, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. En pequeños períodos cortos de tiempo sobrepasa los límites $> 20\%$ esto es debido a un comportamiento de la carga no lineal instalada pero no como crítico. Ver Fig. 6.6.20.

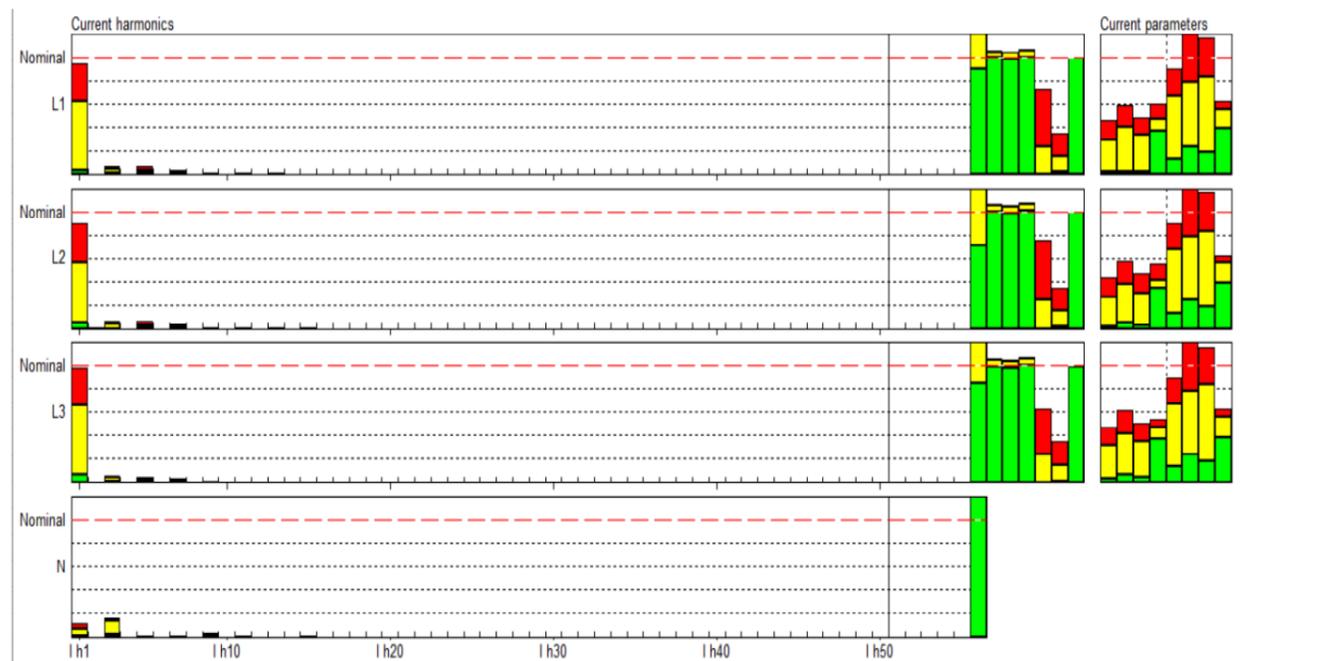


Figura 6.6.20- Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de Potencia total, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 138 KW. Ver Fig. 6.6.2

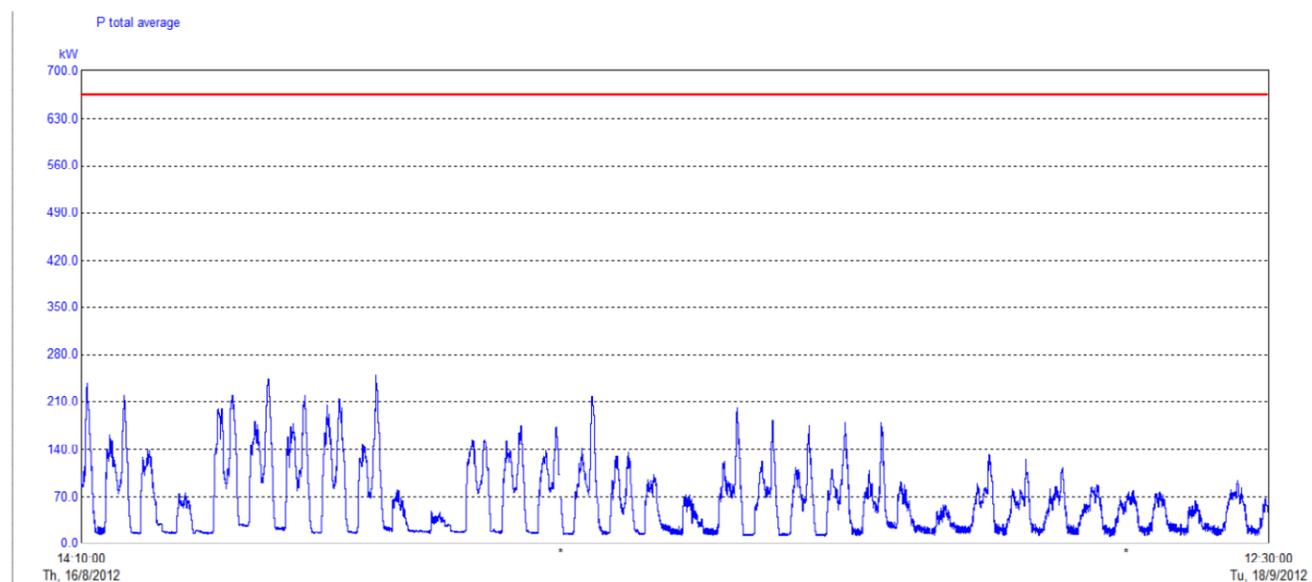


Figura 6.6.21- Potencia total – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

Se examina la gráfica de eventos con problemas, Ver Fig. 6.6.22 concluyendo que existen problemas como:

- 1) Interrupciones eléctricas
- 2) Flicker de severidad de corta duración
- 3) Desbalance de corriente
- 4) Bajo factor de potencia

El principal problema es producto de la energía eléctrica entregada por el proveedor del servicio eléctrico debido a que presenta una falla de caída de voltaje de las líneas. Por lo que se recomienda tener sistemas de UPS para evitar que los equipos de computación se apaguen o se dañen. Además se observa en la gráficas que existe desbalance de corriente. Por lo que es necesario balancear las cargas de acuerdo a un plano eléctrico de la instalación y revisar toda la instalación eléctrica para determinar fallas de las líneas.

Voltage average value [V] limit value: 127.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Voltage Max value [V] limit value: 127.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Voltage Min value [V] limit value: 127.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
29/08/2012 21:40:00	113.17	105.02	114.43
02/09/2012 05:40:00	84.11	120.70	120.70
02/09/2012 10:40:00	90.08	100.63	122.10
05/09/2012 09:10:00	119.97	125.45	109.56
10/09/2012 21:30:00	109.20	60.69	112.60
17/09/2012 06:20:00	117.77	114.11	119.61
17/09/2012 11:50:00	101.10	103.34	117.61
18/09/2012 10:00:00	117.09	106.95	106.48

Flicker Pst [Pst] limit value: 1.00			
Date time	L1	L2	L3
21/08/2012 13:50:00	0.396	0.463	1.420
02/09/2012 05:40:00	1.001	0.889	0.843
10/09/2012 21:30:00	1.640	1.721	1.167
17/09/2012 06:20:00	0.883	1.109	0.789
17/09/2012 11:50:00	0.959	1.003	0.718

Flicker Pst [Pst] limit value: 1.00			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Unbalance V [%] limit value: 2.00			
Date time	L1	L2	L3
		no	

frequency [Hz] limit value: 60Hz +/- 1% - Data from interval			
Date time	L1	L2	L3
		no	

THD V [%] limit value: 8.00			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Figura 6.6.22- Eventos con problemas – Fac. Empresariales
Fuente: Autores

6.7 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA FACULTAD DE ECONOMÍA.

Se procedió con la instalación del equipo por un período de siete días de acuerdo a la No. CONELEC-004/01, basada en la norma internacional EN 50160.

Se empieza a programar el equipo para proceder con el registro de las mediciones de energía eléctrica de acuerdo a la placa de datos del transformador de distribución del punto a medir. Ver Fig. 6.7.1.

Empresa:	ueg		Close
Sección:	calidad		
Dirección:	universidad catolica		
Convertidor:			
Referencia:	edif medicina 2 atras		
Código de medición:	3*167 kva		Text...
Measurement function:			Logger
Measurement period:			Measurement
Intervals:			Print
Measurement segments :			
Voltage			
Power Type:	Wye		
Nominal voltage:	123 V		
Input Range:	115 V, P-N, 60 Hz		
Voltage transformer:	-		
Min-Max-value:	0.5 periods		
Interharmonics:	not programmed		
Events:	- 8.00/+ 8.00% of 123 V, linear		
Hysteresis:	2.00 %		
Current			
	Phase	Neutral	
Input Range:	1500 A	150 A	
Max. clamp current:	3000 A	3000 A	
Number of CTs:	3	1	
Additional CT:	-	-	
Max-value:	0.5 periods	0.5 periods	
Power			
Min-Max-value:	1 minute		

Figura 6.7.1- Programación de equipo Fluke 1744 – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se instaló el equipo por un período mayor a siete días desde el 18 de Septiembre a las 13:20 hasta el 12 de Diciembre hasta las 13:25. Se procede a retirar el equipo y descargar la información registrada en este período a través del programa PQ Log de la marca Fluke.

