



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis Previa a la obtención del título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TÍTULO:

**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LOS EDIFICIOS
UTILIZADOS POR EL HOSPITAL LEÓN BECERRA**

AUTORES:

DAVID FREIRE RAMÍREZ

CHRISTIAN VERGARA TUMBACO

DIRECTOR:

ING. CARLOS CHÁVEZ CÓRDOVA

Guayaquil, Octubre 2010

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

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

Christian Vergara Tumbaco

David Freire Ramírez

Guayaquil, 8 Octubre del 2010.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres: Sandra y Julio, a mis hermanos: Marco Antonio y Julio Eduardo. Gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos como persona y estudiante. A mi madrecita querida por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor, siempre fuiste y serás mi motivo para seguir adelante, desde los cielos madrecita, siempre estando en mi corazón y pensamientos, guiándome pude concluir mi carrera. A mi padre por brindarme los recursos necesarios y estar a mi lado apoyándome y aconsejándome siempre y todas aquellas personas que me brindaron su apoyo y que de una u otra manera me ayudaron para la realización y culminación del mismo.

CHRISTIAN

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, y en especial dedicarle y agradecerle a mi madre que supo enseñarme desde muy niño a ser tolerante y perseverante ante las vicisitudes que se presentan en la vida, además quiero hacer extensivo mi agradecimiento al Director de esta Tesis, que dedicó su valioso tiempo en la dirección de la misma y a sus colaboradores que siempre me mostraron su apoyo y respeto.

DAVID

AGRADECIMIENTO

Al Supremo Creador que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una estupenda familia. Con mucho cariño, un profundo agradecimiento a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo mamá y papá, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles, siempre han estado conmigo dándome aliento para no desmayar y seguir adelante venciendo los obstáculos que da la vida y así alcanzar las metas que me proponga. Gracias hermanos por ser un apoyo incondicional, y a mis amigos que me han acompañado durante esta etapa de mi vida.

Al Hospital León Becerra, por las facilidades brindadas de información y equipos, lo que nos permitió con éxito la culminación de este trabajo.

CHRISTIAN

A mi Señor Jesucristo que intercedió ante mi Dios todo poderoso que mediante mis oraciones realizadas a él me permitió culminar mis estudios técnicos. A mi Madre por permitir que mi preparación no se detenga a pesar de todas las barreras que nos tocó vencer. A mi novia, que supo comprenderme y a mi hermana y amigos que me aconsejaron y me motivaron a seguir, que Dios los bendiga.

DAVID

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	V- XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XI-XVIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XVIII-XX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XX-XXIV
RESUMEN.....	XXV
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUCCIÓN.....	26
1.1 Generalidades.....	27
1.2 Objetivos.....	27
1.2.1 Objetivo General	27
1.2.2 Objetivos Específicos.....	28
1.3 El Hospital León Becerra.....	28 - 31
1.4 El Analizador de Red.....	31 - 32
1.4.1 Arquitectura básica de un analizador de redes.....	32
1.4.2 Requerimientos del equipo a utilizar para nuestro estudio.....	33 - 34
1.5 Normativas y Regulaciones.....	34 - 35
1.5.1 Historia.....	35 - 37
1.5.2 Organizaciones de Normalización y Control.....	37
1.5.2.1 Comisión sobre Normas para la Aprobación de Equipo Eléctrico (CEE).....	37 - 38

1.5.2.2	Comité Europeo de Normalización (CEN).....	38
1.5.2.3	El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE).....	39 - 40
1.5.2.4	Asociación Nacional Protección Contra Fuego (NFPA).....	40 - 41
1.5.2.5	Organización Internacional de Normalización (ISO).....	41 - 42
1.5.2.6	Asociación Internacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA).....	43
1.5.2.7	CONELEC.....	43 - 44
1.5.3	Definiciones Generales.....	44
1.5.3.1	Normas del Producto.....	44 - 45
1.5.3.2	Normas de la Familia del Producto.....	45
1.5.3.3	Normas Genéricas.....	45 - 46
1.5.3.4	Normas Básicas.....	46
1.6	Fundamentos de Calidad.....	46 - 47
1.7	Definiciones de Calidad de Energía.....	47 - 48

CAPÍTULO 2

2. LA CALIDAD MANIFESTADA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS.....	48
2.1 Historia.....	49
2.2 Introducción.....	49 - 50

2.3 Marco Teórico.....	50 - 51
2.4 La Disponibilidad de la Energía Eléctrica.....	51 - 58
2.5 Distintas Formas de Pérdidas de Energía Eléctrica.....	58 - 61

CAPÍTULO 3

3. EFECTO DE LA MALA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS GENERALES.....61

3.1 Introducción.....	61 - 62
3.2 Pérdidas por Potencias Activas.....	62 - 63
3.3 Pérdidas por Potencias Reactivas.....	64 - 67
3.4 Pérdidas Económicas Relacionadas a las Anteriores.....	67 - 68
3.5 Distorsión de la Onda Sinusoidal.....	68
3.5.1 Voltajes Transitorios.....	68 - 72
3.5.2 Elevación de Voltaje.....	72 - 75
3.5.3 Reducción de Voltaje.....	75 - 78
3.5.4 Desbalance de Voltaje.....	78 - 80
3.5.5 Interrupción de Voltaje.....	80 - 82
3.5.6 Flickers.....	82 - 84
3.5.7 Distorsión Armónica.....	84 - 89
3.5.8 Ruido Eléctrico.....	89 - 91
3.5.9 Variaciones de Frecuencia.....	91 - 92

3.5.10 Efectos de la Adición de Voltaje DC.....	92 - 94
3.6 Métodos de Mitigación de los Efectos de las Armónicas y Bajos Factores de Potencia.....	94
3.6.1 Resonancia.....	94 - 95
3.6.2 Cómo Evitar la Resonancia.....	95 - 96
3.6.3 Filtros de Protección.....	96 - 98
3.6.4 Capacitores Reforzados.....	98
3.6.5 Filtros de Absorción de Armónicos.....	98 – 99
3.6.6 Otras Formas de Mitigar los Efectos de las Armónicas y Bajos Factores de Potencia.....	99
3.7 Síntomas y Efectos Destructivos de los Armónicos Eléctricos..	100 - 101
3.7.1 Síntomas y Efectos Destructivos de Armónicos Eléctricos en Equipos Electrónicos.....	101 - 102
3.7.2 Síntomas y Efectos Destructivos de Armónicos Eléctricos en Motores.....	102 - 103
3.7.3 Síntomas y Efectos Destructivos de Armónicos Eléctricos en Transformadores.....	103
3.7.4 Síntomas y Efectos Destructivos de Armónicos Eléctricos en Alumbrado.....	104
3.7.5 Síntomas y Efectos Destructivos de Armónicos Eléctricos en Equipos de Instrumentación y Líneas de Distribución.....	104 - 105

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL HOSPITAL LEÓN

BECERRA	105
4.1 Introducción.....	105
4.2 Situación Actual del Sistema Eléctrico.....	105 – 111
4.3 Antecedentes.....	111
4.4 Evaluación de la Situación Actual del Sistema Eléctrico.....	112 – 119
4.5 Consideraciones Generales de las Mediciones.....	119
4.5.1 Parámetros Eléctricos Medidos.....	119 – 121
4.5.2 Intervalo de Medición Utilizado.....	121
4.5.3 Puntos de Medición Seleccionados.....	121 - 122
4.5.4 Periodo de Medición.....	122 – 123
4.5.5 Diagramas Esquemáticos de la Conexión del Equipo Analizador en los dos puntos de mediciones.....	124 – 128
4.6 Presentación de Resultados de los datos adquiridos en el Hospital León Becerra.....	128
4.6.1 Resultados del Análisis del Punto de Medición en PDT1 con NEUTRO DE T1.....	129 – 153
4.6.2 Resultados Del Análisis Cargas Individuales En PDT1.....	154 – 173
4.6.3 Resultados del Análisis del Punto de Medición en PDT2 CON NEUTRO DE T2.....	174 – 198

4.6.4	Resultados del Análisis Cargas Individuales en PDT3.....	198 – 214
4.7	Resumen de los Análisis.....	215 – 217
4.8	Causas y Efectos de los Problemas encontrados en el Sistema Eléctrico.....	217 – 224
4.9	Análisis Económico Y Financiero Del Estudio Efectuado Por Esta Tesis.....	224
4.9.1	La Inversión Inicial y de Gastos Totales.....	224
4.9.2	Rentabilidad del Proyecto.....	225 - 226

CAPÍTULO 5

5 RECOMENDACIONES EFECTUADAS A LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DEL HOSPITAL LEON BECERRA.....226

5.1	Planteamiento de Soluciones que incluye Proyecto Solución.....	226
5.1.1	Proyecto Solución para el sistema del transformador T1 (Tablero TDP1).....	226 - 241
5.1.2	Proyecto Solución para el sistema del transformador T2 (Del Tablero TDP3).....	242 – 252
5.2	Inversión Inicial y Gasto Total para dar solución a la problemática.....	253 – 254
5.3	Rentabilidad del Proyecto Solución.....	255 – 257

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....257

CONCLUSIONES.....257 - 258

RECOMENDACIONES.....258

BIBLIOGRAFÍA	259 - 261
---------------------------	-----------

ANEXO	262 - 281
--------------------	-----------

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Marca de conformidad CE.....	36
Gráfico 2	Sistema de Emergencia TIPO E.....	58
Gráfico 3	Diagramas Fasoriales de Voltaje y Corriente.....	66
Gráfico 4	Visualización de un pico de voltaje transitorio.....	69
Gráfico 5	Pico de Voltaje Transitorio Negativo.....	70
Gráfico 6	Visualización de Dilatación de Voltaje Instantáneo (swell).....	73
Gráfico 7	Visualización de Sobre Voltaje.....	73
Gráfico 8	Visualización de Sags de Voltajes.....	76
Gráfico 9	Visualización de Reducción de Voltaje.....	77
Gráfico 10	Norma IEEE, Estándar 1159.....	81
Gráfico 11	Curva de Espectro de Fluctuación de Tensión.....	82
Gráfico 12	Ejemplo de distorsión armónica.....	85
Gráfico 13	Ejemplo de ruido eléctrico.....	90
Gráfico 14	Forma de onda de tensión con variación de frecuencia.....	91
Gráfico 15	Arreglo de Filtro Sintonizado con Capacitor en Conexión Delta...	97

Gráfico 16	Ubicación de tableros donde se realizó mediciones.....	113
Gráfico 17	Plano de Cuarto de Transformación y de Distribución.....	114
Gráfico 18	Diagrama Eléctrico Unifilar del Hospital León Becerra.....	115
Gráfico 19	Diagrama Eléctrico Trifilar del Hospital León Becerra.....	116
Gráfico 20	Diagrama Esquemático del Sistema Eléctrico del Hospital.....	117
Gráfico 21	Conexión a tierra de alta impedancia.....	119
Gráfica 22	Sistema 3 Φ 4hilos con tierra.....	122
Gráfico 23	Conexión del Fluke 435 en TDP1.....	124
Gráfico 24	Conexión del Fluke 435 en TDP2.....	126
Gráfico 25	Detalle de tendencia de voltajes respecto al tiempo.....	130
Gráfico 26	Detalle de voltajes sinusoidales.....	130
Gráfico 27	Detalle de voltajes Fasoriales.....	130
Gráfico 28	Detalles de amperajes sinusoidales.....	134
Gráfico 29	Detalle de amperaje fasorial.....	135
Gráfico 30	Detalle de picos de amperajes en periodo de incremento de carga.....	136
Gráfico 31	Detalle de Factor de Potencia.....	138
Gráfico 32	Detalle de frecuencia.....	139
Gráfico 33	Detalle evolución temporal THD y armónicos de voltajes.....	140
Gráfico 34	Detalle evolución temporal THD y armónicos de corrientes.....	142

Gráfico 35	Detalle evolución temporal FLICKERS (Pst).....	144
Gráfico 36	Detalle evolución temporal FLICKER (Plt).....	144
Gráfico 37	Detalle evolución temporal potencias activas.....	146
Gráfico 38	Detalle evolución temporal potencias reactivas.....	147
Gráfico 39	Detalle evolución temporal potencias aparentes.....	148
Gráfico 40	Cálculo factor de potencia medio de instalaciones.....	149
Gráfico 41	Porcentaje de recargo por fp bajo.....	149
Gráfico 42	Detalle conexión del equipo Fluke en cargas individuales.....	154
Gráfico 43	Breaker Principal TDP1.....	155
Gráfico 44	Detalle ondas sinusoidales voltajes de fases en barras TDP1.....	156
Gráfico 45	Detalle Fasores voltajes de fases en barras TDP1.....	156
Gráfico 46	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #3.....	157
Gráfico 47	Detalle Fasores corrientes de fases en Breaker #3.....	157
Gráfico 48	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #4.....	158
Gráfico 49	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #4.....	158
Gráfico 50	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #5.....	159
Gráfico 51	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #5.....	159
Gráfico 52	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #6.....	160

Gráfico 53	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #6.....	160
Gráfico 54	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #7.....	161
Gráfico 55	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #7.....	161
Gráfico 56	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #8.....	162
Gráfico 57	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #8.....	162
Gráfico 58	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #9.....	163
Gráfico 59	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #9.....	163
Gráfico 60	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #10.....	164
Gráfico 61	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #10.....	164
Gráfico 62	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #11.....	165
Gráfico 63	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #11.....	165
Gráfico 64	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #12.....	166
Gráfico 65	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #12.....	166
Gráfico 66	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #13.....	167
Gráfico 67	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #13.....	167

Gráfico 68	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #14.....	168
Gráfico 69	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #14.....	168
Gráfico 70	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #15.....	169
Gráfico 71	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #15.....	169
Gráfico 72	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #16.....	170
Gráfico 73	Detalle Fasores Corrientes de Fases en Breaker #16.....	170
Gráfico 74	Detalle de Voltajes respecto al tiempo.....	175
Gráfico 75	Detalle de Voltajes Sinusoidales.....	175
Gráfico 76	Detalle de Voltajes Fasoriales.....	175
Gráfico 77	Detalle de Amperajes Sinusoidales.....	179
Gráfico 78	Detalle de Amperaje Fasorial.....	180
Gráfico 79	Detalle de Picos de Amperajes en periodo -Incremento de carga.....	181
Gráfico 80	Detalle de Factor de Potencia.....	183
Gráfico 81	Detalle de Frecuencia.....	184
Gráfico 82	Detalle Evolución Temporal THD y Armónicos de Voltajes.....	185
Gráfico 83	Detalle Evolución Temporal THD y Armónicos de Corrientes..	187
Gráfico 84	Detalle Evolución Temporal FLICKER (Pst).....	189

Gráfico 85	Detalle Evolución Temporal FLICKER (Pst).....	189
Gráfico 86	Detalle Evolución Temporal Potencias Activas.....	191
Gráfico 87	Detalle Evolución Temporal Potencias Reactivas.....	192
Gráfico 88	Detalle Evolución Temporal Potencias Aparentes.....	193
Gráfico 89	Cálculo factor de potencia medio de instalaciones.....	194
Gráfico 90	Porcentaje de recargo por fp bajo.....	194
Gráfico 91	Detalle conexión del equipo Fluke en cargas individuales en TDP3.....	199
Gráfico 92	Breaker Principal TDP3, 2010.....	200
Gráfico 93	Detalle ondas sinusoidales voltajes de fases en barras TDP3.....	201
Gráfico 94	Detalle Fasores voltajes de fases en barras TDP3.....	201
Gráfico 95	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #1.....	202
Gráfico 96	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #1.....	202
Gráfico 97	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #2.....	203
Gráfico 98	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #2.....	203
Gráfico 99	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #4.....	204
Gráfico 100	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #4.....	204
Gráfico 101	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #5.....	205

Gráfico 102	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #5.....	205
Gráfico 103	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #6.....	206
Gráfico 104	Detalle Fasores Corrientes de Fases en Breaker #6.....	206
Gráfico 105	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #7.....	207
Gráfico 106	Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #7.....	207
Gráfico 107	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #8.....	208
Gráfico 108	Detalle Fasores Corrientes de Fases en Breaker #8.....	208
Gráfico 109	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #11.....	209
Gráfico 110	Detalle Fasores Corrientes de Fases en Breaker #11.....	209
Gráfico 111	Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #14.....	210
Gráfico 112	Detalle Fasores Corrientes de Fases en Breaker #14.....	210
Gráfico 113	Ubicación de conductores neutros en barra.....	218
Gráfico 114	Onda de Corriente del Neutro de T1.....	219
Gráfico 115	Onda de Corriente del grupo de cables de neutro de las cargas de TDP1.....	220
Gráfico 116	Onda de Corriente de los dos conductores de neutros que van al tablero TDP3.....	221

Gráfico 117	Onda de Corriente del conductor del neutro que va al tablero TDP2.....	222
Gráfico 118	Trayectorias de corrientes en barra de neutro del tablero TDP1.....	223
Gráfico 119	Diagrama Esquemático de la Configuración propuesta para PDT1.....	227
Gráfico 120	Diagrama esquemático de la configuración propuesta para PDT1.....	229
Gráfico 121	Fórmula para el cálculo Potencia Reactiva necesaria.....	230
Gráfico 122	Fórmula para el cálculo capacidad de potencia del capacitor.....	231
Gráfico 123	Nueva Impedancia de carga.....	232
Gráfico 124	Valor resistivo de conductores.....	234
Gráfico 125	Tabla sección de conductores.....	234
Gráfico 126	Esquema de análisis de disipación de potencia en conductores.....	235
Gráfico 127	Diagrama esquemático de la configuración propuesta para PDT2.....	243
Gráfico 128	Diagrama Conexión de Inductor y Capacitor a la carga.....	245

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Periféricos del Hospital León Becerra, 2010.....	30
Ilustración 2	Ubicación Geográfica del Hospital León Becerra.....	30

Ilustración 3	La Compensación de Energía Eléctrica Reactiva.....	59
Ilustración 4	Fórmula Potencia Aparente.....	64
Ilustración 5	Triángulo de Potencias.....	65
Ilustración 6	Onda 8/20 microsegundos.....	71
Ilustración 7	Fórmula variación de voltaje.....	74
Ilustración 8	Fórmula variación de voltaje	77
Ilustración 9	Fórmula desbalance de voltaje	79
Ilustración 10	Fórmula Flicker larga duración.....	83
Ilustración 11	Fórmula Distorsión Armónica de Voltaje.....	86
Ilustración 12	Fórmula Distorsión Armónica de Corriente	87
Ilustración 13	Fórmula de Reactancia Inductiva.....	95
Ilustración 14	Ingreso de acometida subterránea del Hospital León Becerra....	106
Ilustración 15	Cuarto de Transformación.....	107
Ilustración 16	Celdas Trifásicas de Media Tensión.....	108
Ilustración 17	Transformadores de Potencial y de Corriente.....	108
Ilustración 18	Transformadores Trifásicos.....	109
Ilustración 19	Tablero de Transferencia.....	110
Ilustración 20	Tablero de Cargas Esenciales TDP3.....	110
Ilustración 21	Der. Tablero TDP2 - Izq. Tablero TDP1.....	110

Ilustración 22	Generador de Emergencia.....	111
Ilustración 23	Configuración Fluke 435 con la norma EN50160.....	120
Ilustración 24	Instalación del Analizador Fluke 435 dentro del tablero TDP1.....	125
Ilustración 25	Descarga de la información almacenada por el Analizador Fuke 435 al tablero de carga TDP1.....	125
Ilustración 26	Juego de Barras del tablero TDP2.....	127
Ilustración 27	Instalación del Analizador Fluke 435 dentro del tablero TDP2.....	127
Ilustración 28	Descarga de la información almacenada por el Analizador Fuke 435 al tablero de carga TDP2.....	128
Ilustración 29	Tablero TDP1 y con sus Breakers.....	155
Ilustración 30	Tablero TDP3 con sus Breakers.....	199
Ilustración 31	Barra de neutro TDP1.....	218
Ilustración 32	Tabla 250-122 del Código Eléctrico.....	227
Ilustración 33	Tabla para cálculo de $Tg\theta$ de fp del Código Eléctrico.....	230

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Porcentajes de Distorsión Armónica.....	54
Tabla 2	Límites de Interrupciones.....	55
Tabla 3	Voltajes Picos.....	71
Tabla 4	Valores máximos para regulaciones de voltajes.....	75

Tabla 5	Valores máximos para regulaciones de voltajes.....	78
Tabla 6	Límites de Flickers Pst y Plt.....	84
Tabla 7	Clases de Armónicas.....	88
Tabla 8	Límites de distorsión armónica en los sistemas de distribución.....	89
Tabla 9	Periodo de medición (del 5 al 14 Abril).....	123
Tabla 10	Periodo de Medición (Del 14 al 17 Abril).....	123
Tabla 11	Matrices de resúmenes de voltajes.....	131
Tabla 12	Matrices de resúmenes de amperajes promedios.....	133
Tabla 13	Matrices de resúmenes de amperajes máximos.....	134
Tabla 14	Matrices de resúmenes picos de amperajes.....	136
Tabla 15	Matriz de resumen de Factores de Potencia.....	137
Tabla 16	Matriz de resumen de frecuencia.....	138
Tabla 17	Matriz de resumen de THD voltajes en L1 y L2.....	140
Tabla 18	Matriz de resumen de THD voltajes en L3 y LN.....	140
Tabla 19	Matriz de resumen de THD corrientes en L1 y L2.....	142
Tabla 20	Matriz de resumen de THD corrientes en L3 y LN.....	142
Tabla 21	Matriz de resumen valores promedio Flickers.....	143
Tabla 22	Matriz de resumen de potencias activas L1 y L2.....	145
Tabla 23	Matriz de resumen de potencias activas L3 y LN.....	146

Tabla 24	Matriz de resumen de potencias reactivas L1 y L2.....	146
Tabla 25	Matriz de resumen de potencias reactivas L3 y LN.....	147
Tabla 26	Matriz de resumen de potencias aparentes L1 y L2.....	147
Tabla 27	Matriz de resumen de potencias aparentes L3 y LN.....	148
Tabla 28	Matriz de resumen de consumo de energía eléctrica.....	149
Tabla 29	Voltaje barras punto Medición.....	156
Tabla 30	Matriz de resumen descriptivo cargas de TDP1.....	171
Tabla 31	Matriz de resumen fp e impedancias de cargas de TDP1.....	172
Tabla 32	Matriz de resumen Características de la carga total del TDP1.....	173
Tabla 33	Matrices de resúmenes de voltajes.....	176
Tabla 34	Matrices de resúmenes de amperajes promedios.....	178
Tabla 35	Matrices de resúmenes de amperajes máximos.....	179
Tabla 36	Matrices de resúmenes Picos de Amperajes.....	181
Tabla 37	Matriz de resumen de Factores de Potencia.....	182
Tabla 38	Matriz de Resumen de Frecuencia.....	183
Tabla 39	Matriz de resumen de THD voltajes en L1 y L2.....	185
Tabla 40	Matriz de resumen de THD voltajes en L3 y LN.....	185
Tabla 41	Matriz de resumen de THD corrientes en L1 y L2.....	187
Tabla 42	Matriz de resumen de THD corrientes en L3 y LN.....	187

Tabla 43	Matriz de resumen valores promedio Flickers.....	188
Tabla 44	Matriz de resumen de potencias activas L1 y L2.....	190
Tabla 45	Matriz de resumen de potencias activas L3 y LN.....	191
Tabla 46	Matriz de resumen de potencias reactivas L1 y L2.....	191
Tabla 47	Matriz de Resumen de Potencias Reactivas L3 y LN.....	192
Tabla 48	Matriz de Resumen de Potencias Aparentes L1 y L2.....	192
Tabla 49	Matriz de resumen de potencias aparentes L3 y LN.....	193
Tabla 50	Matriz de Resumen de Consumo de Energía Eléctrica.....	194
Tabla 51	Voltaje barras punto Medición	201
Tabla 52	Matriz de resumen descriptivo cargas de TDP3.....	211
Tabla 53	Matriz de resumen fp e impedancias de cargas de TDP3.....	212
Tabla 54	Matriz de resumen Características de la carga total del TDP3.....	213
Tabla 55	Resumen de Análisis – Punto de Medición TDP1.....	215
Tabla 56	Resumen de Análisis – Punto de Medición TDP2.....	216
Tabla 57	Costos Directos e Indirectos del Estudio.....	224
Tabla 58	Tabla Voltajes de Fase Referencia de Cargas de TDP1.....	228
Tabla 59	Característica de las cargas de TDP1.....	228
Tabla 60	Listado de condensadores para corrección fp.....	233
Tabla 61	Magnitudes de Corrientes con fp bajo y corregido.....	235

Tabla 62	Resumen de energía consumida por conductores de bajo Fp.....	236
Tabla 63	Resumen de energía consumida por conductores con Fp corregido.....	237
Tabla 64	Resumen corrientes de fases de cada carga de PDT1 con fp corregido.....	238
Tabla 65	Resumen de Potencias y fp de las cargas con fp corregido.....	239
Tabla 66	Resumen de Potencias y fp de las cargas con fp corregido.....	240
Tabla 67	Resumen de Potencias y fp de las cargas con fp corregido y balanceado.....	241
Tabla 68	Tabla Voltajes de fase referencia de cargas de TDP3.....	243
Tabla 69	Característica de las cargas de TDP3.....	244
Tabla 70	Listado de condensadores para corrección fp.....	246
Tabla 71	Tabla valores del regulador fp de B6.....	246
Tabla 72	Magnitudes de Corrientes con fp bajo y corregido.....	247
Tabla 73	Resumen de energía consumida por conductores de bajo Fp.....	247
Tabla 74	Resumen de energía consumida por conductores con Fp corregido.....	248
Tabla 75	Resumen corrientes de fases de cada carga de PDT3 con fp corregido.....	249
Tabla 76	Resumen de Potencias y fp de las cargas con fp corregido.....	250
Tabla 77	Resumen corrientes de fases de cada carga de PDT3 con fp corregido y balanceado.....	251
Tabla 78	Resumen de Potencias de las cargas con fp corregido y balanceado.....	252

Tabla 79	Resumen de capacitores y regulador para PDT3.....	253
Tabla 80	Resumen de capacitores y material para aterrizamiento de PDT1.....	253
Tabla 81	Costo de material y mano de obra para modificaciones en Hospital León Becerra.....	254
Tabla 82	Tabla de Ahorro Económico para Hospital León Becerra.....	256

RESUMEN

Conscientes de la problemática que representa la posibilidad de no tener un servicio de energía eléctrica continuo, aceptable o confiable en las instalaciones de los edificios utilizados por el Hospital León Becerra, ya sea debido por las pérdidas de energía generadas por un bajo factor de potencia que bien podrían ser generadas por una variedad de cargas lineales o no lineales, y conociendo que la mayor parte de estas cargas son no lineales, como por ejemplo: los equipos electrónicos de monitoreo cardiaco, las lámparas fluorescentes, computadoras, etc. En vista de aquello y ante la importancia que representa para la comunidad la utilización de los mismos, se planteó el presente Estudio de Calidad de Energía Eléctrica con la finalidad de realizar un análisis general de todos los parámetros eléctricos de los Centros de Alimentación de toda la edificación para determinar las capacidades y características de las cargas, para de este modo, después de los análisis pertinentes podamos contribuir proponiendo un plan de acción para mejorar la calidad de energía eléctrica del hospital, a fin de prevenir daños en el sistema actual o a los futuros incrementos de carga, ya que constantemente se realizan readecuaciones en las salas y quirófanos que a la final conllevan a cambios en los sistemas eléctricos.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos a los que se enfrenta todo ingeniero eléctrico de forma regular, es encontrar las fuentes de fallas en un sistema eléctrico, ya sea que éstos se encuentren sistemas de circuitos integrados o hasta los que se encuentran en los sistemas de distribución.

En instalaciones comerciales e industriales, la identificación de una falla se vuelve una tarea de mayor dificultad al incorporar equipos eléctricos y electrónicos complejos; refiriéndonos a los equipos electrónicos en los últimos años han permitido un uso más eficiente de la energía eléctrica y han llevado a aumentos considerables en la productividad de los procesos industriales pero, por otra parte, han provocado una situación problemática, a veces grave, donde las corrientes armónicas generadas por los propios equipos electrónicos distorsionan la onda de corriente sinusoidal original y perturban la operación de estos mismos equipos, provocando además, calentamientos excesivos y pérdidas de energía en máquinas eléctricas, conductores y demás equipos del sistema eléctrico. Por lo que, en la actualidad hay que realizar un estudio más a fondo de las características de estos equipos con el fin de detectar las distorsiones eléctricas que afectan la calidad de energía del sitio.

En este estudio realizado a los edificios utilizados por el Hospital León Becerra, siendo un sector donde la continuidad del servicio eléctrico es vital, debido a que una interrupción de la energía podría atentar directamente con la vida de los pacientes, se analizarán todos los parámetros eléctricos de los centros de alimentación de la edificación para identificar mediante el nivel de distorsión el problema que presentan o pudieren presentar los transformadores, estudiando sus defectos y métodos de minimización.

1.1 GENERALIDADES

Aproximadamente el 41,16% de la energía eléctrica producida en Ecuador es consumida por los sectores comercial e industrial. Por lo tanto, el buen uso de la energía eléctrica permite a las empresas, ser cada vez más competitivas, en una economía que tiende a la globalización, así, el ahorro de energía es una alternativa viable para reducir costos de operación y mejorar los niveles de competitividad dentro del mundo industrial.

Este documento ha sido ideado como una introducción al estudio de los fenómenos de la calidad de la energía eléctrica de acuerdo a las normas y exigencias internacionales, éste será nuestro punto de partida para iniciar un estudio más profundo de los fenómenos involucrados en la calidad de la energía eléctrica.

Para resolver este tipo de fenómenos involucrados en esta problemática es necesario realizar mediciones de calidad de energía, con equipos de precisión y de última tecnología que nos permitan medir la distorsión armónica, tanto en magnitud como en sus componentes para de esta manera determinar el problema y ofrecer una solución adecuada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del suministro de energía eléctrica de los edificios utilizados por el Hospital León Becerra, realizando las mediciones correspondientes con el equipo analizador trifásico de calidad de energía, Serie 435, Marca Fluke en el mes de Abril del 2010, detectando por medio de gráficos y tablas las posibles perturbaciones, anomalías y problemas que estén afectando al sistema eléctrico.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar un análisis general de todos los parámetros eléctricos de los centros de alimentación de toda la edificación para determinar las características de los sistemas eléctricos.
- b) Estudiar los diagramas de espectros de armónicos para identificar mediante el nivel de distorsión el problema que presentan o pudieren presentar los transformadores.
- c) Estudiar y utilizar el equipo Fluke 435 para el análisis de la calidad de energía y que presente facilidad de transportación, conexión y maniobrabilidad.
- d) Proponer un Plan de Acción para mejorar la calidad de energía eléctrica del Hospital León Becerra, que contenga recomendaciones, planteamiento de soluciones y proyecciones a futuro.

1.3 EL HOSPITAL LEÓN BECERRA

Historia

Por una iniciativa de un grupo de guayaquileños a principios del siglo XX, preocupados por la precaria salud de la infancia de Guayaquil, se propusieron crear una institución que sirviera a la niñez pobre en su salud, con un hospital que mitigara el vacío existente en la ciudad.

Este grupo selecto de guayaquileños se componía de las personalidades como: el Dr. León Becerra, Dr. Luis Felipe Borja, Sr. Alberto Reina, Dr. José María Estrada Coello y otros más, emprendiendo los mismos con un alto espíritu humanitario la creación de la obra, imprimiendo en la comunidad guayaquileña la mística necesaria para poder llevarla a efecto.

El día 5 de Octubre de 1905, en los salones de la Sociedad Italiana Garibaldi se reunieron con el objeto de establecer una institución de beneficencia pública en pro de la niñez desvalida, a la que denominaron **SOCIEDAD PROTECTORA DE LA INFANCIA**, la misma que con la generosa donación de la meritísima dama porteña doña Mercedes Flor de Morla, el “Dispensario Médico” entró a funcionar el 2 de Junio del año 1906. Su concepción de transformación de “Dispensario Médico” a “Hospital” fue idea, deseo del Dr. León Becerra Camacho, quien falleció el 3 de Marzo de 1921. En su memoria y homenaje, como justo reconocimiento, la Sociedad Protectora de la Infancia nombró el edificio hospitalario que inauguró el 10 de Octubre de 1928, con el nombre de su Socio Fundador e ilustre galeno Dr. León Becerra Camacho.

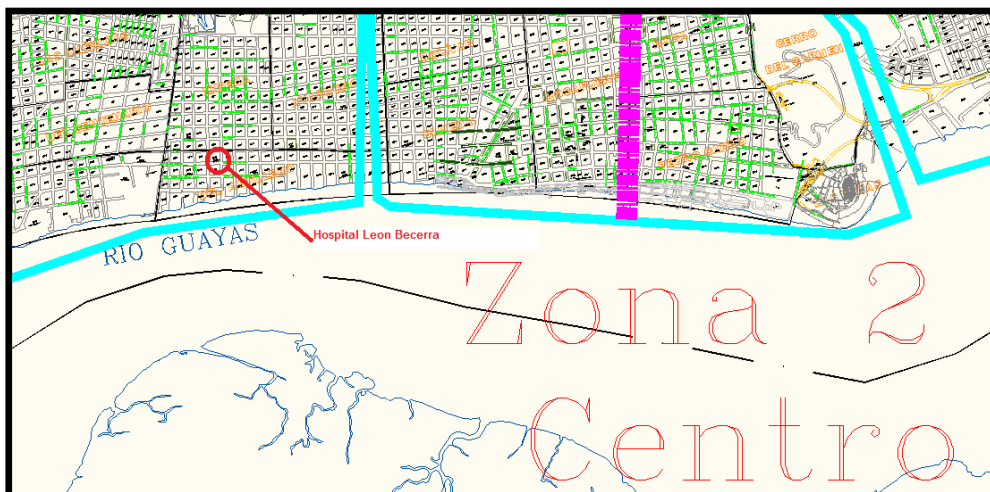
De lo anterior, se deduce que si bien el Hospital de Niños “León Becerra” se funda como hospital, éste viene funcionando como dispensario desde el 2 de Junio de 1906.

El Hospital ubicado en la manzana comprendida entre las calles Bolivia, Fray Enrique Vacas Galindo, Eloy Alfaro y Chile; ocupa un área de 3.649 metros cuadrados, conformado por un área de oficinas administrativas (equipos de computación), una lavandería, un cuarto de transformadores, un parqueadero y dos pabellones, los cuales están constituidos por cuatro salas generales: (San Vicente, Santa María, San José y Santa Teresa), un pensionado de primera, salas de: Gastroenterología, Enfermería, Voluntariado, Materno Infantil (Incubadoras), Esterilización, Terapia Respiratoria, Observación, Emergencia y Consulta Externa, además cuenta con oficinas de: Presidencia, Dirección Técnica, Recursos Humanos, Servicio Social, Información; una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), una Central de Cirugía, una Botica, un Laboratorio y una Capilla.





Fuente: Ilustración 1, Los Autores, Periféricos del Hospital León Becerra, 2010.



Fuente: Ilustración 2, Los Autores, Ubicación Geográfica del Hospital León Becerra, 2010

La demanda actual promedio del Hospital León Becerra oscila entre los 150 KW y 219 KW, con un sistema interno de voltaje en baja tensión de 220/127 voltios suministrado por dos transformadores trifásicos, uno de 500 KVA y un segundo de 300KVA, además el hospital cuenta con un generador de emergencia marca KOHLER de 169 KVA / 400 A, el cual tiene su respectivo tablero de transferencia

automática que alimenta a las cargas esenciales del hospital, dándonos la pauta de los puntos de medición a tomar para nuestro estudio a realizar.

1.4 EL ANALIZADOR DE RED

En su forma estructural, las redes de energía eléctrica se componen de un sistema de generación (centrales), de un medio o sistema de transporte y de los clientes o consumistas de esta energía eléctrica. Por el transporte debemos entender que es el traslado de toda la energía generada en las centrales hasta donde se encuentran los consumidores, por lo que es necesario crear redes que sean capaces de transportar grandes cantidades de energía a grandes distancias. Para ello, se emplean redes de transporte de alta tensión que conectan las centrales con las subestaciones de transformación; y mediante redes de media tensión las subestaciones se conectan con los centros de transformación. En función del nivel de tensión empleado, se pueden considerar dos tipos de redes de distribución:

- Redes de media tensión.

- Redes de baja tensión.

Las redes de distribución de media tensión, se utilizan principalmente para realizar el suministro de energía a los clientes de tipo industrial y para acercar de una manera eficiente aun más la energía a los clientes de baja; a los que se distribuirá mediante las segundas, redes de baja tensión desde los centros de transformación. Es evidente que, el diseño y operación de todo el sistema de energía eléctrica requiere una adecuada planificación para garantizar su correcto funcionamiento en todo momento y en el futuro.

Para determinar de una manera objetiva y eficaz la calidad, cantidad, el flujo y lo óptimo en la utilización de estas redes, se utilizan los llamados Analizadores de Redes, que son instrumentos capaces de analizar las propiedades anteriormente mencionadas de las redes eléctricas, y especialmente aquellas propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas, conocidas como parámetros de dispersión (Parámetros-S).

1.4.1 Arquitectura básica de un analizador de redes

Los analizadores que se encuentran con más frecuencia en el mercado son los de dos puertos, existen instrumentos que pueden llegar a tener hasta cuatro puertos, y algunos de éstos cuentan con algunas opciones adicionales para el usuario para su fácil operación, como pantalla sensible al tacto y la posibilidad de conectarle periféricos de computadoras por medio de puertos USB, inclusive los modelos más modernos cuentan con una plataforma que se adapta a la versión de Windows de un computador de escritorio por lo que su operación se simplifica considerablemente. Una nueva categoría de analizadores de redes es la MTA (Microwave Transition Analyzer), que significa analizador de transición de microondas, o LSNA (Large Signal Network Analyzer), que significa analizador de redes de señales largas, estos miden amplitud y fase de las armónicas fundamentales. El MTA fue comercializado primero que el LSNA, pero en el primero estaban faltando algunas opciones para una fácil calibración que si están disponibles en la versión LSNA.

1.4.2 Requerimientos del equipo a utilizar para nuestro estudio

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

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

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

Además la respuesta del equipo debe cumplir con ciertos requerimientos, como lo son:

- Precisión: el equipo debe realizar la medida de una componente armónica con un error no mayor a un 5% de la magnitud a medir.
- Selectividad: capacidad del equipo de separar las componentes armónicas de distintas frecuencias.
- Promedio o medida instantánea: si las armónicas a medir varían en el tiempo, el equipo debe tener la capacidad de alisar las rápidas fluctuaciones de las componentes a lo largo de un período de tiempo. Hay dos factores importantes en este rubro: la respuesta dinámica y el ancho de banda.
 - Respuesta dinámica: por ejemplo, si se desea el promedio sobre un período de 3 segundos, la respuesta del medidor de salida debe ser

idéntico a la salida del filtro, pasa bajo con una constante de tiempo equivalente a 1.5 ± 0.15 segundos.

- Ancho de banda: este factor afecta considerablemente a las mediciones, se recomienda que los equipos utilicen el mismo ancho de banda para el rango total de frecuencias.

1.5 NORMATIVAS Y REGULACIONES

Las normativas y regulaciones en el campo de la electricidad son amplias y muy variadas, para poder aplicarlas hay que tener muy en claro que organismos o entidades las publican y a quienes van dirigidas o cuál es su rango de acción; además se hace necesario que los profesionales eléctricos conozcamos y nos encontremos actualizados con las normas, a fin de evitar incumplimientos o violaciones de las mismas en diseños, fiscalizaciones de instalaciones, escogimiento de maquinaria, de equipos de prueba etc.

En lo concerniente a nuestro estudio de calidad de energía en los edificios utilizados por el Hospital León Becerra, podemos citar unas cuantas normas que nos sean significativas para el equipo de medición que utilizaremos, el medio o al lugar en que nos encontremos realizando la evaluación, y para eso, nosotros debemos conocer algo de la historia de los organismos que hicieron posible tener hoy por hoy una amplia y extensa gama de normas, así como también conocer algunas definiciones, estas normas son publicadas por algunas organizaciones, que al encontrarlas muy frecuentemente por doquier nos crean confusión y hasta algunas veces una cierta incertidumbre; a continuación realizaremos una breve descripción de la historia de las organizaciones más significativas.

1.5.1 Historia

La primera organización más antigua es la ICE (La Comisión Electrotécnica Internacional) y su inicio es por el año 1906, ésta es una organización internacional que prepara y publica normativas y estándares internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y las relacionadas, que son conocidas colectivamente como "electrotecnia". La ICE es la organización que para darnos una idea en un principio se dedicó al estudio del vocabulario, de los símbolos y la clasificación de las máquinas eléctricas. Actualmente las normas emitidas por esta entidad son recogidas por varias organizaciones que ejercen control; entre las más significativas están: la ISO (Organización Internacional de Normalización) y la CEE (Comisión sobre Normas para la Aprobación de Equipo Eléctrico) esta última tiene su sede en el continente europeo, organismo que evalúa y comprueba el cumplimiento de las normas y reglamentos de la ICE y que luego de hechas las comprobaciones emite el Certificado de Conformidad conocido muy comúnmente con el logotipo "CE" este certificado les da una cierta confiabilidad a los compradores de los países que se encuentran afiliados o anexados a la CEE.