Se empieza el análisis de las variables eléctricas, a continuación mostramos el voltaje de la línea 1. Ver Fig. 6.7.2. Se observa que el voltaje se encuentra dentro de los

límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$.

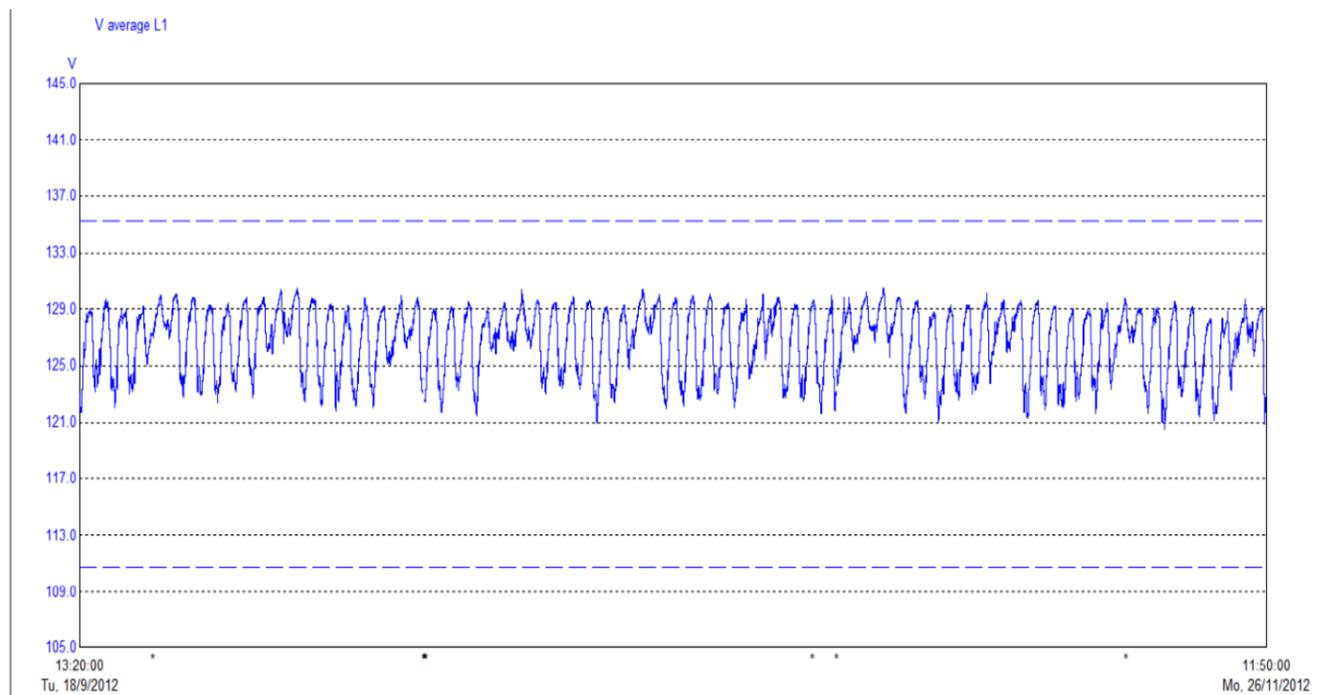


Figura 6.7.2- Voltaje de L1 – Fac. Economía

Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Voltaje de la línea 2, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.7.3.

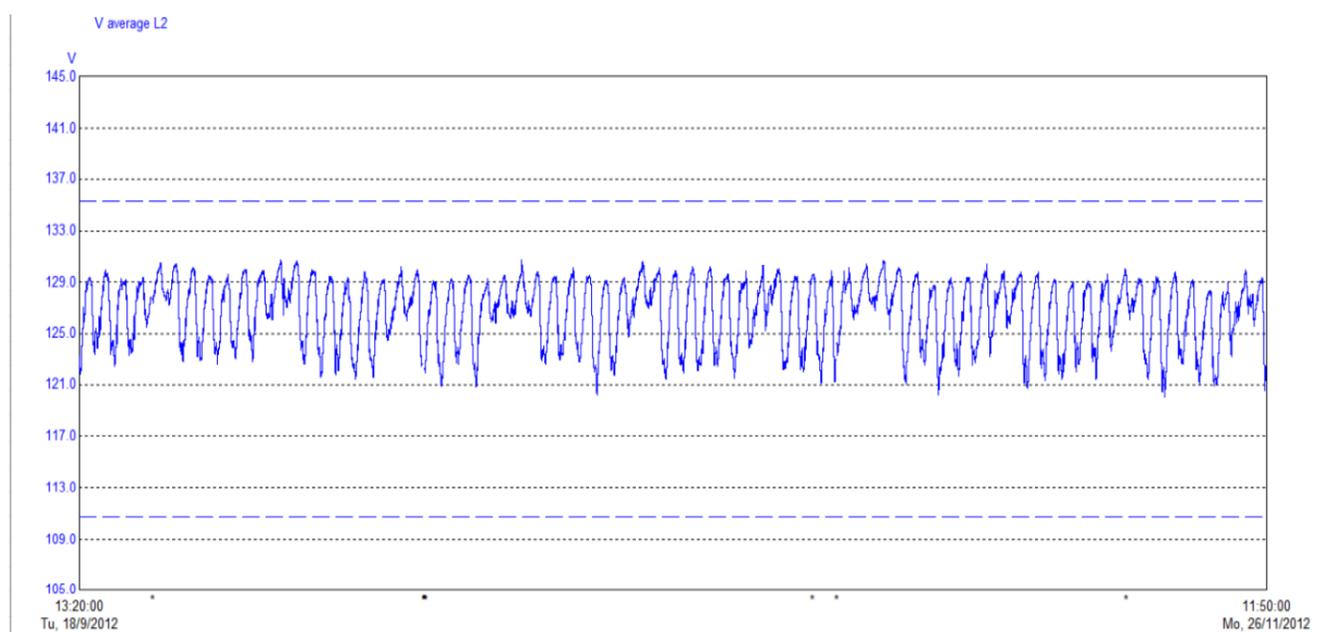


Figura 6.7.3- Voltaje de L2 – Fac. Economía

Fuente: Autores

Se observa la gráfica de Voltaje de la línea 3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.7.4.

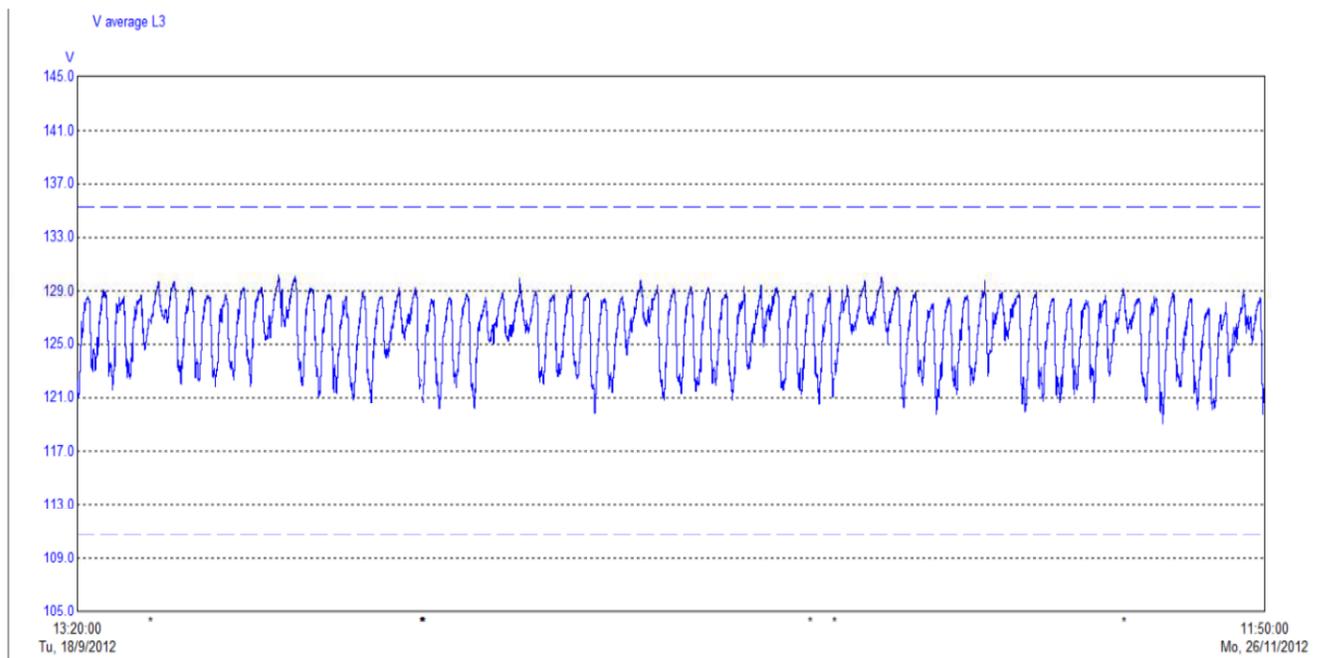


Figura 6.7.4- Voltaje de L3 – Fac. Economía

Fuente: Autores

Se examina la gráfica de Voltaje Máximo de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.7.5.

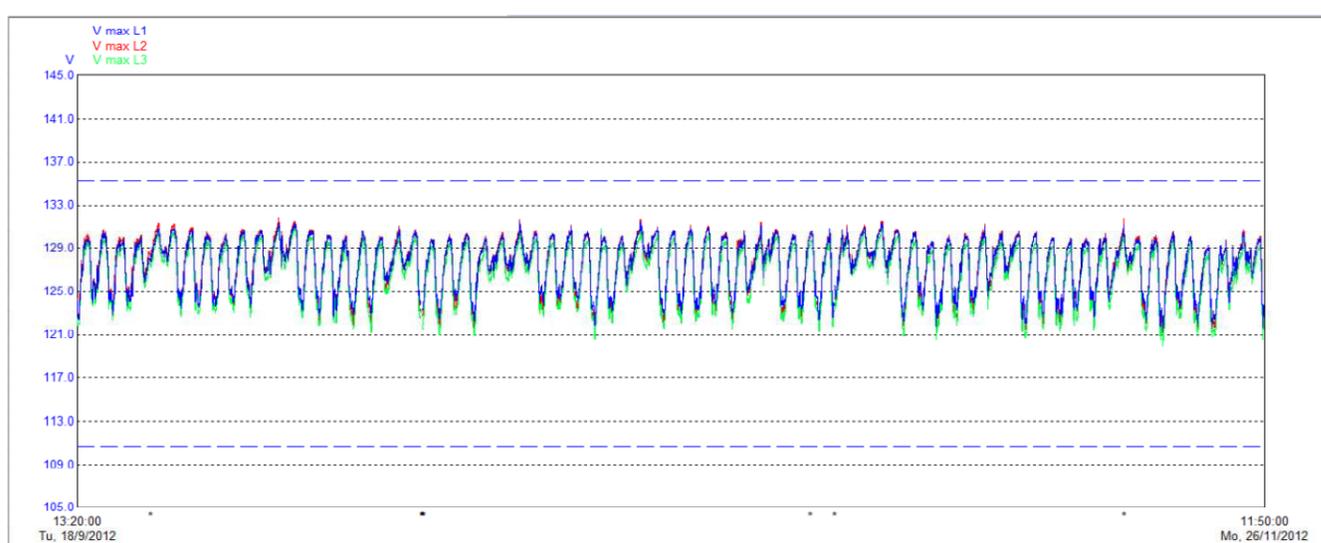


Figura 6.7.5- Voltaje Máximo de L1, 2, 3 – Fac. Economía

Fuente: Autores

Se examina la gráfica de Voltaje Min de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje está fuera de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están fuera $\pm 10\%$. Se produjo una falla por parte del proveedor del suministro eléctrico por debajo de 108 VAC. Ver Fig. 6.7.6.

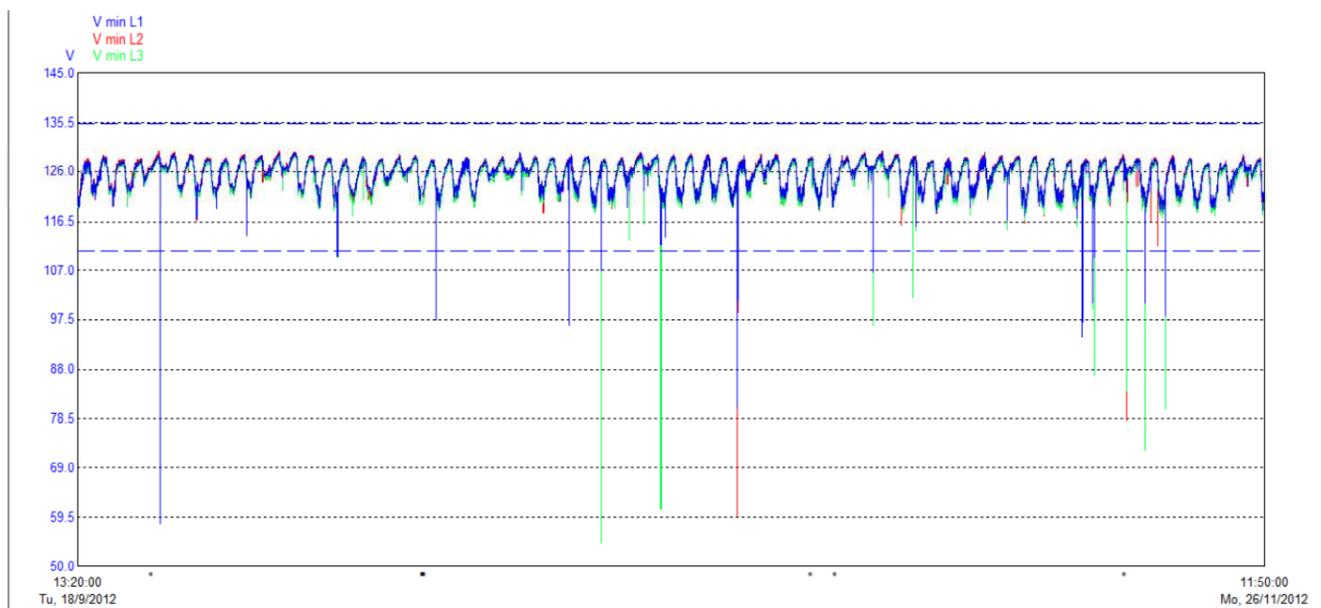


Figura 6.7.6- Voltaje Mínimo de L1, 2, 3 – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Voltaje de Línea a Línea de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160 porque las variaciones de la tensión promedio del VAC de cada ciclo durante 10 min están dentro $\pm 10\%$. Ver Fig. 6.7.7.

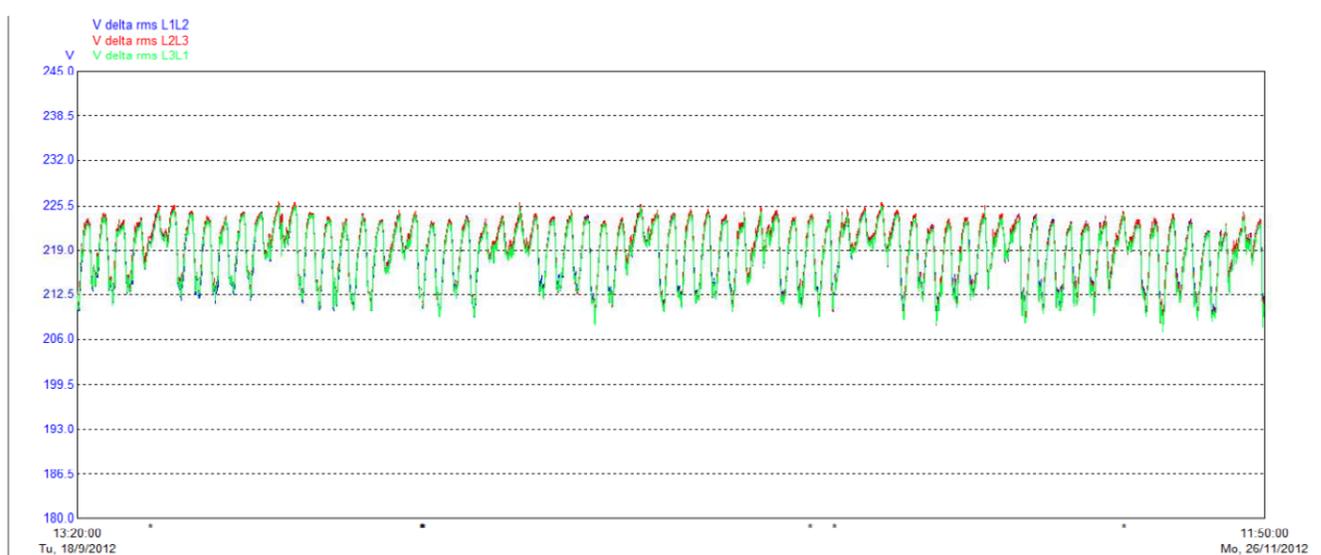


Figura 6.7.7- Voltaje Línea a Línea – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de THD Voltaje de las líneas 1,2,3, concluyendo que el voltaje se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque las tensiones armónicas promedio del THD de la tensión referido a U_n (tensión nominal normalizada) en cada ciclo durante 10 min $<8\%$. Ver Fig. 6.7.8.