La ICE en sus inicios se conformó de comités técnicos conocidos con las siglas "NC o TC" estos comités fueron integrados en un principio por varios grupos de ingenieros del Instituto de Ingenieros Eléctricos (IEE) de Londres, Reino Unido; luego de unos pocos años se agregaron 20 países europeos con sus respectivos representantes; actualmente es una organización reconocida mundialmente pero que tiene su rango de acción exclusivamente en Europa.



Fuente: Diario Oficial de las Comunidades Europeas, Gráfico 1, Marca de conformidad CE, 1989.

Pero regresando más en el tiempo, hace cien años las cosas que ahora se dan por hecho, como la definición de un voltio los nombres y las dimensiones de las unidades de medida, eran diferentes en cada país, y más aún de país a país. La velocidad a la que estos comités técnicos (TC) fueron creados es impresionante, a manera de ejemplo, cuando se normalizó las lámparas incandescentes de baja tensión se conformó un comité técnico que consideró normalizar los enchufes que alimentaban de energía eléctrica a aquellas lámparas; dicho comité técnico fue conocido como número seis o por sus siglas “IEC TC6”, como es de imaginarse, en sus primeros intentos de normalizar las cosas se limitaron a lo más esencial, y conforme pasaba el tiempo estos comités técnicos dieron orígenes a subcomités técnicos conocidos por las siglas “SC”; es decir estos comités técnicos se hicieron más complejos y en este caso en particular originó el subcomité técnico número 34A “SC 34A” que se refiere a la norma estándar de los casquillos y portalámparas.

De esta manera podemos darnos cuenta como fueron creados en el pasado y cómo se siguen creando hasta la actualidad muchos comités y subcomités técnicos con la única finalidad de ampliar la gama de normas que además de estandarizar las cosas están en un constante trabajo de actualización de normas, éstas que con el pasar del tiempo van quedando obsoletas y que consecuente son reemplazadas por otras conforme va avanzando la tecnología, es por esto que en ocasiones algunos equipos eléctricos que han sido certificados con la conformidad europea hace unos treinta años atrás ya no son necesariamente certificados en la actualidad, es decir, la norma generada en ese entonces a manera de ejemplo no preveía la compatibilidad electromagnética, la interferencia y por ende no se proveyó de características constructivas en aquella máquina que contrarresten las perturbaciones antes mencionadas para reducir al mínimo el mal funcionamiento de la misma; es por esto que debemos saber, reconocer y estar actualizados con las normas con la finalidad de poder dar soluciones basadas en los estudios de ingeniería que son publicados como normas o estándares internacionales.

1.5.2 ORGANIZACIONES DE NORMALIZACIÓN Y CONTROL

1.5.2.1 Comisión sobre Normas para la Aprobación de Equipo Eléctrico (CEE)

En el transcurso de los años los países integrantes de la ICE se dieron cuenta que el avance científico ya no sólo se daba en la electrotecnia de la maquinaria eléctrica sino que también existía un incremento de nuevas Tecnologías de la Información en las Comunicaciones que incluía las áreas fijas, telefonía móvil, la radiodifusión, aeronáutico y otros. Es por esto que los países afiliados a la ICE formaron dos organizaciones como lo son el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) y el Comité Europeo de Normalización de Telecomunicaciones (ETSI).

Es por demás recalcar que estas organizaciones, a pesar de estar agremiadas por separado emiten sus estudios a la ICE y estas normas o estándares a su vez son recogidos por la CEE (Comisión sobre Normas para la Aprobación de Equipo Eléctrico), como ya sabemos la CEE es el organismo que evalúa y comprueba el cumplimiento de las normas y reglamentos de la ICE y que luego de hechas las comprobaciones emite el Certificado de Conformidad conocido muy comúnmente con el logotipo “CE”; además es necesario entender que la CEE reconoce las normas emitidas por la ICE por medio de reuniones conocidas como directivas de consejos, estas directivas analizan varias normas referentes a un mismo tema y luego de un consenso son aprobados en un solo documento en cuya acta sólo se hace referencia a dichas normas consensuadas, entonces a manera de ejemplo, una vez más; sólo podemos encontrarnos con algo como 89/336/CEE que significa que la directiva de la Comisión sobre Normas para la Aprobación de Equipo Eléctrico del año 1989 en su Acta 336 aprueba las normas antecesoras (publica todas las normas que fueron tomas en cuenta en esta acta) como referentes para evitar la compatibilidad electromagnética. Es por esto que hay equipos eléctricos que sólo hacen referencia a una directiva en particular porque a veces les resulta muy engorroso enumerar todas las normas que se tomaron en cuenta en la construcción del equipo o máquina.

1.5.2.2 Comité Europeo de Normalización (CEN)

Ahora bien, ya tenemos claro los organismos que crean las normas o estándares y quienes las hacen cumplir en el campo que nos concierne que es la electricidad, es necesario saber que existe una organización que fue creada en el año 1961 que se llama CEN (Comité Europeo de Normalización) esta es una organización sin fines de lucro cuya misión es fomentar la economía europea mediante la emisión de normas que permitan el comercio primeramente en Europa y luego a nivel mundial, y que también está pendiente del bienestar de los ciudadanos europeos y del medio ambiente al proporcionar una infraestructura eficiente para las partes interesadas para el desarrollo, está compuesta por treinta miembros nacionales que trabajan juntos para desarrollar normas europeas emitidas con las siglas "EN", esta organización recoge las normas y estándares ya publicadas por otras organizaciones como la ICE y otras de diferentes campos de investigación a la electrotecnia y telecomunicaciones, estas normas son agrupadas en un solo conjunto y es por esto que nosotros nos encontramos muy a menudo con publicaciones de normas para equipos eléctricos y muy seguidamente con publicaciones de normas para equipo de medicina o de distinta índole, para darnos una idea las Norma Europeas "EN" a veces las encontramos en algo aparecido a esto EN 61000-3-2 (CEI, IEC 1000-3-2) que significa que la norma europea sobre los Armónicos en la red de alimentación de c. a. fue creada por referencia a la norma IEC.

1.5.2.3 El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)

Es una organización que fue creada y está domiciliada en los Estados Unidos de Norteamérica tiene más de 395.000 miembros en más de 160 países que representan el 45% de la totalidad de integrantes fuera de los Estados Unidos, además IEEE es la asociación más grande del mundo profesional que promociona la innovación y excelencia en la tecnológica en beneficio de la humanidad, sus miembros se ven beneficiados con los envíos de información actualizada de publicaciones de conferencias, estándares de tecnología y de actividades educativas, la IEEE es también conocida como la "voz" de confianza de la ingeniería, de la informática y de la tecnología de la información en todo el mundo. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos entrega membresías y licencias que tienen un costo

económico para sus integrantes que se encuentran dentro y fuera de los Estados Unidos, estas membrecías van dirigidas a los profesionales de la ingeniería en áreas que van desde los sistemas aeroespaciales, computadoras, telecomunicaciones, ingeniería biomédica, energía eléctrica y la electrónica de consumo, entre otros. Cuenta con 38 sociedades y 7 consejos técnicos que representan a la amplia gama de intereses técnicos y cuenta con más de 2,5 millones de documentos en su librería que tratan de las 1.300 normas y proyectos en desarrollo.

Un punto importante que hay que tomar en cuenta es que IEEE es una organización que tiene su campo de acción en los Estados Unidos de Norteamérica exclusivamente, es decir los profesionales eléctricos deben obligatoriamente tener su licencia certificada por IEEE para poder ejercer su profesión en aquel país, los profesionales que tienen estas licencias y que no viven en los estados Unidos tienen la ventaja de que son reconocidos por las empresas fabricantes de maquinarias y de equipos tecnológicos avanzados que muy usualmente tienen su lugar de establecimiento en Norte América y que instalan o venden sus productos en muchos países alrededor del mundo, es por esto el interés de muchos profesionales de al menos conocer y estar actualizados con las normas y nuevas tecnologías que publica la IEEE.

Un ejemplo de la importancia de esta organización es un boletín informativo publicado el 8 de noviembre del 2009 por una agencia española en la que indica un extracto de la comunicación de la IEEE.

Los consejos que otorgan las licencias de ingeniería en 10 Estados de Norteamérica argumentan que puesto que los ingenieros de software juegan un papel significativo y cada vez en más incremento en el diseño y la operación de sistemas críticos, deben ser regulados de la misma manera que las otras disciplinas de ingeniería. Los proyectos que afectan a la seguridad pública requieren ingenieros con licencia para verificar que la ingeniería se ha realizado correctamente.

Fuente: blogspot.com, 2009.

Esta información fue recibida con preocupación por esta comunidad en particular, debido a que muchos de los profesionales de este lugar ejercen sus profesiones de una manera directa o indirectamente para empresas norteamericanas y al ver en un futuro cercano una posible restricción para sus labores creó una cierta preocupación.

1.5.2.4 Asociación Nacional Protección Contra Fuego (NFPA)

Es una organización que publica normas y prácticas recomendadas sobre el fuego y otros asuntos de seguridad, estas normas se desarrollan a través de un proceso de consenso por el “*American National Standards Institute*” que es una organización similar a la europea que ha sido creada en los Estados Unidos, que se aplica muy comúnmente en diseños de instalaciones eléctricas, diseños de maquinarias, etc. Esta información puede ser descargada fácilmente por medios electrónicos como material de consulta pero a su vez se prohíbe su reproducción parcial o total del mismo.

En nuestro país, las empresas distribuidoras de energía eléctrica han acogido de buena manera la información contenida en la NFPA y muy particularmente en la ciudad de Guayaquil, por parte de la CATEG, ya que esta institución distribuidora de energía eléctrica presenta un documento que es prácticamente igual en el contenido al NFPA pero más resumido que tiene por objeto establecer “Normas de Acometidas, Cuartos de Transformación y Sistemas de Medición para el suministro de Electricidad (NATSIM)” las mismas que fueron elaboradas para dar cumplimiento a lo establecido en el Art. 19 del Reglamento de Suministro del servicio de Electricidad emitido por el CONELEC (Entidad gubernamental del Ecuador), en donde las empresas distribuidoras se comprometen a emitir normas y hacerlas respetar y además se las obliga actualizarse periódicamente de acuerdo a los avances tecnológicos.

Debemos tener claro que las normas establecidas por la NFPA son reglas establecidas para evitar siniestros provocados por el fuego, estas reglas muchas de las veces se contraponen con las reglas de técnicas emitidas por IEEE en donde su prioridad es el buen funcionamiento de los equipos eléctricos y se deja en segundo

plano la seguridad de las personas, como ejemplo podemos citar la instalación de un tendido eléctrico para alimentar una carga determinada en donde se cita las normas de la IEEE que establece un número determinado de conductores con el que puede funcionar correctamente pero que puede ser inferior al número de conductores establecido por la norma de la NFPA en la que involucra además de los factores eléctricos factores externos como temperatura de trabajo, seguridad del personal, etc. Es por esto que muchos de los profesionales en nuestro medio utilizan muy a menudo este manual ya que se cubre la parte técnica y de seguridad, no obstante, estas reglas deben ser aplicadas con criterios basados en una buena ingeniería para salvaguardar nuestra responsabilidad como diseñadores o constructores.

1.5.2.5 Organización Internacional de Normalización (ISO)

Es el editor de las Normas Internacionales más grande del mundo, la ISO es una red de los institutos nacionales de normalización de 159 países, un miembro por país, con una Secretaría Central en Ginebra, Suiza, que coordina el sistema. La ISO es una organización no gubernamental que forma un puente entre los sectores públicos y privados. Por lo tanto, la norma ISO permite garantizar las características deseables de los productos y servicios tales como la calidad, respeto al medio ambiente, seguridad, fiabilidad, eficiencia y capacidad de intercambio y de coste económico.

En la actualidad, en nuestro medio son pocas las personas y empresas que están familiarizadas con estas normas y cuando compramos productos o adquirimos servicios que cumplan con nuestras expectativas concretas, nos inclinamos a dar por hecho que el producto o servicio es bueno, no obstante éstos pueden contener deficiencias que son imperceptibles para el común de las personas y no somos conscientes del papel en el que juegan las normas, hay casos en que los productos y servicios son incompatibles con el equipo que tenemos, no son confiables o son peligrosos, pero funcionan.

La ISO tiene su ámbito de trabajo, por ejemplo, en la agricultura y la construcción, a través de la ingeniería mecánica, la fabricación y distribución, transporte,

dispositivos médicos, tecnologías de información y comunicación, y las normas de buenas prácticas de gestión y de servicios, etc. Sin embargo la ISO no tiene autoridad legal para hacer cumplir la aplicación de sus normas, ya que, en muchos de los casos son voluntarias; pero en ocasiones los países, empresas públicas o privadas o personas naturales pueden decidir adoptarlas principalmente las relacionadas con la salud, la seguridad o el medio ambiente, aunque las normas ISO son voluntarias, pueden convertirse en una exigencia del mercado, como ha ocurrido en el caso de la ISO 9001 de sistemas de gestión de calidad o como por ejemplo en el caso las dimensiones normalizadas de los contenedores de mercancías, en este caso en especial si no existiera las normas impuestas a estos contenedores el comercio internacional sería más lento y más caro, otro ejemplo sería los símbolos normalizados que ofrecen advertencias de peligro y de información que casi siempre son entendidas rompiendo de esta manera las fronteras lingüísticas de muchos países alrededor del mundo.

En conclusión, podemos decir que el profesional encargado de hacer la labor de ingeniería eléctrica debe tener conocimientos básicos de las normas ISO, si bien es cierto no son obligatorias pero al menos al aplicarlas garantizamos nuestro proceder y las buenas prácticas de nuestros colaboradores.

1.5.2.6 Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA)

Estas normas son muy importantes en el campo de la ingeniería eléctrica debido a que muchas de las veces debemos escoger equipamiento en el cual colocaremos equipos eléctricos, NEMA es la abreviatura de las siglas en inglés de la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos. NEMA es una organización industrial sin fines de lucro, compuesta por fabricantes de aparatos eléctricos, que desarrolló normas voluntarias para gabinetes eléctricos. Estas clasificaciones describen el entorno en el cual puede utilizarse el producto, según la protección que ofrezcan los gabinetes. Entendiéndose por "gabinetes" las conexiones eléctricas y mecánicas, y los ajustes externos, NEMA clasifica los gabinetes de acuerdo con los efectos de la formación de hielo, la corrosión y el óxido en el exterior, o la contaminación causada por aceite y refrigerantes.

Existe equipo eléctrico y electrónico miniaturizado, válvulas y equipamiento en general que está contenido en lo que podría llamarse “gabinetes” pero que en realidad son las envolturas de estos equipos como por ejemplo los presostatos que pueden clasificarse también de acuerdo con las normas voluntarias que establece NEMA para los gabinetes eléctricos.

1.5.2.7 CONELEC

Es una entidad gubernamental del Ecuador que regula el sector eléctrico (Empresa Distribuidora y de Generación de Energía Eléctrica) y vela por el cumplimiento de las disposiciones legales, reglamentarias y demás normas técnicas de electrificación del país de acuerdo con la política energética nacional; es la encargada de elaborar el Plan Maestro de Electrificación, para que garantice la continuidad del suministro de energía eléctrica, y en particular la de generación, basado en el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales, aprueba los pliegos tarifarios para los servicios regulados de transmisión eléctrica y de los consumidores finales.

Para la calidad de servicio eléctrico; el ente regulador por lo general es estatal (CONELEC) y el ente regulado son las empresas de distribución, las mismas que pueden ser públicas o privadas. Dado que la empresa de distribución es la llamada a cuidar por la calidad del servicio, las regulaciones o recomendaciones establecen que ésta debe monitorear y corregir los problemas en la calidad de energía para el bien de sus usuarios.

Ecuador tiene pocos años de haber iniciado el proceso de regular a las empresas eléctricas 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.

1.5.3 DEFINICIONES GENERALES

Algunas veces es necesario reconocer definiciones que se le dan a las normativas cuando en informes hechos por peritos ya sean estos de cualquier tipo de rama,

realizan investigaciones de acuerdo al tipo de caso, estos a menudo llegan a recomendaciones y conclusiones generales en donde sólo se limitan a indicar a manera de ejemplo que el equipo, sistema, armario, grupo de trabajo, estructura de edificio, cancha de fútbol, procedimiento médico, etc. Cumple o NO con las normas “básicas, genéricas, o de la familia del producto”; es decir, estas expresiones clasifican las normas de una manera técnica generalizándolas para que sean entendidas por cualquier profesional de cualquiera de las distintas ramas que existen.

En nuestro estudio de Calidad de Energía Eléctrica vemos que estas expresiones las tenemos que considerar como referenciales para referirnos a las normas, a continuación mostraremos el significado de estas expresiones:

1.5.3.1 Normas del Producto

Las normas del producto son las que se aplican a los equipos de un tipo determinado y perfectamente definido. Estas normas predominan sobre las normas de familia del producto, y sobre las normas genéricas, es decir se refiere a las normas de un producto que contiene atributos físicos y tangibles. A manera de ejemplo consideremos la familia de los “Pernos hexagonales”, a éstos los encontramos en las distintas variedades en el mercado pero contruídos con características diferentes para necesidades diferentes, a manera de ejemplo consideremos la necesidad de colocar un perno en una estructura metálica en la cual este perno tenga que soportar un esfuerzo considerable, es entonces en este caso que debemos considerar un perno cuya norma indique que su aleación metálica responda o sobrepase a nuestra necesidad de controlar ese esfuerzo sin que se rompa, en otras palabras debemos buscar un perno que en el mercado puede ser igual o idéntico y de la misma familia pero con capacidades diferentes para soportar esfuerzos.

1.5.3.2 Normas de la Familia del Producto

Las normas de la familia del producto son las que se le aplican a todos los equipos de una misma familia en ausencia de normas específicas de producto, entonces retomando el ejemplo anterior la familia de los “pernos hexagonales” su norma de producto no debe interferir con su norma estandarizada de sus dimensiones como son la cabeza del perno, el alto, el grosor o el hilo.

1.5.3.3 Normas Genéricas

Las normas genéricas son las que se aplican a todo tipo de productos en ausencia de normas de familia de producto o normas de producto, es decir si consideramos el ejemplo de los pernos, un fabricante cualquiera podría elaborar pernos de cualquiera de las familias de los pernos con una aleación metálica de una norma genérica que indique que con una aleación determinada cumplirá con esfuerzos que comúnmente se usan. Como un segundo ejemplo pudiéramos considerar la necesidad de una organización ya sea esta grande o pequeña de alcanzar la certificación ISO 9001 esta organización tendría que aplicar un conjunto de normas “Genéricas” para la aplicación de un sistema de Gestión de Calidad, como ya se trató de explicar anteriormente las normas genéricas en este caso serían reglas comunes que pueden ser aplicadas a cualquier tipo de organización sin que tenga que tener en cuenta su tamaño. En realidad para cualquier estudio a realizar, algunas veces no se tiene normas para algo específico de un todo y es entonces que se debe aplicar las mencionadas normas genéricas como un respaldo, no queriendo decir con esto que se puede remplazar a las normas básicas por unas genéricas.

1.5.3.4 Normas Básicas

Las normas básicas definitorias describen los métodos y procedimientos de ensayo de medida y prueba, así como los instrumentos y sus accesorios que son necesarios para tales fines. Al igual que las normas genéricas estas normas básicas son las más

utilizadas en los estudios debido a que con estas se puede comprobar normas de productos así como también establecer límites y también establecer métodos para realizar las pruebas de verificación.

1.6 FUNDAMENTOS DE CALIDAD

Desde hace algunos años se está tomando conciencia sobre “la calidad de la energía eléctrica”. El consumo de energía eléctrica crece en la actualidad de forma considerable debido al desarrollo de nuevas tecnologías que están transformando la sociedad. Históricamente este desarrollo tecnológico va ligado con la actualización de la energía eléctrica, siendo cada vez más alto el porcentaje de uso del consumo de energía eléctrica. Dentro del concepto de calidad de energía, la alteración en la “forma de la onda” tiene lugar en los propios procesos de producción, transporte y distribución, así como en la utilización de determinados receptores que generan perturbaciones; siendo estos factores inevitables pero sí se pueden minimizar.

Actualmente las empresas de generación y distribución de energía eléctrica, tienen que afrontar dos importantes retos:

1. Aumentar la capacidad de generación y distribución de energía eléctrica, para responder a la demanda creciente, debido a que los sistemas de generación y distribución están funcionando muy cerca del límite de su capacidad máxima.
2. Asegurar la calidad de la energía eléctrica suministrada, con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos conectados a las redes de distribución, considerando también que la calidad de energía eléctrica es de gran importancia para contribuir con el desarrollo tecnológico.

No existe hasta el momento una definición completamente aceptada del término calidad del suministro eléctrico o calidad de la energía eléctrica, a continuación veremos algunas definiciones de calidad de energía eléctrica.

1.7 DEFINICIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA

La Calidad de Energía es un término utilizado para referirse al estándar de calidad que debe tener el suministro de corriente alterna en las instalaciones eléctricas, en términos de:

- Tensión o voltaje constante
- Forma de onda sinusoidal
- Frecuencia Constante

Cualquier desviación de estos estándares de calidad que ocasione problemas en los equipos eléctricos instalados, recibe el nombre de Mala Calidad de Energía.

El NATSIM valora la calidad del servicio del suministro de energía eléctrica, básicamente mediante la cuantificación de la duración de las interrupciones registradas, así como por el mantenimiento de la tensión en las líneas de distribución en la mayor parte del tiempo.

En este punto donde definimos la calidad de energía desde varias perspectivas podemos darnos cuenta que es de suma importancia reconocer los diferentes tipos de perturbaciones que intervienen en la calidad de la onda eléctrica, sus causas y consecuencias para de esta manera poner en marcha posibles acciones correctivas, evitando pérdidas por paradas en los procesos de producción y almacenamiento, y en el caso de nuestro estudio “en el sector hospitalario” evitaremos comprometer las vidas de los pacientes, interrupciones de los tratamientos, el incumplimiento de las listas de espera, y el deterioro de la imagen del centro hospitalario.

CAPÍTULO 2

1 LA CALIDAD MANIFESTADA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

La calidad de energía eléctrica es utilizada para describir el comportamiento característico de las magnitudes eléctricas y de las incidencias que tienen estas magnitudes en el sistema eléctrico; las magnitudes eléctricas son representadas por las formas de las ondas ya sean éstas sinusoidales o no sinusoidales, y por los niveles de frecuencia que tienen estas ondas; las incidencias son en cambio las veces en que las magnitudes eléctricas se mantienen estables o inestables, la cuantificación de aquellas incidencias nos permitirá saber si aquellas magnitudes eléctricas tienen un efecto negativo o proactivo dentro del sistema eléctrico analizado.

2.1 HISTORIA

La calidad de la energía eléctrica en sus inicios fue muy estable debido a que las cargas eléctricas en su gran mayoría estaban representadas por cargas lineales y en donde las únicas fuentes que causaban perturbaciones en las magnitudes eléctricas, dicho sea de paso, con una menor incidencia, eran los transformadores en la energización de los mismos, la de los motores y la de las descargas atmosféricas. Esta situación fue cambiando conforme fue avanzando la tecnología, y es por esto que a inicio de la década de los 80 la introducción de nuevas cargas eléctricas en las cuales contenían los denominados semiconductores fueron cambiando la naturaleza de la carga total de los usuarios y la del sistema de potencia.

2.2 INTRODUCCIÓN

La calidad de energía eléctrica en general también se refiere al estudio de los fenómenos electromagnéticos que alteran la operación de un sistema eléctrico de potencia, en nuestro Estudio de Calidad de Energía Eléctrica, el cual lo hemos realizado en las instalaciones eléctricas de un centro hospitalario, hemos considerado

tomar en cuenta la necesidad de la disponibilidad del suministro eléctrico que debe ser en este caso las 24 horas del día, durante los 7 días de la semana, es por ésto que las cargas a las cuales se deberán tomar mayor atención es al equipamiento médico y al sistema de climatización, lo que nos conlleva a la reflexión que un hospital con un equipamiento médico conectado a un sistema con una mala calidad de energía eléctrica puede estar propenso a su acortamiento de su vida útil y además estar propenso a eventos inesperados en el sistema de climatización, que es de vital importancia debido a que en este tipo de centros de atención médica la calidad del aire al interior debe ser óptimo para el control de virus aeróbicos y anaeróbicos que pueden ser transmitidos por medio del aire causando un sinnúmero de enfermedades en heridas abiertas y a personas sanas, es por esto que aquellos puntos antes mencionados deberán ser de mayor consideración.

Por lo congruente, es imprescindible garantizar la continuidad del suministro eléctrico en cualquier momento del día, especialmente en las áreas críticas (quirófanos, unidades de cuidados intensivos, área materna infantil o incubadoras, etc.). Cualquier corte en el suministro puede causar la suspensión parcial de los tratamientos hasta el extremo de comprometer la vida de los pacientes del centro hospitalario.

Para lo dicho anteriormente nos fijaremos en dos ejes de análisis:

- La disponibilidad de **Energía Eléctrica; y,**
- Las distintas maneras de pérdidas de **Energía Eléctrica.**

2.3 MARCO TEÓRICO

En el estudio de la calidad de energía eléctrica se debe identificar parámetros que determinen un adecuado y correcto funcionamiento de una red eléctrica, así como los

factores que caracterizan una onda de corriente alterna perfecta y los nombres de los efectos que distorsionan esta onda y las causas que los provocan.

Para este estudio se requieren equipos básicos de medición como multímetros de verdadero valor eficaz y pinzas amperimétricas, y con esto determinamos los parámetros eléctricos generales de una red; pero, para un profundo estudio de calidad de energía, se requiere un equipo que sea capaz de registrar las variaciones en las magnitudes eléctricas en instantes de tiempo, así también como el nivel de distorsión de armónicos, y la capacidad de almacenamiento de información con registros en intervalos de tiempo; es por esto que se requerirá de un equipo de ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA creado para tales fines.

Se aplicarán los conceptos y conocimientos adquiridos en:

- Calidad de Energía. (Seminario)
- Normas Eléctricas. (Seminario)
- Sistemas de Potencia.
- Máquinas Eléctricas (transformadores)
- Materias del Pensum Académico.

Además se requerirá de información relacionada a equipos de medición como ANALIZADOR TRIFÁSICO DE CALIDAD ELÉCTRICA, SERIE 435, de la marca FLUKE, así como de su software POWER LOG, la cual será facilitada por la documentación en www.fluke.es

2.4 LA DISPONIBILIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

El uso de energía eléctrica requiere el acatamiento de rigurosas normas de seguridad, su interrupción inesperada crea condiciones inseguras que en el caso de nuestro

estudio, en el sector hospitalario, podrían poner en riesgo vidas humanas. En este sentido, la regulación No. 004/01 del CONELEC prevé el suministro continuo de energía en las instalaciones eléctricas hospitalarias, bajo el criterio del intervalo de tiempo que podría soportar un paciente en estado crítico sin sus equipos esenciales de apoyo, equipos de monitoreo de signos vitales ó un cirujano en intervención sin iluminación en el quirófano. Está previsto, de acuerdo a la normativa en alusión, que este tiempo no podrá ser mayor a diez segundos.

Con el fin de respaldar la continuidad de servicio de energía eléctrica, las instalaciones eléctricas hospitalarias deben tener a su disposición su respectivo grupo electrógeno que en la mayoría de los casos es muy común poseerlo, o cualquier otro equipo de generación eléctrica alternativa ó de emergencia.

Las instalaciones hospitalarias son a fin de cuentas usuarios de energía eléctrica y éstos pueden obtener su energía de dos maneras:

1) Suministro de Energía Eléctrica por la Distribuidora Local

En el caso de nuestra ciudad de Guayaquil el concesionario del servicio eléctrico encargado de suministrar tal servicio de energía eléctrica es la CATEG (Corporación para la Administración Temporal Eléctrica de Guayaquil), que se encarga de la distribución y comercialización de energía eléctrica en la ciudad de Guayaquil, “ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL” desde el 18 de Junio del 2009, por Decreto Ejecutivo del Gobierno Ecuatoriano No- 1786.

Normativas y Regulaciones

Dentro del sector eléctrico ecuatoriano se han instaurado normativas, regulaciones y una serie de capítulos y artículos de los cuales hacemos referencia al Capítulo VI, de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, Artículo 34, Segundo Párrafo, que estipula: *“El CONECEL otorgará la concesión de distribución, manteniendo un solo*

distribuidor por cada una de las áreas geográficas fijadas en el Plan Maestro de Electricidad”, queriendo decir con esto que en nuestro país existe un número determinado de concesionarios o distribuidores de energía eléctrica en un mapa maestro que no muy necesariamente correspondería a la posición geográfica de las regiones del territorio ecuatoriano.

Responsabilidad y Alcance

La responsabilidad de las empresas distribuidoras consiste fundamentalmente en mantener el servicio eléctrico a los consumidores ubicados dentro de su zona de concesión, con niveles de calidad eléctrica aceptables, establecidos en virtud de lo que señala la Ley de Régimen del Sector Eléctrico; es por esto que en nuestro estudio, la calidad de energía eléctrica en cuanto a los parámetros eléctricos entregados por el distribuidor deberán ser tomados en cuenta para confirmar que se están cumpliendo con las normas, de no ser así el resultado de la evaluación nos serviría para realizar los respectivos reclamos al distribuidor.

Calidad del Suministro Eléctrico

- **Del Factor de Potencia**

En la evaluación del factor de potencia del sistema eléctrico, se debe considerar que si en el 5% o más del período evaluado, el valor del factor de potencia es inferior al límite establecido, el cual es 0.92, con lo expuesto podemos decir si el consumidor está incumpliendo con el índice de valor mínimo para factor de potencia, y si éste fuera el caso, el consumidor estaría propenso a multas por parte del distribuidor.

- **Del Nivel de Voltaje**

Como las mediciones de calidad energía eléctrica son realizadas muchas de las veces en el lado de baja tensión de los transformadores, se toma en cuenta el voltaje nominal de la placa del transformador, y las variaciones de la tensión de suministro con respecto a la tensión nominal del transformador, se concluirá si este parámetro está dentro del +/- 8% de la norma del CONELEC. Esta misma forma de análisis se aplicaría en los distintos niveles de tensión que existan.

- **De las Perturbaciones**

- **Parpadeo (Flicker)**

El Flicker Pst es un índice que debe ser considerado en el punto de medición; este índice no debe superar la unidad y este valor de por sí debe ser considerado como el valor máximo admisible. El Flicker está asociado a los parpadeos de las luminarias las cuales causan una cierta irritabilidad o molestia al ojo humano que puede mermar el rendimiento del personal en un área de trabajo. Por esto, en el análisis respectivo se deberá considerar que estas perturbaciones de Flicker no sobrepasen la unidad y si lo llegaren hacer que no sea más del 5 % del período de medición dentro de los 7 días continuos de registro de datos.

- **Armónicos de voltaje**

Los valores RMS de los voltajes armónicos individuales (V_i), y los THD que son representados como porcentajes del voltaje nominal no deben sobrepasar los valores límites establecidos por el CONELEC y dichos valores presentamos a continuación:

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 (trafos 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	$0.1 + 0.6*25/n$	$0.2 + 1.3*25/n$
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

Fuente: CONELEC, Regulaciones, Tabla 1, Porcentajes de Distorsión Armónica, www.conelec.gov.ec, 2001.

Calidad del Servicio entregado por el Distribuidor

- **Las Interrupciones**

La calidad del servicio entregado por el distribuidor se deberá evaluar conforme al número de interrupciones o cortes del suministro eléctrico y de la duración total de las interrupciones. Para realizar el cálculo de este índice de interrupciones se considerarán todas las interrupciones que hayan sido registradas dentro del periodo de análisis de los 7 días continuos de medición y que hayan tenido una duración mayor a tres (3) minutos, incluyendo las que hayan sido originadas internamente debido a los bajos voltajes suministrados por el distribuidor. No serán consideradas las interrupciones con duración igual o menor a tres (3) minutos.

Los valores límites admisibles establecidos por el CONELEC, están representados por “FAIc” que es el número de interrupciones por consumidor y DAIC que es la duración de dichas interrupciones por consumidor. A continuación presentamos la tabla de límites establecida por el CONELEC:

Índice	Lim FAIc	Lim DAIC
Consumidores en AV	6.0	4.0
Consumidores en MV Urbano	8.0	12.0
Consumidores en MV Rural	10.0	24.0
Consumidores en BV Urbano	10.0	16.0
Consumidores en BV Rural	12.0	36.0

Fuente: CONELEC, Regulaciones, Tabla 2, Límites de Interrupciones, www.conelec.gov.ec, 2001.

2) Suministro de Energía Eléctrica por Autogeneración

La autogeneración resulta adecuada cuando las electrificaciones de las empresas distribuidoras no llegan a cubrir ciertos lugares dentro de su área de concesión y también resulta adecuado cuando el costo por kwh generado resulta ser más barato que el costo por kwh suministrado por el distribuidor.

Hay una gran variedad de sistemas de autogeneración y de forma generalizada mencionamos los siguientes:

- **Sistemas convencionales**

Dentro de estos sistemas convencionales se encuentran los más conocidos como son los grupos electrógenos que utilizan combustibles fósiles y que por su facilidad de operación, y confiabilidad son ampliamente difundidos.

- **Sistemas alternativos**

Dentro de estos sistemas alternativos se encuentran los aerogeneradores, los geotérmicos, y muy recientemente difundidos los de biomasa, la energía generada por estos sistemas alternativos están ganando terreno en la actualidad, debido a que estas tres formas de generar energía eléctrica tienen la capacidad de no contaminar al medio ambiente, y por consiguiente no afectan a la sociedad.

Normativas y Regulaciones

Con respecto a las normativas y regulaciones podemos mencionar la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE), la cual fue difundida en el Suplemento del Registro Oficial No. 43 del 10 de Octubre de 1996. Además, cabe mencionar que, se difundieron nuevas reformas a la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE), en el Registro Oficial No. 364, el 26 de Septiembre del 2006. A continuación citaremos uno de los artículos más relevantes:

Art. 30. Permisos para Generación.

En resumen este artículo nos indica que para la edificación y operación de centrales de generación con una capacidad menor igual que 50 Mw que vayan a ser utilizadas para abastecer de energía eléctrica al servicio público o que sean utilizados como autogeneradores, se deberá de solicitar un permiso exclusivamente dado por el CONELEC, previo a la edificación de la central de generación.

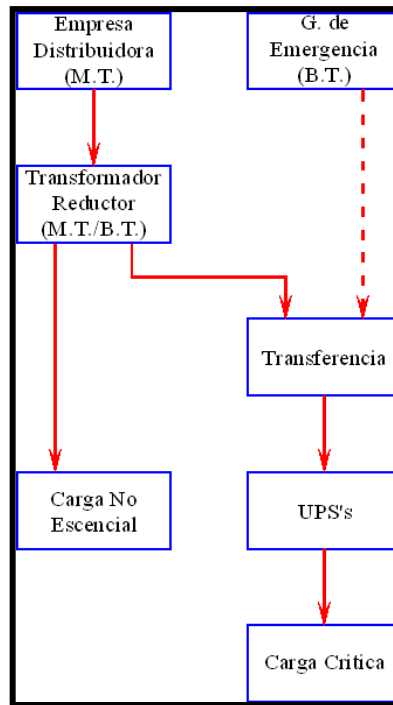
Además se aconseja que las personas atraídas a la edificación y operación de este tipo de centrales soliciten al CONELEC la correspondiente autorización, la cual no podrá ser rechazada sino en los siguientes casos:

- a) Inobservancia de las leyes sobre protección del medio ambiente; y,

- b) Disconformidad con las condiciones técnicas indicadas por el CONELEC para el crecimiento del sector eléctrico.

Cabe recalcar que éste es un artículo exclusivo de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE), en el que trata sobre el ente que da la autorización para la edificación y operación de nuevas centrales de generación que vayan a ser utilizadas para autogeneración.

En la actualidad los sistemas convencionales son los más utilizados y en especial los grupos electrógenos para la generación eléctrica de respaldo ó de emergencia que comúnmente es utilizado por el sector hospitalario, la disposición de los equipos de respaldos o de generación de emergencia están configurados por varios tipos expuestos en la Norma IEEE C37-102-1995 en el que se especifican 6 configuraciones posibles de conexiones según sea la necesidad o capacidad económica del usuario; para el sector hospitalario lo más aconsejado es la configuración del Tipo E; este sistema deberá estar conformado de un generador de emergencia, tablero de transferencia y UPS's; es un sistema muy confiable y de gran aceptación debido a sus características de tiempo cero de activación y de larga prolongación de funcionamiento.

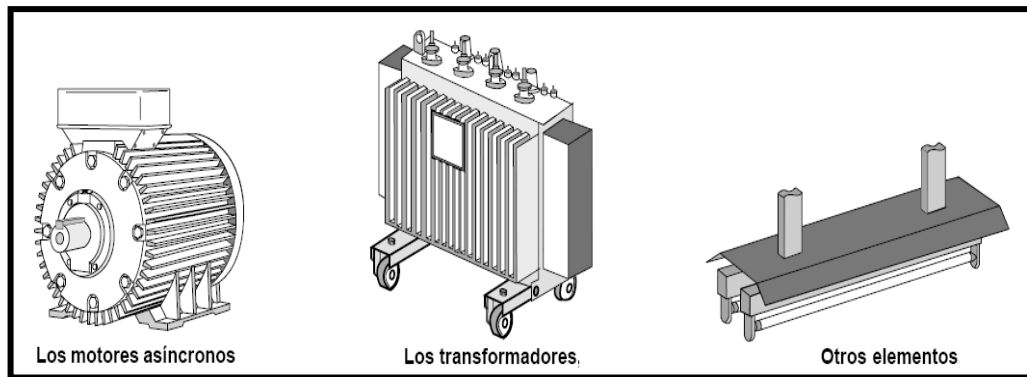


Fuente: NORMA IEEE, C37 – 102, Gráfico 2, Sistema de Emergencia TIPO E, 1995.

2.5 DISTINTAS FORMAS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En el Ecuador, el alto costo que significa la producción de energía eléctrica, ha forzado a las empresas transportadoras y distribuidoras, a disminuir lo más posible los márgenes de pérdidas. Estas pérdidas de energía surgen en mayor o menor grado en todos y cada uno de los elementos que constituyen un sistema eléctrico, las cuales se producen en todo instante de tiempo.

Siendo la potencia reactiva, uno de los fenómenos con mayor fuente de pérdida de energía eléctrica, al no ser usada en energía de trabajo útil por los equipos. Entre los equipos más comunes que consumen energía reactiva tenemos los transformadores, y motores asíncronos; además tenemos otros elementos; pero de menor consumo como es el caso de las reactancias de las lámparas fluorescentes, y los rectificadores.



Fuente: www.sebyc.com, Manual Teórico Práctico Schneider, Ilustración 3, La Compensación de Energía Eléctrica Reactiva, 2009.

- **Clasificación de Las Pérdidas:**

Tenemos dos tipos de pérdidas en los sistemas eléctricos, éstas son:

- Pérdidas técnicas.
- Pérdidas no técnicas.

- **Pérdidas técnicas en General.**

Las pérdidas técnicas en general las podemos clasificar conforme al tipo y causas que las originan; pero generalmente las pérdidas técnicas son las que se producen por efecto de la resistencia física de los conductores al paso de la corriente. Estas pérdidas están presentes en todos los componentes del sistema eléctrico.

- **Pérdidas técnicas asociadas con la variación de la demanda**

Este tipo de pérdidas en particular las encontramos vinculadas con las corrientes que circulan por los elementos que constituyen el sistema eléctrico (efecto Joule). O bien la podemos relacionar con la siguiente ecuación:

$$P_L = I^2 * R$$

En dónde:

P_L = Pérdidas en el elemento del sistema (W).

I = Corriente que circula por el elemento (A).

R = Resistencia del elemento (Ω).

- **Pérdidas técnicas independientes de la demanda**

Este tipo de pérdidas se presentan en el núcleo (hierro) de los transformadores y en las máquinas eléctricas, dependiendo esencialmente de la variación de voltaje que experimentan las máquinas antes mencionadas. Estas pérdidas pueden subdividirse en dos partes: pérdidas por las corrientes de Foucault o también llamadas corrientes parásitas; y, las pérdidas por histéresis magnética .

- **Pérdidas No técnicas**

Son las que se producen esencialmente por hurto, fraude, malas administraciones y también por deficiencias o mal rendimiento de los equipamientos eléctricos de las empresas distribuidoras en el transporte de la energía eléctrica suministrada; estas pérdidas son deducidas como la resta o el sobrante entre las pérdidas totales del sistema y las pérdidas técnicas estimadas para el mismo.