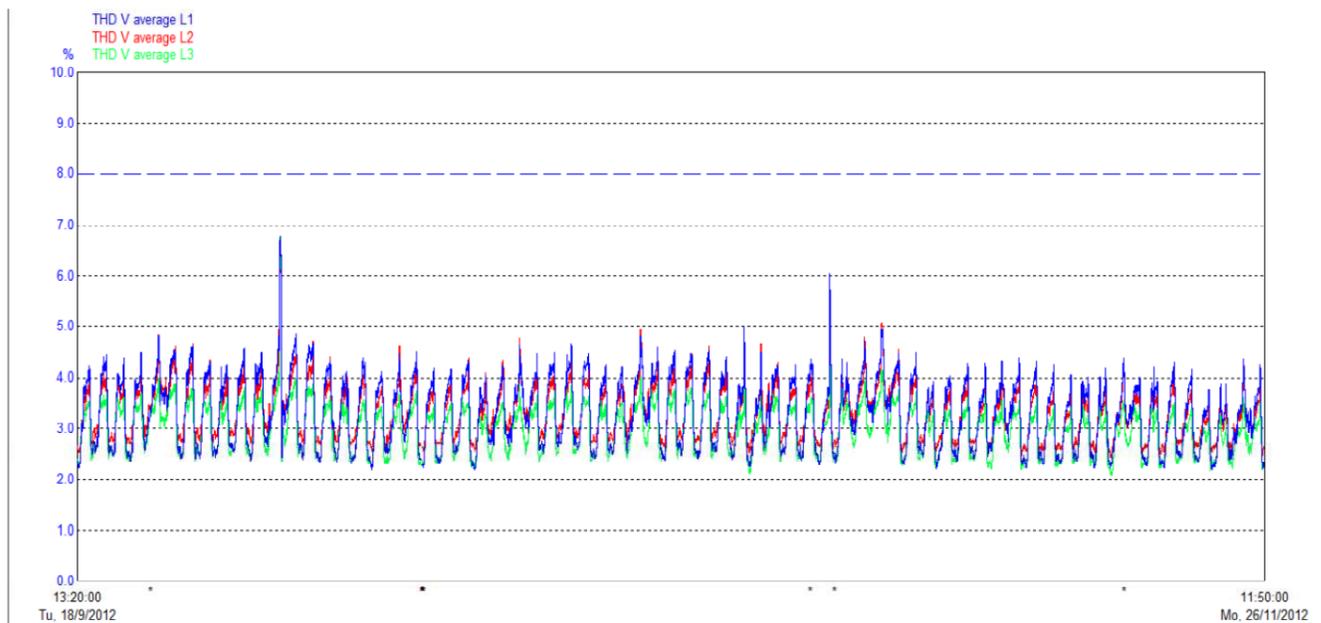


Figura 6.7.8- THD Voltaje – Fac. Economía

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica del desbalance de Voltaje, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el desequilibrio de la tensión promedio de la U_{inv} / U_{dir} de cada ciclo durante 10 min $<2\%$. Ver Fig. 6.7.9.

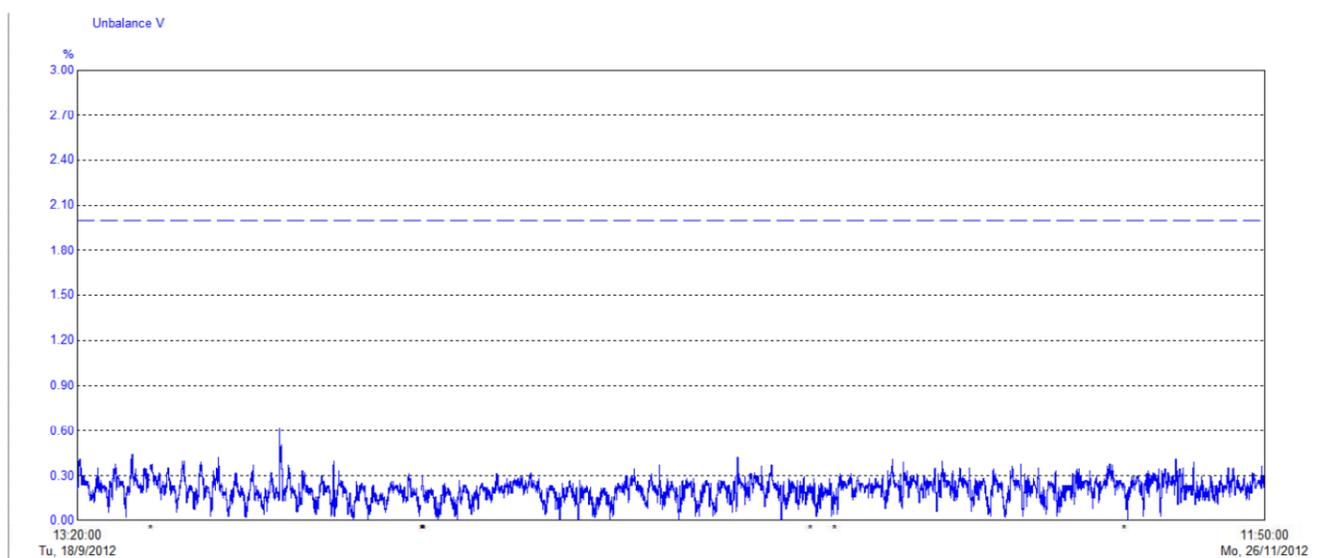


Figura 6.7.9- Voltaje Desbalance – Fac. Economía

Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de flicker de severidad de larga duración, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma CEI 61000-4-15, porque el flicker Plt de larga duración (lt = long-term) (tomando el promedio variable de 12 valores de corta duración) se registra en un intervalo estándar predeterminado mayor de 10 minutos <1%. Ver Fig. 6.7.10.

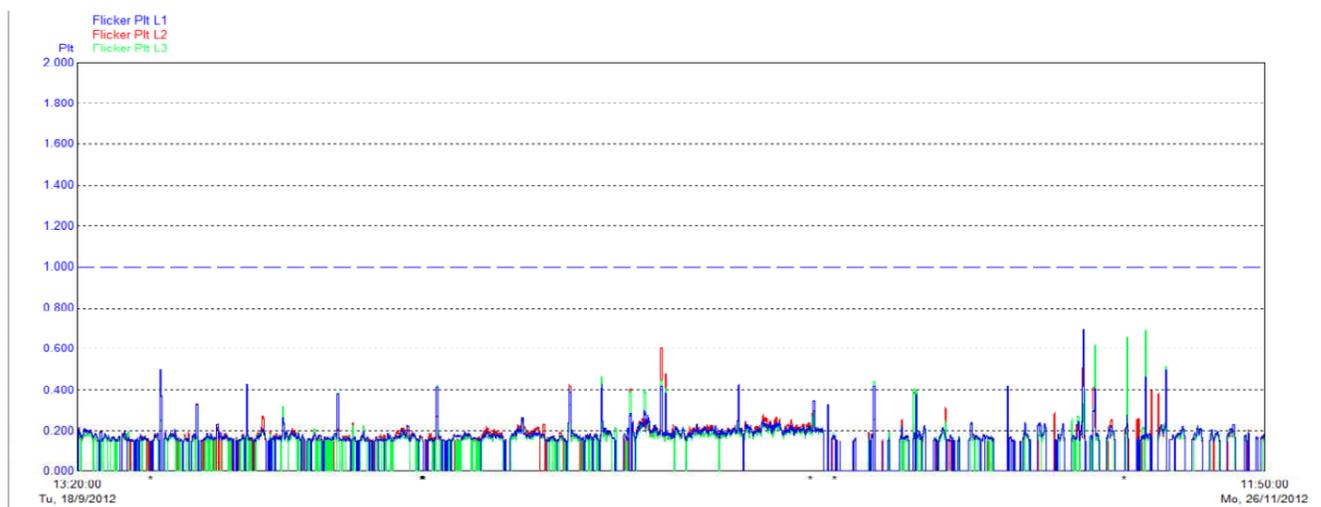


Figura 6.7.10- Flicker de severidad de larga duración – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de flicker de severidad de corta duración, concluyendo que está fuera de los límites permisibles de la norma IEC 61000-4-15. El flicker Pst de corta duración (st =short-term) se registra en un intervalo estándar predeterminado de 10 minutos <1%. Esto se debe a una falla del suministro de energía eléctrica por parte del proveedor del servicio eléctrico. Fig. 6.7.11.

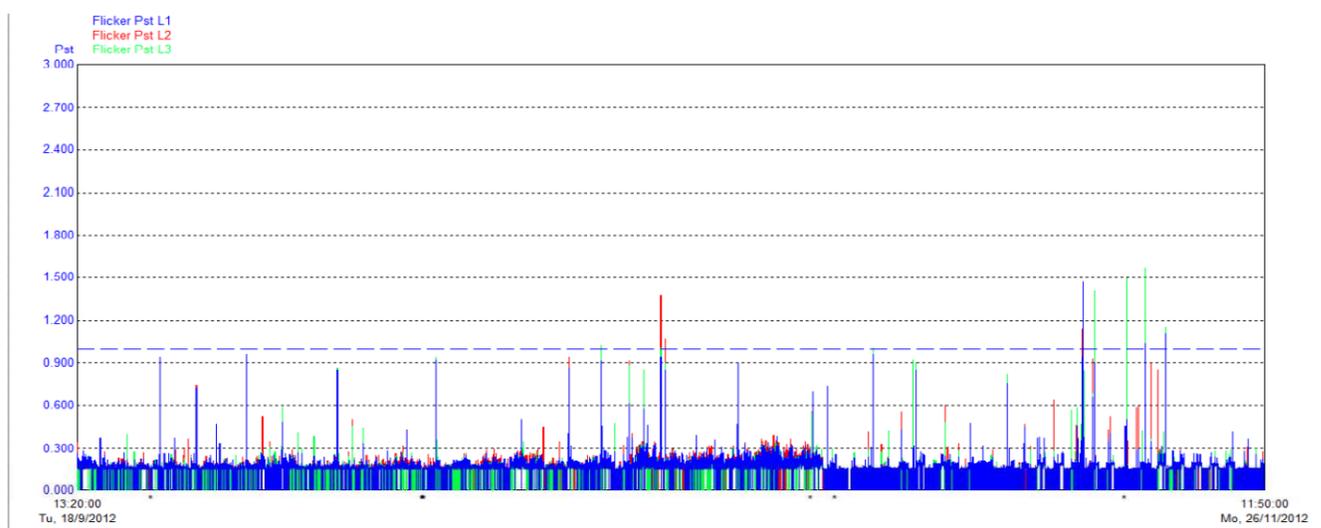


Figura 6.7.11- Flicker de severidad de corta duración – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de frecuencia, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma EN 50160, porque el promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s $\pm 1\%$. Ver Fig. 6.7.12.

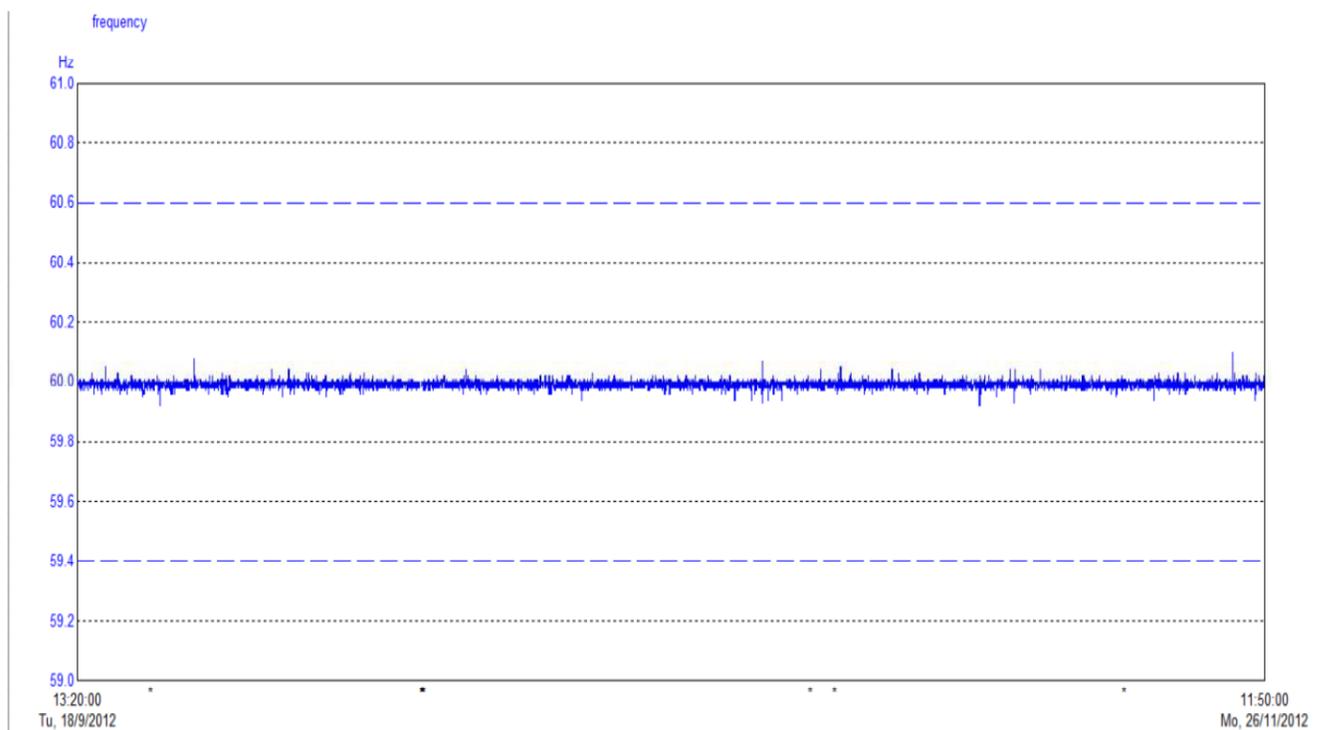


Figura 6.7.12- Frecuencia de línea – Fac. Economía

Fuente: Autores

Se examina la gráfica del factor de potencia, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Ver Fig. 6.7.13.

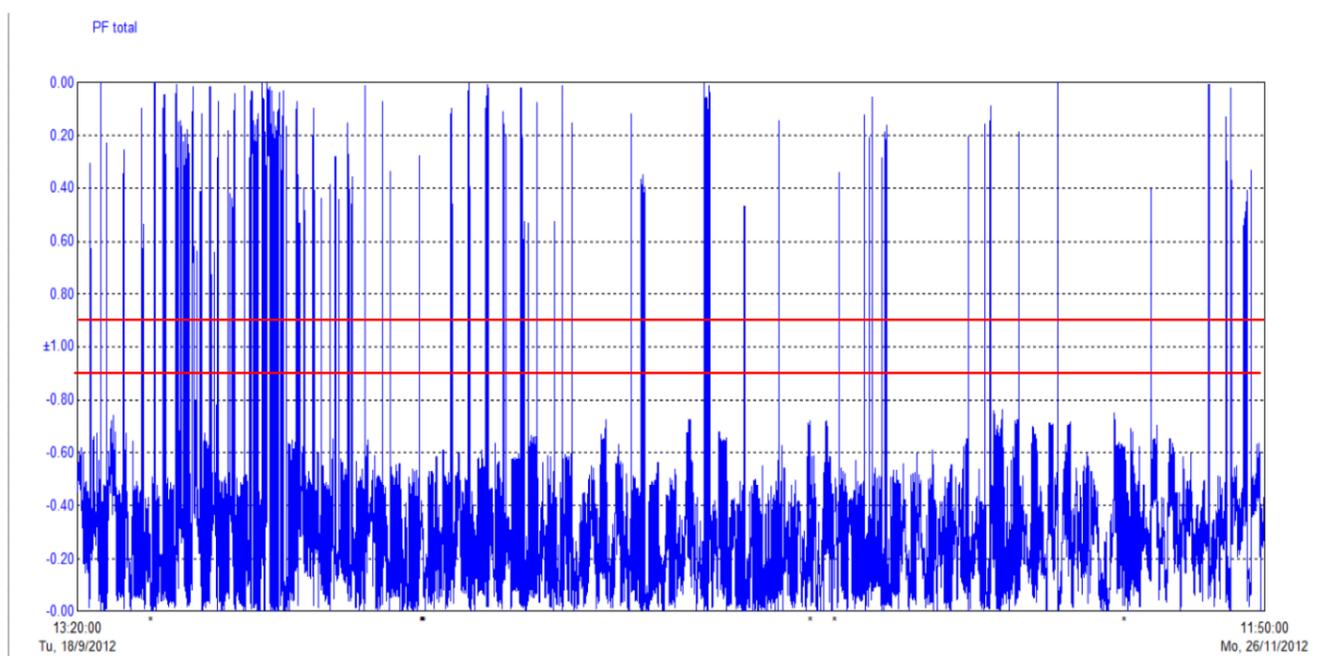


Figura 6.7.13- Factor de Potencia – Fac. Economía

Fuente: Autores

Se analiza la gráfica del factor de potencia de las líneas, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles del CONELEC menor al 0.92. Ver Fig. 6.7.14.