Enumerando algunas maneras de pérdidas de energía eléctrica en un sistema eléctrico, mencionaremos las siguientes, las cuales se ha tratado de fraccionar o dividir al sistema eléctrico en un grupo de subsistemas para la facilitación de cálculos. Tenemos:

- **Pérdidas No técnicas en Alimentadores Primarios y Secundarios**

Esta manera o forma de pérdida está esencialmente relacionada con la resistencia de los conductores y la de las corrientes que recorren por los mismos. No se considera las pérdidas por efecto corona y los valores de susceptancia de las líneas debido a que en nuestro sistema las líneas de distribución están por debajo de los 13,2KV y los valores de susceptancia en las líneas son despreciables.

- **Pérdidas No técnicas en Transformadores de Distribución**

En los transformadores de distribución sobresalen dos tipos de pérdidas No técnicas:

1. Las pérdidas en el cobre, las cuales están vinculadas con la resistencia de los bobinados del transformador.
2. Las pérdidas en el núcleo (hierro) o también conocido como pérdidas en vacío, las cuales están asociadas con las corrientes de excitación del transformador.

- **Pérdidas en alumbrado público**

Las pérdidas en alumbrado público están directamente vinculadas con las pérdidas que se puedan generar en los balastos o reactancias; estas pérdidas son constantes, además tenemos casos de pérdidas en alumbrado en pequeños porcentajes a causa de mantener encendido las luminarias durante el día, al no existir un control de mantenimiento.

CAPÍTULO 3

3. EFECTO DE LA MALA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS GENERALES.

3.1 INTRODUCCIÓN

Una de las secuelas o efectos que evidencian una mala calidad de energía eléctrica es la aparición de distorsiones o deformación de la onda de su característica sinusoidal pura original, lo que ocasiona fallas inesperadas o repentinas en los dispositivos eléctricos como es el caso de los breakers, además conlleva al fallo de equipos sensibles como es el caso de los equipos electrónicos.

Por tales motivos es esencial un análisis o estudio de calidad de energía eléctrica en las instalaciones eléctricas, para informarnos cómo están trabajando nuestros circuitos eléctricos a fin de corregir y dar las respectivas soluciones para de esta manera impedir posibles fallos en nuestros equipos. Las consecuencias o efectos de tener en nuestras instalaciones eléctricas una mala calidad de energía son las siguientes:

- Parpadeos en dispositivo de comunicación (tarjetas electrónicas).
- Tripeo repentino o inesperado de breakers en los paneles de distribución.
- Pérdidas económicas debido a paros de líneas de producción.
- Sobrecalentamiento en conductores (línea neutro), y en motores eléctricos.

Para realizar un estudio o análisis de las pérdidas dentro del sistema eléctrico, debemos partir del hecho de que cualesquiera que sea la causa que originen una mala condición de la calidad de la energía eléctrica, ya sean éstas perturbaciones y

disturbios, siempre mantienen las características de disipación de potencia de dos formas y éstas son por energía disipada en forma de calor, y por energía reactiva, esta última que es la utilizada para crear los campos magnéticos en cables y motores. Por tanto en un estudio de calidad de energía eléctrica a un consumidor siempre se deben buscar las pérdidas que a continuación resumimos:

- Pérdidas por Potencias Activas
- Pérdidas por Potencias Reactivas

3.2 PÉRDIDAS POR POTENCIAS ACTIVAS

Las Pérdidas por Potencias Activas se producen muchas de las veces por disipación en forma de calor y que pueden ser originadas, dicho sea de paso, por un dimensionamiento incorrecto de conductores, por desgaste de rodamientos en los motores que consecuente a esto se producen rozamientos en sus partes móviles, por la poca eficiencia de los motores, por el incorrecto funcionamiento de las lámparas, por los sistemas de refrigeración sin regulación automática, etc. Estas pérdidas son fácilmente percibidas y pueden ser reconocidas por el hecho de que siempre existirá disipación de calor en sus distintas formas.

Causas que provocan Pérdidas por Potencias Activas

La corriente eléctrica cuando recorre por un conductor, disipa en forma de calor cierta cantidad de energía activa debido a que la resistencia interna que contiene este conductor se opone al paso de la corriente, por tanto, esta pérdida causada por los conductores es representada por la expresión $I^2 * R$ en donde I es la corriente que recorre el conductor y R es la resistencia eléctrica que en este caso vendría a ser la resistencia del conductor, esta forma particular de disipación de potencia se la reconoce también como pérdidas por efecto Joule las cuales se presentan en:

- El calentamiento de cables, por citar un ejemplo, tenemos el caso de calentamiento del conductor neutro debido a la generación predominante de la tercera armónica.

- El calentamiento de los bobinados de los transformadores de distribución.

En general, el hablar del sobrecalentamiento de los conductores es como invocar el daño o deterioro definitivo del aislamiento de los conductores eléctricos; es por esta razón que el sobrecalentamiento es uno de los principales problemas que además de disminuir la vida útil de los mismos, pueden ocasionar cortos circuitos entre espiras al referirnos a bobinados o cortocircuitos entre masa a tierra, o línea a tierra al hablar de conductores en común.

3.3 PÉRDIDAS POR POTENCIAS REACTIVAS

Las Pérdidas por Potencias Reactivas aluden a todas aquellas pérdidas generadas por un Factor de Potencia bajo; el factor de potencia es un vocablo utilizado para especificar o explicar la cantidad de energía eléctrica que se ha transformado en trabajo. También se lo precisa como el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente; ésto se ve reflejado en la siguiente ecuación:

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

Dónde:

Fp: Factor de Potencia

P: Potencia Activa

S: Potencia Aparente

De dónde analizamos:

La potencia activa (P): Es la que en el proceso de conversión de la energía eléctrica se emplea como trabajo. Su unidad de medida es el Watio (W).

La potencia reactiva (Q): Es la responsable de generar el campo magnético que necesitan o requieren para su puesta en marcha de los equipos inductivos tales como

los motores y transformadores. Su unidad de medida es el Voltio Amperio Reactivo (VAR).

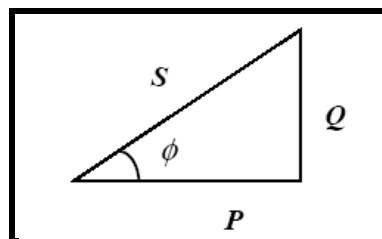
La potencia aparente (S): No es más que la suma geométrica de ambas potencias mencionadas anteriormente; es decir, tendríamos la siguiente expresión:

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

Fuente: CHAPMAN, Stephen, Máquinas Eléctricas, 3ra. Edición, Ilustración 4, Formula Potencia Aparente, 2004.

En resumen, podemos decir que el factor de potencia nos indica cómo una empresa consume energía eléctrica, por citar un ejemplo: cuando una empresa presenta un factor de potencia bajo, es indicativo de que se tiene un mayor consumo de energía reactiva, es decir, cuanto más bajo sea el Factor de Potencia, más costoso será para una empresa la energía consumida, ya que esta deberá pagar las respectivas penalizaciones por tener un factor de Potencia muy bajo.

A continuación se muestra el triángulo de potencias:



Fuente: CHAPMAN, Stephen, Máquinas Eléctricas, 3ra. Edición, Ilustración 5, Triángulo de Potencias, 2004.

Donde observamos que:

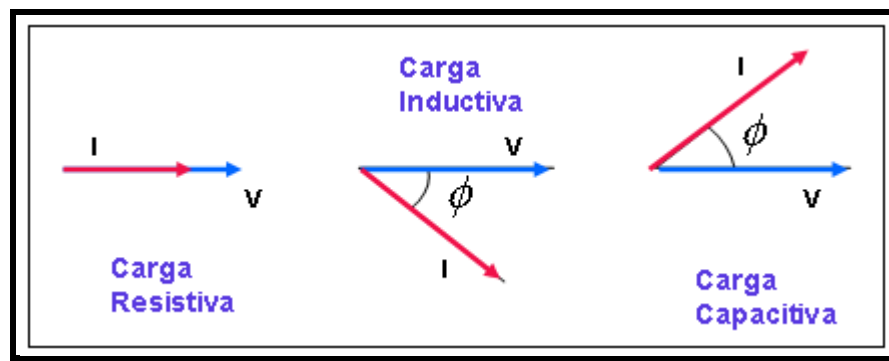
$$\frac{P}{S} = \cos \phi$$

Por lo tanto:

$$Fp = \cos \phi$$

Según el tipo de carga en nuestro circuito eléctrico, el factor de potencia puede ser:

- En adelanto: Cuando en nuestro circuito eléctrico tenemos cargas capacitivas (condensadores), donde la corriente adelanta al voltaje, es decir, $\phi > 0$.
- En Retraso: Cuando en nuestro circuito eléctrico tenemos cargas inductivas tales como motores y transformadores, donde la corriente se encuentra en retraso con respecto al voltaje, es decir, $\phi < 0$.
- Igual a 1: Cuando en nuestro circuito eléctrico solamente tenemos cargas resistivas, tales como las lámparas incandescentes, en este caso el voltaje y la corriente están en fase, es decir, $\phi = 0$.



Fuente: SHAUNGNESSY, Tom, Factor de potencia, armónicos y filtros armónicos, Revista Power Quality, Gráfico 3, Diagramas Fasoriales del Voltaje y la Corriente, 1994.

Causas para que sucedan las Pérdidas por Potencia Reactiva

Para que existan las pérdidas por Potencia Reactiva se requiere una cantidad considerable de equipos o maquinarias tales como motores, transformadores, lámparas fluorescentes, etc. Que demanden significativamente potencia reactiva, provocando una disminución representativa del factor de potencia. Este elevado consumo de energía reactiva también se puede originar por las siguientes causas:

- Por la existencia o puesta en marcha de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Por un mal dimensionamiento o una mala planificación de la capacidad instalada en equipos electromecánicos.

Cabe resaltar que las cargas puramente resistivas, como es el caso de resistencias de calentamiento, alumbrado incandescente, etc. no representarán ningún tipo de inconvenientes al no requerir o necesitar de la corriente reactiva.

3.4 PÉRDIDAS ECONÓMICAS RELACIONADAS A LAS ANTERIORES

Al referirnos a pérdidas económicas relacionadas a los tipos de pérdidas eléctricas mencionados anteriormente, podemos afirmar que tales pérdidas son originadas por:

a) CAUSAS EXÓGENAS

Socio-económicas

- Por la incultura de pago puntual por el servicio eléctrico entregado, a más del alto nivel de pobreza que actualmente tiene nuestro país, empujan o ayudan a que se produzcan invasiones (asentamientos no legalizados) en varios sectores del país, propensos al hurto de la energía eléctrica. Este acontecimiento es inusual para usuarios tanto comercial e industrial.

Legales

- Por las leyes actuales vigentes en nuestro país, las cuales defienden al consumidor, aún no conforme con esto, también se tiene la Defensoría del Pueblo, que en ciertas ocasiones amparan o favorecen al infractor, y en otras dan apoyo o respaldo al consumidor responsable.

Políticas

- Por la mala administración de los Miembros de directorios de las distribuidoras quienes llegan a tales puestos por disposiciones políticas.

b) CAUSAS ENDÓGENAS

Económico-financieras

- Por la falta de apoyo económico a proyectos o programas de reducción de pérdidas de energía eléctrica en las distribuidoras como por los consumidores.

Comerciales

- Por falta de mejoramiento de procedimientos, técnicas o tratamientos en el área informativa para la comercialización, facturación y recuperación de deudas.

Técnicas

- Por el mal dimensionamiento de Transformadores de Distribución, al trabajar con una carga mucho menor a la capacidad nominal del mismo, generando pérdidas técnicas, además por la limitada aplicación de redes anti hurto para el sector residencial.

Administrativas

- Por la publicidad limitada que tienen las empresas distribuidoras, para dar a conocer el servicio que prestan, consejos prácticos para el ahorro de energía eléctrica, y mejorar de esta manera (por el medio publicitario) la relación comunidad - empresa distribuidora.

También tenemos que evidenciar que las pérdidas de energía en las distintas maneras, con una frecuencia periódica en el sistema eléctrico de una empresa, ocasionarían de una manera innecesaria un costo, el cual debe ser puesto en consideración para efectos de balances financieros.

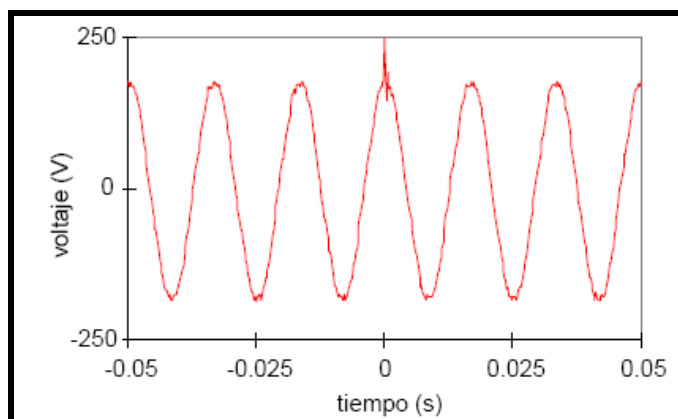
3.5 DISTORSIÓN DE LA ONDA SINUSOIDAL

3.5.1 Voltajes Transitorios

Definición

En la profesión o rama eléctrica, la palabra transitorio caracteriza a aquellos sucesos indeseables en el sistema que son de naturaleza momentánea, los valores máximos o picos de voltajes transitorios son sucesos de muy poca duración (inferior o menor a $\frac{1}{2}$ ciclo), que va desde unos pocos milisegundos hasta millonésimas de segundos. Como primordial efecto de esta perturbación se tiene que puede ocasionar o generar una falla inminente en el aislamiento (BIL) de los equipos y fuentes electrónicas.

El gráfico 5 presenta un pico de voltaje transitorio ocasionado por la conexión de un capacitor en un tomacorriente:



Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Visualización de un pico de voltaje transitorio, Gráfico 4, 2008.

Posibles Causas que generan los picos de voltajes Transitorios

Los sobrevoltajes transitorios pueden ser de varios orígenes:

- En la operación de Conectar o Desconectar grandes cargas.
- Por descargas Atmosféricas

- Por descargas Electrostáticas
- Por Efectos Resonantes

Los transitorios más serios o crueles, en el sentido de que pueden generar daños, son los ocasionados por las descargas atmosféricas, éstas pueden llegar al extremo de superar el nivel básico de aislamiento (BIL) y dañar el aislamiento de transformadores, motores, cables y equipos electrónicos. Los transitorios eléctricos producidos o provocados por la operación de conectar o desconectar grandes cargas con interruptores, corresponde a que el sistema se ve obligado a pasar de una condición de estado estable a otra. Por citar un ejemplo; de la operación de conectar o desconectar grandes cargas con interruptores que dan paso a la generación de sobrevoltajes transitorios es la conexión de capacitores, de la misma forma en la energización de transformadores y de motores eléctricos damos paso a la generación de sobrecorrientes transitorias.

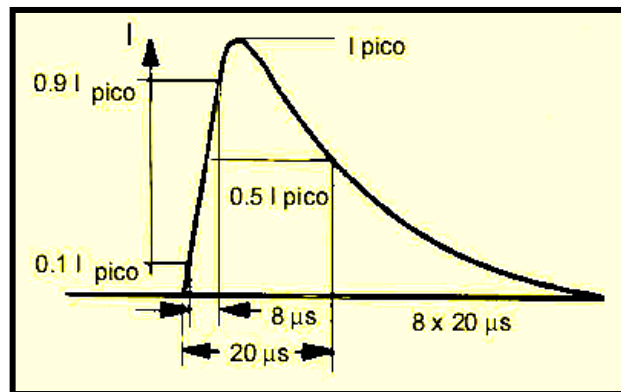
Normas y Regulaciones

Las normas europeas indican que no se debe permitir sobrepasar los 6 KV de pico en baja tensión es decir 1,7 a 2 de la tensión de fase en media tensión, y puntualiza la presencia de huecos que no son más que picos pero de signo opuesto a la polaridad que posee la onda en el momento que se genera el transitorio.



Fuente: ARRIOLA, F. J., Perturbaciones más habituales en un sistema eléctrico, Pico de Voltaje Transitorio Negativo, Gráfico 5, 1989.

A continuación una ilustración de una onda de corriente transitoria que tiene igual característica a una onda transitoria de voltaje de 8 / 20 microsegundos, esta onda es utilizada como norma para definir las características de los varistores o supresores de altos voltajes y de otros componentes de supresión.



Fuente: ARRIOLA, F. J., Perturbaciones más habituales en un sistema eléctrico, Onda 8/20 microsegundos tiene un tiempo de crecimiento de 8 microsegundos y 20 microsegundos para llegar al 50% del valor de pico, Ilustración 6, 1989.

Más adelante presentamos una tabla de características de inmunidad de equipos eléctricos a valores picos de voltaje:

TIPO DE EQUIPO	VOLTAJE NOM.	VALOR PICO (MÁX.)
Muy críticos	120 VAC	800 V(rms)
	220 VAC	1500 V(rms)
Semi críticos	120 VAC	1500 V(rms)
	220 VAC	2500 V(rms)
Menos críticos	120 VAC	2500 V(rms)
	220 VAC	4000 V(rms)

Fuente: Normas ANSI/IEEE C 62.41, Voltajes Picos, Tabla 3, 1991

Los valores mostrados en la tabla se encuentran estandarizados en las normas ANSI / IEEE C62.41-1991. Mientras que los valores de voltajes picos pueden ser usados como referencia para:

- Escoger equipamiento que sea inmune al sistema eléctrico hostil en el que se prevé que va a trabajar.
- Si llegáramos a encontrar picos de voltajes transitorios, los valores normalizados nos ayudarán a clasificar los equipos supresores de transitorios los cuales vayamos a necesitar.
- En el caso de que se requiera hacer una verificación de los niveles de protección de los equipos mediante un ensayo o prueba.

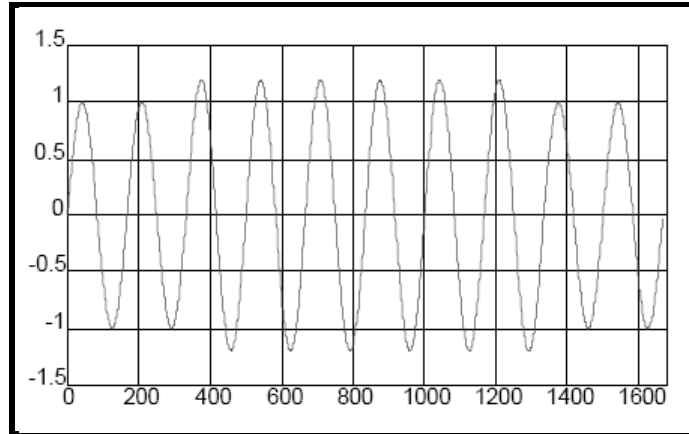
3.5.2 Elevación de Voltaje

Definición

La elevación del voltaje está comprendida por los incrementos de entre el 10 y el 80% por sobre el voltaje nominal, esta tensión puede ser capaz de poner en peligro el material de aislamiento de los equipos eléctricos así como también poner en peligro el buen servicio de una instalación eléctrica. La incidencia de estos altos voltajes deben ser registrados en el periodo de medición, a continuación mostramos su clasificación:

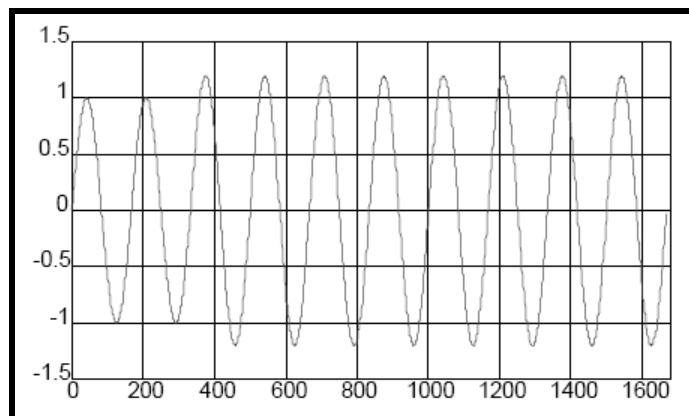
Dilatación de Voltaje (swell): Son incrementos de tensiones o de corrientes nominales (RMS), según sea el caso, que oscilan entre 10 y 80% del valor nominal, a una frecuencia industrial y con una duración entre 0.5 ciclos a 1 minuto.

Los Swells se producen esencialmente por el aumento o incremento de tensión momentáneo sobre las fases no falladas en una falla fase-tierra.



Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Gráfico 6, Visualización de Dilatación de Voltaje Instantáneo (swell), 2008.

Sobrevoltaje: Es una situación en donde se tiene un voltaje elevado que está por encima del valor teórico o nominal, que a diferencia del swell de voltaje, dura mucho más tiempo. También es vinculado con fallas en el sistema eléctrico tales como: ausencia de una fase en una falla de línea a tierra, o también por la salida de operación de cargas importantes (consumidores de gran potencia) o por la conexión o energización de bancos de capacitores.



Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica” Gráfico 7, Visualización de Sobre Voltaje, 2008.

Clasificación de sobrevoltajes

Los sobrevoltajes se pueden clasificar por las variaciones o fluctuaciones de voltajes sistemáticas o por los cambios aleatorios registrados y éstos pueden ser agrupados como:

Sobrevoltajes Internos

Los provocados en maniobras.- Son los fenómenos transitorios generados debidos a las maniobras en disyuntores ya sean éstas por apertura o cierre, por descargas a tierra intencionales, etc.

Los provocados por el Distribuidor.- Son los fenómenos transitorios que son originados fuera de las instalaciones del usuario que surgen en el transcurso del tiempo de la puesta en servicio o fuera de servicio de cargas importantes.

Sobre Voltaje Atmosférico.- Son los fenómenos transitorios que se manifiestan en el caso que se presentaren tormentas entre nube y nube o entre nube y tierra. Esta situación de clima hostil se singulariza por las enormes tensiones puestas en acción en conjunto, con unas elevadas intensidades en un parpadeo de duración.

Normas y Regulaciones

La regulación impuesta por CONELEC determina que para calificar o medir la calidad de voltaje en lo concerniente a sobrevoltajes se debe extraer los valores de las variaciones de las magnitudes eléctricas eficaces (r.m.s.) medidas cada 10 minutos durante el registro continuo de datos, y luego, con estos datos, se debe obtener la variación del voltaje respecto a la magnitud (r.m.s) nominal con la siguiente fórmula:

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

<p>Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Variación del voltaje, Ilustración 7, 2008.</p>

Donde:

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

V_k : Voltaje eficaz (r.m.s.) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n : Voltaje nominal en el punto de medición.

Esta regulación establece como valores máximos los siguientes datos que se muestran a continuación:

Alto Voltaje	$\pm 5,0 \%$
Medio Voltaje	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje. Urbanas	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje. Rurales	$\pm 10,0 \%$

Fuente: CONELEC, Regulaciones, Tabla 4, Valores máximos para regulaciones de voltajes, www.conelec.gov.ec, 2001.

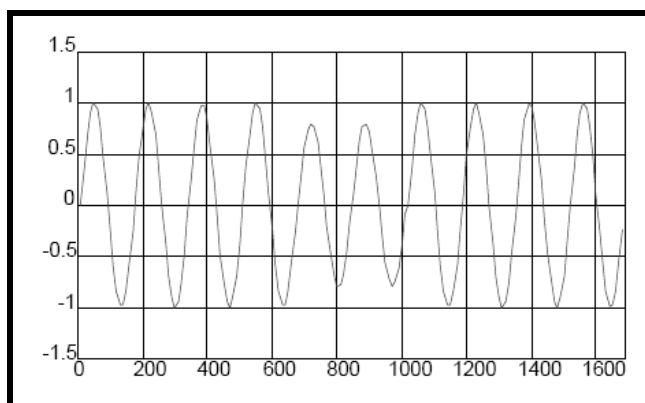
3.5.3 Reducción de Voltaje

Definición

La reducción del voltaje está comprendida por los decrementos de entre el 10 y el 80% por debajo del voltaje nominal, esta tensión puede ser capaz de poner en peligro el buen servicio haciendo referencia a la continuidad del servicio eléctrico. La incidencia de estos bajos voltajes deben ser registrados en el periodo de medición y deben ser clasificados por su duración y estas a su vez se dividen en:

Depresión de voltaje (sags): Es la disminución de la tensión eficaz de corta duración, comprendida entre un 10 y 90% de la tensión o corriente nominal y con una duración entre 0,5 ciclos y 1 minuto establecida por la norma estándar IEEE 1159-1995.

Los Sags se pueden presentar por una falla en el sistema, aunque también pueden aparecer por la energización o puesta en marcha de grandes equipos con una carga muy alta, como por ejemplo en el arranque de motores, compresores, ascensores y demás maquinarias de gran potencia. Si el valor de la corriente es mayor que la corriente disponible en un punto común, la caída de tensión puede ser muy significativa.



Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Visualización de Sags de Voltajes, Gráfico 8, 2008.

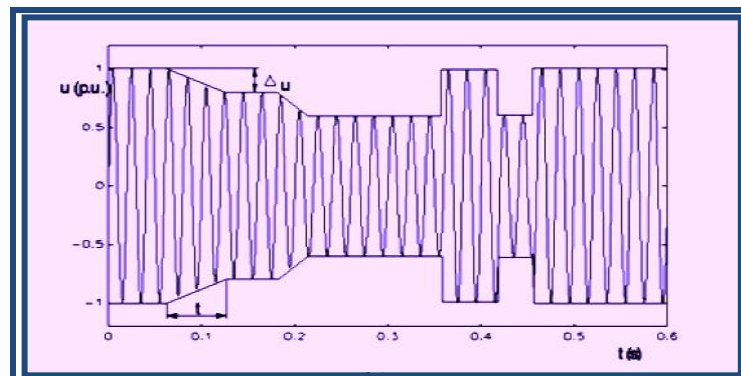
Bajo voltaje ó Voltaje Reducido: Suelen ser causados por una pobre regulación de voltaje del transformador al que el usuario se conecta, las caídas de tensión o de voltaje reducido que duran más de un minuto pueden estar vinculadas con circunstancias o fenómenos externos del sistema, o por la entrada en servicio de cargas importantes o por la desenergización de bancos de capacitores.

El periodo o tiempo de duración de una caída esta subdividida en tres categorías:

- Instantáneas (0.5 segundos o 30 ciclos, con una magnitud entre 10 y 90 % del nominal).

- Momentáneas (0,5 a 3 segundos, con una magnitud entre 10 y 90 % del nominal).

- Temporales (3 segundos a 1 minuto, con una magnitud < 10 % del nominal).



Fuente: SÁNCHEZ, Víctor, Perturbaciones en la red eléctrica, www.afinidadelectrica.com.or, Gráfico 9, Visualización de Reducción de Voltaje, 2007.

Normas y Regulaciones

La regulación impuesta por CONELEC determina que para calificar o medir la calidad del voltaje en lo concerniente a bajos voltajes se debe de extraer los valores de las variaciones de las magnitudes eléctricas eficaces (r.m.s.) medidas cada 10 minutos, durante el registro continuo de datos, y luego con estos datos se debe obtener la variación del voltaje respecto a la magnitud (r.m.s) nominal con la siguiente fórmula:

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

Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Variación del voltaje, Ilustración 8, 2008.

Donde:

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

V_k : Voltaje eficaz (r.m.s.) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n : Voltaje nominal en el punto de medición.

Esta regulación establece como valores mínimos los siguientes datos que se muestran a continuación:

Alto Voltaje	$\pm 5,0 \%$
Medio Voltaje	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje. Urbanas	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje. Rurales	$\pm 10,0 \%$

Fuente: CONELEC, Regulaciones, Tabla 5, Valores máximos para regulación de voltajes, www.conelec.gov.ec, 2001

3.5.4 Desbalance de Voltaje

Definición

El desbalance de voltaje en un sistema eléctrico acontece cuando existe un desequilibrio o una diferencia en magnitud entre las tensiones de las tres líneas (haciendo referencia a un sistema trifásico), es decir, que en magnitud éstas no son iguales, también se lo puede explicar como la desviación o diferencia máxima con

respecto a las tensiones de línea, la diferencia que existe entre la mayor y menor tensión registrada, ésto multiplicado por tres (haciendo referencia a un sistema trifásico) y dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresado en porcentaje (multiplicándolo por cien).

$$\% DV_T = \frac{3 * (V_{MÁX} - V_{MIN})}{V_A + V_B + V_C} * 100$$

Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Desbalance de voltaje, Ilustración 9, 2008.

Ente las fuentes más clásicas o comunes del desbalance de voltajes tenemos:

- Los transformadores conectados en delta abierto.
- Por fallas en aislamientos de conductores que no han sido detectados o localizados, y
- La más común, por tener cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos.

Se sugiere o recomienda que el desbalance de voltajes en lo posible sea menor al 2%.

Causas de los Desbalances de Voltaje y Corriente

Una de las principales causas o motivos de los desbalances de voltaje y corriente es la mala distribución de cargas monofásicas no ecuánimes a lo largo de la red.

Cabe recalcar, que en cualquier sistema de potencia, aunque éste se encuentre entre comillas bien balanceado, siempre existirán estados instantáneos de desbalance de tensiones del 1 al 1,5 % de su tensión nominal, se recomienda en lo posible estar por debajo del 2% en lo que respecta a desbalances.

Normas y Regulaciones

Norma para los Límites de Desbalance de Voltajes

La norma europea EN 50160 determina que el desbalance de voltaje debe estar comprendido entre el 0% y el 2% como máximo y que para análisis del sistema se deberá tomar muestras de los valores eficaces en un registro continuo de datos de 10 minutos, dichos valores deberán ser promediados para el número de muestras tomadas.

Evidentemente este límite del 2% que establece la normativa internacional ha sido adoptado por las reglamentaciones de calidad de servicio vigentes y se pueden tomar con seguridad.

Norma para los Límites de Desbalance de Corrientes

En la actualidad no existe una norma que se encuentre vigente y que nos indique un cierto límite en el desbalance de las corrientes, esto es debido a que los cambios que se pudieran regular en las magnitudes de las corrientes están al alcance del usuario y no del distribuidor y dicho sea de paso estos desbalances de corrientes sólo perjudican al consumidor en el caso de un desbalance, ahora bien podemos tomar las normativas de nuestros países vecinos los cuales recomiendan a sus usuarios mantener un desbalance máximo de 40% entre corrientes de fase.

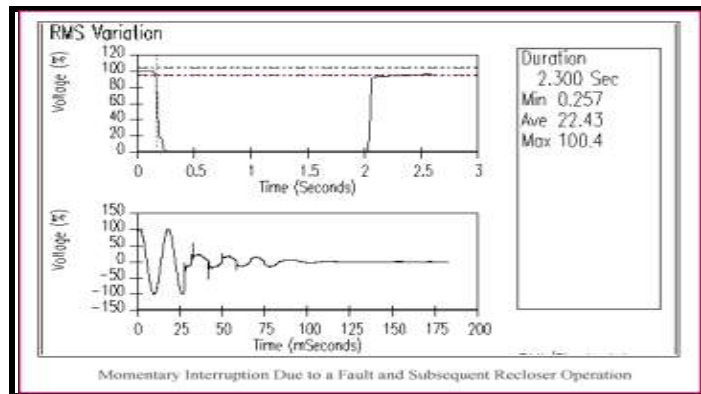
3.5.5 Interrupción de Voltaje

Definición

Una interrupción se la puede puntualizar como un acontecimiento, en el cual, la tensión de alimentación o la corriente de la carga disminuyen o se reducen hasta llegar a valores menores del 10% del valor nominal (r.m.s), por un período de tiempo que no exceda un minuto.

Las interrupciones pueden ser originadas por:

- Fallas en el sistema.
- Por tener equipos con averías o desperfectos, a causa del mal desempeño de los sistemas de control.



Fuente: Norma IEEE, Estándar 1159, Gráfico 10, 1995.

Posibles Causas que generan Interrupciones

Las causas más comunes son por cortocircuitos en los sistemas de potencia que generalmente son inducidos por descargas atmosféricas, o por la demora en el reenganche de las protecciones debido a micro fallas originadas por picos de tensión (originados por tormentas), a un mal funcionamiento de los sistemas de control, etc.

Normas y Regulaciones

Para controlar las interrupciones de voltajes existe la Norma de Compatibilidad Electromagnética EMC de la Organización de Normalización Europea EN50160 (IEC 1000-4-30) la cual considera una interrupción cuando la tensión de suministro es menor al 10% de la tensión nominal en cualquiera de las fases de alimentación, y agrupa a estas interrupciones en dos tipos:

Interrupción de corta duración.- Aquella interrupción que dura o se mantiene en un lapso menor a tres minutos. Bajo condiciones aceptables de operación.

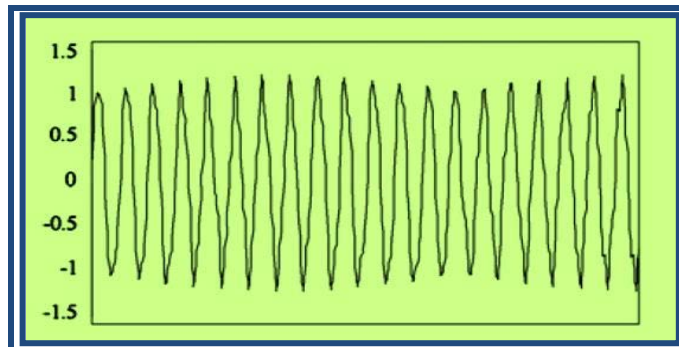
Interrupción de larga duración.- Aquella interrupción que dura o se mantiene en un lapso mayor de tres minutos. Estas interrupciones usualmente son provocadas por tormentas, o por fallas permanentes en los equipos del sistema eléctrico.

3.5.6 Flickers

Definición

Se determina como Flicker o pestañeo a una alteración rápida y periódica del voltaje, que origina inestabilidad o fluctuación, haciendo referencia o relación en la luminosidad de las lámparas, a una frecuencia percibida por el ojo humano.

Este pestañeo es incitado por la variación fluctuante de potencia que absorben numerosas cargas tales como: hornos de arco, motores, máquinas de soldar, etc.



Fuente: SÁNCHEZ, Víctor, Perturbaciones en la red eléctrica, www.afinidadelctrica.com.or, Gráfico 11, Curva de Espectro de Fluctuación de Tensión, 2007.

Este parpadeo es clasificado de la siguiente manera según el nivel de irritabilidad:

Umbral de irritabilidad del Flicker: Es la Fluctuación máxima de luminancia que puede ser tolerada sin ningún tipo de contrariedad por una muestra puntual de la población.

Índice de severidad del Flicker de corta duración (Pst):

Este es el índice que evalúa la severidad del Flicker en cortos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 10 minutos). Se considera $P_{st} = 1$ como el valor máximo a partir del cual se produce irritabilidad.

Índice de severidad del Flicker de larga duración (Plt):

Este es el índice que determina la seriedad del Flicker en largos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 2 horas), considerando los valores del índice de severidad del Flicker de corta duración, conforme a la siguiente expresión establecida por la normativa europea:

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

Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Formula Flicker de larga duración, Ilustración 10, 2008.

Efectos que ocasionan los Flickers

Las fluctuaciones de tensión no afectan en el buen funcionamiento de los equipos eléctricos conectados; sin embargo, estas fluctuaciones sí pueden afectar al flujo luminoso según los distintos tipos de iluminación, lo cual incide en la irritabilidad del ojo humano causando cansancio, en los receptores de televisión, así como en las pantallas de los sistemas informáticos se pueden también percibir.

Normas y Regulaciones

Para evaluar la calidad de energía eléctrica se deberá tomar en cuenta el índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (P_{st}), en intervalos de medición de 10 minutos, definido de acuerdo a la norma europea EN 50160 en la que fija tolerancias $\pm 10\%$ para P_{st} y Plt por encima o por debajo de la unidad en un nivel de baja tensión.

A continuación mostramos la tabla de límites normalizados para Pst y Plt:

límites aceptables de flicker	niveles de compatibilidad para planificación		
	BT	MT	AT
Pst	1,00	1,00	0,79
Plt	0,74	0,74	0,58

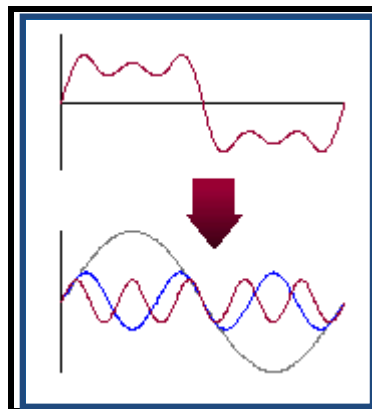
Fuente: CONELEC, Regulaciones, www.conelec.gov.ec, Tabla 6, Límites de Flickers Pst y Plt., 2001.

3.5.7 Distorsión Armónica

Definición

La distorsión armónica no es más que la perturbación o deformación de la onda de su propiedad sinusoidal pura original; visto desde un análisis matemático (Fourier) nos dice que está constituida de la onda seno fundamental añadida de una o más ondas con una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

Citando un ejemplo tenemos: una onda fundamental de 60 Hz, una onda de 120 Hz y otra de 180 Hz; cuando éstas se suman, como resultado tendríamos un tipo de onda distorsionada. Estos múltiplos de la frecuencia fundamental antes mencionados son llamados "armónicos".



Fuente: Power Quality Issues – Standards, Vol. 32, Gráfico 12, página web <http://jaimevp.tripod.com/Electricidad/>, Ejemplo de distorsión armónica, 1996.

Los armónicos como lo habíamos mencionado anteriormente son distorsiones de las ondas sinusoidales, éstas se pueden presentar tanto en las ondas sinusoidales de tensión como en las de corriente de los sistemas eléctricos, esto se debe al uso de cargas no lineales (equipos electrónicos) en los sistemas eléctricos.

En la actualidad el uso de los equipos electrónicos han dado un giro a nuestra vida cotidiana, ofreciéndonos, entre muchas cosas, mayor confort y dependencia eléctrica, viéndolo desde el punto de vista humano, mientras que, desde el punto de vista eléctrico, han provocado distorsiones en las ondas de voltaje y corriente a lo largo del sistema de distribución eléctrica.

Estas distorsiones generan efectos desfavorables tales como:

- Sobrecalentamientos en conductores por lo general en el conductor neutro de los transformadores, o del panel principal de distribución. Dichos conductores toman temperaturas superiores a la habitual por efecto Joule, produciéndose pérdidas en las líneas, y como solución rápida se debe aumentar la sección de los conductores.
- Sobrecalentamiento en motores eléctricos, producido por la presencia de armónicas de secuencia negativa, estas producen un campo magnético en sentido contrario al producido por la fundamental, de esta manera van frenando al motor hasta llegar al punto de que este se queme.
- Calentamiento en los transformadores, las armónicas producen pérdidas adicionales en los devanados y en el circuito magnético.
- Resonancia en los tableros eléctricos, debido a las corrientes armónicas de alta frecuencia.
- Tripeo de breakers en los paneles eléctricos; éstos pueden saltar debido al calentamiento y a las frecuencias más altas que la fundamental.

- Desconexión de equipos que son controlados o supervisados desde un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).
- Interferencia inductiva en los circuitos de comunicación.

La distorsión total armónica (THD), es una táctica o manera más usada para medir la distorsión armónica en un sistema de potencia, éste puede ser deducido tanto para los armónicos de corriente como para los de tensión.

La ecuación que determina la distorsión armónica total THD, para los armónicos de tensión es la siguiente:

$$THD_V = \sqrt{\frac{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}{V_f^2}} * 100 \%$$

Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Formula Distorsión armónica de voltaje, Ilustración 11, 2008.

Donde:

V es el valor del armónico de tensión.

n: es el orden del armónico.

f: es el armónico fundamental.

Mientras que la ecuación para determinar la distorsión armónica total THD, para los armónicos de corriente es la siguiente:

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}{I_f^2}} * 100 \%$$

Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Formula Distorsión armónica de corriente, Ilustración 12, 2008.

Donde:

I es el valor del armónico de Corriente.

n: es el orden del armónico.

f: es el armónico fundamental.

Clasificación de los armónicos

Cada armónico posee un nombre, frecuencia y secuencia, la secuencia hace referencia al giro del campo magnético, por lo que según lo expuesto anteriormente podemos decir que dependiendo de su secuencia y giro, las armónicas muestran diferentes efectos:

- SECUENCIA (+): Giro Directo, puede ocasionar calentamiento de conductores, desperfectos en circuitos, etc.

- SECUENCIA (-): Giro Inverso, puede ocasionar un freno en el motor, es decir se va a producir un campo magnético giratorio contrario a la fundamental, además provocará calentamiento en conductores y por ende problemas en el motor.

- SECUENCIA (0): No tiene sentido de giro, pero puede ocasionar calentamiento. La secuencia de armónicas cero son múltiplos de la tercera armónica, comúnmente son llamados "Triplens".