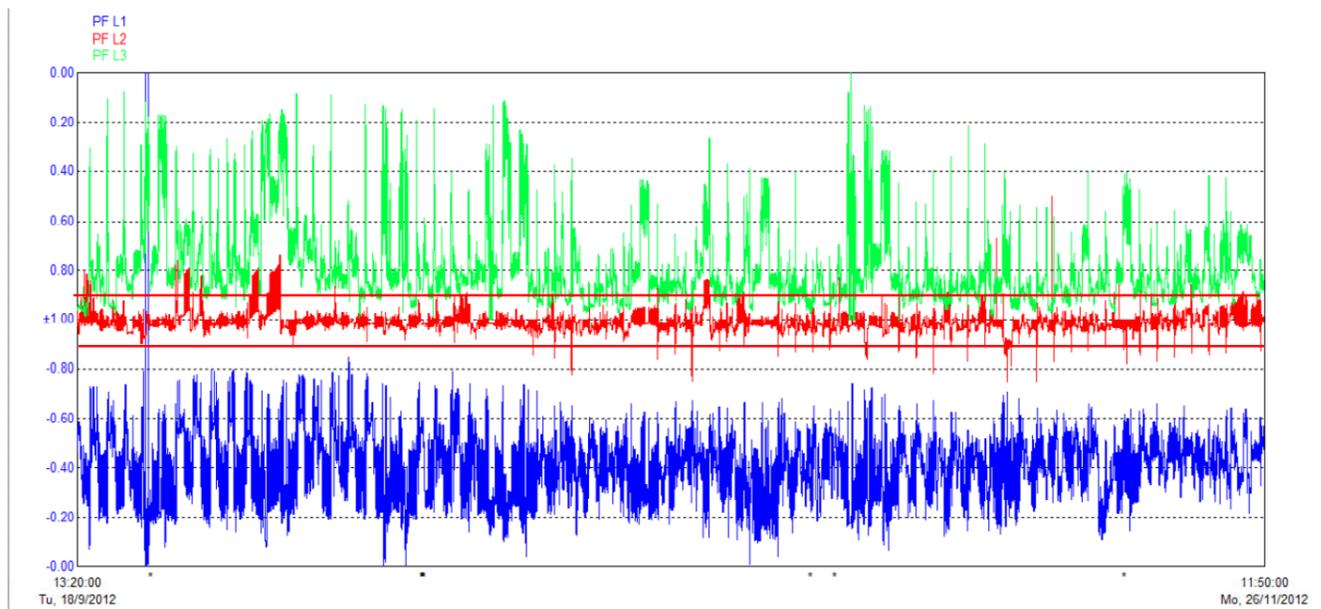


Figura 6.7.14- Factor de Potencia de Líneas 1,2,3 – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 1316 amperios. Ver Fig. 6.7.15.

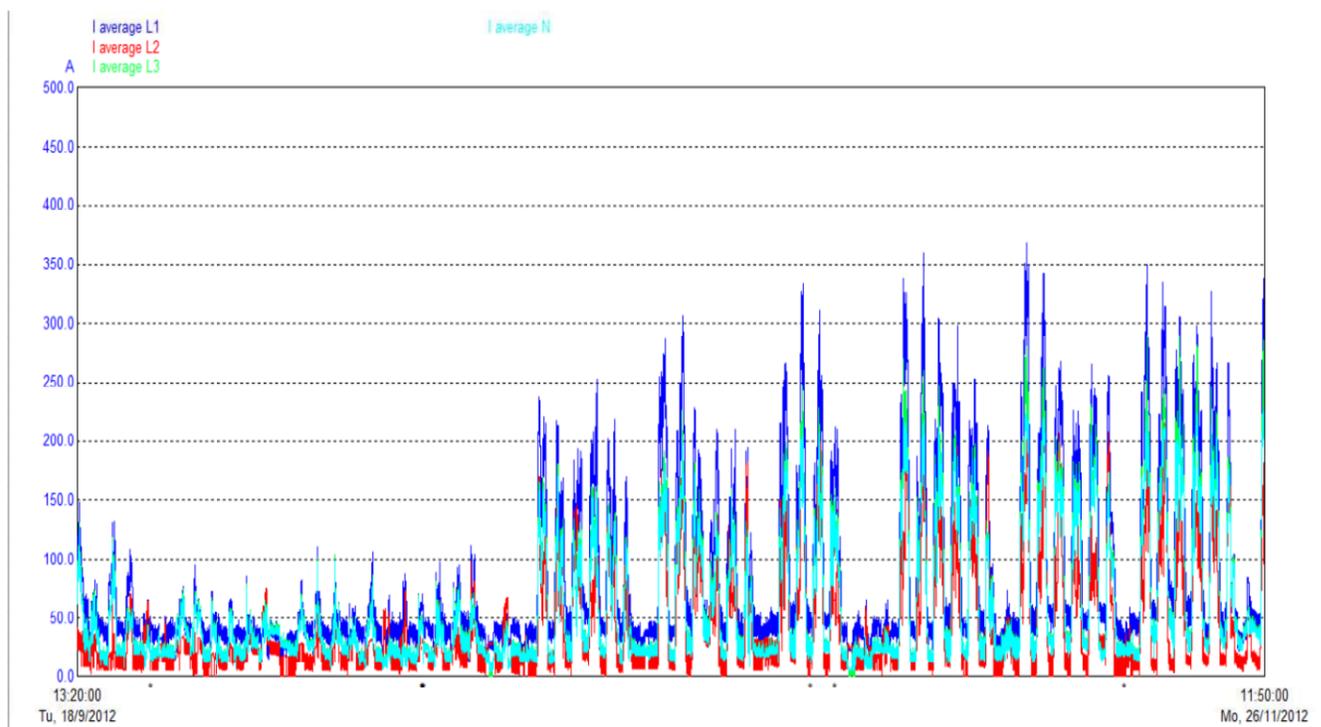


Figura 6.7.15- Corriente de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se examina la gráfica de Corriente máxima de las líneas 1,2,3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores sobrepasa los 1316 amperios. Ver Fig. 6.7.16.

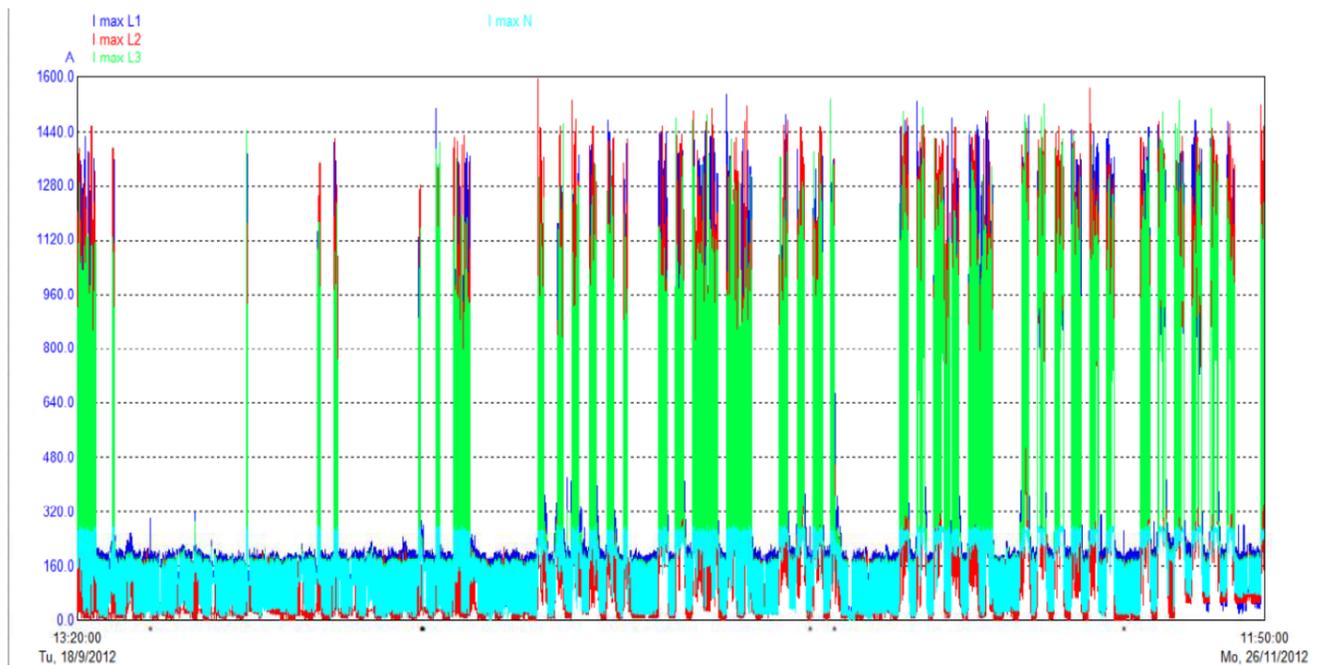


Figura 6.7.16- Corriente máxima de Líneas 1, 2, 3 – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se interpreta la gráfica de desbalance de corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que está fuera de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores sobrepasa el 25% de desbalance por un período largo mayor de 15 minutos, como mejora se debe revisar las cargas para mejorar este desbalance. Ver Fig. 6.7.17.