A continuación, en la siguiente tabla cuyos datos fueron obtenidos del Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica, por el Ing. Orly Guzmán, se señalan las trece primeras armónicas. Cabe resaltar que no se toman en cuenta la armónica cero (DC) y la primera que viene a ser la onda fundamental.

Armónico	Frecuencia (Hz)	Secuencia
0 (DC)	0	+
1 (Fundamental)	60	-
2	120	0
3	180	+
4	240	-
5	300	0
6	360	+
7	420	-
8	480	0
9	540	+
10	600	-
11	660	0
12	720	+
13	780	-
14	840	0

Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Clases de Armónicas, datos de tabla obtenidos de información de “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Tabla 7, 2008.

Normas y regulaciones

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 $\hat{\prime}$) señalados a continuación. Para efectos de esta Regulación No. CONELEC – 004/01 obtenida de la página web del CONELEC, se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima.

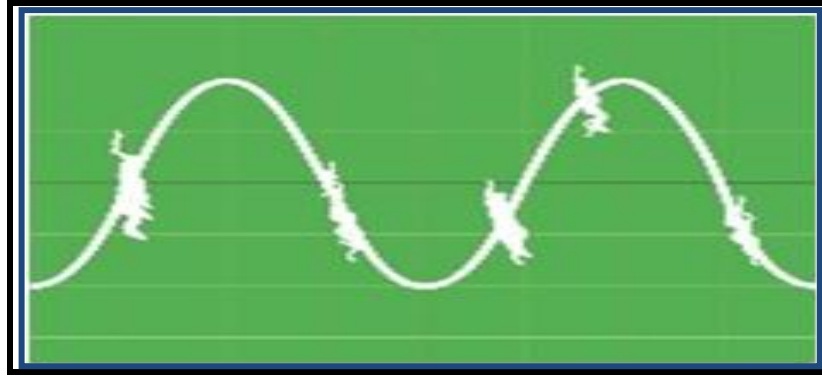
ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA [V ⁿ] o [THD ⁿ] (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	0.1 + 0.6*25/n	0.2 + 1.3*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

Fuente: CONELEC, Regulaciones, Tabla 8, Límites de distorsión armónica en los sistemas de distribución, www.conelec.gov.ec, 2001.

3.5.8 Ruido Eléctrico

Definición

El ruido eléctrico o también denominado interferencia electromagnética (EMI), es una señal eléctrica insignificante que origina efectos indeseables; en otras palabras, es una señal no pretendida que se encuentra superpuesta a una señal útil. También interpretado como ruido eléctrico a toda fluctuación aleatoria de una magnitud eléctrica (bien sea corriente o tensión), que tiende a encubrir o disfrazar la señal de interés para nosotros.



Fuente: SACCO, Mario, Monitor de Tensión de Línea, Gráfico 13, Ejemplo de ruido eléctrico, 2009.

Clasificación de las fuentes de ruido

El ruido eléctrico o también denominado interferencia electromagnética (EMI), puede provenir de varias maneras:

- **Ruido errático:** Implica el ruido atmosférico y el ruido espacial, que es el resultado de la ionización y recombinación de moléculas gaseosas por acción de la radiación solar, cósmica, campos eléctricos intensos, etc. Perjudica principalmente a las transmisiones inalámbricas.
- **Ruido generado por el hombre:** En pocas palabras, esta clase de ruido abarca la radiación electromagnética producida por artefactos empleados por el hombre.
- **Ruido Circuital:** Es el ruido inyectado por los propios componentes del circuito eléctrico y se debe a los fenómenos físicos que tienen lugar en ellos.

El ruido electromagnético puede ser minimizado al utilizar blindajes electrostáticos y/o magnéticos, según el campo que predomine, como por ejemplo, el uso de conexiones balanceadas permite cancelar el ruido captado por los conductores.

Mientras tanto a causa de su propia naturaleza, asociada a procesos físicos ineludibles, el ruido circuital es el más complicado de eliminar. La única forma de reducirlo es con diseños meticulosos y ajustados que además empleen componentes de bajo ruido. En general el ruido circuital es aleatorio.

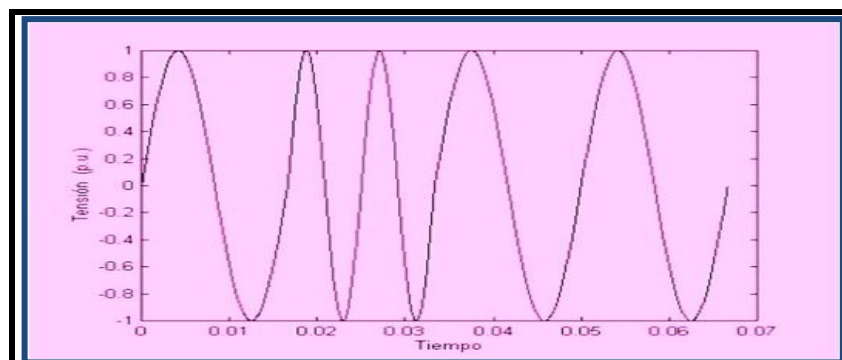
Normas y Regulaciones

En realidad no existen normas y/o regulaciones que normen los niveles o índices de ruidos máximos permitidos en un sistema eléctrico.

3.5.9 Variaciones de Frecuencia

Definición

Son alteraciones o variaciones en la frecuencia fundamental (onda sinusoidal proporcionada por la red, que en el caso del Continente Americano es de 60 Hz). La frecuencia es descrita como la cantidad de veces que oscila la onda fundamental en un segundo, está directamente vinculada con la velocidad de giro de los generadores que componen el sistema. Por lo general se producen o generan pequeñas variaciones de frecuencia a causa de la oscilación del desbalance entre la generación y la demanda de potencia de un sistema, o a causa de la interconexión de centros de generación de energía eléctrica (suele producirse en centros con generación aislada de tensión, como por ejemplo, lo pueden ser redes eléctricas rurales aisladas que reciben energía eléctrica a partir de generadores de combustión interna).



Fuente: SÁNCHEZ, Víctor, *Perturbaciones en la Red Eléctrica*, Gráfico 14, Forma de onda de tensión con variación de frecuencia, www.afinidadelectrica.com.or, 2007.

Estabilidad de la Frecuencia

Al hablar de la estabilidad de frecuencia, se está relacionando con la respuesta del sistema eléctrico de potencia ante la presencia de alteraciones severas; tan severas que dan lugar a grandes variaciones de frecuencia, de tensión y de los flujos de potencia, accionando de esta manera la actuación de los sistemas de protección y de control.

La estabilidad de frecuencia también se vincula con la habilidad para mantener una frecuencia de estado estacionario aceptable luego de una alteración severa que da a lugar un desbalance significativo entre carga y generación.

Efectos que ocasionan las variaciones de frecuencia

Las variaciones de frecuencia ocasionan entre tantas situaciones: fallos mecánicos, calentamientos en las resistencias de los materiales, fallos en contactores, componentes electrónicos, etc. En resumen las variaciones de frecuencia dañan de una manera muy diferente a las máquinas eléctricas, es decir, perjudican directamente una de las variables de relación constructiva y de diseño.

Normas y Regulaciones

El NATSIM permite tener una variación de frecuencia en el orden del +/-5%.

3.5.10 Efectos de la Adición de Voltaje DC

Definición

El voltaje DC tiene como particularidad provenir de una fuente que le permite mantener su diferencia de potencial constante en el tiempo, mientras que el voltaje AC es todo lo contrario, éste tiene la peculiaridad de provenir de una fuente alternante en el tiempo.

Hay que tener bien en claro que para poder operar una carga de CC en un sistema de CA, se necesita rectificar a este último voltaje en otro de CC, mientras que en

viceversa, es decir, para poder operar una carga de CA en un sistema de CC se necesita convertir o transformar a este último voltaje en otro de CA; esta conversión es efectuada con la ayuda de un inversor.

La conversión de CC a CA se lleva a cabo con una eficiencia que fluctúa entre el 75 y el 91 %, esto implica que las pérdidas estarían fluctuando entre el 25 y el 9% de la potencia suministrada a la entrada.

Esto da lugar a que quedaría comprobado de que el consumo del circuito del inversor no crece proporcionalmente con el aumento de la potencia que éste puede manejar.

Causas que producen la Adición de Voltaje DC

Una de las causas más comunes es la utilización de UPS's "*On Line*", ésta vendría a ser una fuente fija de Voltaje DC. Así mismo la utilización de sistemas de alimentación híbridos que energicen cargas de corriente alterna (ac).

Efectos que producen la Adición de Voltaje DC

La corriente directa (dc) en redes de corriente alterna (ac) ocasiona efectos negativos en los transformadores, al polarizar los núcleos de estos, de tal forma que se saturan estando en operación normal, provocando el calentamiento y la disminución de vida útil en estos equipos.

Por otra parte la corriente directa es una fuente potencial del incremento del desgaste en los electrodos de puesta a tierra y en otros conductores y conectores. De igual manera, en caso de corto circuitos la presencia de voltaje DC puede traer defectos en las protecciones eléctricas. Se suele designar a esta presencia de voltaje continuo como "DC Offset".

Normas y Regulaciones

En realidad no existen normas y/o regulaciones que normen o especifiquen niveles o índices máximos para la adición de voltaje DC.

3.6 MÉTODOS DE MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS ARMÓNICAS Y BAJOS FACTORES DE POTENCIA

Los diferentes métodos que se citarán en esta parte del capítulo tienen como propósito principal disminuir los niveles de distorsión armónica, y a su vez mejorar el factor de potencia de una red eléctrica. A continuación se citarán los principales métodos o teorías que han venido perfeccionándose en los últimos años.

3.6.1 RESONANCIA

La resonancia eléctrica es un fenómeno que se genera en circuitos de corriente alterna, un circuito LC o circuito resonante es un circuito formado por una bobina (L) y un condensador (C). En este circuito LC hay una frecuencia tal, que produce un fenómeno de resonancia eléctrica, esta frecuencia es conocida como “frecuencia de resonancia”, para la cual la reactancia inductiva es igual a la reactancia capacitiva ($X_C = X_L$). Por lo tanto, la impedancia será mínima e igual a la resistencia óhmica. Esto también equivale a decir, que el circuito estará en fase.

Esta disposición es positiva en aplicaciones con señales trabajando únicamente a la frecuencia fundamental (60 Hz), ya que la corriente y el voltaje como lo mencionamos anteriormente están en fase y con un factor de potencia unitario.

Por otra parte, deja de ser positivo en aplicaciones donde existen señales a frecuencias múltiplos de la fundamental, es decir, armónicas. Cuando se da resonancia armónica a frecuencias armónicas, la corriente armónica toma un valor máximo y, por ende, ocasiona el sobrecalentamiento de transformadores, capacitores y motores; además el disparo de relés; como también lecturas erróneas de mediciones, etc.

La magnitud de la reactancia inductiva y de la reactancia capacitiva es dependiente de la frecuencia de la corriente y el voltaje. Esto se ve reflejado en la siguiente ecuación:

$$X_L = j2\pi f \times L = j\omega L$$

Fuente: GUZMÁN, Orly, Ing., Obtenido del “Seminario de Calidad del Servicio de Distribución de Energía Eléctrica”, Formula Reactancia Inductiva, Ilustración 13, 2008.

En dónde:

XL = reactancia inductiva en ohms

XC = reactancia capacitiva en ohms

f = frecuencia del sistema de potencia en Hz

C = componente capacitivo en faradios

L = componente inductivo en henrios

La resonancia puede ser tanto en serie como en paralelo:

Resonancias en Serie: O también conocida como resonancia de baja impedancia, debido a tensiones de armónicas cuya frecuencia es igual a la frecuencia de resonancia; por consiguiente, al presentar tensiones bajas de armónicas en el sistema pueden originar corrientes elevadas de armónicas de los equipos.

Resonancias en Paralelo: Habiendo la presencia de resonancia en el sistema se produce una corriente armónica correspondiente a la frecuencia de resonancia, obteniéndose en el sistema una impedancia muy alta; por consiguiente este fenómeno tiene como consecuencia tensiones y corrientes armónicas elevadas en las ramas de la impedancia en paralelo.

3.6.2 CÓMO EVITAR LA RESONANCIA

Existen varias maneras para evitar la resonancia cuando se instalan capacitores de compensación de potencia reactiva en redes con equipos que generan armónicas. En

determinados casos de sistemas muy grandes, puede ser viable que la reubicación del banco de capacitores en otra parte de la red no produzca situaciones de resonancia. El mismo valor de kVAR instalado en las barras de media tensión en vez de las de baja tensión puede descartar algunas dificultades, o puede darse el caso de que exista otra barra de diferente tensión en las que no existan armónicas.

Otra alternativa puede ser el variar el tamaño del banco o distribuirlo en diferentes secciones de diversas frecuencias de resonancia. Cabe resaltar que en todos los casos se necesita de un profundo estudio de la red.

3.6.3 FILTROS DE PROTECCIÓN

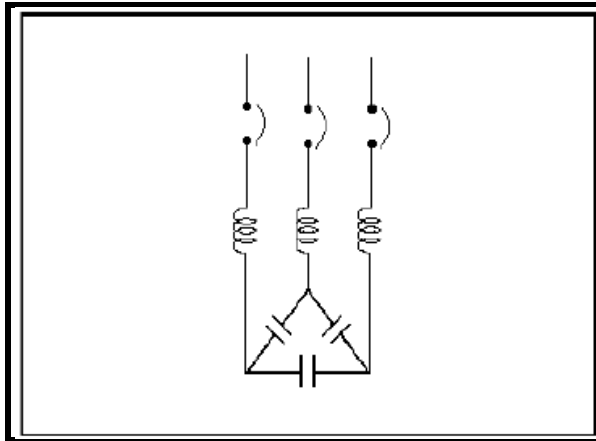
Los filtros de protección son generalmente usados en redes de distribución que presenten un alto nivel de distorsión armónica, ya que, cuando la meta final es la compensación del factor de potencia a la frecuencia fundamental. Su finalidad es impedir las sobrecargas por corrientes armónicas en el capacitor, disuadiéndolas hacia la red.

Estos se elaboran mediante la conexión de inductancias anti resonantes en serie con los capacitores, y se diseñan de forma que el filtro presente una alta impedancia para todas las frecuencias armónicas indeseables.

Acorde a la frecuencia de sintonía tenemos:

Filtros sintonizados: Son filtros pasivos que se conectan en paralelo al sistema de distribución general, o a cargas individuales relevantes, para de esta manera reducir el contenido armónico generado por los dispositivos no lineales, además de proporcionar potencia reactiva fundamental para de esta forma retribuir el factor de potencia de desplazamiento, debiendo de coordinar su operación con la demanda de la carga.

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



Fuente: SHAUNGHNESSY, Tom, Factor de potencia, armónicos y filtros armónicos, Revista Power Quality, Gráfico 15, Arreglo de Filtro Sintonizado con Capacitor en Conexión Delta, 1999.

Al momento de la instalación de los filtros sintonizados se debe considerar que su corriente estará constituida por la corriente de la potencia reactiva fundamental y por la corriente distorsionante generada tanto por las cargas no lineales del usuario, como por la importación de la red de alta tensión.

Los efectos más relevantes de los filtros sintonizados en el sistema son:

- Disminución considerable de las armónicas en el sistema.
- Equilibrar el factor de potencia a frecuencia fundamental.

Filtros desintonizados: Los filtros desintonizados poseen similar arreglo y conexión a la red que los sintonizados pero estos se sintonizan a una frecuencia poco común (que no se espera que exista en el sistema), además dicha frecuencia tiene que estar muy por debajo de la armónica característica de menor orden, específicamente entre la 3era. y 4ta. Armónica.

Desde el punto de vista económico los filtros desintonizados tienen una mayor ventaja con respecto a los sintonizados, ya que éstos son más económicos debido a que sus componentes están expuestos a corrientes armónicas menores y pueden funcionar adecuadamente ante ciertas ampliaciones de carga no lineal, sin embargo presenta una desventaja con respecto a su aplicación, esta no será conveniente cuando la carga distorsionante exceda el 40% de la total y se requiera cumplir con los límites establecidos en la norma IEEE 519.

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

- Resguardar a los capacitores.
- Obviar resonancias.
- Equilibrar el factor de potencia de desplazamiento.

3.6.4 CAPACITORES REFORZADOS

Los capacitores reforzados son hechos para precautelar la seguridad y continuidad de servicio de los equipos, estos capacitores se fabrican con un material dieléctrico reforzado, haciéndolo de esta manera más resistente con una gran durabilidad bajo condiciones adversas, pudiendo trabajar de forma continua a una corriente máxima del 170% de la corriente nominal. Son usados para resistir sobrecargas peligrosas.

3.6.5 FILTROS DE ABSORCIÓN DE ARMÓNICOS

Usados específicamente cuando el principal objetivo es la disminución de la distorsión armónica presente en las instalaciones.

Estos filtros están conformados por un conjunto de una o varias etapas filtrantes serie inductancia- capacitor (con un resistor para ajustar el factor de calidad), sintonizadas de tal manera que estén en el entorno de las frecuencias características que se desean eliminar, comenzando por la menor de las mismas, y sin excluir ninguna frecuencia característica intermedia (caso contrario, la misma se amplificaría).

En la práctica estos filtros están sintonizados a frecuencias levemente inferiores al armónico a filtrar, para de esta manera aportar en parte a la compensación del factor de potencia a la frecuencia fundamental.

La instalación de los filtros origina una modificación importante en la topología del sistema eléctrico de alimentación. Por este mismo argumento, el diseño de los filtros

de absorción debe ser realizado mediante un meticuloso análisis acompañado de un estudio del sistema completo en todas las circunstancias operativas.

3.6.6 OTRAS FORMAS DE MITIGAR LOS EFECTOS DE LAS ARMÓNICAS Y BAJOS FACTORES DE POTENCIA

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

El equipo puede diseñarse para tolerar los efectos de calentamiento de las armónicas. Por citar un ejemplo, los conductores del neutro pueden dimensionarse lo suficientemente grandes como para transportar grandes corrientes debidas al efecto aditivo de las armónicas cuyos órdenes son múltiples de tres que, por lo general, estas armónicas generan calor inusual en los conductores del neutro del transformador, por tal motivo los transformadores pueden diseñarse con factores K para tolerar los efectos de los armónicos.

Otra forma de evitar problemas causados por armónicas es el diseño e instalación apropiada de filtros que contrarresten las armónicas que se vayan a generar al poner en marcha equipos generadores o amplificadores de armónicas. Por citar otro ejemplo, los variadores de velocidad son las fuentes no lineales de armónicas más comunes en ambientes industriales.

Tanto los distribuidores como los usuarios finales (consumidores) de energía eléctrica especifican capacitores que no entren en resonancia con armónicas existentes para evitar de esta manera problemas de calidad de energía.

3.7 SÍNTOMAS Y EFECTOS DESTRUCTIVOS DE LOS ARMÓNICOS ELÉCTRICOS

Las corrientes armónicas producidas por cargas no lineales tales como lámparas fluorescentes, cargadores de baterías, rectificadores de baja potencia, convertidores de mediano tamaño, etc. Estas a su vez transmiten una potencia distorsionante de la

fuelle a la red eléctrica y viceversa, que sólo es consumida como pérdidas por efecto Joule, que a su vez se transforman en calor, de forma equivalente a la potencia reactiva fundamental relacionada al factor de potencia de desplazamiento.

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

- Sobrecalentamientos en conductores por lo general en el conductor neutro de los transformadores, o del panel principal de distribución. Dichos conductores toman temperaturas superiores a la habitual por efecto Joule, produciéndose pérdidas en las líneas, como solución rápida se debe aumentar la sección de los conductores.
- Sobrecalentamiento en motores eléctricos, producido por la presencia de armónicas de secuencia negativa, éstas producen un campo magnético en sentido contrario al producido por la fundamental, de esta manera van frenando al motor hasta llegar al punto de que este se queme.
- Calentamiento en los transformadores, las armónicas producen pérdidas adicionales en los devanados y en el circuito magnético.
- Resonancia en los tableros eléctricos, causado por las corrientes armónicas de alta frecuencia.
- Tripeo de breakers en los paneles eléctricos, estos pueden saltar debido al calentamiento y a las frecuencias más altas que la fundamental.
- Desconexión de equipos que son controlados o supervisados desde un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).
- Interferencia inductiva en los circuitos de comunicación.
- Vibración tanto en motores como en generadores.
- Falla en bancos de capacitores.
- Efectos de resonancia que amplifican los problemas antes mencionados y pueden producir incidentes eléctricos, tales como mal funcionamiento y fallos destructivos de equipos de potencia y control.

- Problemas de funcionamiento en instrumentos electrónicos sensibles.

Si se dispone de equipos electrónicos sensibles en plantas industriales o en instalaciones médicas, donde las cargas no lineales sean sólo una ligera proporción, pueden llegar a producirse problemas en su funcionamiento, aplicables al sistema de puesta a tierra, transitorios, o distorsión armónica producida por otros usuarios, teniendo la obligación de identificar las causas para después tomar las respectivas acciones correctivas, que pudieran necesitar la instalación de protecciones o filtros.

3.7.1 SÍNTOMAS Y EFECTOS DESTRUCTIVOS DE ARMÓNICOS ELÉCTRICOS EN EQUIPOS ELECTRÓNICOS

Tomando en consideración que el equipo electrónico es la principal fuente de la distorsión de la corriente, éste también puede ser una víctima más con respecto a la integridad del flujo de los datos.

Entre más elevada sea la frecuencia de la corriente, más alta será la frecuencia relativa al campo electromagnético. Esos campos pueden alterar los flujos de datos provocando su pérdida, errores, y velocidades de transmisión de datos más lentos.

La distorsión del voltaje creado por la interacción de la distorsión de la corriente con la impedancia del sistema, puede interferir con la operación del suministro de energía, produciendo retardos en el tiempo, inhibir equipos obligando a reiniciarlos, y daños al suministro de energía.

Los efectos de interferencia de las armónicas sobre equipos de radio y televisión son menos trágicos, así como en grabadoras de video y sistemas de reproducción de audio, mientras que en instrumentos médicos la situación más grave sería que presenten un mal funcionamiento, razón por la cual para evitar esta situación estos son provistos con una línea de potencia acondicionada.

3.7.2 SÍNTOMAS Y EFECTOS DESTRUCTIVOS DE ARMÓNICOS ELÉCTRICOS EN MOTORES

Un efecto relevante de voltajes y corrientes armónicas en máquinas rotativas ya sea de inducción o sincrónicas, es el recalentamiento del equipo causado básicamente por dos situaciones: la primera debido a frecuencias armónicas (múltiplos de la fundamental); éstas van a producir pérdidas en el hierro de la máquina, y en el cobre de los bobinados.

Segundo, al ser más predominante la generación de armónicas de secuencia negativa en nuestro sistema, por ejemplo la quinta armónica, ésta producirá un campo magnético en sentido contrario al campo magnético creado por la fundamental, provocando desde luego calentamiento en los devanados de la máquina, inclusive puede llegar el caso hasta de quemar los devanados de la máquina hasta quedar fuera de servicio.

Por lo tanto, las componentes armónicas afectan directamente a la eficiencia de la máquina y el par de torsión desarrollado.

En resumen, los efectos más relevantes producidos por las armónicas en los motores son:

- Aumento de pérdidas por calor.
- Reducción del torque.
- Vibración anormal (>5mm/seg).
- Reducción de la eficiencia de la máquina.
- Disminución de su vida útil.

3.7.3 SÍNTOMAS Y EFECTOS DESTRUCTIVOS DE ARMÓNICOS ELÉCTRICOS EN TRANSFORMADORES

Los efectos de armónicas en los transformadores son aquellos que se pueden identificar y/o percibir por dos situaciones: la primera, casi común, es por calentamiento parásito, debido a que las corrientes armónicas producen un incremento en las pérdidas del cobre, y en el flujo rezagado, mientras que los voltajes armónicos producen un incremento en las pérdidas del hierro, es decir, que el efecto de armónicas es doble, produciendo un incremento en el calentamiento del transformador al compararlo con la operación sinusoidal (fundamental) pura y la segunda es de aumentar el ruido auditivo.

En resumen los efectos más relevantes producidos por las armónicas en los transformadores son:

- Reducción de la eficiencia del transformador.
- Aumento en los costos de operación.
- Capacidad de operación disminuida con relación a su nominal, debido al calentamiento del transformador.
- Incremento en los costos de mantenimiento correctivo, por su reemplazo temprano.
- Disminución de la productividad de la empresa por paros de emergencia.

3.7.4 SÍNTOMAS Y EFECTOS DESTRUCTIVOS DE ARMÓNICOS ELÉCTRICOS EN ALUMBRADO

Como es de conocimiento general, que todos los sistemas de alumbrado no incandescentes (cargas no lineales) crean distorsión en la corriente, por esta razón el alumbrado puede ser considerado como culpable y/o víctima de la distorsión armónica.

Los sistemas fluorescentes estándares y de HID (*High Intensity Discharge* – Descarga de alta intensidad) generan cerca del 15 % al 20 % de la distorsión armónica total (THD). Por otra parte los balastros electrónicos pueden generar desde menos del 10 % hasta más del 40 % de THD, dependiendo de su diseño. Esto nos indica que usando estos sistemas antes mencionados se induce distorsión de corriente dentro del sistema de potencia.

Por lo tanto, la presencia de distorsión de corriente armónica no necesariamente se traduce en problemas. Los problemas aparecen solamente cuando la distorsión de corriente tiene un efecto indeseable sobre el equipo. Con suficiente frecuencia la distorsión en los sistemas de iluminación no es problemática.

3.7.5 SÍNTOMAS Y EFECTOS DESTRUCTIVOS DE ARMÓNICOS ELÉCTRICOS EN EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN Y LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

Los equipos de medición e instrumentación son afectados por la distorsión armónica, particularmente si llega haber condiciones de resonancia que generan altos voltajes y corrientes armónicas en el circuito, el desbalance de las fases del sistema producido por tal distorsión puede provocar la operación errónea de estos dispositivos.

Los cables comprometidos a la distribución de energía eléctrica en la resonancia de un sistema, pueden ser expuestos a sobre voltajes y al efecto corona, que pueden conducir a fallas dieléctricas (daños en el aislamiento).

CAPÍTULO 4

4 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL HOSPITAL LEÓN BECERRA.

4.1 Introducción

En el presente capítulo se describirá la información obtenida a través del equipo de medición FLUKE 435 (ver anexo), que se utilizó para las mediciones de varios puntos de importancia del sistema eléctrico del Hospital León Becerra, la información que expondremos representa un resumen de miles de datos numéricos que fueron almacenados y luego descargados de este equipo y que representan los parámetros eléctricos del mencionado hospital que se necesitaron para el estudio pertinente.

EL análisis de esta información, confronta y junta datos de varios días que separados por horas reflejan el comportamientos de la carga en distintas horas de un mismo día, este mismo proceso de análisis se realiza en los varios puntos de medición, y al final de este proceso se presenta un resumen comparativo de los parámetros eléctricos con las gráficos más significativos y que merecen la mayor atención.

4.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO

La distribución del sistema eléctrico del Hospital León Becerra se encuentra de la siguiente manera:

Es considerada por la compañía de distribución y comercialización de energía eléctrica de Guayaquil “ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL” como uno de los consumidores esenciales y estratégicos que siempre deben contar con el suministro de energía eléctrica para de esta manera mantener la tranquilidad y salud pública de la comunidad.

Distribución en Media Tensión.-

La acometida principal es Trifásica y es suministrada por la ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL subterráneamente a un nivel de voltaje de media tensión, entendiéndose por voltajes de 13,8kv entre línea a línea, que ingresan por la parte trasera de la entrada principal al hospital, esta forma de distribución está dispuesta así en este sector por ser una zona regenerada por la Municipalidad de Guayaquil.



Fuente: Los Autores, Ilustración 14, Ingreso de acometida subterránea del Hospital León Becerra, 2010.



Fuente: Los Autores, Ilustración 15, Cuarto de Transformación, 2010.

La conexión al alimentador principal de la distribuidora se encuentra en la caja de paso subterránea que se encuentra debajo de la peatonal y es allí en donde se ubican los seccionamientos y protecciones de la empresa distribuidora, el alimentador trifásico sale de esta caja subterránea y llega al cuarto de transformación ubicado a unos pocos metros de distancia de esta caja, dentro del cuarto de transformadores, la acometida trifásica llega a un gabinete que contiene tres celdas trifásicas de media tensión que sirven para protección y switcheo en donde cada celda contiene en su interior para cada una de sus fases fusibles tipo cartucho de porcelana, una de las celdas es utilizada como celda principal y de esta celda se deriva a otras dos, estas dos celdas restantes alimentan por separados a dos transformadores trifásicos de poder de 500kva y 300kva respectivamente, los cuales mediante la conexión delta estrella que tienen internamente cada uno de estos transformadores reducen el voltaje de 13,8kv a un voltaje de baja tensión de 220v entre línea a línea.



Fuente: Los Autores, Ilustración 16, Celdas Trifásicas de Media Tensión, 2010.

El módulo de medición de energía eléctrica consumida se encuentra a un costado de la pared del cuarto de transformación que da a la calle, la medición es indirecta y es realizada por transformadores de potencial y de corriente en la acometida trifásica de media tensión dentro del cuarto de transformación, estas señales de corriente y de voltaje llegan al modulo de medición en donde es registrado el consumo total del Hospital.



Fuente: Los Autores, Ilustración 17, Transformadores de Potencial y de Corriente, 2010.

Distribución en Baja Tensión.-

Dentro del cuarto de transformación están ubicados dos transformadores trifásicos de potencia de 500Kva y 300K va, marca MAGNETRÓN y MORETRÁN, respectivamente que alimentan a dos sistemas de distribución en baja tensión a 220v voltaje entre línea a línea, estos transformadores alimentan a dos tableros de distribución que están ubicados en un cuarto contiguo, en donde además de estos dos tableros se encuentran: un tablero de distribución para cargas esenciales, un tablero para transferencia automática y un generador.



Fuente: Los Autores, Ilustración 18, Transformadores Trifásicos, 2010.

El transformador de 500kva alimenta al Tablero TDP1 que corresponde a cargas de iluminación, de servicios generales, ascensores generales y administrativos que representan una carga de menos consideración para el hospital. El transformador de 300kva alimenta al Tablero TDP2 que es un tablero que a su vez alimenta de energía eléctrica a un tablero de transferencia automática con capacidad de hasta 400amp, este tablero de transferencia a su vez se interconecta en paralelo con un generador trifásico para emergencias y un tablero de distribución para cargas esenciales TDP3 o también llamado de cargas críticas consideradas así por la importancia para el hospital.



Fuente: Los Autores, Ilustración 19, Tablero de Transferencia, 2010.



Fuente: Los Autores, Ilustración 20, Tablero de Cargas Esenciales TDP3, 2010.



Fuente: Los Autores, Ilustración 21, Der. Tablero TDP2 - Izq. Tablero TDPI, 2010.

Sistema de Generación.-

El sistema de generación se encuentra conformado por un generador marca KOHLER, de una capacidad máxima de 169Kva, a un nivel de voltaje de salida de 220v voltaje entre línea a línea, con un RPM máximo de 1800, de combustible a Diesel, este generador se conecta a la transferencia automática que a su vez se interconecta en paralelo al tablero principal del transformador de 300Kva y al tablero de cargas esenciales del Hospital.



Fuente: Los Autores, Ilustración 22, Generador de Emergencia, 2010.

4.3 ANTECEDENTES

Para nuestro Estudio de Calidad de Energía en las instalaciones eléctricas del Hospital León becerra nos hemos apoyado con la utilización del Equipo Analizador de Red, de marca FLUKE 435, con el que hemos iniciado una investigación basada en dos puntos que creemos son importantes, primeramente: identificar los parámetros eléctricos fundamentales que nos indiquen si el sistema está trabajando adecuada o incorrectamente, en segundo lugar: identificar físicamente qué factores adicionales puedan afectar directa o indirectamente a los parámetros eléctricos.

4.4 EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO

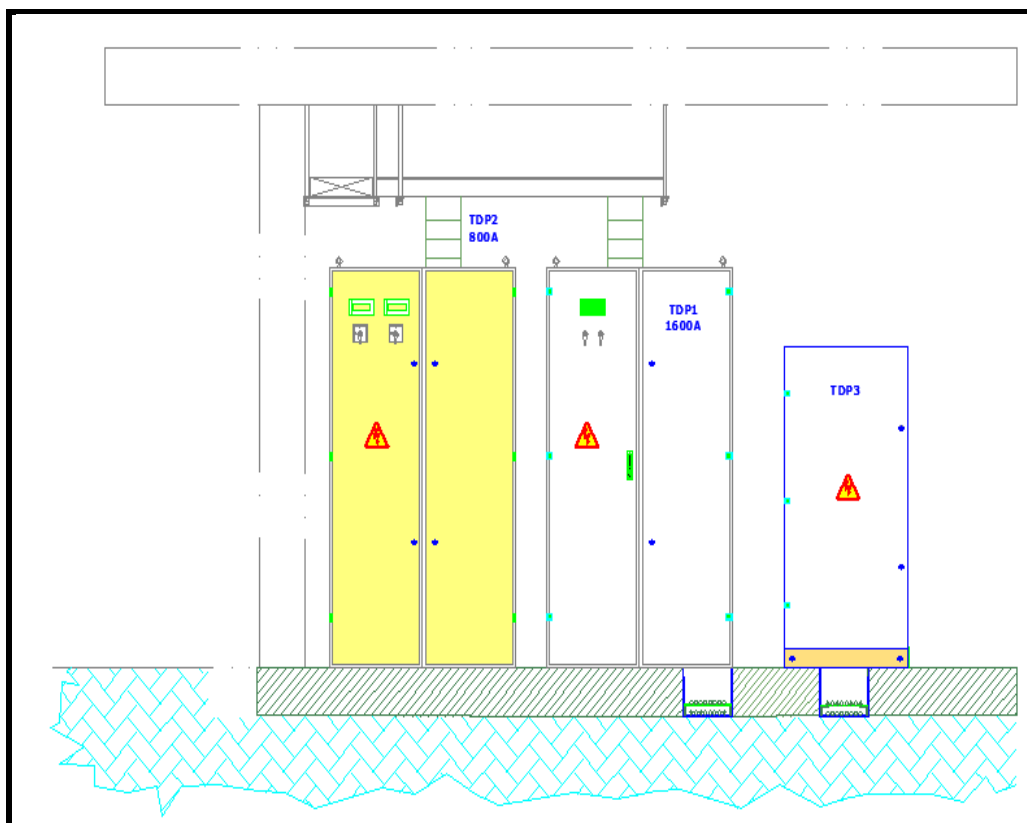
Realizamos mediciones con el Analizador de Calidad de Energía Eléctrica, el cual registró datos continuos en dos puntos de distribución y luego se realizó mediciones instantáneas con el analizador a todas las cargas individuales distribuidas en el interior de los tableros TDP1 y TDP3. Los registros se realizaron en los tableros TDP1 y TDP2, este último tablero mencionado sólo distribuye energía eléctrica al tablero TDP3, entonces se escogió hacer los registros en los puntos nombrados anteriormente porque estos son los principales del sistema eléctrico del Hospital León Becerra.

El primer punto de medición con registro continuo de datos fue en TDP1 que corresponde al tablero principal de distribución del transformador de 500Kva, el segundo punto de medición que también contó con registro continuo de datos, fue en TDP2 que corresponde al tablero principal de distribución del transformador de 300Kva.

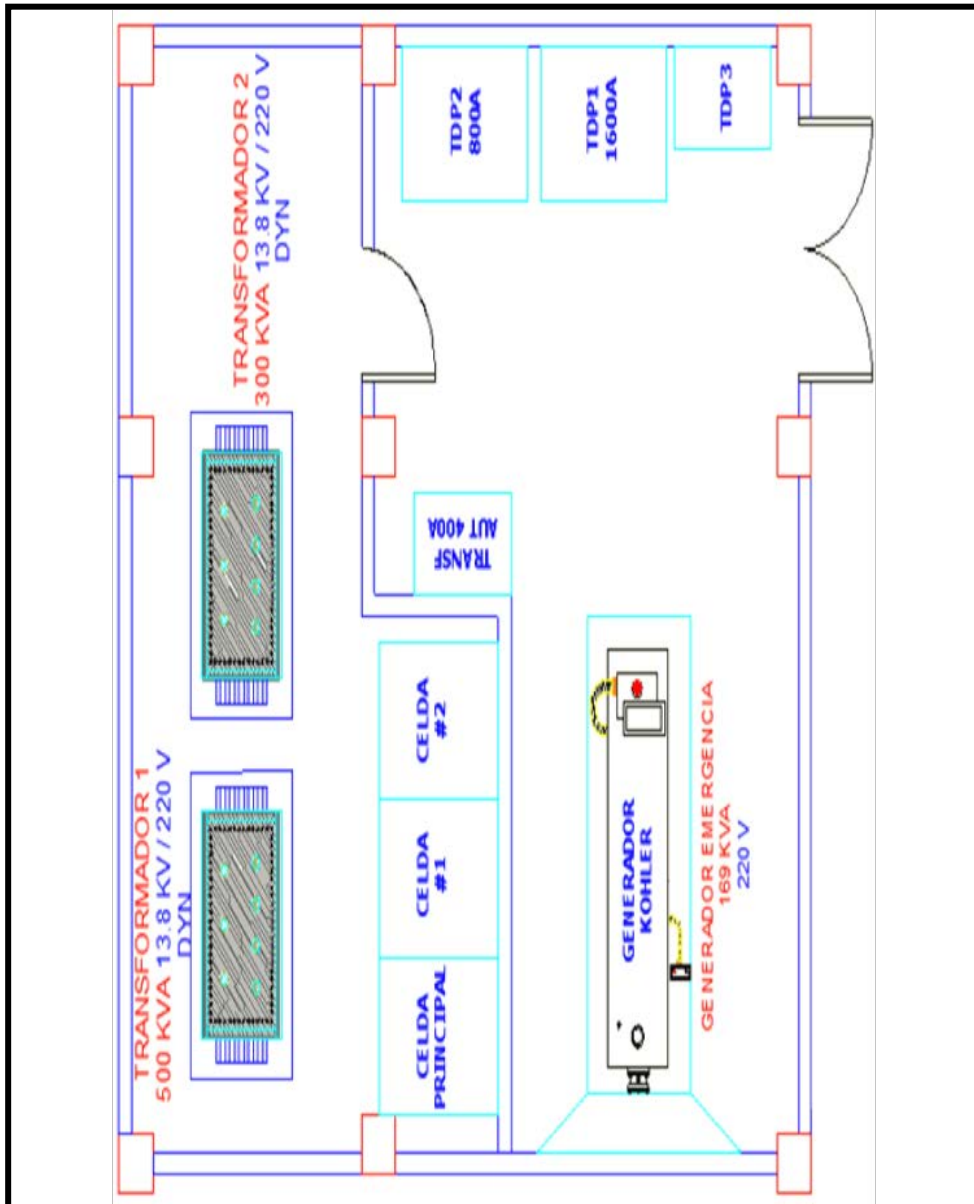
Las mediciones de las cargas individuales las registramos y luego las capturamos como datos instantáneos, también capturamos gráficas y parámetros que nos serían

de utilidad para los cálculos de balanceo de carga. A continuación, explicaremos en detalle el conexionado del sistema eléctrico y haremos una pequeña evaluación del esquema eléctrico levantado:

Planos físicos y de ubicación de Equipos.-

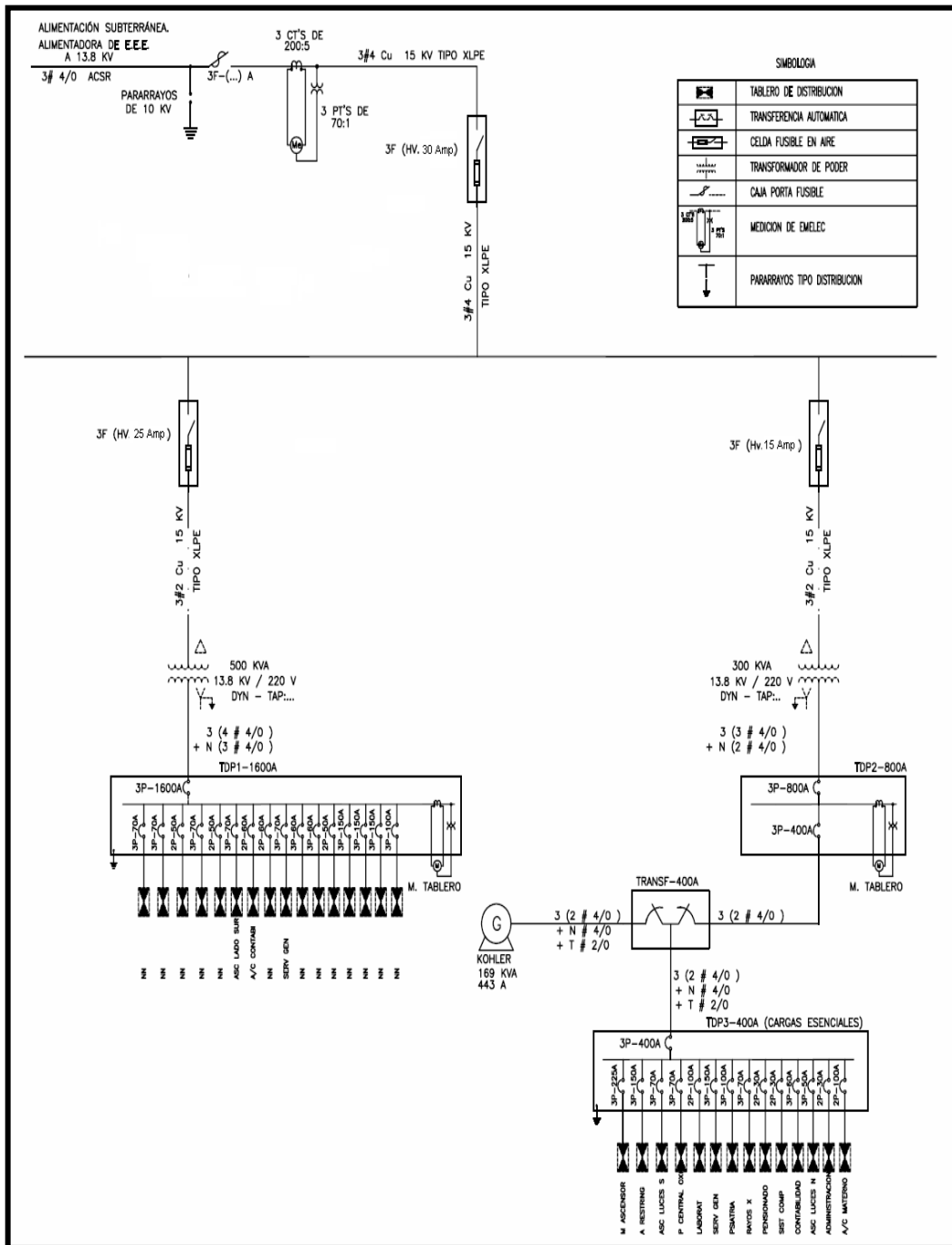


Fuente: Los Autores, Gráfico 16, Ubicación de tableros donde se realizó mediciones, 2010.