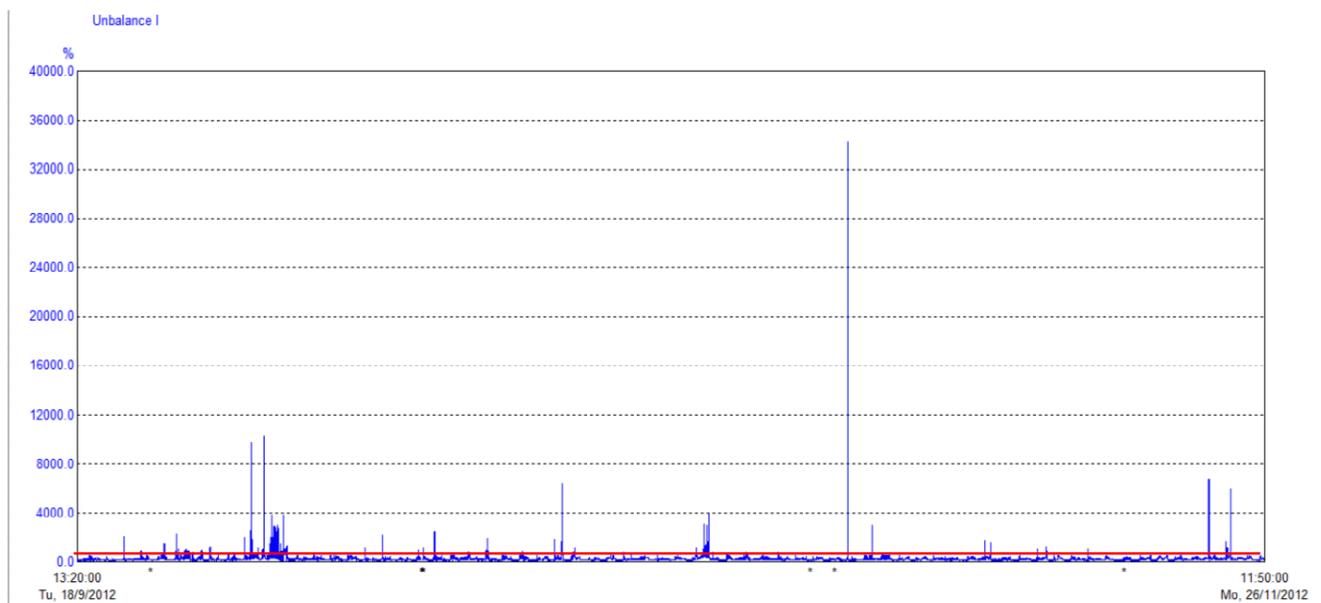


Figura 6.7.17- Desbalance de corriente – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de THD Corriente de las líneas 1, 2, 3, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7 sobrepasa el 20 % de acuerdo a un comportamiento de cargas no lineales. Ver Fig. 6.7.18.

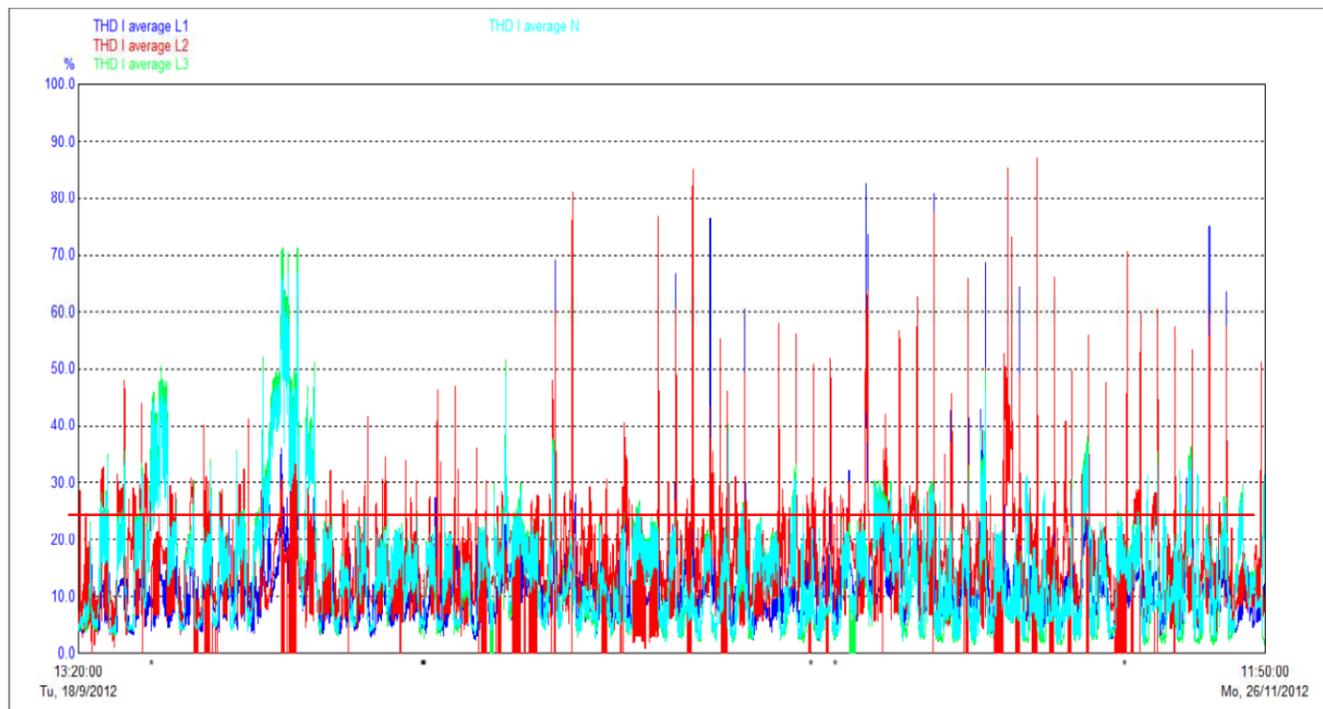


Figura 6.7.18- THD Corriente de las líneas 1, 2, 3– Fac. Economía

Fuente: Autores

Se estudia la gráfica de armónicas de voltaje, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. Sobrepasa los límites > 8 % esto es debido a un comportamiento de la carga no lineal instalada. Ver Fig. 6.7.19.

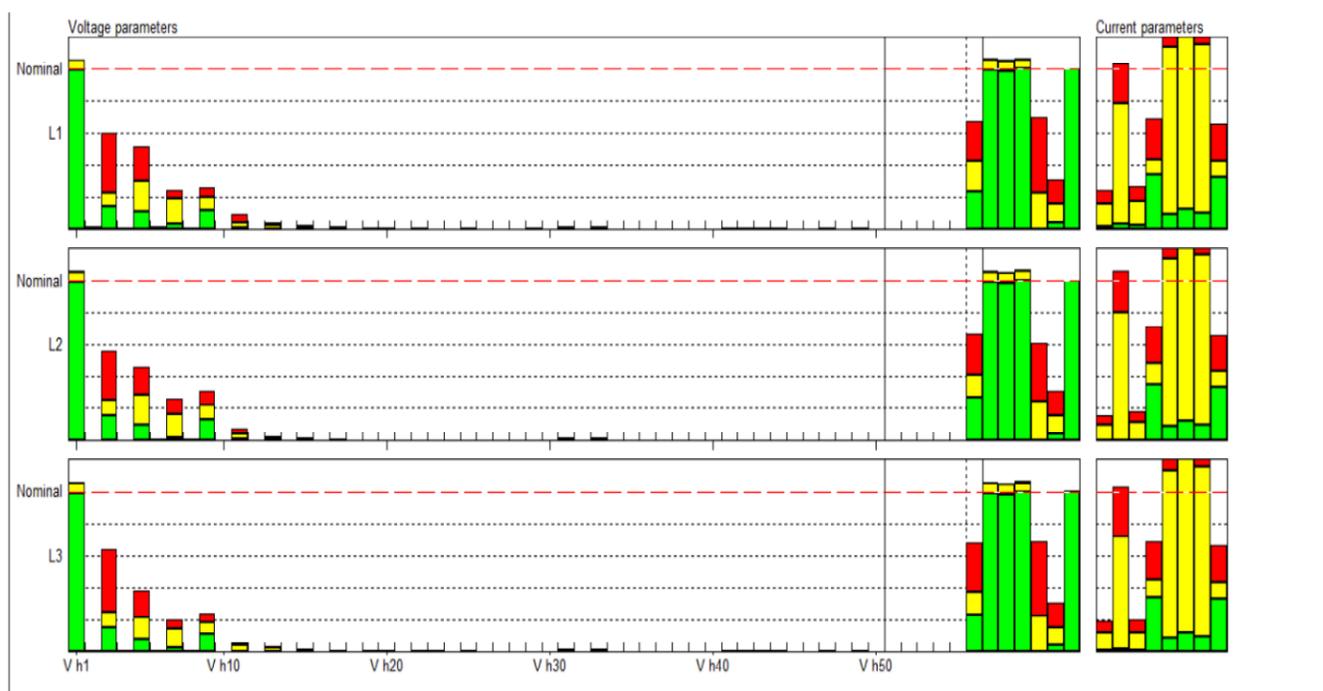


Figura 6.7.19- Armónicas de Voltaje de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Economía

Fuente: Autores

Se examina la gráfica de armónicas de corriente, concluyendo que se encuentra fuera de los límites permisibles de acuerdo CEI 61000-4-7. En pequeños períodos cortos de tiempo sobrepasa los límites $> 20\%$ esto es debido a un comportamiento de la carga no lineal instalada pero no como crítico. Ver Fig. 6.7.20.

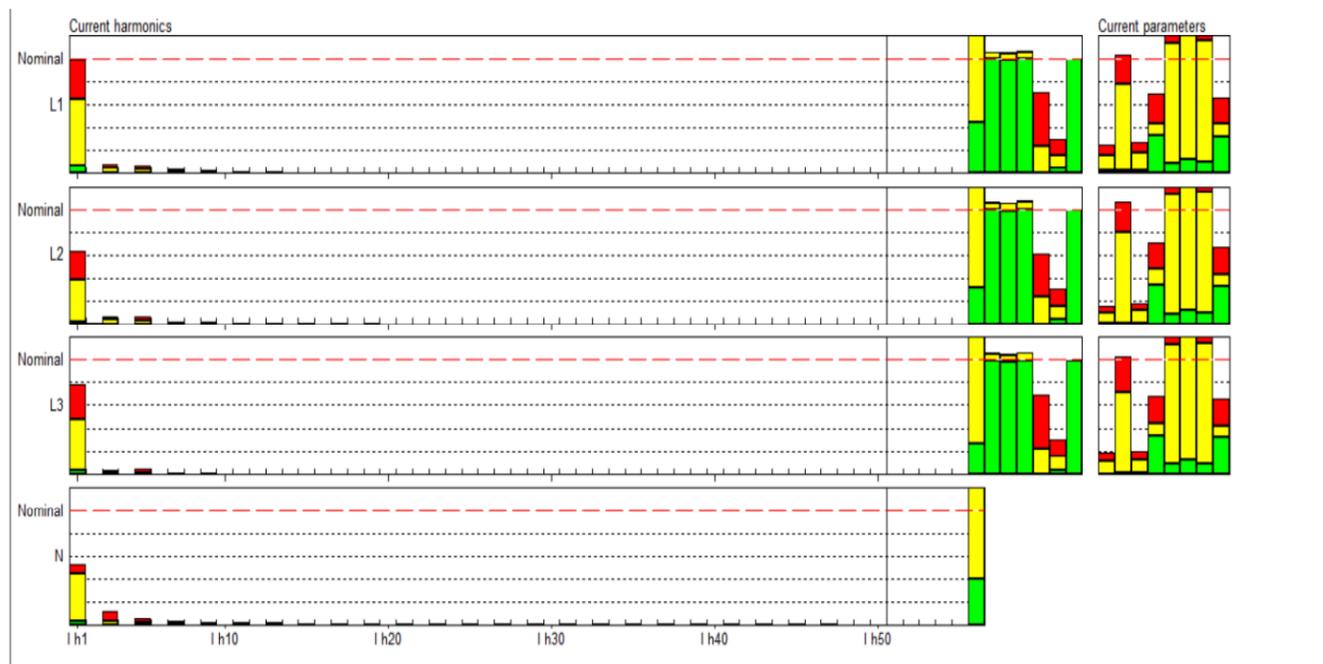


Figura 6.7.20- Armónicas de Corriente de las líneas 1, 2, 3 – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se analiza la gráfica de Potencia total, concluyendo que se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a las características del banco de transformadores no sobrepasa los 460 KW. Ver Fig. 6.7.2

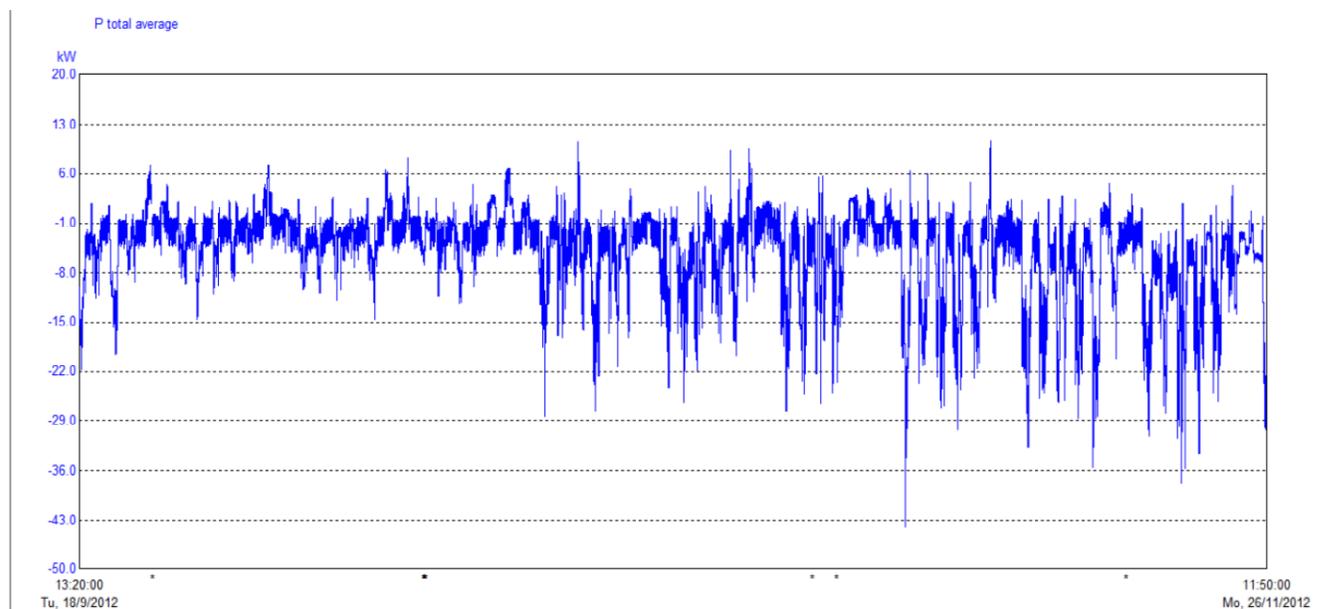


Figura 6.7.21- Potencia total – Fac. Economía
Fuente: Autores

Se observa la gráfica de eventos con problemas, Ver Fig. 6.7.22. concluyendo que existen problemas como:

- 1) Interrupciones eléctricas
- 2) Flicker de severidad de corta duración
- 3) Desbalance de corriente
- 4) Bajo factor de potencia
- 5) Armónicas de Voltaje y Corriente

El principal problema es producto de la energía entregada por el proveedor del servicio eléctrico debido a que presenta una falla de caída de voltaje de las líneas. Por lo que se recomienda tener sistemas de UPS para evitar que los equipos de computación se apaguen o se dañen. Además se observa en la gráficas que existe desbalance de corriente. Por lo que es necesario balancear las cargas de acuerdo a un plano eléctrico de la instalación y revisar toda la instalación eléctrica para determinar fallas de las líneas. Mejorar la instalación de tierra del transformador.

Voltage average value [V] limit value: 123.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no
Voltage Max value [V] limit value: 123.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no
Voltage Min value [V] limit value: 123.00V +/- 10%			
Date time	L1	L2	L3
23/09/2012 09:10:00	98.02	123.83	125.40
03/10/2012 18:20:00	109.77	119.86	109.51
09/10/2012 10:00:00	97.54	117.30	98.64
17/10/2012 03:30:00	96.23	113.64	119.50
18/10/2012 23:50:00	107.11	109.62	54.68
22/10/2012 11:10:00	112.18	87.19	61.11
26/10/2012 22:00:00	80.55	59.75	125.72
26/10/2012 22:30:00	101.41	98.80	117.56
03/11/2012 19:10:00	106.74	122.83	96.34
06/11/2012 02:50:00	120.92	110.35	101.88
15/11/2012 22:30:00	94.14	114.69	118.76
15/11/2012 22:50:00	97.02	113.90	120.12
16/11/2012 13:30:00	100.89	100.26	89.42
16/11/2012 15:30:00	109.62	118.55	87.03
18/11/2012 11:50:00	122.00	78.15	83.79
19/11/2012 13:40:00	100.73	110.24	72.40
20/11/2012 18:10:00	98.38	108.47	80.29
Flicker Pst [Pst] limit value: 1.00			
Date time	L1	L2	L3
18/10/2012 23:50:00	0.912	0.907	1.024
22/10/2012 11:10:00	0.942	1.373	1.007
22/10/2012 17:00:00	0.849	1.070	0.902
03/11/2012 19:10:00	0.956	0.583	1.007
10/11/2012 22:30:00	0.938	1.145	0.540
15/11/2012 22:50:00	1.467	0.808	0.537
16/11/2012 15:30:00	0.901	0.443	1.409
18/11/2012 11:50:00	0.505	1.350	1.495
19/11/2012 13:40:00	1.036	1.102	1.570
20/11/2012 18:10:00	1.103	0.977	1.157
Flicker Pst [Pst] limit value: 1.00			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no
Unbalance V [%] limit value: 2.00			
Date time		no	
frecuency [Hz] limit value: 60Hz +/- 1% - Data from interval			
Date time		no	
THD V [%] limit value: 8.00			
Date time	L1	L2	L3
	no	no	no

Figura 6.7.22- Eventos con problemas – Fac. Economía
Fuente: Autores