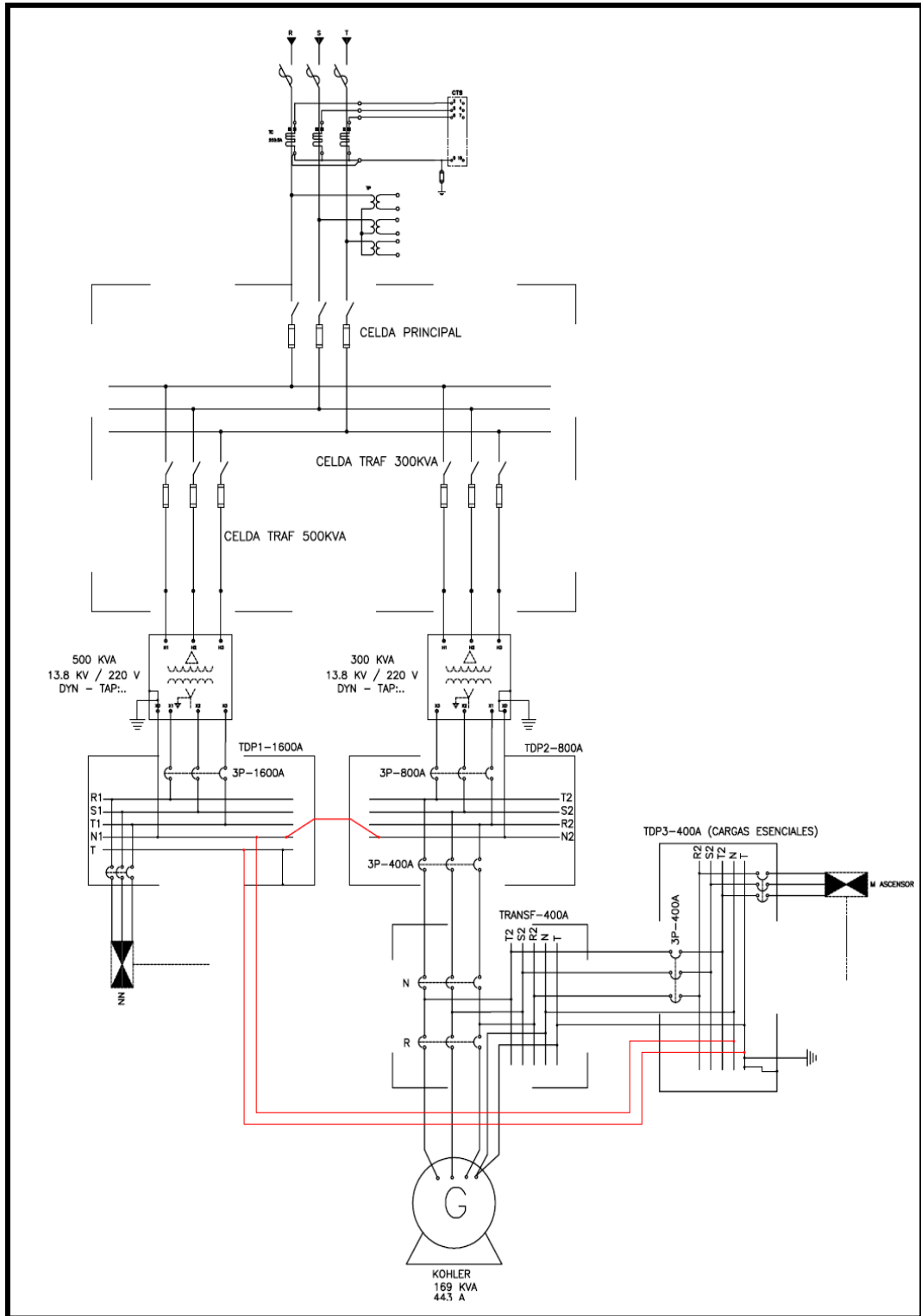


Fuente: Los Autores, Gráfico 17, Plano de Cuarto de Transformación y de Distribución, 2010.

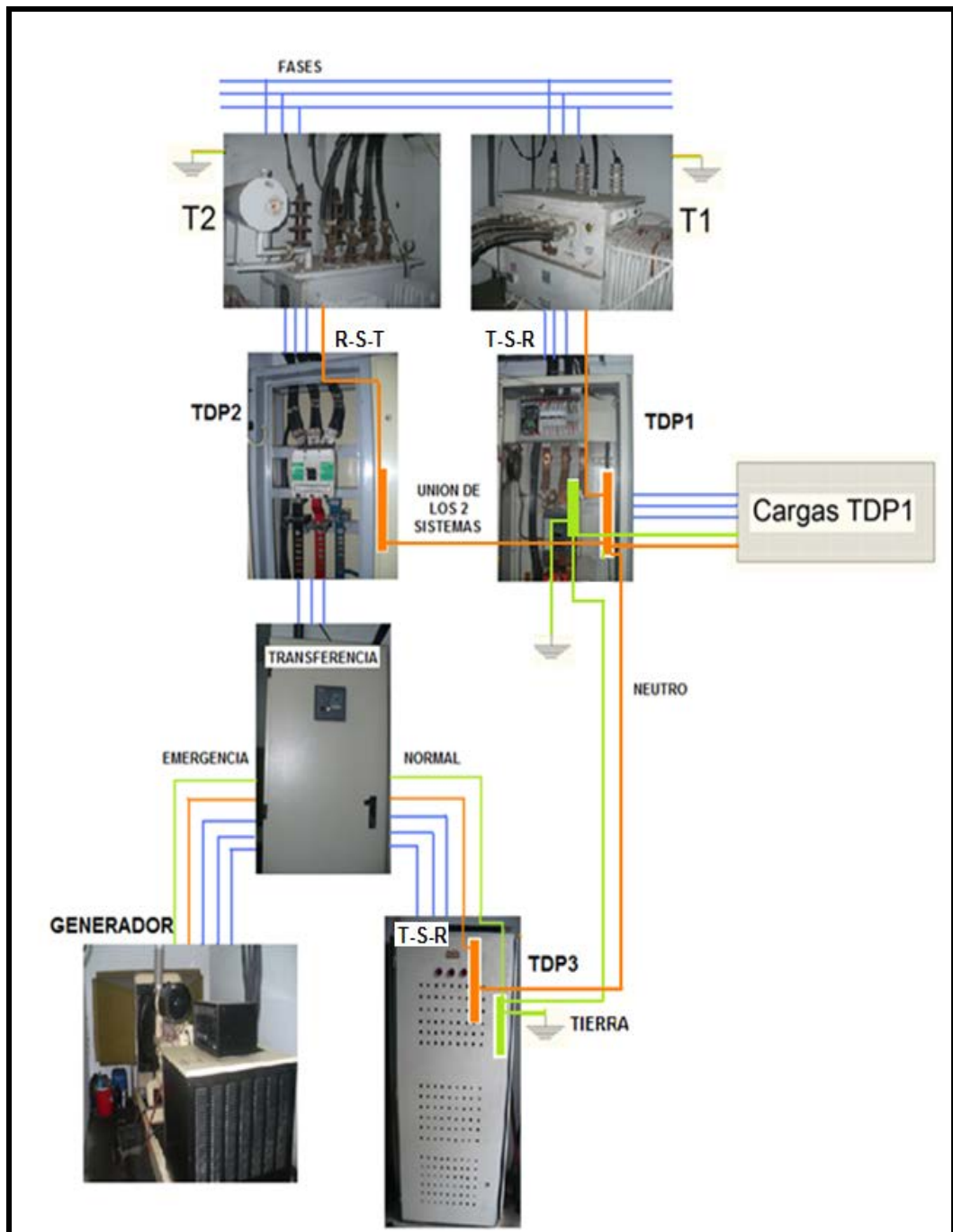
Esquemas Eléctricos.-



Fuente: Los Autores, Gráfico 18, Diagrama Eléctrico Unifilar del Hospital León Becerra, 2010.



Fuente: Los Autores, Gráfico 19, Diagrama Eléctrico Trifilar del Hospital León Becerra, 2010.



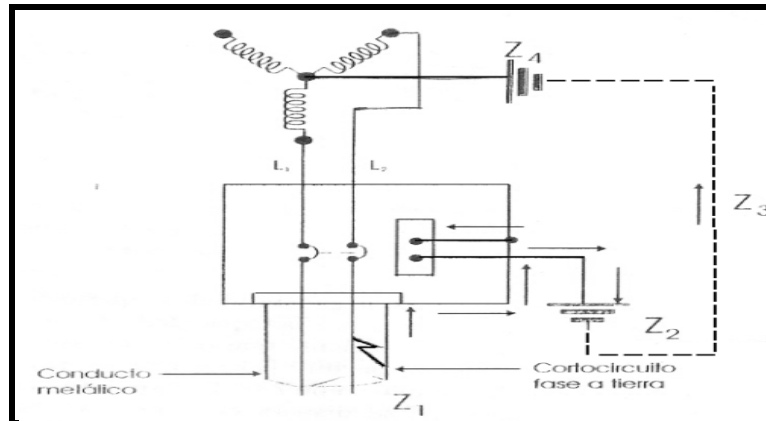
Fuente: Los Autores, Gráfico 20, Diagrama Esquemático del Sistema Eléctrico del Hospital, 2010.

Evaluación del levantamiento del Sistema eléctrico.-

Si observamos el diagrama eléctrico trifilar en conjunto con el diagrama esquemático del sistema eléctrico del Hospital León Becerra, notaremos:

Primero, que los dos sistemas de distribución están unidos por un cable que sale de la barra del neutro aislado del tablero TDP2 del sistema del transformador 2 a la barra del neutro aislado del tablero TDP1 del sistema del transformador 1, esta condición es incorrecta debido a que las corrientes de neutro de los dos sistemas se mezclan antes de cerrar el circuito, que es al llegar a los neutros de los transformadores contaminando posiblemente con ruido, armónicas o sumando armónicas que recirculan por los sistemas.

Segundo, los neutros de los transformadores físicamente se encuentran aterrizados en el sitio y de estos neutros salen conductores que llegan a barras aisladas que se encuentran en los tableros TDP1 y TDP2 respectivamente, el código eléctrico en su artículo 250-20(b) establece las condiciones de conexión a tierra para los sistemas de alimentación de corriente alterna de 50 a 1000 volts en donde exige que la conexión del conductor neutro a tierra sea sólo en el tablero principal de distribución o en el secundario del sistema. Hasta este punto el sistema eléctrico del Hospital cumple con las normas del código eléctrico, el problema está en las barras de tierra de los tableros antes mencionados, debido a que el código eléctrico exige un camino de retorno al neutro del transformador libre de corrientes, que esté disponible para la circulación de corrientes de fallas producidas entre las fases a tierra para que de esta manera se logre cerrar el circuito eléctrico y las protecciones reaccionen lo más pronto posible; ahora si observamos el tablero TDP1 la barra de tierra no tiene un camino directo al neutro del transformador T1 sino que tiene un camino que puede ser de alta impedancia que es por la tierra del piso del tablero hacia la tierra del piso del transformador T1 con esta explicación está por demás decir que en caso de una falla de fase a tierra aguas abajo del breaker principal de TDP1 habría la posibilidad de una operación errática o tardía de este breaker, en el caso del tablero TDP2 es mucho más crítico debido a que ni siquiera hay barra de tierra y además de las consecuencias antes mencionadas existe la posibilidad de que un contacto accidental de una parte energizada de este tablero con una persona la lesionaría gravemente debido a la operación tardía de la protección del tablero TDP2.



Fuente: DÍAZ, Pablo, Ing., Gráfico 21, Conexión a tierra de alta impedancia, del Libro Soluciones prácticas para la puesta a tierra de Sistemas Eléctricos de Distribución, Primera Edición, Editorial Mc Graw – Hill, 2001.

4.5 CONSIDERACIONES GENERALES DE LAS MEDICIONES

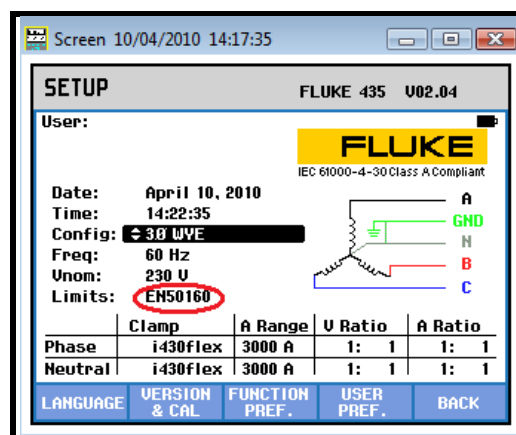
4.5.1 Parámetros Eléctricos Medidos

La calidad del voltaje.-

En nuestro análisis se utilizó el criterio del Comité Europeo de Normalización (CEN) que publicó la Norma Europea EN50160 que hace referencia a las características de voltaje de la electricidad suministrada por los sistemas públicos de distribución emitida el 15/02/2000, el equipo analizador de calidad de energía eléctrica FLUKE 435, en su pantalla de configuración nos da a escoger entre esta normativa u otras (ver anexo), nos da estas alternativas debido a que en su pantalla de resumen al finalizar el análisis nos indicará la magnitud de los incrementos y decrementos y las veces en el que el parámetro de voltaje fue violentado según la norma que sea escogida.

La Norma EN50160 indica que el periodo de medición para un análisis debe ser de 7 días en el punto de transferencia de energía de la empresa eléctrica y el usuario, y debido a que el equipo analizador está diseñado para niveles de baja tensión fue necesario colocarlo en el primer punto accesible del lado de baja tensión de los

transformadores de potencia como lo son en los tableros principales de distribución, también decidimos evaluar la información descargada del voltaje conforme a lo que dice la Norma EN50160, manualmente en la parte de las violaciones de incremento y decremento de voltaje debido a que esta norma además indica que para sistemas de baja tensión a 230v el incremento máximo de voltaje debe ser 6% y el decremento máximo de voltaje puede llegar a -10%, y la normativa impuesta en nuestro país por el CONELEC de acuerdo a la regulación 004/01, el distribuidor debe entregar el voltaje al consumidor dentro del +/-10% de la magnitud del voltaje nominal.



Fuente: Los Autores, Ilustración 23, Configuración Fluke 435 con la norma EN50160, 2010.

De los armónicos de voltaje y corriente.-

Para analizar los armónicos de voltaje de los datos que descargaremos del FLUKE 435, nos remitimos a la Norma del Comité Europeo de Normalización (CEN) EN61000-4-7 de compatibilidad electromagnética (EMC) en la que indica que para ensayos y técnicas de medición en general sobre los armónicos e interarmónicos, el THD de voltaje no debe exceder el 8% de distorsión contemplado en esta norma que fue publicada el 29/01/2003.

Para analizar los armónicos de corriente de los datos descargados del FLUKE 435 nos remitimos a la utilizar la norma del Instituto de Ingenieros Eléctricos Y Electrónicos (IEEE) en el cual indican en su Normativa IEEE – 519 que el THD de corriente máximo permisible debe de ser menor o igual a 8%.

De los Flickers.-

Para analizar los parpadeos de tensión FLICKERS de los datos descargados del FLUKE 435 nos remitimos a utilizar las Normas del CONELEC 004/01, las europeas EN50160 y EN61000-4-15 de compatibilidad electromagnética (CEM) en la que indica que para ensayos y técnicas de medición de Flickers para sistemas de baja tensión, en corta duración debe ser máximo 1 Pst y para el flicker de larga duración debe ser máximo 0,74 Plt según lo publicado el 15/07/1998.

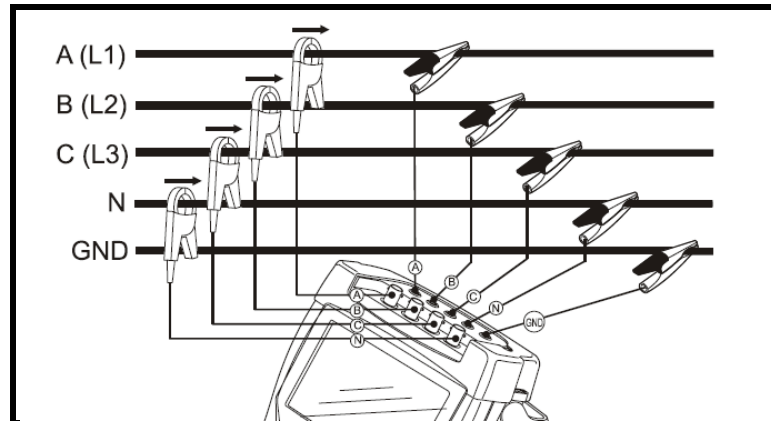
4.5.2 Intervalo de Medición Utilizado

El equipo analizador de calidad de energía eléctrica tiene la particularidad de que se puede escoger el intervalo de registro de datos (ver anexo), en estudios de calidad de energía es usual y normativo utilizar intervalos de medición (captación de datos automática que realiza el equipo durante una medición continua) que van de alrededor de cada 10 minutos de captura de datos, hemos estimado conveniente utilizar un intervalo de registro de datos de cada 30 segundos, considerando que de esta manera se obtendría la información suficiente para que podamos hacer definiciones basadas dentro de un margen de alta confiabilidad.

4.5.3 Puntos de Medición Seleccionados

Se determinó la necesidad de conectar el equipo Analizador en dos puntos de medición, en la cual se utilizó el diagrama de conexión para medición trifásica a 4

hilos, con la dirección de las sondas de corriente hacia la carga, con referencia a tierra que a continuación la mostramos:



Fuente: Gráfica 22, obtenida de FLUKE, 434/435, “Three Phase Power Quality Analyser – Manual de Uso”, sistema 3Φ 4hilos con tierra, 2006.

4.5.4 Periodo de Medición

Por motivo de que se configuró en el analizador de calidad de energía Fluke 435 a un intervalo de captación de datos muy pequeño la capacidad de memoria de este equipo se llenaba prácticamente en cada 24 horas es por ésto que se realizaron algunas descargas de información para un mismo punto de medición. A continuación mostraremos los periodos de registros de datos de los puntos de medición continua analizados en el Hospital León Becerra en el mes de Abril del año 2010:

Punto de Medición en PDT1					
	Mes	Día	Hora	Horas	Minutos
Inicio	4	5	19H07		
Fin	4	6	18H16	23	9
Inicio	4	6	19H47		
Fin	4	7	18H50	23	3
Inicio	4	7	20H30		
Fin	4	8	18H26	21	56
Inicio	4	10	15H18		
Fin	4	12	09H03	41	45
Inicio	4	12	11H31		
Fin	4	14	05H16	41	45
Total Días				Total horas	
6				152	

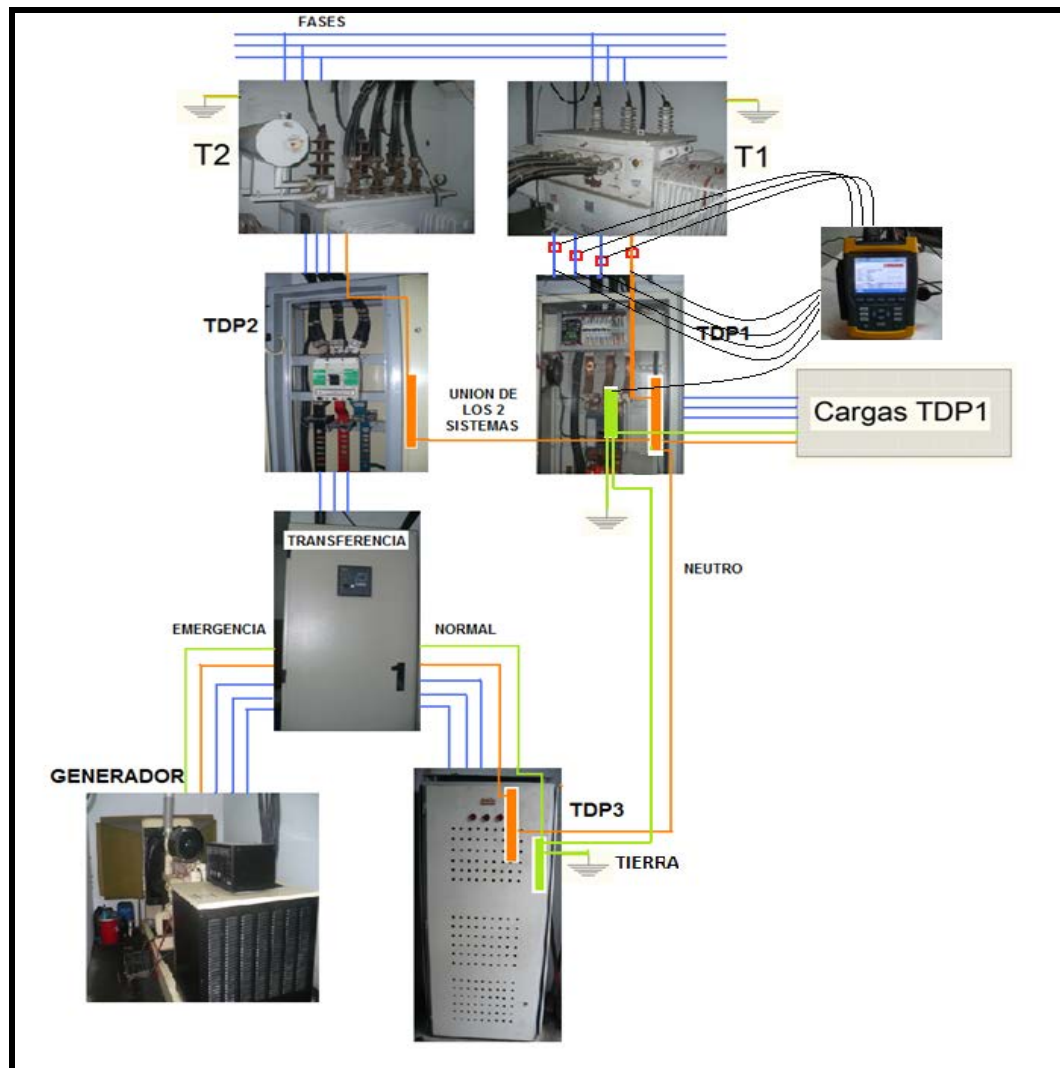
Fuente: Los Autores, Tabla 9, Periodo de medición (del 5 al 14 Abril), 2010.

Punto de Medición en PDT2					
	Mes	Día	Hora	Horas	Minutos
Inicio	4	14	10H35		
Fin	4	15	18H23	31	48
Inicio	4	15	21H33		
Fin	4	17	11H28	37	55
Total Días				Total horas	
3				70	

Fuente: Los Autores, Tabla 10, Periodo de Medición (Del 14 al 17 Abril), 2010.

4.5.5. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LA CONEXIÓN DEL EQUIPO ANALIZADOR EN LOS DOS PUNTOS DE MEDICIONES.

- **Primer punto de conexión.**



Fuente: Los Autores, Gráfico 23, Conexión del Fluke 435 en TDP1, 2010.

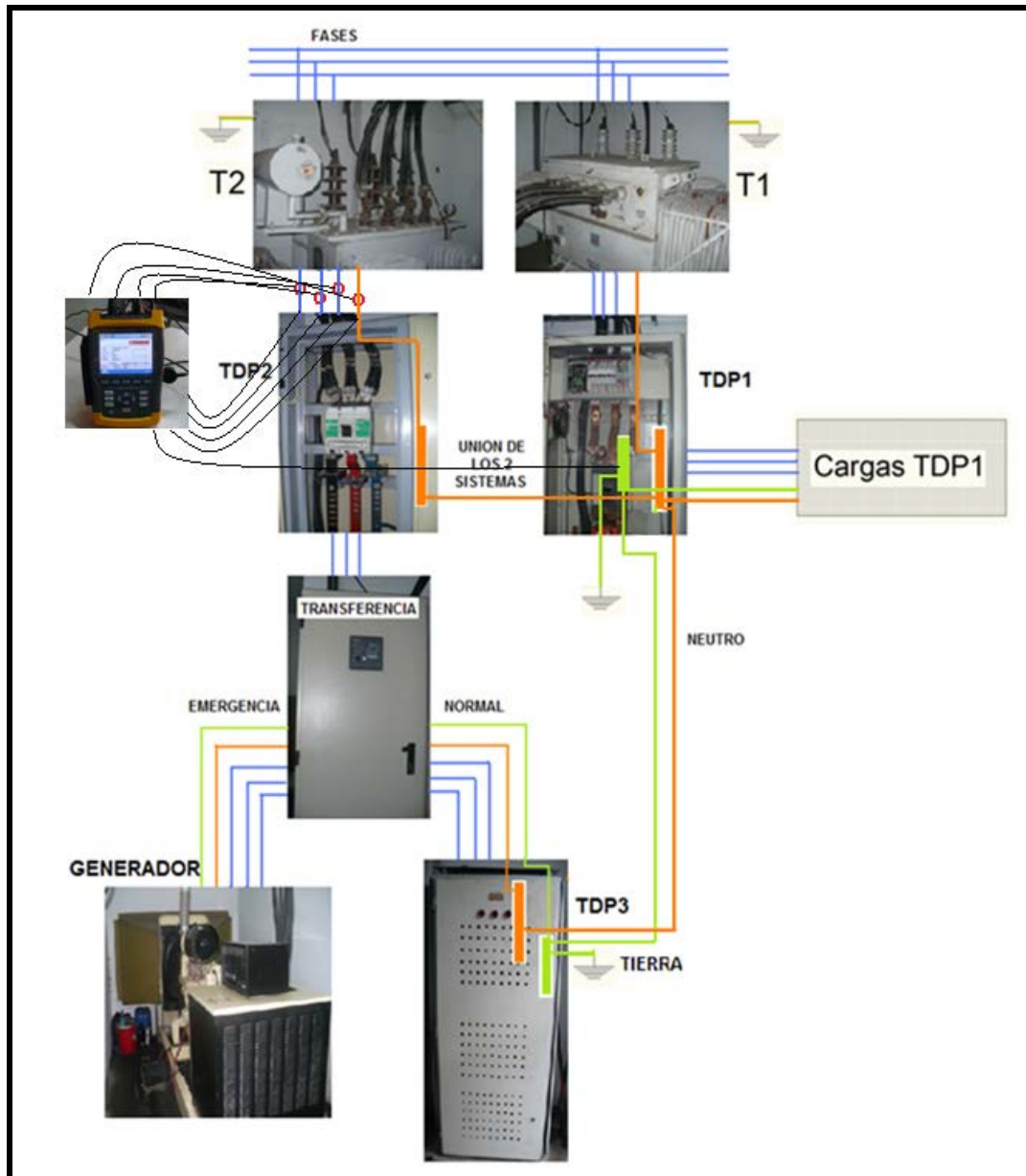


Fuente: Los Autores, Ilustración 24, Instalación del Analizador Fluke 435 dentro del tablero TDP1, 2010.



Fuente: Los Autores, Ilustración 25, Descarga de la información almacenada por el Analizador Fluke 435 al tablero de carga TDP1, 2010.

- Segundo punto de conexión.



Fuente: Los Autores, Gráfico 24, Conexión del Fluke 435 en TDP2, 2010.



Fuente: Los Autores, Ilustración 26, Juego de barras del tablero TDP2, 2010.



Fuente: Los Autores, Ilustración 27, Instalación del Analizador Fluke 435 dentro del tablero TDP2, 2010.



Fuente: Los Autores, Ilustración 28, Descarga de la información almacenada por el Analizador Fluke 435 al tablero de carga TDP2, 2010.

4.6 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LOS DATOS ADQUIRIDOS EN EL HOSPITAL LEÓN BECERRA

Para el análisis en estos puntos se consideró hacer tablas de resúmenes de los miles de datos obtenidos, estas tablas contienen la información más esencial y la más relevante, separando esta información, según el comportamiento de la carga durante las 24 horas del día, en cada uno de los puntos de mediciones mencionados en el literal anterior. Además se realizaron mediciones instantáneas a las cargas individuales de los tableros, que en conjunto con el análisis continuo de la calidad de energía en los puntos de mediciones, complementamos un mejor diagnóstico del sistema.

4.6.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL PUNTO DE MEDICIÓN EN PDT1 CON NEUTRO DE T1

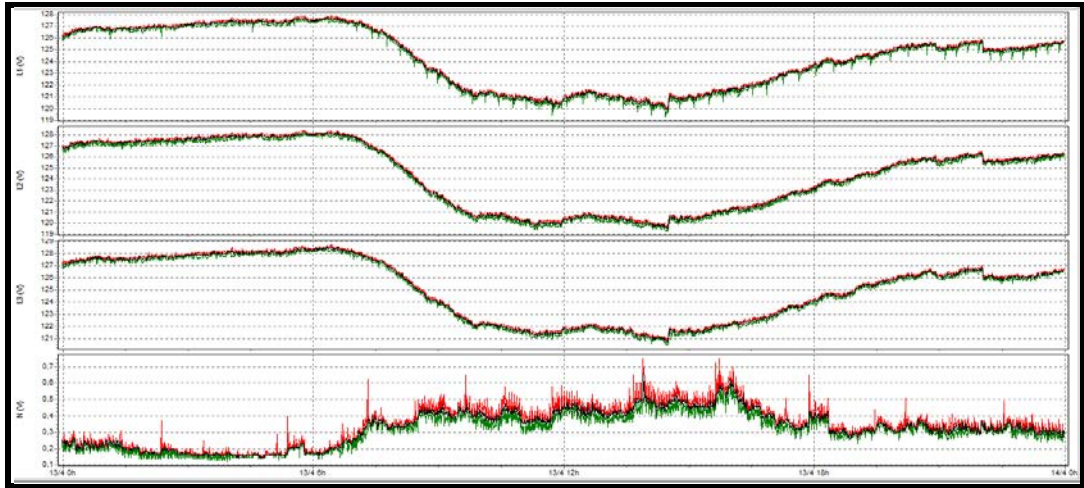
En este punto de medición la demanda tiene un patrón de comportamiento que es prácticamente igual en la mayoría de los días del análisis, este patrón empieza por un periodo de incremento de carga que arranca desde las 06h00 hasta 09h00, después de este periodo empieza un periodo en que la carga es máxima y sostenida que arranca desde las 09h00 hasta 18h00, luego hay un periodo de decrecimiento de carga que se registra desde las 18h00 hasta 21h00, y por último está el periodo en donde la carga es mínima y se sostiene empezando desde las 21h00 hasta las 06h00.

De este patrón de comportamiento de la carga hemos encontrados magnitudes máximas, mínimas, valores promedio y otros valores más de los parámetros eléctricos que hemos considerado como importantes y el resumen evaluativo se lo presenta a continuación.

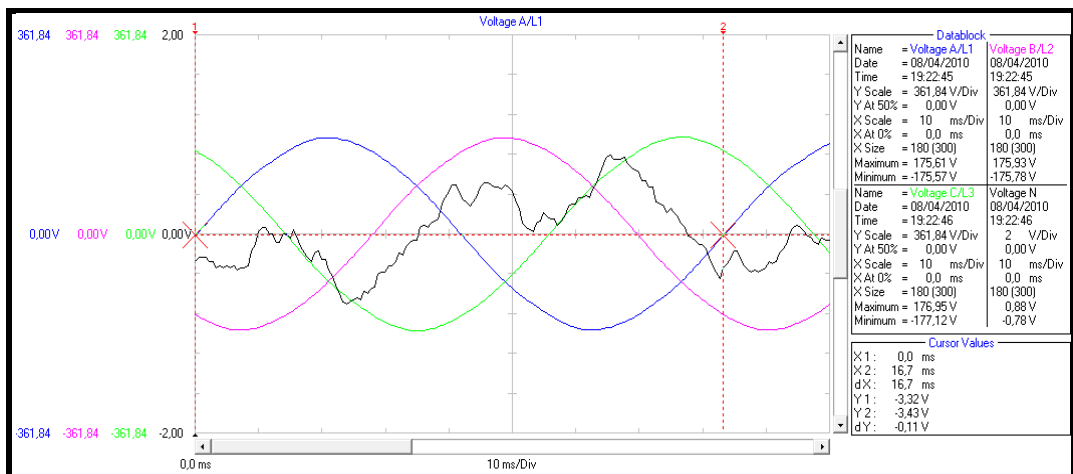
Medición de Voltajes.-

En este punto de medición la tensión mínima llega hasta 114,5v en el lapso de 15h00 a 18h00 horas que se encuentran dentro del periodo de carga máxima sostenida, la disminución de voltaje representa el 9,8% del voltaje nominal de 127v, también podemos observar que la tensión máxima llega hasta 128,7v en el lapso de 03h00 a 09h00 horas que se encuentran entre los periodos de mínima carga y de incremento de carga, este aumento de voltaje representa el 1,35% del voltaje nominal. Respecto al voltaje en el neutro la tensión máxima entre el neutro del sistema y la tierra llega hasta 0,82v en horas del periodo de incremento de carga y excede el valor del voltaje máximo de la norma que es de 0,7v.

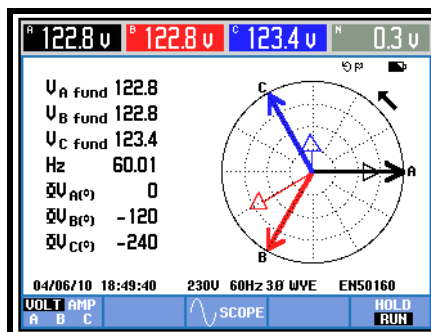
De las tablas, podemos observar que el desbalance máximo entre las fase se produce cuando el voltaje es bajo y llega a un desbalance máximo de 1,3% valor que se encuentra dentro de la norma que establece un valor máximo de desbalance de hasta 3%.



Fuente: Gráfico 25, obtenida de Equipo FLUKE 434/435, “Three Phase Power Quality Analyser – Manual de Uso”, Detalle de tendencia de voltajes respecto al tiempo, 2006.



Fuente: Gráfico 26, obtenida de Equipo FLUKE 434/435, Detalle de voltajes sinusoidales, 2010.



Fuente: Gráfico 27, Detalle de voltajes Fasoriales, 2010.

Matriz Resumen de Valores de Voltajes V(L1)						Matriz Resumen de Valores de Voltajes V(L2)					
Periodo de Análisis		Valores				Periodo de Análisis		Valores			
Hora	Fase	Max	Min	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia	Hora	Fase	Max	Min	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
06h00 a 09h00	V(L1)	127,9				03h00 a 06h00	V(L2)	128,4			
15h00 a 18h00	V(L1)		116,0			15h00 a 18h00	V(L2)		115,1		
15h00 a 18h00	V(L1)			6,5		15h00 a 18h00	V(L2)			7,1	
03h00 a 06h00	V(L1)				0,8	03h00 a 06h00	V(L2)				0,9

Matriz Resumen de Valores de Voltajes V(L3)						Matriz Resumen de Valores de Voltajes V(N)					
Periodo de Análisis		Valores				Periodo de Análisis		Valores			
Hora	Fase	Max	Min	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia	Hora	Fase	Max	Min	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
06h00 a 09h00	V(L3)	128,7				06h00 a 09h00	V(N)	0,82			
15h00 a 18h00	V(L3)		114,5			03h00 a 06h00	V(N)		0,12		
15h00 a 18h00	V(L3)			8,4		06h00 a 09h00	V(N)			0,65	
03h00 a 06h00	V(L3)				0,9	03h00 a 06h00	V(N)				0,13

Fuente: Los Autores, Tabla 11, Matrices de resúmenes de voltajes, 2010.

- Análisis del índice de calidad del servicio de voltaje.-**

De acuerdo con la normativa impuesta en nuestro país, por el CONELEC, sobre la regulación de voltaje 004/01, el distribuidor debe entregar el voltaje al consumidor dentro del +/-10% de la magnitud del voltaje nominal. En este punto de medición el voltaje está dentro de lo estipulado en esta norma (entre 114,3v y 139,7v), no obstante el voltaje mínimo 114,5v en el lapso de 15h00 a 18h00, está llegando al límite de lo permitido, este indicativo nos advierte primeramente que el distribuidor está a punto de incumplir con la normativa de regulación de voltaje, y segundo nos advierte que es muy probable que a este mínimo valor de voltaje sea aún más pequeño en magnitud al llegar a los receptáculos, debido a la caída de voltaje que se presenta al recorrer los conductores desde el panel de distribución principal hasta los receptores.

Mediciones de corrientes.-

- Registro de valores promedio de corrientes:

Siguiendo con el análisis en este punto, hemos podido encontrar serios desbalances de corrientes entre las fases que deben ser considerados, los desbalances en horas de máxima carga, es decir, en el lapso de 09h00 a 18h00, llega hacer entre la fase 1 y 2 un 6,8%, el desbalance entre la fase 2 y 3 llega a 41,8%, el desbalance entre la fase 3 y 1 llega a 60,7%. Los desbalances en horas de mínima carga, es decir, en el lapso de 21h00 a 06h00, llega hacer entre la fase 1 y 2 un 32,5%, el desbalance entre la fase 2 y 3 llega a 43%, el desbalance entre la fase 3 y 1 llega a 33%.

Estos valores nos indican que en el tablero están mal balanceadas las cargas y que por consecuencia han de crear corrientes en el neutro producto de estos desbalance altos y además se está incumpliendo con la norma que indica un desbalance máximo de 40%, hay que plantear soluciones, ya que, si se logra balancear las cargas correctamente podremos mejorar la condición del voltaje y disminuir la circulación de corrientes por el neutro. Según los valores de la tabla, la corriente promedio en el neutro en horas de máxima carga llega hasta 64 amp y en horas de mínima carga llega a 16 amp, estas magnitudes de amperajes confirman el desbalance que hemos encontrado.

Matriz Resumen de Valores Promedio de Corrientes A(L1)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	Promedio Diferencia
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		A(L1)	188	34	154
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		A(L1)	262	159	102
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		A(L1)	153	70	83
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		A(L1)	86	40	46

Matriz Resumen de Valores Promedio de Corrientes A(L2)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	Promedio Diferencia
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		A(L2)	210	50	160
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		A(L2)	280	182	97
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		A(L2)	167	86	81
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		A(L2)	101	53	48

Matriz Resumen de Valores Promedio de Corrientes A(L3)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Max	Promedio Min	Promedio Diferencia
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		A(L3)	120	29	90
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		A(L3)	163	78	85
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		A(L3)	99	36	63
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		A(L3)	76	30	46

Matriz Resumen de Valores Promedio de Corrientes A(LN)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Max	Promedio Min	Promedio Diferencia
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		A(LN)	59	16	43
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		A(LN)	64	30	34
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		A(LN)	45	20	25
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		A(LN)	32	16	16

Fuente: Los Autores, Tabla 12, Matrices de resúmenes de amperajes promedios, 2010.

- **Registro de Valores Máximos de corrientes:**

Luego de hallar los valores de los desbalances que se producen en los periodos de máxima y mínima carga, lo que ahora necesitamos saber es en qué hora en particular dentro de estos periodos tienen una mayor incidencia los desbalances, para esto nos ayudaremos de los valores de amperaje rms máximos registrados.

De la información de las tablas que presentamos a continuación, observamos que la hora de mayor incidencia de desbalance de corriente dentro del periodo de máxima carga es a las 12h00, y la hora de mayor incidencia de desbalance de corriente dentro del periodo de mínima carga es a las 06h00.

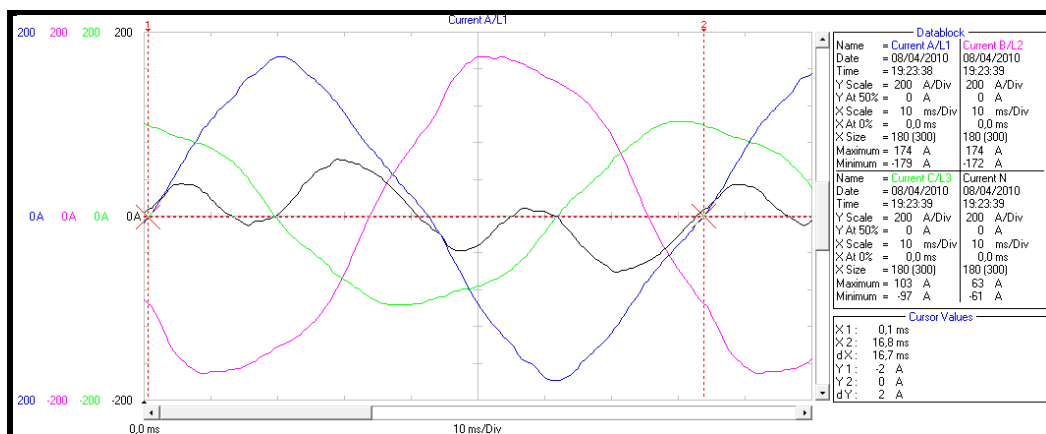
Matriz Resumen de Valores Máximos de Corrientes A(L1)					
Periodo de Análisis		Amperajes			
Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
12h00 a 15h00	A(L1)	303			
06h00 a 09h00	A(L1)		23		
06h00 a 09h00	A(L1)			161	
24h00 a 03h00	A(L1)				29

Matriz Resumen de Valores Máximos de Corrientes A(L2)					
Periodo de Análisis		Amperajes			
Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
09h00 a 12h00	A(L2)	312			
03h00 a 06h00	A(L2)		32		
06h00 a 09h00	A(L2)			168	
24h00 a 03h00	A(L2)				32

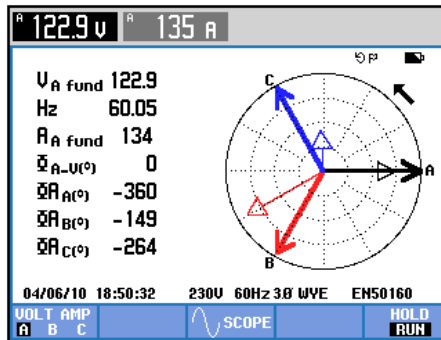
Matriz Resumen de Valores Máximos de Corrientes A(L3)					
Periodo de Análisis		Amperajes			
Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
12h00 a 15h00	A(L3)	185			
06h00 a 09h00	A(L3)		11		
06h00 a 09h00	A(L3)			104	
03h00 a 06h00	A(L3)				38

Matriz Resumen de Valores Máximos de Corrientes A(LN)					
Periodo de Análisis		Amperajes			
Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
09h00 a 12h00	A(LN)	79			
03h00 a 06h00	A(LN)		12		
06h00 a 09h00	A(LN)			48	
24h00 a 03h00	A(LN)				10

Fuente: Los Autores, Tabla 13, Matrices de resúmenes de amperajes máximos, 2010.



Fuente: Los Autores, Gráfico 28, Detalles de amperajes sinusoidales, 2010.



Fuente: Los Autores, Gráfico 29, Detalle de amperaje fasorial, 2010.

- **Registro de picos altos de corrientes:**

Siguiendo con el análisis en este punto, necesitamos conocer las características del tipo de carga que existen en este tablero de distribución, para ésto nos ayudamos de los datos almacenados de las corrientes picos y de los curvas graficadas, por estos datos o también llamadas tendencias de corrientes. Se realiza una inspección manual de las tendencias de corrientes y se contabiliza los picos producidos según los periodos de carga que antes mencionados, esta información la resumimos promediando los valores encontrados y la presentamos en tablas.

De las tablas que obtuvimos podemos decir, que existe una carga monofásica bifilar que es intermitente con una duración máxima de 1 minuto, que por su tiempo de duración se presume que es por arranque de un motor que tiene poca carga, que tiene una magnitud de corriente pico en promedio de 105 amp por fase y que esta carga se encuentra entre la fase 1 y 3, un segundo índice que encontramos es que existe una carga monofásica, que es intermitente con una duración máxima de 1 minuto y que tiene una magnitud de corriente de fase en promedio de 50 amp y se encuentra en la fase 2, por último encontramos un índice de picos de corriente en el neutro que guarda una cierta relación con el índice de la carga monofásica.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 30, Detalle de picos de amperajes en periodo de incremento de carga, 2010.

Picos Amperaje Altos (1min)					Picos Amperaje Altos (1min)				
Periodo	# Picos x hora	Promedio Amp Max Pico	Magnitud Promedio Pico	Fase	Periodo	# Picos x hora	Promedio Amp Max Pico	Magnitud Promedio Pico	Fase
06h00 a	3,40	247,00	116,00	A(L1)	06h00 a	19,80	99,00	42,40	A(L2)
09h00 a					09h00 a				
18h00 a	9,57	248,93	48,93		18h00 a	23,29	189,50	39,64	
21h00 a	6,20	193,40	92,60		21h00 a	41,80	201,40	68,20	
21h00 a	4,48	167,86	105,57		21h00 a	31,38	137,05	55,43	
06h00					06h00				

Picos Amperaje Altos (1min)					Picos Amperaje Altos (1min)				
Periodo	# Picos x hora	Promedio Amp Max Pico	Magnitud Promedio Pico	Fase	Periodo	# Picos x hora	Promedio Amp Max Pico	Magnitud Promedio Pico	Fase
06h00 a	3,20	208,00	135,00	A(L3)	06h00 a	33,40	86,00	43,60	A(LN)
09h00 a					09h00 a				
18h00 a	6,93	260,36	129,14		18h00 a	67,79	93,93	40,29	
21h00 a	6,00	205,00	142,40		21h00 a	57,00	80,00	45,60	
21h00 a	5,95	179,76	130,00		21h00 a	31,10	74,62	48,86	
06h00					06h00				

Fuente: Los Autores, Tabla 14, Matrices de resúmenes picos de amperajes, 2010.

- Análisis del Amperaje.-**
 En resumen, en este punto de medición, en lo que respecta a la corriente en el periodo de máxima carga, tenemos una corriente promedio máxima de 280 amp y encontramos en este mismo periodo desbalances de corrientes entre las fases de

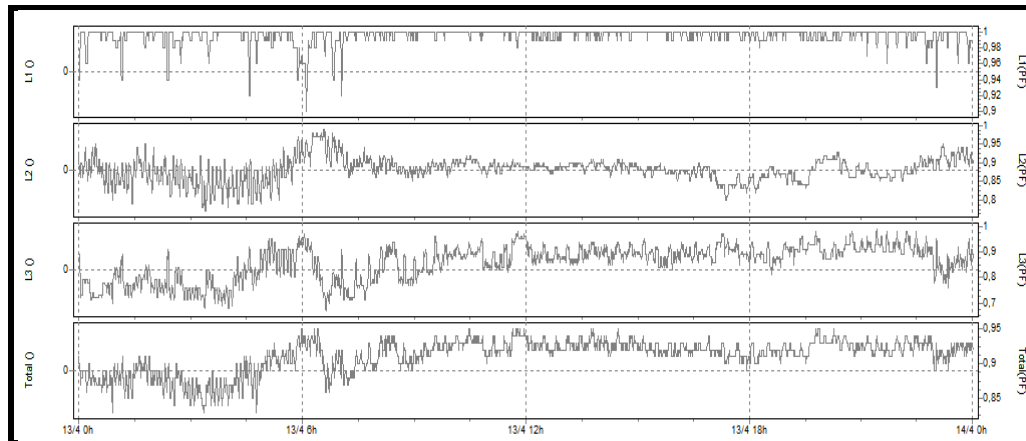
manera particular a las 12h00 se presentan dos desbalance significativos, el primero está entre la fase 2 y 3 que llega a 41,8%, el segundo está entre la fase 3 y 1 llega a 60,7% , estos desbalances están incumpliendo con la norma que sólo admite hasta un máximo de 40%. En el periodo de mínima carga tenemos una corriente promedio de 53 amp y encontramos desbalances de corrientes entre las fases y de manera particular a las 06h00, llega hacer entre la fase 1 y 2 un 32,5%, el desbalance entre la fase 2 y 3 llega a 43%, el desbalance entre la fase 3 y 1 llega a 33%. Además encontramos picos de arranque altos de una duración máxima de 1 minuto que corresponden a una carga monofásica bifilar (Presumiblemente de un motor) que se encuentra entre las fases 1 y 3 con una corriente pico de 105 amp de magnitud por fase que no se sostiene lo que presume que sea por arranque de un motor que tiene poca carga, y también encontramos una carga monofásica que tiene picos de arranque altos de una duración máxima de 1 minuto (Presumiblemente de un motor) que se encuentra en la fase 2 con una magnitud de corriente de fase de 50 amp.

Medición de Factor de Potencia.-

De los datos registrados, se realizó una tabla resumen, en el que encontramos que el factor de potencia total de este punto en promedio durante el periodo de máxima carga es de 0,93 y en el periodo de mínima carga el factor de potencia en promedio es de 0,84. No obstante se observa que la fase 1, tiene un factor de potencia muy bueno y que en la fase 2 y 3 las cargas se encuentran con un bajo factor de potencia.

	Fp (L1)	Fp (L2)	Fp (L3)	Fp (T)
Horas	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
06h00 a 09h00	1,00	0,92	0,74	0,89
09h00 a 18h00	1,00	0,89	0,89	0,93
18h00 a 21h00	1,00	0,9	0,9	0,92
21h00 a 06h00	1,00	0,82	0,75	0,84

Fuente: Los Autores, Tabla 15, Matriz de resumen de Factores de Potencia, 2010.



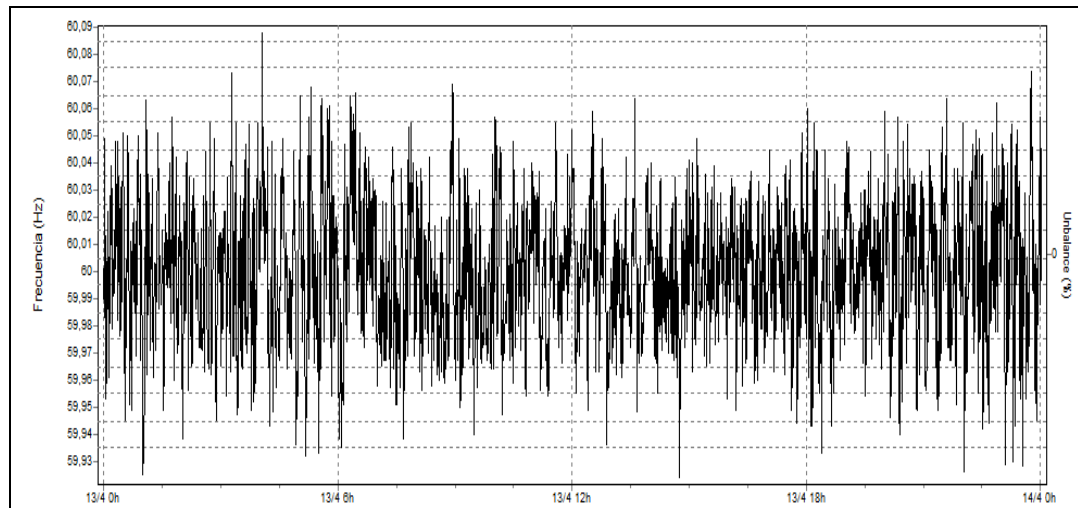
Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 31, Detalle de Factor de Potencia, 2010.

Medición de Frecuencia.-

Se ha procedido a realizar una tabla resumen de los valores máximos y mínimos respecto a las variaciones de frecuencia registradas en este punto de medición, el NATSIM Código Normativo de la Distribuidora Eléctrica, de la ciudad de Guayaquil, estipula una variación máxima de frecuencia que esté por el orden de +/- 5%. De lo observado en la tabla de valores de frecuencia, podemos decir, que los porcentajes de distorsión están dentro de lo permitido, por tanto no habría problema en la frecuencia del sistema.

Matriz Resumen de Valores de Frecuencia				
Periodo de Análisis	Valores			
Hora	Max Hz	Min Hz	% Distorsión Máx.	% Distorsión Mín.
03h00 a 06h00	60,2			
06h00 a 09h00		59,8		
03h00 a 06h00			0,3	
06h00 a 09h00				0,4

Fuente: Los Autores, Tabla 16, Matriz de resumen de frecuencia, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435. Gráfico 32. Detalle de frecuencia. 2010.

Medición THD de voltajes.-

De la información registrada se procedió a construir tablas de resumen para cada fase, en el que se promedian los valores máximos THD de voltajes y se identifica el armónico preponderante según el comportamiento de la carga.

Según la Norma EN50160, el porcentaje de distorsión armónica máxima para el voltaje es de 8%, de las tablas de resumen, encontramos que, el THD voltaje máximo de las fases en este punto de medición está en las horas de incremento de carga en el lapso de 06h00 a 09h00, con un porcentaje de distorsión THD de 1,9% con una incidencia preponderante de la 5ta armónica. Estos valores son aceptables y se encuentran dentro de la norma citada anteriormente. El THD Voltaje del Neutro llega a su valor máximo de distorsión en las horas de mínima carga en el lapso de 21h00 a 06h00, con un porcentaje de distorsión THD de 142%, con una incidencia preponderante de la 3era armónica, este valor de THD representa el porcentaje de distorsión del voltaje RMS del neutro de este sistema, que en promedio oscila por los 0,82v, lo cual por la magnitud que tiene, no representa un problema.

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Voltaje (L1)				
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Voltaje	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD de valores Máx.	Promedio Armo >
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		L1	1,9	5
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		L1	1,3	5
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		L1	1,6	5
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		L1	1,7	5

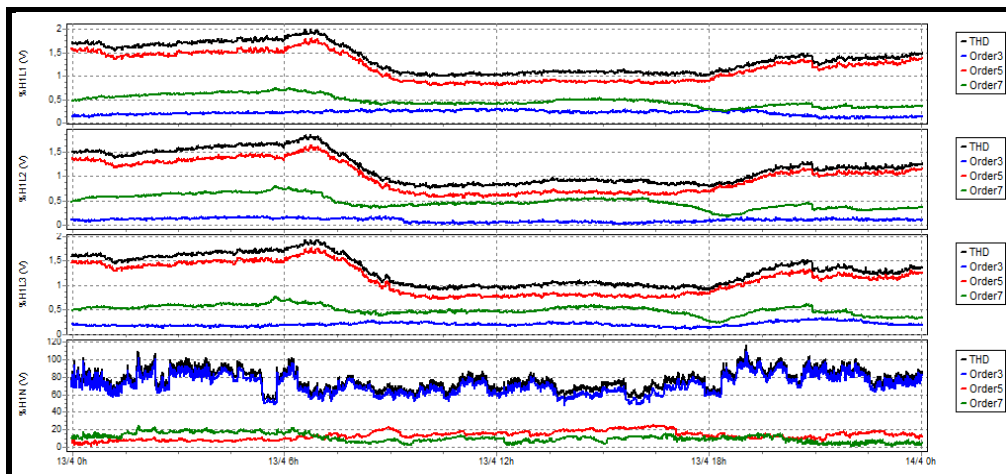
Matriz Resumen de Valores Promedio THD Voltaje (L2)				
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Voltaje	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD de valores Máx.	Promedio Armo >
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		L2	1,7	5
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		L2	1,2	5
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		L2	1,5	5
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		L2	1,5	5

Fuente: Los Autores, Tabla 17, Matriz de resumen de THD voltajes en L1 y L2, 2010.

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Voltaje (L3)				
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Voltaje	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD de valores Max	Promedio Armo >
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		L3	1,8	5
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		L3	1,3	5
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		L3	1,6	5
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		L3	1,6	5

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Voltaje (LN)				
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Voltaje	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD de valores Max	Promedio Armo >
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		LN	123,1	3
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		LN	101,4	3
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		LN	132,5	3
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		LN	141,9	3

Fuente: Los Autores, Tabla 18, Matriz de resumen de THD voltajes en L3 y LN, 2010



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 33, Detalle evolución temporal THD y armónicos de voltajes, 2010

Mediciones THD de Corrientes.-

De la información registrada, se procedió a construir tablas de resumen para cada fase, en el que se promedian los valores máximos de THD de corrientes y se identifica el armónico preponderante según el comportamiento de la carga.

Según la Norma del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) indican en su normativa IEEE – 519, que el THD de corriente máximo permisible en cada fase debe de ser menor o igual a 8%, de las tablas de resumen, encontramos que el THD corriente máximo en las fases en este punto de medición está en las horas de incremento de carga en el lapso de 06h00 a 09h00, con un porcentaje de distorsión THD de 16,2%, con una incidencia preponderante de la 5ta y 3era armónica, también hay que indicar, que en el resto del día de la medición el THD, oscila entre 9 y 13%. Estos valores No son aceptables y se encuentran fuera de la norma citada anteriormente para las armónicas de corrientes en las fases.

El THD de corriente del Neutro llega a su valor máximo de distorsión en las horas de incremento y decremento de carga en el lapso de 06h00 a 09h00 y de 18h00 a 21h00, con un porcentaje de distorsión THD de 296% con una incidencia preponderante de la 3era armónica, este valor de THD representa el porcentaje de distorsión de la corriente rms del neutro de este sistema, que en promedio oscila en estos periodos por 59 amp lo cual significa que la corriente real en el neutro, es de aproximadamente 15 amp y que 44 amp corresponden mayoritariamente a la aportación de la corriente de 3era armónica.

Dentro de este análisis en este punto hay que dejar claro, que, por la configuración inusual del conexionado eléctrico no nos deja asegurar si los 15 y 44 amp encontrados en el neutro corresponden en su totalidad a la aportación de las corrientes de las fases de este tablero TDP1 (Sistema Transformador T1) debido a que se presenta en este tablero, un punto unión con el neutro del sistema T2, que bien podría estar absorbiendo o inyectando corrientes al neutro en este punto. Para despejar esta interrogante hemos tenido que realizar análisis a las cargas individuales de este tablero para conocer cuáles son sus aportes de corrientes al neutro, este análisis será descrito al finalizar la medición continua en este punto.

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Amperaje (L1)				
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Amperaje	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD de valores Max	Promedio Armo >
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		L1	16,2	3
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		L1	7,8	3
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		L1	11,3	3
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		L1	13,6	3

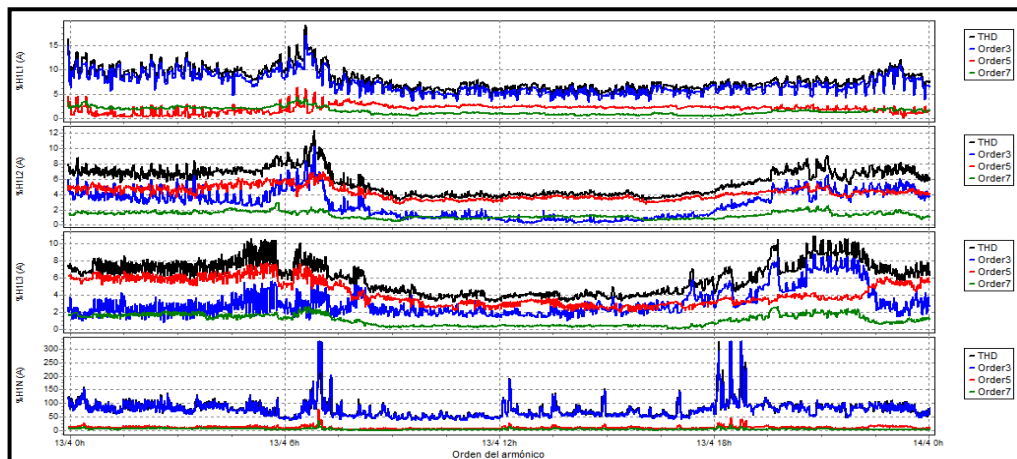
Matriz Resumen de Valores Promedio THD Amperaje (L2)				
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Amperaje	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD de valores Max	Promedio Armo >
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		L2	11,2	5 y 3
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		L2	4,8	5
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		L2	8,8	5 y 3
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		L2	9,1	5 y 3

Fuente: Los Autores, Tabla 19, Matriz de resumen de THD corrientes en L1 y L2, 2010.

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Amperaje (L3)				
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Amperaje	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD de valores Max	Promedio Armo >
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		L3	10,4	5 y 3
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		L3	6	5
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		L3	11,5	3 y 5
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		L3	10,3	5 y 3

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Amperaje (LN)				
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Amperaje	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD de valores Max	Promedio Armo >
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		LN	281,1	3
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		LN	176	3
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		LN	296	3
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		LN	184	3

Fuente: Los Autores, Tabla 20, Matriz de resumen de THD corrientes en L3 v LN. 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 34, Detalle evolución temporal THD y armónicos de corrientes, 2010.

Mediciones Parpadeos de Luminarias o Flicker.-

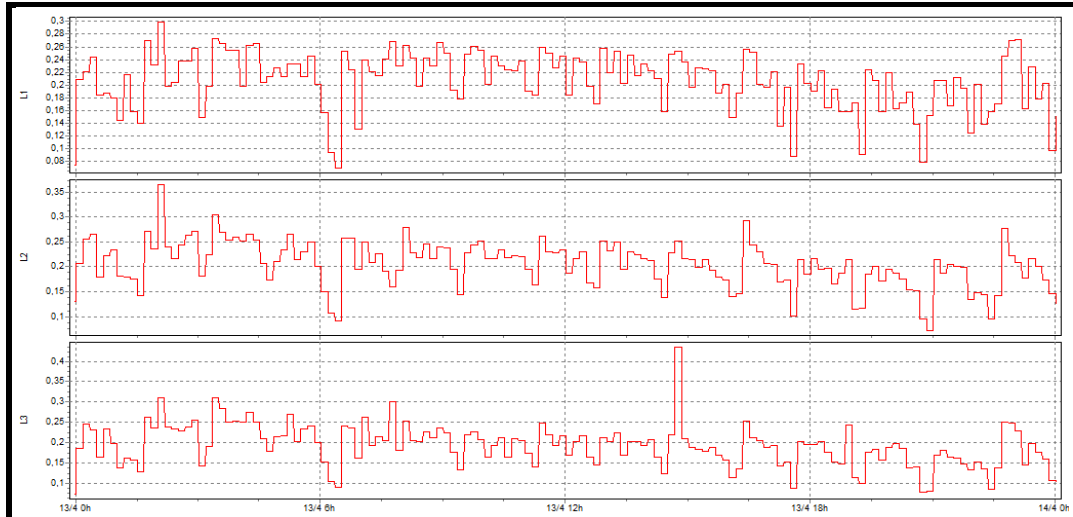
Para analizar los parpadeos de tensión FLICKERS de los datos descargados, creamos una tabla de resumen, en la cual colocamos los valores máximos de los flickers con el número de veces que en promedio se registraban en una hora, esta información la separamos por las horas de incremento, horas de máxima, horas de decremento y de mínima carga.

Para analizar los valores resumidos de la tabla, nos remitimos a utilizar las Normas del CONELEC 004/01, las europeas EN50160 y EN61000-4-15 de compatibilidad electromagnética (CEM) en la que indica que, para ensayos y técnicas de medición de Flickers para sistemas de baja tensión, el de corta duración debe ser máximo 1 Pst y para el flicker de larga duración debe ser máximo 0,74 Plt según lo publicado el 15/07/1998, entonces observamos que no hay problemas para FLICKERS (Pst) pero en cambio para FLICKERS (Plt), se sale de la norma en el periodo de decrecimiento de carga que es en el lapso de 18h00 a 21h00 con 1,55 Plt en las tres fases, esto nos indica que, probablemente a estas horas en el proceso de encendido de las lámparas, el efecto de ionización del gas, provoca la generación de Flicker, esta deducción la hacemos debido a que en el resto del día no se presentan flickers altos, y como ya hemos visto las cargas que producen picos altos de corrientes trabajan todo el día y como vemos no generan flicker por tanto la única carga que entra al sistema en este horario son las luces de todo el hospital.

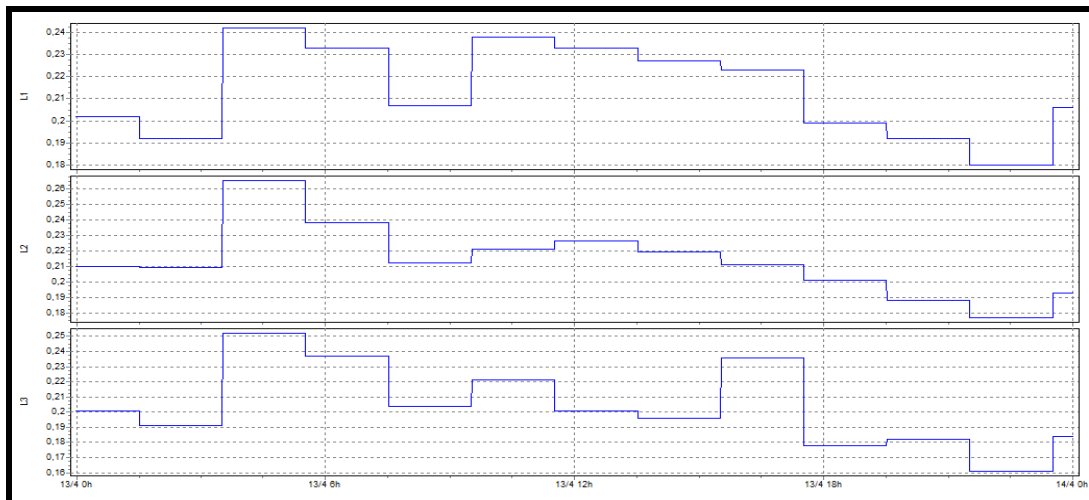
Valores Promedio

Horas	Pst L1		Pst L2		Pst L3		Plt L1		Plt L2		Plt L3	
	Máx.	# veces x Hora	Máx.	# veces x Hora	Máx.	# veces x Hora	Máx.	# veces x Hora	Máx.	# veces x Hora	Máx.	# veces x Hora
06h00 a 09h00	0,28	120,00	0,29	120,00	0,28	120,00	0,31	82,50	0,32	89,06	0,27	82,06
09h00 a 18h00	0,27	120,00	0,30	120,00	0,31	120,00	0,55	89,29	0,60	96,34	0,59	84,38
18h00 a 21h00	0,25	118,30	0,25	118,30	0,24	118,30	1,54	105,00	1,55	108,50	1,52	104,90
21h00 a 06h00	0,27	120,00	0,27	120,00	0,26	120,00	0,25	78,92	0,24	81,75	0,24	80,25

Fuente: Los Autores, Tabla 21, Matriz de resumen valores promedio Flickers, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 35, Detalle evolución temporal FLICKERS (Pst), 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 36, Detalle evolución temporal FLICKER (Plt), 2010.

Mediciones de Potencias.-

Para analizar los potencias activas, reactivas y aparentes de los datos descargados, creamos unas tablas de resúmenes en las cuales colocamos los valores máximos de potencias con el número de veces que en promedio se registraban en las horas de incremento, horas de máxima, horas de decremento y de mínima carga.

Respecto a la potencia activa hay un equilibrio entre las fases 1 y 2, no obstante la fase 3 está descompensada. La potencia activa total máxima se da en horas de carga

máxima y llega a 75Kw y la potencia activa mínima se da en horas de mínima carga y llega a 19Kw.

Respecto a la potencia reactiva hay un poco de equilibrio entre las fases 2 y 3 tiene características de carga capacitiva, no obstante la fase 1, está descompensada y presenta característica de carga inductiva. La potencia reactiva total máxima se da en horas de carga máxima y llega a -19Kvar y la potencia reactiva mínima se da en horas de mínima carga y llega a -6Kvar.

Respecto a la potencia aparente no hay equilibrio entre las 3 fases. La potencia aparente total máxima se da en horas de carga máxima y llega a 80Kva lo cual representa el 16% de la capacidad total del transformador y la potencia aparente mínima se da en horas de mínima carga y llega a 20Kva, lo cual representa el 4% de la capacidad total del transformador. Esto indica que el transformador está trabajando prácticamente en vacío desperdiciando su capacidad de transformación.

- **Potencias Activas.-**

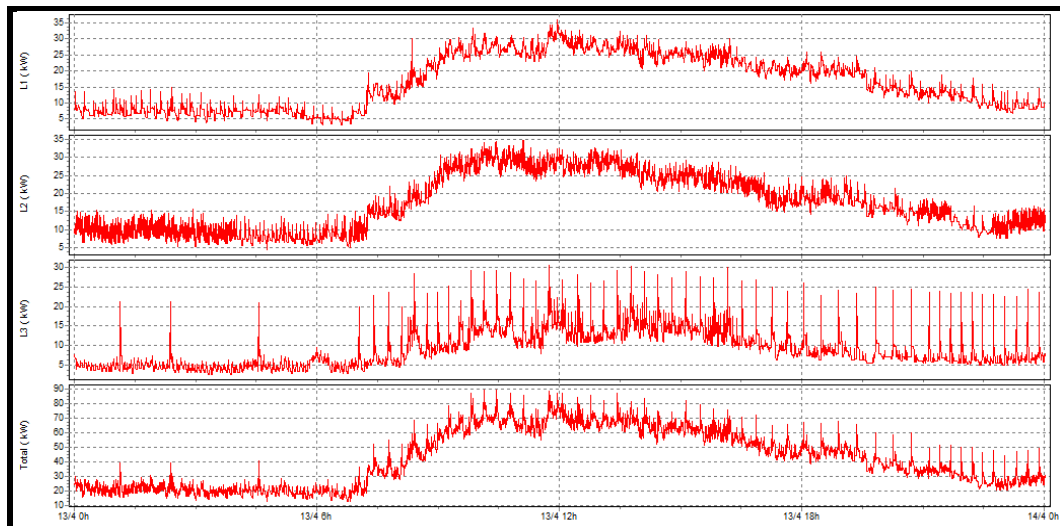
Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Activas P(L1)					Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Activas P(L2)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx. watt	Promedio Mín. watt	Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx. watt	Promedio Mín. watt
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		P(L1)	25000	5000	Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		P(L2)	30000	9000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		P(L1)	30000	20000	Horas de Máxima carga 09h00 18h00		P(L2)	30000	20000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		P(L1)	20000	13000	Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		P(L2)	20000	15000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		P(L1)	9000	6000	Horas de Mínima carga 21h00 06h00		P(L2)	13000	7000

Fuente: Los Autores, Tabla 22, Matriz de resumen de potencias activas L1 y L2, 2010.

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Activas P(L3)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx. watt	Promedio Mín. watt	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			P(L3)	12000	5000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			P(L3)	17000	10000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			P(L3)	1000	8000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			P(L3)	6000	4000

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Activas P(T)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx. watt	Promedio Mín. watt	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			P(T)	65000	20000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			P(T)	75000	50000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			P(T)	50000	35000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			P(T)	27000	19000

Fuente: Los Autores, Tabla 23, Matriz de resumen de potencias activas L3 y LN, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 37, Detalle evolución temporal potencias activas, 2010.

Potencias Reactivas.-

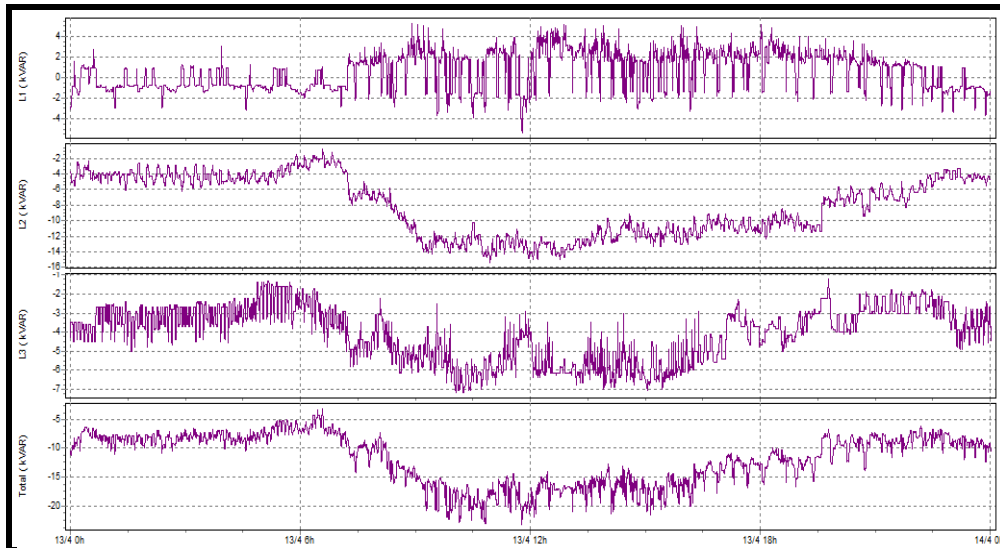
Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Reactivas Q(L1)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			Q(L1)	1000	2500
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			Q(L1)	2500	-500
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			Q(L1)	2000	1500
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			Q(L1)	1500	-1000

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Reactivas Q(L2)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			Q(L2)	-2000	-12000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			Q(L2)	-11000	-12000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			Q(L2)	-8000	-12000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			Q(L2)	-4000	-6000

Fuente: Los Autores, Tabla 24, Matriz de resumen de potencias reactivas L1 y L2, 2010.

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Reactivas Q(L3)					Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Reactivas Q(T)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		Q(L3)	-3000	-6000	Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		Q(T)	-7000	-17000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		Q(L3)	-5000	-6500	Horas de Máxima carga 09h00 18h00		Q(T)	-15000	-19000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		Q(L3)	-3000	-4000	Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		Q(T)	-7000	-15000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		Q(L3)	-3500	-4000	Horas de Mínima carga 21h00 06h00		Q(T)	-6000	-9000

Fuente: Los Autores, Tabla 25, Matriz de resumen de potencias reactivas L3 y LN, 2010.



Fuente: Los Autores, Gráfico 38, Detalle evolución temporal potencias reactivas, 2010.

Potencias Aparentes.-

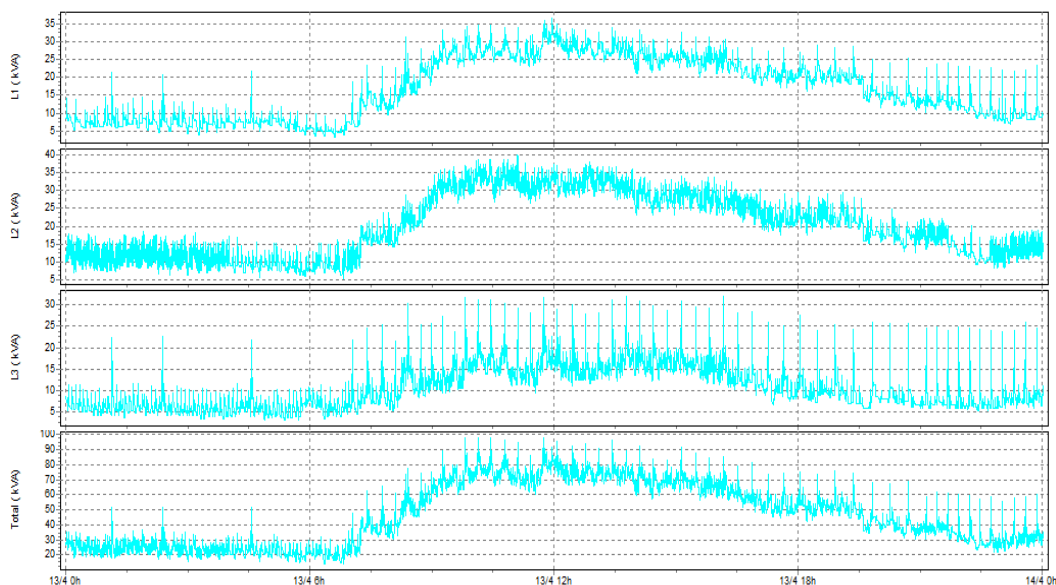
Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Aparentes S(L1)					Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Aparentes S(L2)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		S(L1)	20000	5000	Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		S(L2)	32000	10000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		S(L1)	30000	20000	Horas de Máxima carga 09h00 18h00		S(L2)	35000	20000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		S(L1)	20000	12000	Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		S(L2)	22000	17000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		S(L1)	10000	7000	Horas de Mínima carga 21h00 06h00		S(L2)	15000	7000

Fuente: Los Autores, Tabla 26, Matriz de resumen de potencias aparentes L1 y L2, 2010.

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Aparentes S(L3)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		S(L3)	15000	6000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		S(L3)	20000	10000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		S(L3)	10000	7000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		S(L3)	9000	5000

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Aparentes S(T)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		S(T)	70000	20000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		S(T)	80000	50000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		S(T)	50000	40000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		S(T)	30000	20000

Fuente: Los Autores, Tabla 27, Matriz de resumen de potencias aparentes L3 y LN, 2010.



Fuente: Los Autores, Gráfico 39, Detalle evolución temporal potencias aparentes, 2010.

Mediciones con cálculo de costo promedio de energía consumida.-

Hemos creamos una tabla de resumen, en la cual se registran los valores de energía de toda la medición y las hemos promediado por horas de incremento, horas de máxima, horas de decremento y de mínima carga, y al final calculamos el costo de la energía mensual consumida, con un costo por KWH de 0,06 de dólar. El costo de la energía consumida en este punto de medición es de aproximadamente \$1.574 dólares americanos mensuales y no tiene recargos por bajo factor de potencia, el cálculo se hace en base al factor de potencia medio del consumo de energía.

Horas de Incremento de carga	Valores Promedio Energía Activa (kwh)				Valores Promedio Energía Reactiva (Kvarh)			
	E Act (L1)	E Act (L2)	E Act (L3)	E Act (T)	E Reac (L1)	E Reac (L2)	E Reac (L3)	E Reac (T)
06h00 a 09h00	11	13	6	30	0	-6	-4	-10
09h00 a 18h00	22	22	11	55	1	-11	-5	-16
18h00 a 21h00	13	13	7	32	1	-7	-4	-10
21h00 a 06h00	8	9	5	21	-1	-4	-3	-8
consumo Promedio Diario (Kwh día)	335	354	186	875	6	-181	-97	-273
consumo Promedio mensual (Kwh mes)	10054,1	10608,9	5584,8	26247,0	166,5	-5438,3	-2911,3	-8185,0
costo Aproximado energía (Kwh:\$ 0,06)	603,2	636,5	335,1	1574,8				
Fp (Calculado del consumo Energía)	0,95							

Fuente: Los Autores, Tabla 28, Matriz de resumen de consumo de energía eléctrica, 2010.

$$\cos \varphi = \frac{W_A}{\sqrt{W_A^2 + W_R^2}}$$

W_A = Cantidad registrada por el contador de energía activa (kWh)
W_R = Cantidad registrada por el contador de energía reactiva (kvarh)

Fuente: CAPELA, Robert, PT - 075, Gráfico 40, Cálculo factor de potencia medio de instalaciones, 2000.

cos φ	Recargo (%)	Abono (%)
1,00	---	4,0
0,95	---	2,2
0,90	0,0	0,0
0,85	2,5	---
0,80	5,6	---
0,75	9,2	---
0,70	13,7	---
0,65	19,2	---
0,60	26,2	---
0,55	35,2	---
0,50	47,0	---

Fuente: CAPELA, Robert, PT - 075, Gráfico 41, Porcentaje de recargo por fp bajo, 2000.

Resumen de Observaciones en Primer Punto de Medición.-

- En este punto de medición, la demanda tiene un patrón de comportamiento, que es prácticamente igual en la mayoría de los días del análisis, este patrón empieza por un periodo de incremento de carga que arranca desde las 06h00 hasta 09h00, después de este periodo empieza un periodo de carga máxima y sostenida, que es desde las 09h00 hasta 18h00, luego hay un periodo de decrecimiento de carga que se registra desde las 18h00 hasta 21h00, y por último está el periodo de carga mínima y empieza desde las 21h00 hasta las 06h00.
- En este punto de medición el neutro aislado del tablero TDP1 del sistema del transformador T1 está unido por un conductor al neutro aislado del tablero TDP2 del sistema transformador T2, esta condición es incorrecta debido a que las corrientes de neutro de los dos sistemas se mezclan antes de cerrar el circuito en los transformadores, lo que posiblemente esté causando problemas a este sistema.
- No hay una conexión física entre la barra de tierra de este tablero con el neutro del transformador lo que implica que existe un camino de alta impedancia, el Código Eléctrico exige un camino de retorno al neutro del transformador libre de corrientes que esté disponible para corrientes de fallas producidas entre las fases a tierra, para que de esta manera se logre cerrar el circuito eléctrico y haga actuar las protecciones lo más pronto posible.
- El voltaje máximo y mínimo registrado respecto al voltaje nominal de 127v está dentro de lo estipulado en la norma de +/-10%, no obstante el voltaje mínimo 114,5v está llegando al límite de lo permitido en el lapso de 15h00 a 18h00, este indicativo nos advierte que el distribuidor está a punto de incumplir con la Normativa de Regulación de Voltaje, y nos advierte que es muy probable que este mínimo valor de voltaje en este punto sea aun más pequeño al llegar a los receptores.
- El desbalance máximo de voltaje entre fases es de 1,3% valor que se encuentra dentro de la norma que establece un valor máximo de desbalance de hasta 3%.

- El voltaje del neutro a tierra, su tensión máxima llega hasta 0,82v, en horas del periodo de incremento de carga, esta tensión excede el valor del voltaje máximo de la norma que es de 0,7v.
- La corriente está desbalanceada en los distintos periodos de carga; pero es más alto en horas de máxima carga y en particular a las 12h00, se presentan dos desbalances significativos: el primero está entre la fase 2 y 3 que llega a 41,8%, el segundo está entre la fase 3 y 1 que llega a 60,7%, estos desbalances están incumpliendo con la norma que solo admite hasta un máximo de 40%.
- La corriente máxima en el neutro se produce en horas de máxima carga y llega a hacer 64 amp, esta magnitud de amperaje confirma que hay el desbalance que hemos encontrado entre las fases.
- Encontramos picos de arranque altos de una duración máxima de 1 minuto que corresponden a una carga monofásica bifilar (Presumiblemente de un motor) que se encuentra entre las fases 1 y 3 de magnitud de corriente pico de 105 amp por fase, y también encontramos una carga monofásica que tiene picos de arranque altos de una duración máxima de 1 minuto (Presumiblemente de un motor) que se encuentra en la fase 2 con una magnitud de corriente de fase de 50 amp.
- El factor de potencia en la mayor parte del tiempo es muy bueno y es de 0,93, no obstante llega a ser bajo en el periodo de mínima carga con un factor de potencia de 0,84.
- La frecuencia presenta una distorsión máxima del 0,4% que está dentro de lo permitido por la norma que admite hasta +/-5%.
- La distorsión armónica de voltaje THD en las fases está en las horas de incremento de carga con un porcentaje THD de 1,9% con una incidencia preponderante de la 5ta armónica, este porcentaje de distorsión es aceptable y se encuentra dentro de lo establecido por la norma que es hasta máximo 8%.

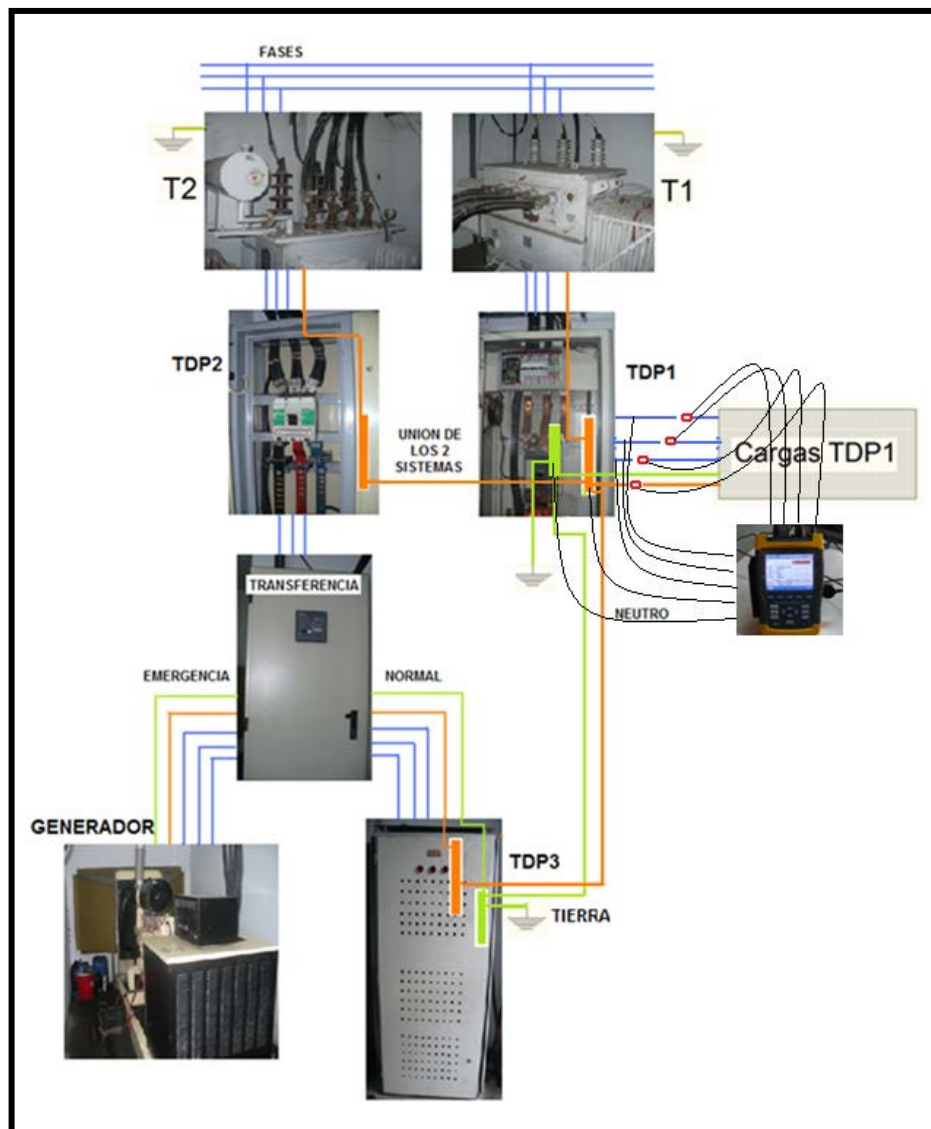
- La distorsión armónica máxima del voltaje (THD) en el neutro está en las horas de mínima carga con un THD de 142% y con una incidencia preponderante de la 3 armónica del voltaje RMS del neutro, esta tensión RMS oscila por 0,82v, lo cual por la magnitud que tiene, no representa un problema.
- La distorsión armónica de corrientes THD en las fases está en las horas de incremento de carga con un porcentaje THD de 16,2% de una corriente promedio de 210 amp, con una incidencia preponderante de la 5ta y 3era armónica, hay que indicar que, en el resto del día de la medición el THD oscila entre 9 y 13%. Estos valores No son aceptables y se encuentran fuera de la norma que estipula como máximo 8% THD para las fases.
- Entonces las armónicas de 5ta y 3era en las fases tienen en promedio, entre las dos, una magnitud de corriente de fase 34 amp, esta corriente debe ser corregida para disminuir la posibilidad de tripeo de breakers, y calentamiento de conductores.
- El THD de Corriente del neutro llega a su valor máximo en las horas de decremento e incremento de carga con un THD de 296% que tiene una incidencia preponderante de la 3era armónica, la corriente promedio que circula por este neutro en estos periodos es de 59 amp lo cual significa que la corriente real en el neutro es de aproximadamente 15 amp, y que los 44 amp corresponden mayoritariamente a la aportación de la corriente de 3era armónica.
- Debido a lo inusual del conexionado eléctrico no nos deja asegurar si los 15 y 44 amp encontrados en el neutro corresponden en su totalidad a la aportación de las corrientes de las fases de este tablero TDP1, por lo que se necesita hacer un análisis a las cargas individuales para saber el nivel de aportación de corriente al neutro de cada una de las cargas.
- No hay problemas para FLICKERS (Pst) pero en cambio para FLICKERS (Plt) se sale de la norma en el periodo de decrecimiento de carga con 1,55 Plt en las tres fases, es muy probablemente que en estas horas en el proceso de encendido, de las

lámparas del hospital se estén generando estos flickers, esta deducción la hacemos debido a que en el resto del día no se presentan Flickers altos.

- La potencia activa entre las fases 1 y 2 está equilibrada, no obstante la fase 3 esta descompensada. La potencia activa total máxima se da en horas de carga máxima y llega a 75Kw y la potencia activa mínima se da en horas de mínima carga y llega a 19Kw.
- La potencia reactiva tiene un poco de equilibrio entre las fases 2 y 3, tienen características de carga capacitiva, no obstante la fase 1 está descompensada y presenta característica de carga inductiva. La potencia reactiva total máxima se da en horas de carga máxima y llega a -19Kvar, y la potencia reactiva mínima se da en horas de mínima carga y llega a -6Kvar.
- La potencia aparente está desequilibrada entre las 3 fases. La potencia aparente total máxima se da en horas de carga máxima y llega a 80Kva, lo cual representa el 16% de la capacidad total del transformador y la potencia aparente mínima se da en horas de mínima carga y llega a 20Kva, lo cual representa el 4% de la capacidad total del transformador. Ésto indica que, el transformador está trabajando prácticamente en vacío en horas de carga mínima desperdiciando así su capacidad de transformación.
- El costo de la energía consumida en este punto de medición es de aproximadamente \$ 1.574 dólares americanos mensuales.

4.6.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CARGAS INDIVIDUALES EN PDT1

A continuación, mostramos la conexión del equipo analizador de calidad de energía eléctrica conectado a las cargas del tablero TDP1, debido a lo inusual de la conexión del neutro en este tablero se optó por agrupar los neutros de las cargas individuales dentro de la sonda del neutro para de esta manera obtener una medición de la corriente del neutro real generada por sumatoria de las cargas individuales.

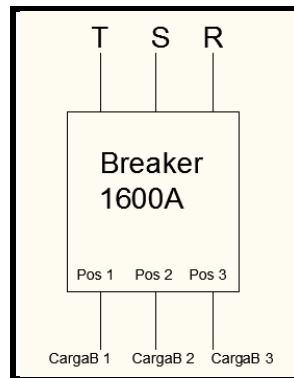


Fuente: Los Autores, Gráfico 42, Detalle conexión del equipo Fluke en cargas individuales, 2010.



Fuente: Los Autores, Ilustración 29, Tablero TDP1 con sus Breakers, 2010.

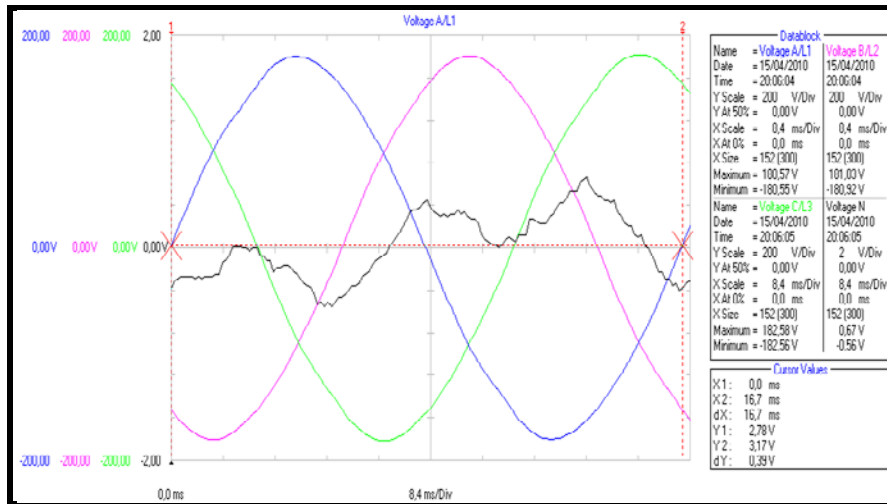
Este tablero está integrado por un Breaker principal 3 Ø de 1600 amp que alimenta a las cargas individuales, estas cargas individuales están conformadas por 11 breaker 3 Ø y 5 breaker 2 Ø a los cuales le hemos identificado con la letra “B”, seguido del número respecto a locación dentro del tablero. A continuación, las gráficas de las curvas sinusoidales de las corrientes y de los voltajes en conjunto con los fasores capturados instantáneamente por el Fluke, no sin antes mostrar en una gráfica la posición de las fases en el breaker principal de este tablero visto frontalmente.



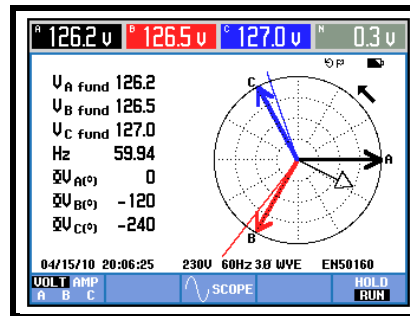
Fuente: Los Autores, Gráfico 43, Breaker Principal TDP1, 2010.

- Voltaje de Referencia.

Debido a que se conectó el Fluke a las barras principales para sensar el voltaje que reciben las cargas individuales, hemos considerado llamar a este voltaje como de referencia para el análisis, y sus curvas características en conjunto con sus fasores son los siguientes:



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 44, Detalle ondas sinusoidales voltajes de fases en barras TDP1, 2010.

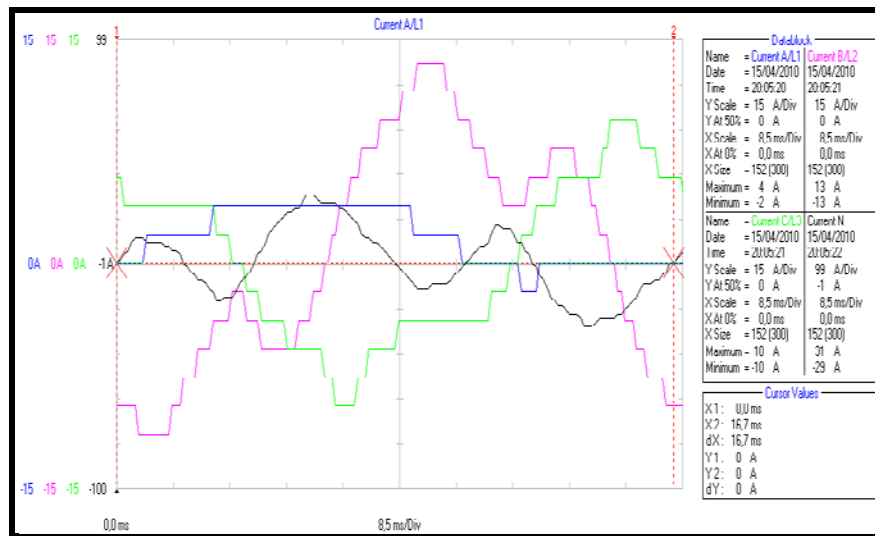


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 45, Detalle Fasores voltajes de fases en barras TDP1, 2010.

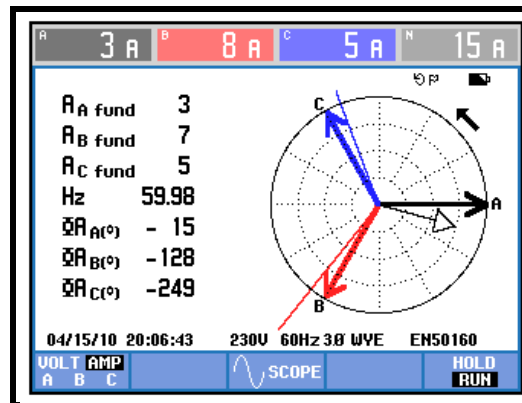
Voltaje Barras Punto Medición					
V(L1)=VR		V(L2)=VS		V(L3)=VT	
r	θ	R	θ	r	Θ
126	0	127	-120	127	-240

Fuente: Equipo FLUKE 435, Tabla 29, Voltaje Barras Punto Medición, 2010.

Medición Breaker B3

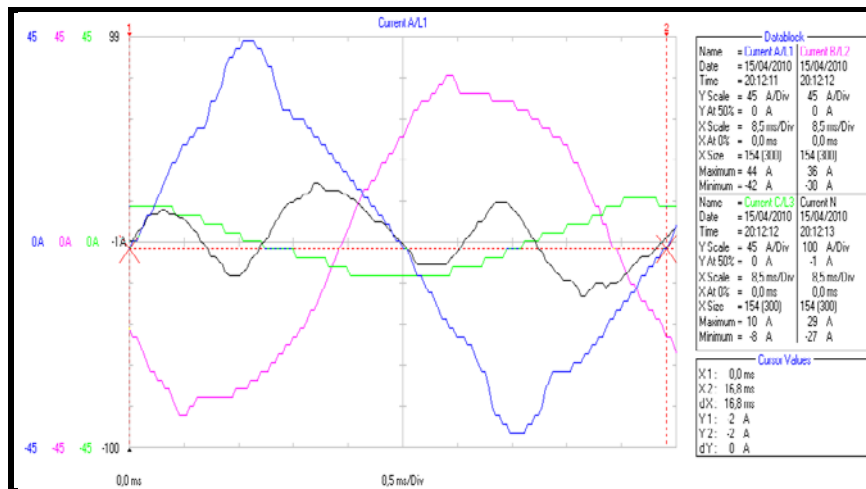


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 46, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #3, 2010.

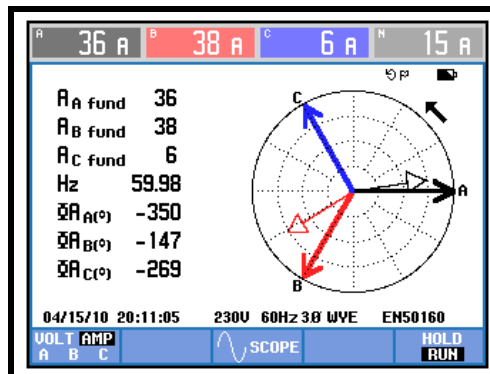


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 47, Detalle fasores corrientes de fases en Breaker #3. 2010.

Medición Breaker B4 (3Ø 150A)

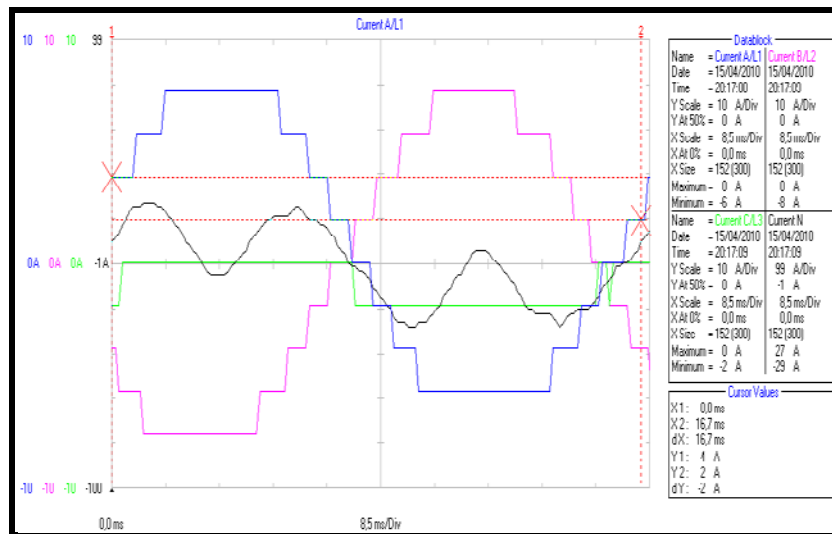


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 48, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #4, 2010.

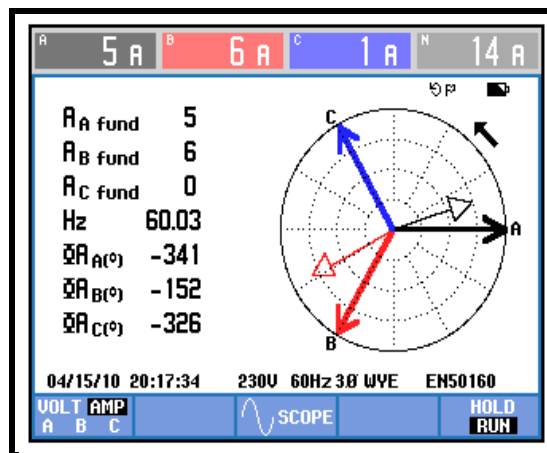


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 49, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #4, 2010.

Medición Breaker B5 (2Ø 50A)



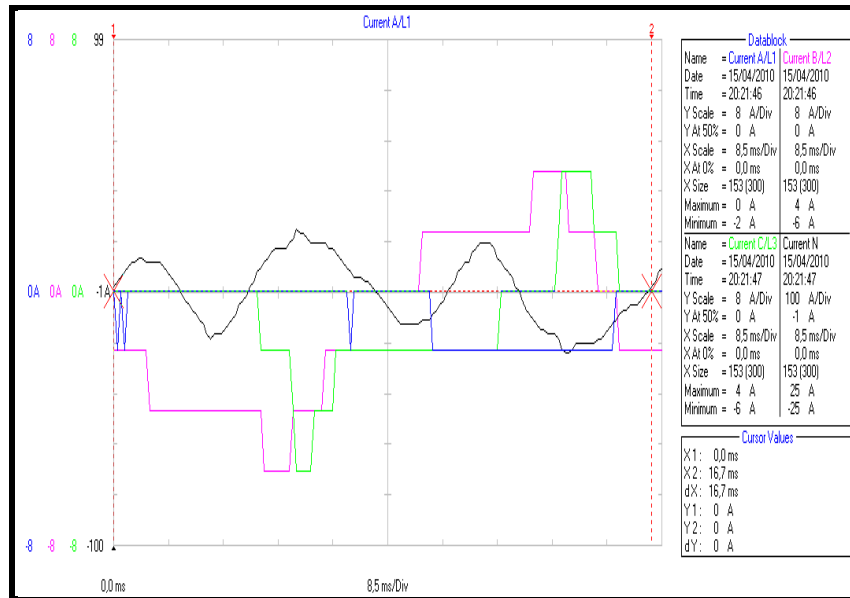
Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 50, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #5, 2010.



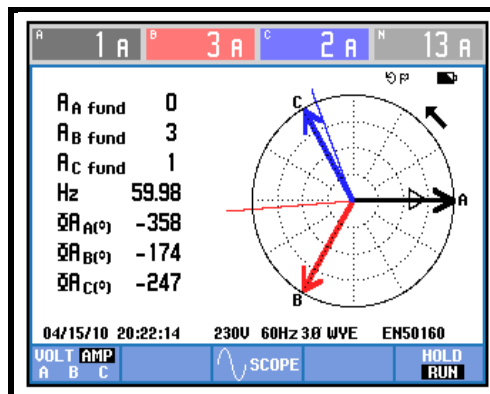
Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 51, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #5, 2010.

Medición Breaker B6 (3Ø 60A)

No hay carga de consideración.



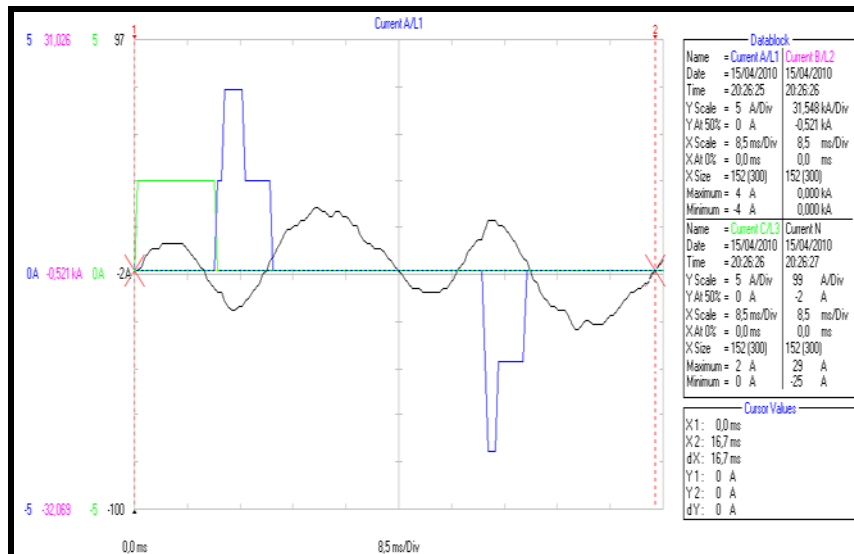
Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 52, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #6, 2010.



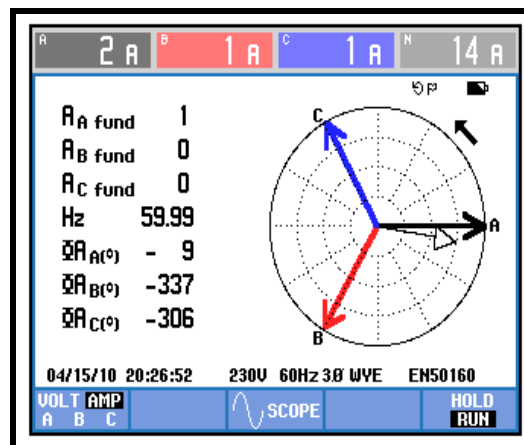
Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 53, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #6.

Medición Breaker B7 (3Ø 60A)

No hay carga de consideración.

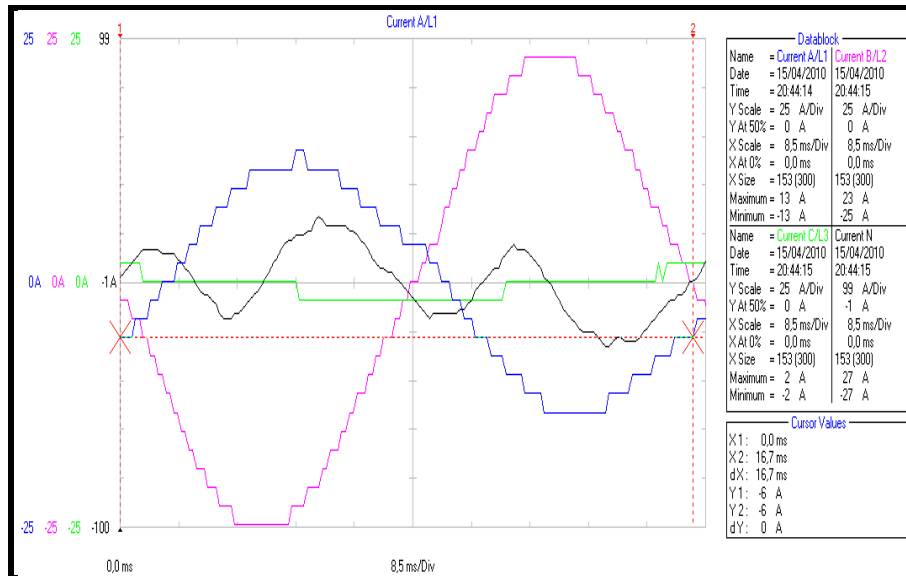


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 54, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #7, 2010.

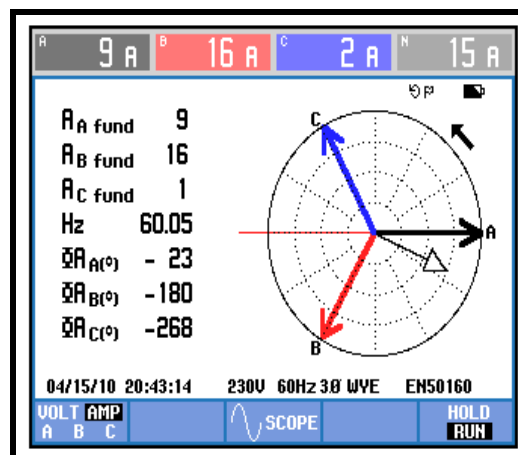


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 55, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #7, 2010.

Medición Breaker B8 (3Ø 70A)

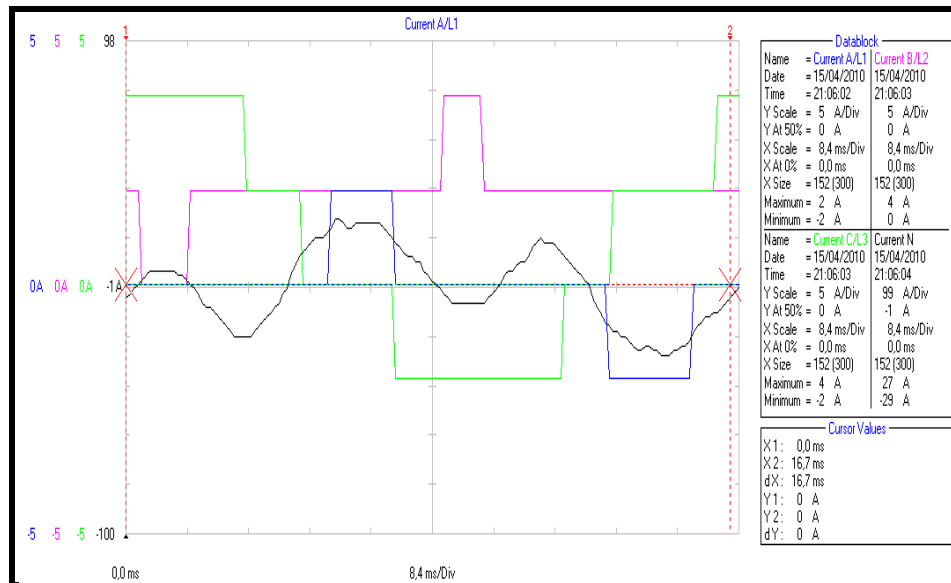


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 56, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #8, 2010.

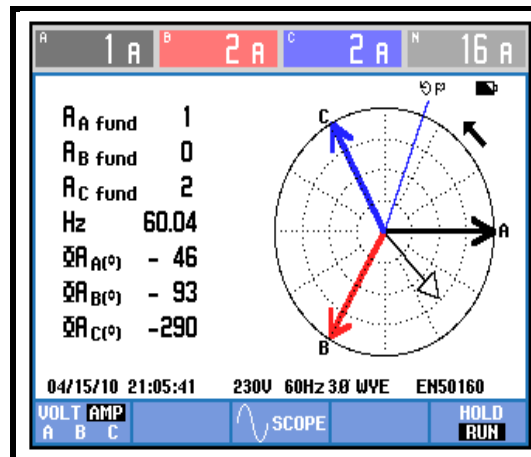


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 57, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #8, 2010.

Medición Breaker B9 (2Ø 60A)

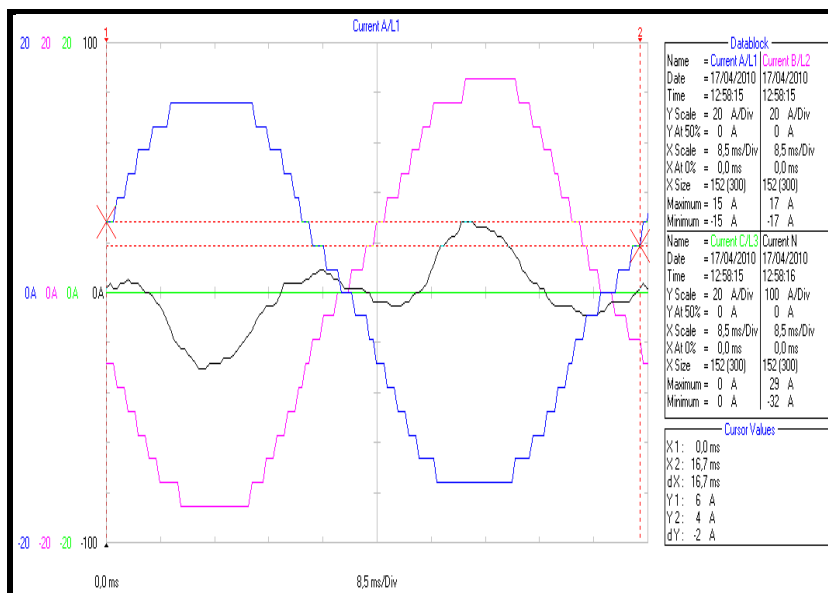


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 58, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #9, 2010.

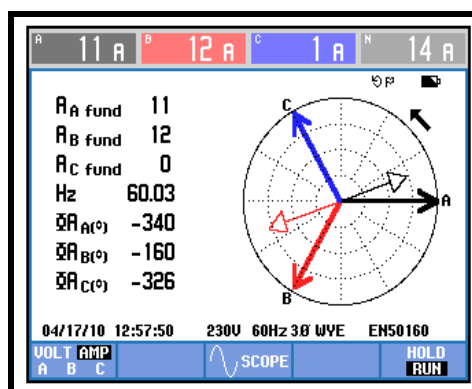


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 59, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #9, 2010.

Medición Breaker B10 (2Ø 60A)

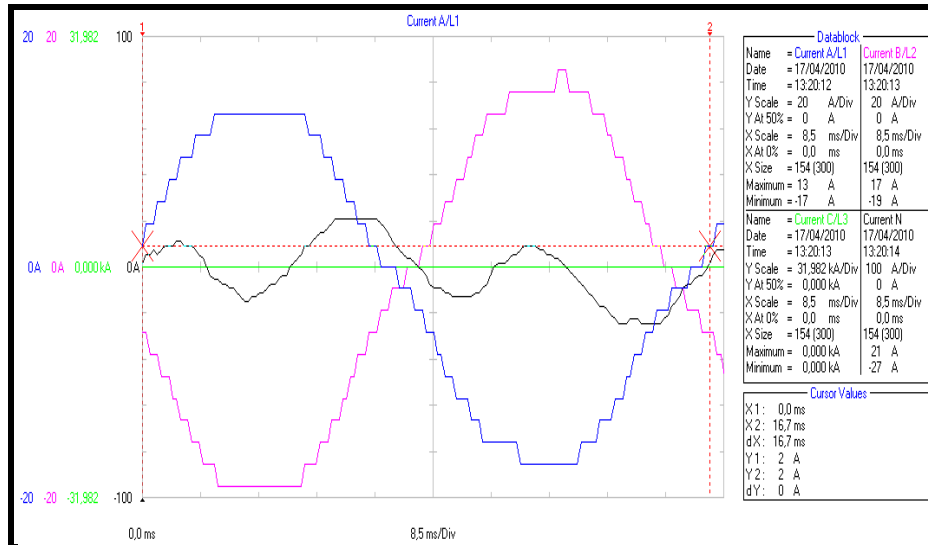


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 60, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #10, 2010.

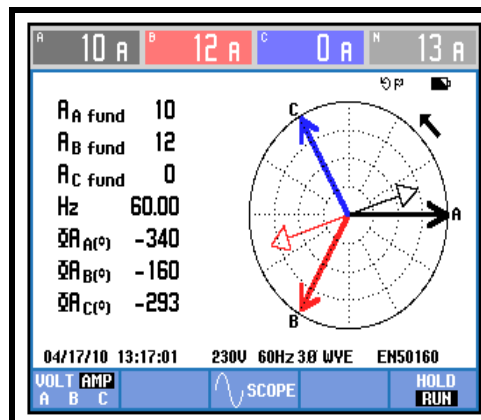


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 61, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #10, 2010.

Medición Breaker B11 (3Ø 70A)

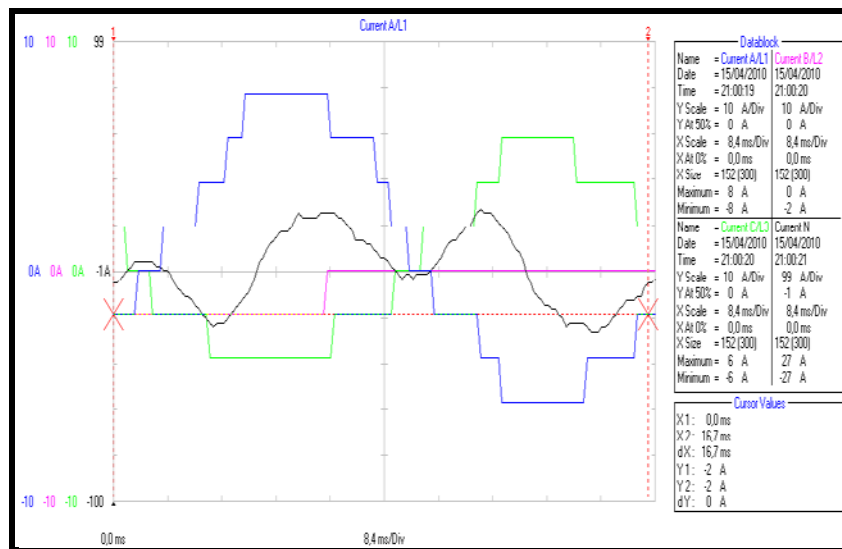


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 62, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #11, 2010.

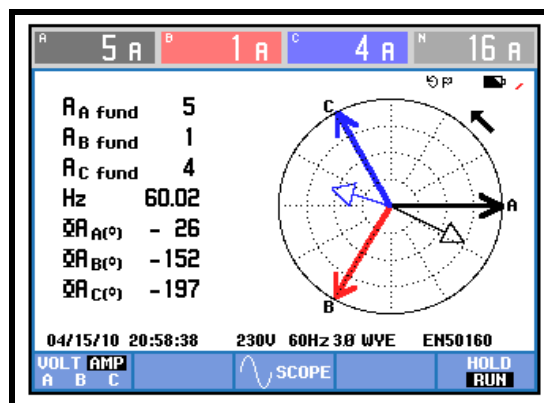


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 63, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #11, 2010.

Medición Breaker B12 (2Ø 50A)

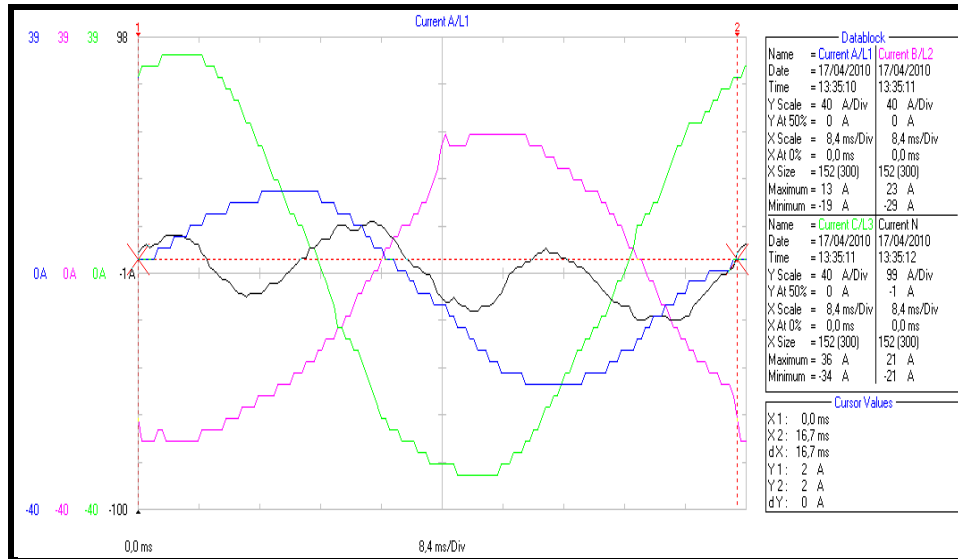


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 64, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #12, 2010

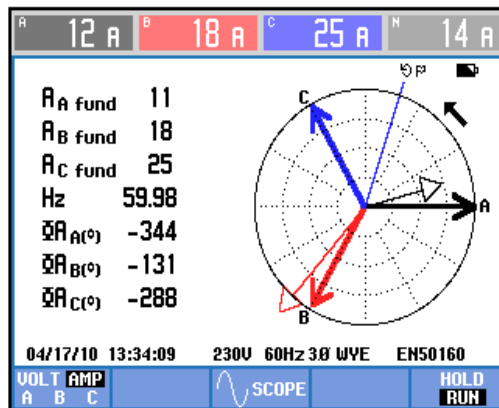


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 65, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #12, 2010.

Medición Breaker B13 (3Ø 70A)



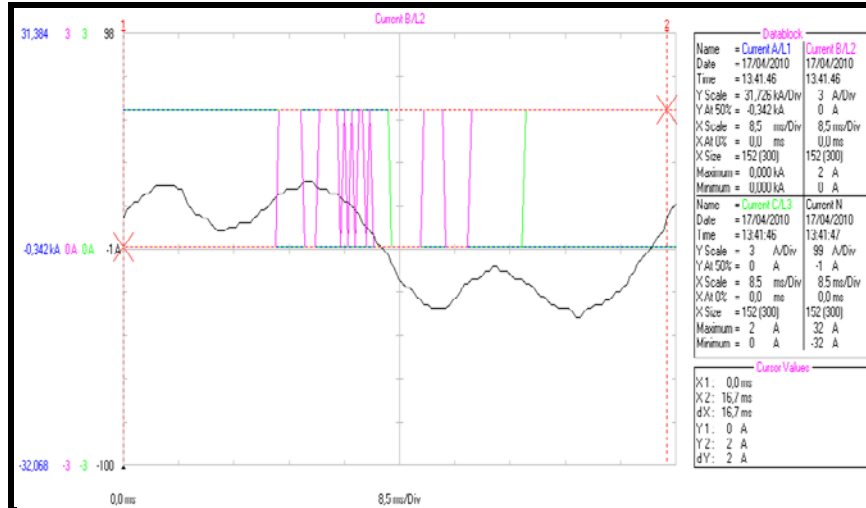
Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 66, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #13, 2010



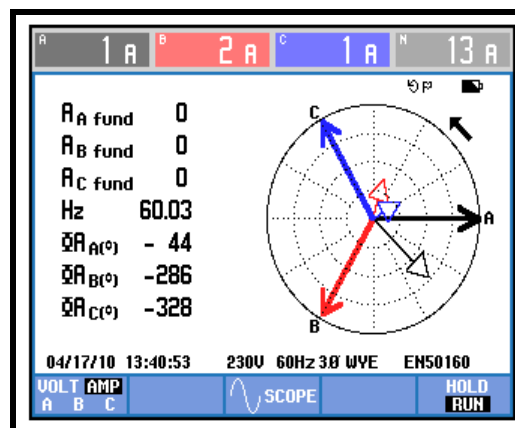
Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 67, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #13.

Medición Breaker B14 (2Ø 50A)

No hay carga de consideración.

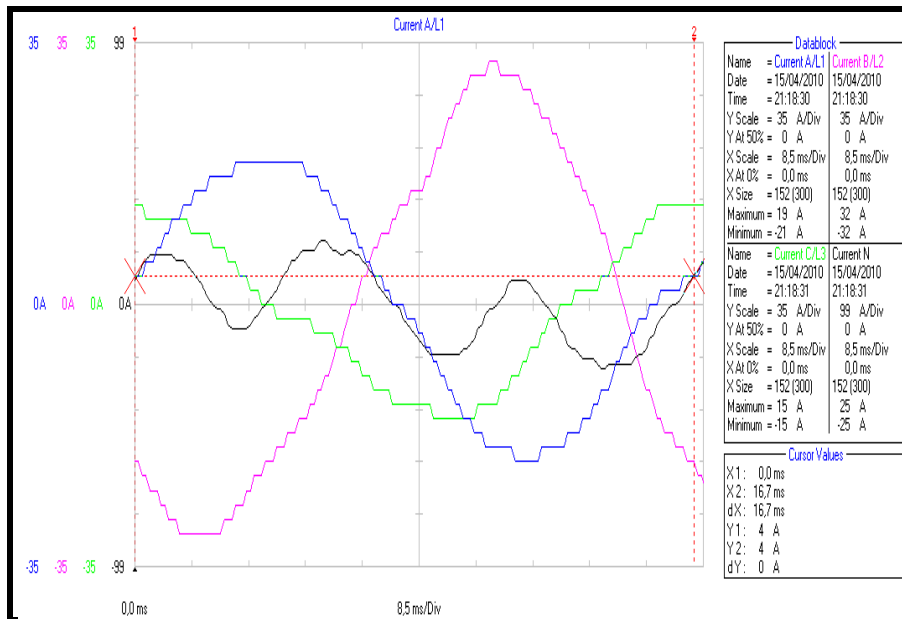


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 68, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #14, 2010.

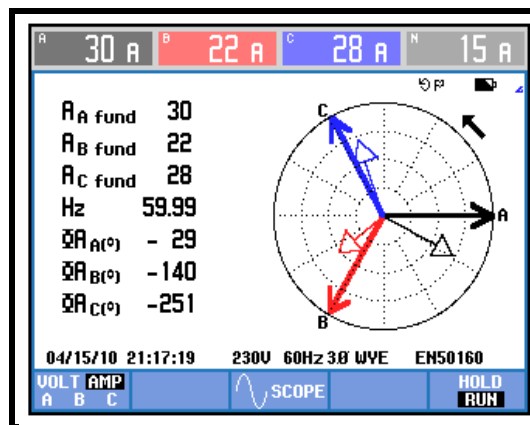


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 69, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #14, 2010.

Medición Breaker B15 (3Ø 70A)

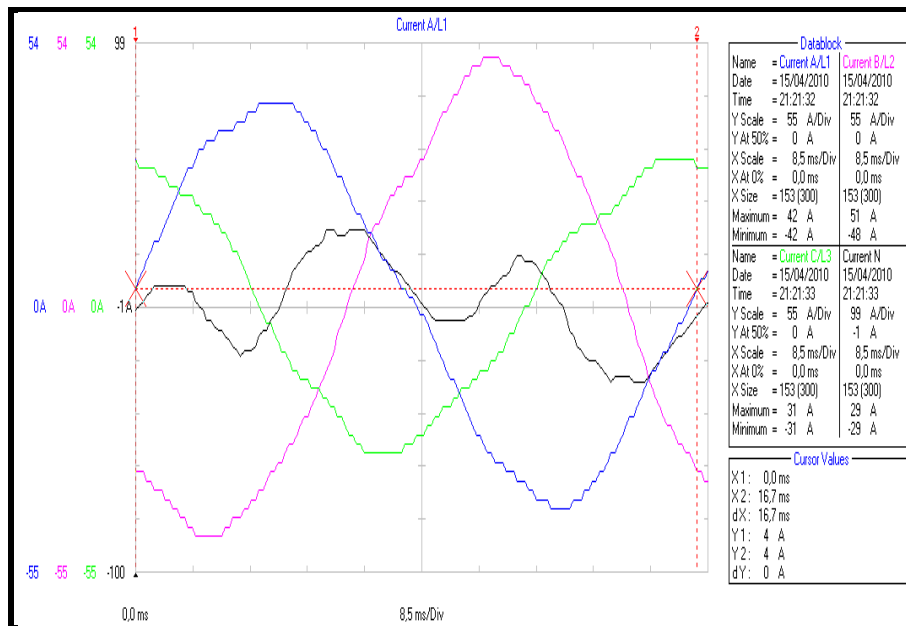


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 70, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #15, 2010.

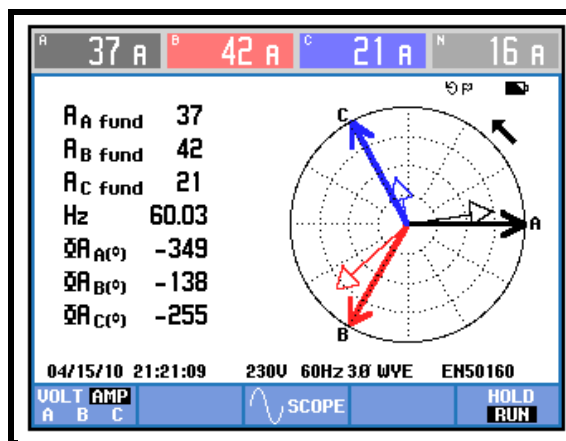


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 71, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #15, 2010.

Medición Breaker B16 (3Ø 70A)



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 72, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #16, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 73, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #16, 2010.

De la información recopilada, por las lecturas individuales de las corrientes de las cargas, en base al voltaje de referencia se realizó la sumatoria de corriente del neutro para hallar la corriente real que aportan estas cargas. Además de las gráficas podemos decir, que las corrientes de fases se encuentran distorsionadas en su gran mayoría lo que indica presencia de armónicos.

Descripción de Cargas Tablero TDP1 y Cálculo de Corriente Neutro Fundamental												
Breaker	Polos	Ampacidad	Ubicación de Fases en Breakers visto Frontalmente de izquierda a derecha Pos 1- Pos 2- Pos 3	Datos Experimentales de Cargas						Calculo Neutro		Comentario
				V(L1) R		V(L2) S		V(L3) T		A(LN) r θ		
				r	θ	r	θ	r	θ			
A(L1) R		A(L2) S		A(L3) T								
r	θ	r	θ	r	θ	r	θ					
B1	3Φ	100A	-	0	0	0	0	0	0	0	0	No cableado
B2	3Φ	150A	-	0	0	0	0	0	0	0	0	No cableado
B3	3Φ	150A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	3	-13	7	-128	5	-249	4	-159	NN
B4	3Φ	150A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	25	2	26	-144	6	-269	9	-66	NN
B5	2Φ	50A	Pos 1:S Pos 2:R	5	19	6	-152	0	0	1	-101	NN
B6	3Φ	60A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R									NN
B7	3Φ	60A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R									NN
B8	3Φ	70A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	9	-23	16	-180	1	-268	9	-163	Servicio General
B9	2Φ	60A	Pos 1:T Pos 2:S	0	0	0,2	-70	2	-292	2	64	NN
B10	2Φ	60A	Pos 1:S Pos 2:R	11	20	12	-160	0	0	1	-165	A/C Contabilidad
B11	3Φ	70A	Pos 1:S Pos 2:R Pos 3:0	11	19	12	-161	0	0	2	-164	Ascensor Lado Sur
B12	2Φ	50A	Pos 1:R Pos 2:T	5	-26	0	0	4	-198	1	-49	NN
B13	3Φ	70A	Pos 1:R Pos 2:S Pos 3:T	11	16	18	-130	25	-289	15	61	NN
B14	2Φ	50A	Pos 1:R Pos 2:T									NN
B15	3Φ	70A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	14	14	21	-140	10	-282	1	-123	NN
B16	3Φ	70A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	29	6	34	-134	21	-255	1	-112	NN
Corriente Total Por Fase				118	6	146	-145	68	90			Hay desequilibrio corriente (24, 53 y 73%)
Corriente Neutro Total Calculada por la Sumatoria de las corrientes de neutro generadas por las cargas										4	-135	Corriente neutro real medido en el grupo de neutros de cargas individuales
Corriente Neutro Medida Experimentalmente										6,4	-46	

Fuente: Los Autores, Tabla 30, Matriz de resumen descriptivo cargas de TDP1,

Los espacios en blanco y de color amarillo representan a las cargas que no están cableadas y a las cargas de que por su corriente característica no se las consideró.

- La primera observación en este tablero es su desbalance entre las corrientes de fases totales, el desbalance sobrepasa lo estipulado por la norma, que indica un desbalance máximo de hasta 40%.
- La segunda observación de esta tabla, es que, la corriente neutra fundamental que aporta este tablero es pequeña y es casi similar a la que calculamos teóricamente. Adicionalmente en evaluación del análisis del registro continuo en el tablero TDP1, y como recordaremos que para registrar la información en este punto colocamos la sonda del neutro en los cables de neutro del transformador T1 que viene a la barra de neutro aislado del tablero mencionado, vemos que tenemos una corriente total de 59 amp con THD de 296% con una corriente fundamental de 15 amp y una corriente armónica de 44 amp, ahora si comparamos las corrientes fundamentales de las dos mediciones notamos que hay un excedente de corriente que ingresa al neutro del transformador T1, lo que nos indica que es muy probable que una parte de la corriente del neutro del tablero TDP2 esté ingresando a este sistema.

De la tabla de resumen de cargas de TDP1 hacemos las siguientes evaluaciones:

	Factor Potencia			Impedancias Actuales					
	fp (L1)	fp (L2)	fp (L3)	x	y	x	y	x	Y
B3	0,98	0,99	0,99	46	10	18	3	25	4
B4	1,00	0,91	0,87	5	0	4	2	19	11
B5	0,95	0,84	0	23	-8	19	12	0	0
B6									
B7									
B8	0,92	0,49	0,88	13	6	4	7	112	60
B9	0	0,65	0,62	0	0	410	-482	39	50
B10	0,94	0,76	0	11	-4	8	7	0	0
B11	0,94	0,75	0	11	-4	8	7	0	0
B12	0,90	0	0,74	25	12	0	0	27	-24
B13	0,96	0,98	0,66	11	-3	7	1	3	4
B14									
B15	0,97	0,94	0,74	9	-2	6	2	10	9
B16	0,99	0,97	0,97	4	0	4	1	6	2

Fuente: Los Autores, Tabla 31, Matriz de resumen fp e impedancias de cargas de TDP1, 2010.

Factor Potencia	fp	0,99	0,90	0,86
Potencia Activa	P	14847	16709	7440
Potencia Reactiva	Q	-1643	8025	4324
Potencia Total	PT	38997		
Potencia Reactiva T	QT	10706		
Potencia Aparente	S	40439		
Factor Potencia sist	fp sist	0,96		

Fuente: Los Autores, Tabla 32, Matriz de resumen Características de la carga total del TDP1, 2010.

- De las tablas anteriores, la tercera observación, es que, las cargas conectadas a los breakers B8, B10, B11, B13 y B15, tienen un bajo factor de potencia de característica de impedancia inductiva y se encuentran entre las fases L2 y L3.
- La cuarta observación es que el factor de potencia en la fase L3 es bajo.
- La quinta observación es que el factor de potencia total del sistema se bueno.
- La potencia aparente absorbida por la carga bordea los 40kva.

Análisis Cargas Individuales.

Hay un desbalance notorio entre las corrientes de fases totales que hay que corregir, además el bajo factor de potencia de algunas de las cargas están causando pérdidas entre los conductores, lo cual representa un gasto innecesario de energía que hay que corregir, hay que separar el cable de neutro del sistema de T2 que está unido al neutro de este punto de medición y por último la potencia aparente 40kva consumida no representa ni el 10% de la capacidad del transformador de 500kva lo que nos indica un desperdicio de capacidad de transformación que además nos dice que el transformador trabaja prácticamente en vacío y por ende deberá estar generando un bajo factor de potencia en la red pública.

4.6.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL PUNTO DE MEDICIÓN EN PDT2 CON NEUTRO DE T2

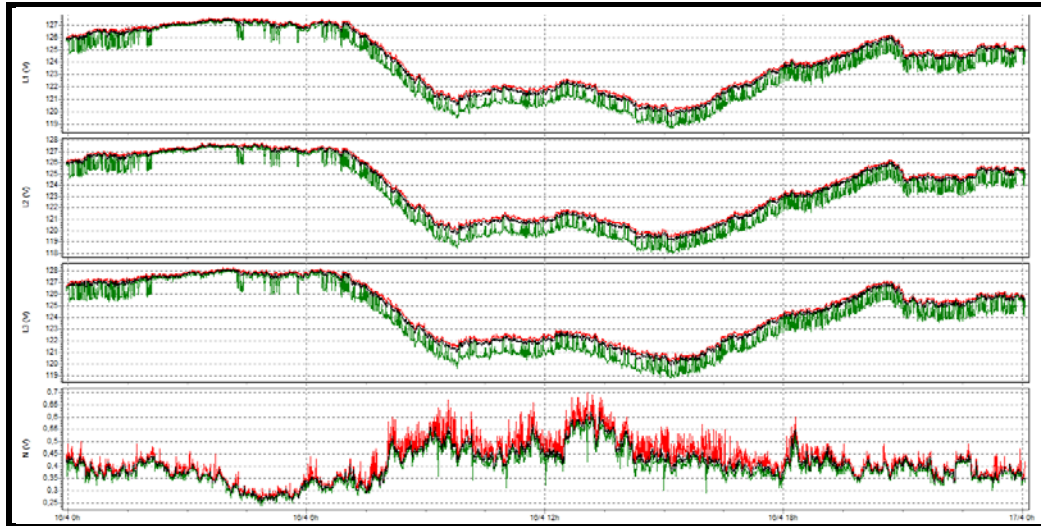
En este punto de medición la demanda tiene un patrón de comportamiento que es prácticamente igual en la mayoría de los días del análisis, este patrón empieza por un periodo de incremento de carga que arranca desde las 06h00 hasta 09h00, después de este periodo empieza un periodo en que la carga es máxima y es sostenida y arranca desde las 09h00 hasta 18h00, luego hay un periodo de decrecimiento de carga que se registra desde las 18h00 hasta 21h00, y por último está el periodo en donde la carga es mínima y se sostiene empezando desde las 21h00 hasta las 06h00.

De este patrón de comportamiento de la carga hemos encontrado magnitudes máximas, mínimas, valores promedio y otros valores más de los parámetros eléctricos que hemos considerado como importantes y el resumen evaluativo se lo presenta a continuación:

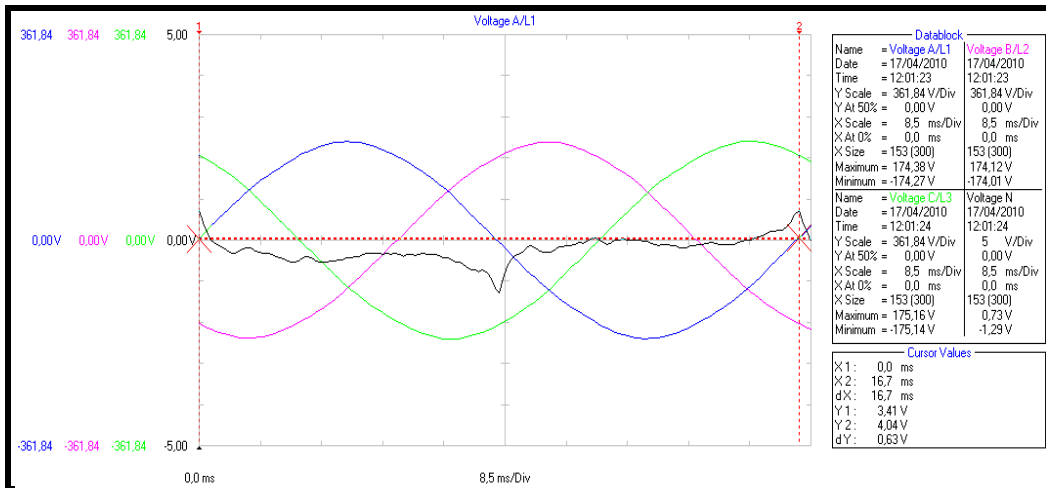
Medición de voltajes.-

En este punto de medición la tensión mínima llega hasta 117,7v en el lapso de 15h00 a 18h00 horas que se encuentran dentro del periodo carga máxima, disminución de voltaje que representa el 7,8% del voltaje nominal de 127v, también podemos observar que la tensión máxima llega hasta 128,3v en el lapso de 03h00 a 06h00 horas que se encuentra en el periodo de mínima carga, este aumento de voltaje representa el 1% del voltaje nominal. Respecto al voltaje en el neutro la tensión máxima entre el neutro del sistema y la tierra llega hasta 0,81v en horas del periodo de incremento de carga y excede el valor del voltaje máximo de la norma que es de 0,7v.

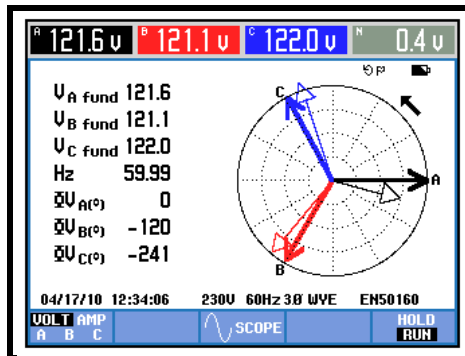
En las tablas podemos observar que el desbalance máximo entre las fase se produce cuando el voltaje es bajo y llega a un desbalance máximo de 1% valor que se encuentra dentro de la norma que establece un valor máximo de desbalance de hasta 3%.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 74, Detalle de Voltajes respecto al tiempo, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 75, Detalle de Voltajes sinusoidales, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 76, Detalle de Voltajes Fasoriales,

Matriz Resumen de Valores de Voltajes V(L1)						Matriz Resumen de Valores de Voltajes V(L2)					
Periodo de Análisis		Valores				Periodo de Análisis		Valores			
Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia	Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
03h00 a 06h00	V(L1)	127,6				03h00 a 06h00	V(L2)	127,8			
15h00 a 18h00	V(L1)		118,6			15h00 a 18h00	V(L2)		117,7		
06h00 a 09h00	V(L1)			6,3		06h00 a 09h00	V(L2)			7,1	
03h00 a 06h00	V(L1)				1,6	03h00 a 06h00	V(L2)				1,8

Matriz Resumen de Valores de Voltajes V(L3)						Matriz Resumen de Valores de Voltajes V(N)					
Periodo de Análisis		Valores				Periodo de Análisis		Valores			
Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia	Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
03h00 a 06h00	V(L3)	128,3				09h00 a 12h00	V(N)	0,81			
15h00 a 18h00	V(L3)		118,8			03h00 a 06h00	V(N)		0,24		
06h00 a 09h00	V(L3)			6,8		09h00 a 12h00	V(N)			0,44	
03h00 a 06h00	V(L3)				1,8	03h00 a 06h00	V(N)				0,11

Fuente: Los Autores, Tabla 33, Matrices de resúmenes de voltajes, 2010.

- Análisis del índice de calidad del servicio de voltaje.-**

De acuerdo con la normativa impuesta en nuestro país por el CONELEC de acuerdo a la Regulación 004/01, el distribuidor debe entregar el voltaje al consumidor dentro del +/-10% de la magnitud del voltaje nominal. En este punto de medición el voltaje está dentro de lo estipulado en esta norma (entre 117,7v y 128,3v) no obstante el voltaje mínimo 117,7v en el lapso de 15h00 a 18h00, está llegando al límite de lo permitido, este indicativo nos advierte que el distribuidor está a punto de incumplir con la Normativa de Regulación de Voltaje.

Mediciones de Corrientes.-

- **Registro de Valores Promedio de Corrientes:**

Siguiendo con el análisis en este punto, hemos podido encontrar serios desbalances de corrientes entre las fases que deben ser considerados, los desbalances en horas de máxima carga, es decir en el lapso de 09h00 a 18h00, llega hacer entre la fase 1 y 2 un 38%, el desbalance entre la fase 2 y 3 llega a 7%, el desbalance entre la fase 3 y 1 llega a 32%. Los desbalances en horas de mínima carga, es decir, en el lapso de 21h00 a 06h00, llega hacer entre la fase 1 y 2 un 50%, el desbalance entre la fase 2 y 3 llega a 6%, el desbalance entre la fase 3 y 1 llega a 28%.

Estos valores nos indican que en el tablero están mal balanceadas las cargas y que por consecuencia han de crear corrientes en el neutro producto de estos desbalance altos y además se está incumpliendo con la norma que indica un desbalance máximo de 40%, hay que plantear soluciones, ya que, si se logra balancear las cargas correctamente podremos mejorar la condición del voltaje y disminuir la circulación de corrientes por el neutro. Según los valores de la tabla, la corriente promedio en el neutro en horas de máxima carga llega hacer 83amp y en horas de mínima carga llega hacer 27 amp, estas magnitudes de amperajes confirman el desbalance que hemos encontramos.

- **Registro de Valores Máximos de corrientes:**

Luego de hallar los valores de los desbalances que se producen en los periodos de máxima y mínima carga, lo que ahora necesitamos saber es en qué hora en particular dentro de estos periodos tienen una mayor incidencia los desbalances, para esto nos ayudaremos de los valores de amperaje rms máximos registrados.

De la información de las tablas que presentamos a continuación observamos que la hora de mayor incidencia de desbalance de corriente dentro del periodo de máxima carga esta en el lapso de 15h00 a 18h00 es decir tres horas en que los neutros de las cargas individuales consumen potencia innecesariamente, y la hora de mayor incidencia de desbalance de corriente dentro del periodo de mínima carga es en el

lapso de 03h00 a 06h00 de igual manera 3 horas de consumo de potencia en los neutros.

Matriz Resumen de Valores Promedio de Corrientes A(L1)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	Promedio Diferencia
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		A(L1)	210	50	160
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		A(L1)	255	156	99
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		A(L1)	194	92	102
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		A(L1)	118	54	64

Matriz Resumen de Valores Promedio de Corrientes A(L2)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	Promedio Diferencia
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		A(L2)	331	95	236
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		A(L2)	357	226	132
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		A(L2)	268	139	129
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		A(L2)	170	81	89

Matriz Resumen de Valores Promedio de Corrientes A(L3)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	Promedio Diferencia
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		A(L3)	313	72	241
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		A(L3)	367	251	116
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		A(L3)	287	144	144
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		A(L3)	158	76	82

Matriz Resumen de Valores Promedio de Corrientes A(LN)					
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	Promedio Diferencia
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		A(LN)	89	31	58
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		A(LN)	83	51	32
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		A(LN)	67	36	31
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		A(LN)	49	27	22

Fuente: Los Autores, Tabla 34, Matrices de resúmenes de amperajes promedios, 2010.

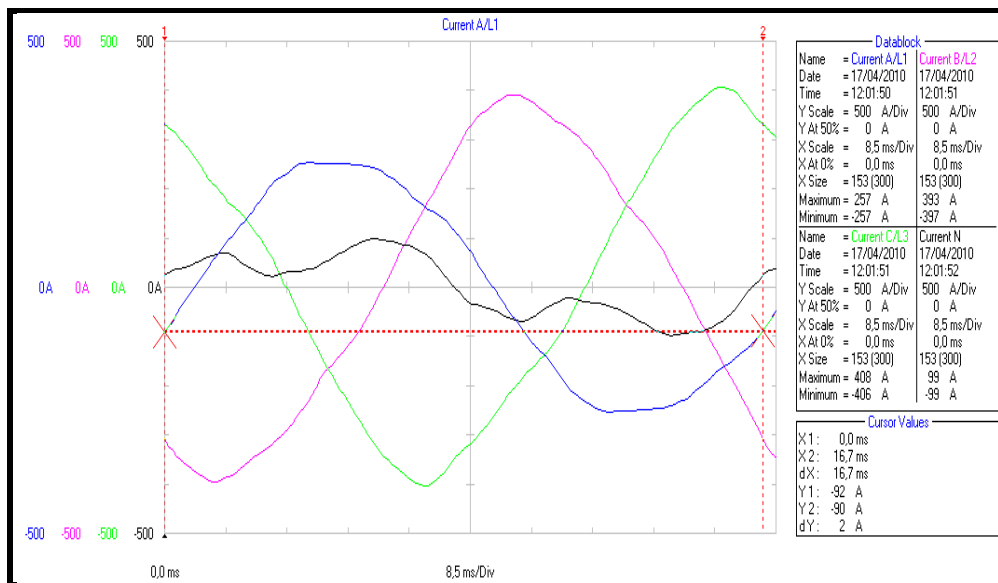
Matriz Resumen de Valores Máximos de Corrientes A(L1)					
Periodo de Análisis		Amperajes			
Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
15h00 a 18h00	A(L1)	289			
03h00 a 06h00	A(L1)		42		
06h00 a 09h00	A(L1)			172	
03h00 a 06h00	A(L1)				43

Matriz Resumen de Valores Máximos de Corrientes A(L2)					
Periodo de Análisis		Amperajes			
Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
15h00 a 18h00	A(L2)	408			
03h00 a 06h00	A(L2)		67		
06h00 a 09h00	A(L2)			269	
03h00 a 06h00	A(L2)				61

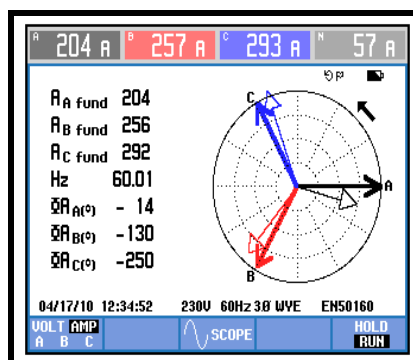
Matriz Resumen de Valores Máximos de Corrientes A(L3)					
Periodo de Análisis		Amperajes			
Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
15h00 a 18h00	A(L3)	412			
03h00 a 06h00	A(L3)		66		
06h00 a 09h00	A(L3)			282	
03h00 a 06h00	A(L3)				48

Matriz Resumen de Valores Máximos de Corrientes A(LN)					
Periodo de Análisis		Amperajes			
Hora	Fase	Máx.	Mín.	Mayor Diferencia	Mínima Diferencia
09h00 a 12h00	A(LN)	103			
03h00 a 06h00	A(LN)		23		
06h00 a 09h00	A(LN)			74	
03h00 a 06h00	A(LN)				14

Fuente: Los Autores, Tabla 35, Matrices de resúmenes de amperajes máximos, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 77, Detalle de Amperajes Sinusoidales, 2010.

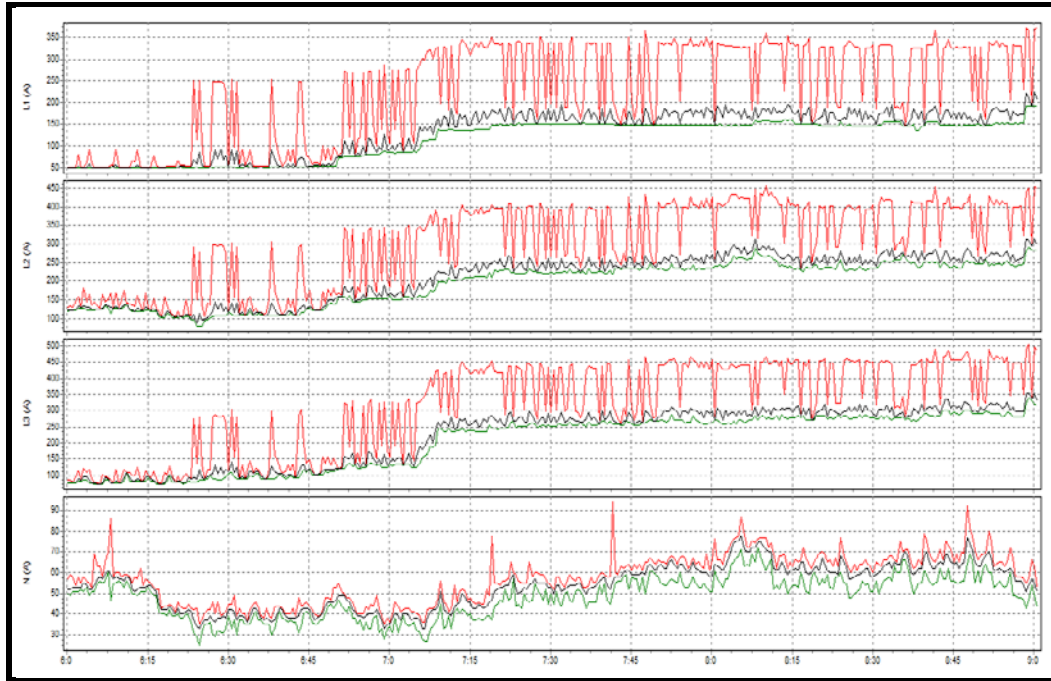


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 78, Detalle de Amperaje Fasorial,

- **Registro de picos Altos de corrientes:**

Siguiendo con el análisis en este punto, necesitamos conocer las características del tipo de carga que existe en este tablero de distribución, para ésto nos ayudamos de los datos almacenados de las corrientes picos y de los curvas graficadas, por estos datos o también llamadas tendencias de corrientes. Se realiza una inspección manual de las tendencias de corrientes y se contabiliza los picos producidos según los periodos de carga antes mencionados, esta información la resumimos promediando los valores encontrados y los presentamos en tablas.

De las tablas que obtuvimos podemos decir que existe una carga trifásica, que es intermitente con una intermitencia máxima de 15 minutos y tiene una magnitud de corriente pico en promedio de 150 amp por fase con una potencia aproximada de 60kva, por último encontramos que el índice de picos de corriente en el neutro no guarda relación con el índice de la carga trifásica intermitente, lo que nos indica, que, muy probablemente sea una carga balanceada que muy probablemente sea de un motor.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 79, Detalle de Picos de Amperajes en periodo -Incremento de carga.

Picos Altos de Amperaje tiempos Largos (>5 min)				
Periodo	# Picos x hora	Promedio Amp Máx. Pico	Magnitud Promedio Pico	Fase
06h00 a 09h00	38,00	351,00	147,00	A(L1)
09h00 a 18h00	38,50	388,70	159,30	
18h00 a 21h00	45,50	341,50	179,00	
21h00 a 06h00	19,78	270,78	187,11	

Picos Altos de Amperaje tiempos Largos (>5 min)				
Periodo	# Picos x hora	Promedio Amp Máx. Pico	Magnitud Promedio Pico	Fase
06h00 a 09h00	38,00	453,33	143,00	A(L2)
09h00 a 18h00	38,50	480,80	154,70	
18h00 a 21h00	45,50	411,00	138,00	
21h00 a 06h00	19,78	316,56	179,78	

Picos Altos de Amperaje tiempos Largos (>5 min)				
Periodo	# Picos x hora	Promedio Amp Máx. Pico	Magnitud Promedio Pico	Fase
06h00 a 09h00	38,00	455,67	155,33	A(L3)
09h00 a 18h00	38,50	500,20	149,60	
18h00 a 21h00	45,50	431,00	158,00	
21h00 a 06h00	19,78	308,33	172,44	

Picos Amperaje Altos				
Periodo	# Picos x hora	Promedio Amp Máx. Pico	Magnitud Promedio Pico	Fase
06h00 a 09h00	5,33	103,67	31,67	A(LN)
09h00 a 18h00	2,70	101,70	31,50	
18h00 a 21h00	3,00	90,00	38,50	
21h00 a 06h00	2,44	74,56	34,33	

Fuente: Equipo FLUKE 435, Tabla 36, Matrices de resúmenes Picos de Amperajes, 2010.

- **Análisis del Amperaje.-**

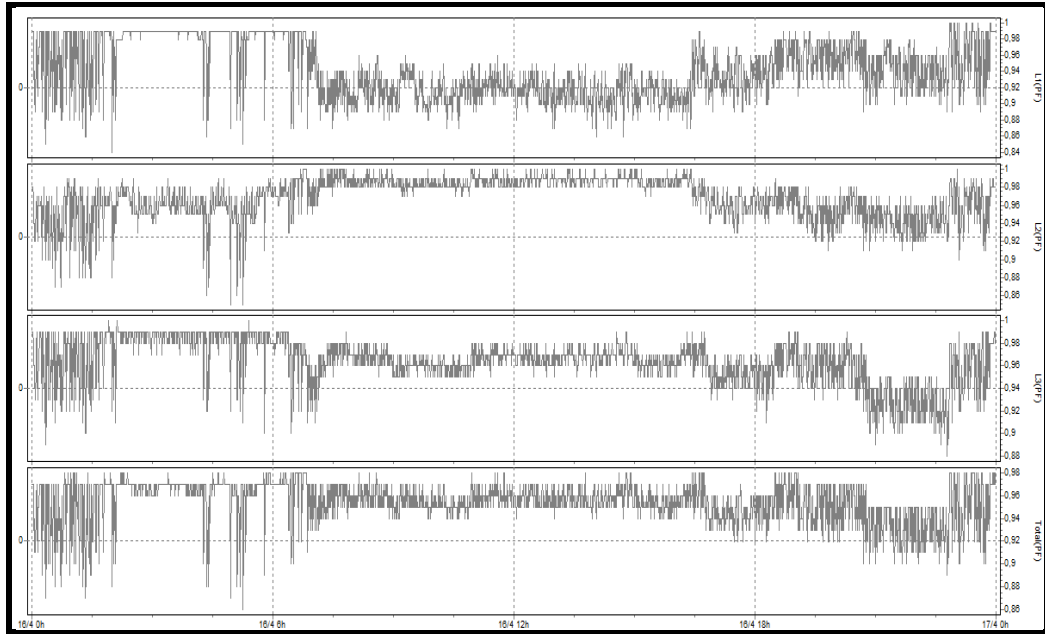
En resumen, en este punto de medición, en el periodo de máxima carga, tenemos una corriente promedio máxima de 331 amp y encontramos en este mismo periodo desbalances de corrientes entre las fases de manera particular desde las 15h00 a 18h00, se presentan desbalances significativos, estos desbalances están incumpliendo con la norma que sólo admite hasta un máximo de 40%. En el periodo de mínima carga, tenemos una corriente promedio 54 amp y encontramos desbalances de corrientes entre las fases y de manera particular de 03h00 a 06h00. Además, encontramos picos de arranque altos de una duración máxima de 15 minutos que corresponden a una carga trifásica (Presumiblemente de un motor) la magnitud de la corriente pico de esta carga es de aproximadamente 150amp por fase con una potencia aproximada de 60kva.

Medición de Factor de Potencia.-

De los datos registrados, se realizó una tabla resumen en el que encontramos, que el factor de potencia total de este punto en promedio durante el periodo de máxima carga es de 0,97 y en el periodo de mínima carga, el factor de potencia en promedio es de 0,97, lo cual indica que se encuentra dentro de la norma.

	Fp (L1)	Fp (L2)	Fp (L3)	Fp (T)
Horas	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
06h00 a 09h00	0,97	0,99	0,98	0,98
09h00 a 18h00	0,96	0,99	0,98	0,97
18h00 a 21h00	0,98	0,98	0,97	0,97
21h00 a 06h00	0,99	0,97	0,98	0,97

Fuente: Los Autores, Tabla 37, Matriz de resumen de Factores de Potencia, 2010.



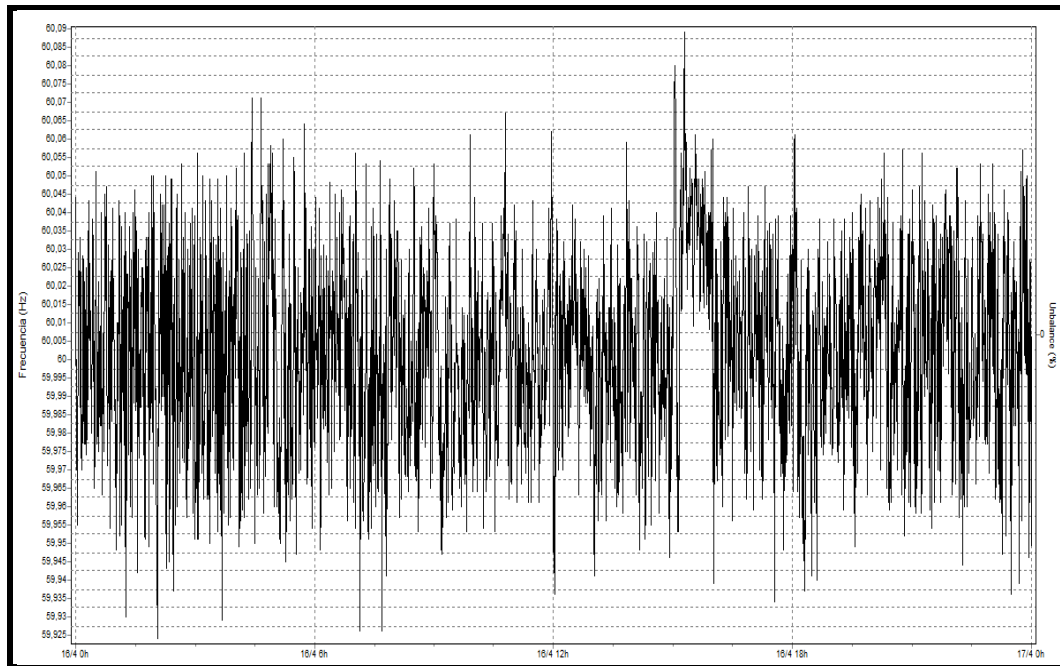
Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 80, Detalle de Factor de Potencia, 2010.

Medición de Frecuencia.-

Se ha procedido a realizar una tabla resumen de los valores máximos y mínimos, respecto a las variaciones de frecuencia registradas en este punto de medición, el NATSIM Código Normativo de la Distribuidora Eléctrica de la ciudad de Guayaquil, estipula una variación máxima de frecuencia que esté por el orden de +/-5%. De lo observado en la tabla de valores de frecuencia, podemos decir, que, los porcentajes de distorsión están dentro de lo permitido por tanto no habría problema en la frecuencia del sistema.

Matriz Resumen de Valores de Frecuencia				
Periodo de Análisis	Valores			
Hora	Máx. Hz	Mín. Hz	% Distorsión Máx.	% Distorsión Mín.
15h00 a 18h00	60,1			
24h00 a 03h00		59,9		
15h00 a 18h00			0,21	
24h00 a 03h00				0,24

Fuente: Los Autores, Tabla 38, Matriz de Resumen de Frecuencia, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 81, Detalle de Frecuencia,

Medición THD de voltajes.-

De la información registrada se procedió a construir tablas de resumen para cada fase en el que se promedian los valores máximos THD de voltajes y se identifica el armónico preponderante según el comportamiento de la carga.

Según la Norma EN50160, el porcentaje de distorsión armónica máxima para el voltaje es de 8%, de las Tablas de Resumen encontramos que, el THD voltaje máximo de las fases en este punto de medición está durante las horas 24h00 del día, con un porcentaje de distorsión THD de 1,8%, con una incidencia preponderante de la 5ta armónica. Estos valores son aceptables y se encuentran dentro de la norma citada anteriormente. El THD voltaje del neutro llega a su valor máximo de distorsión en las horas de incremento de la carga en el lapso de 06h00 a 09h00, con un porcentaje de distorsión THD de 125%, con una incidencia preponderante de la 3era armónica, este valor de THD representa el porcentaje de distorsión del voltaje RMS del neutro de este sistema que en promedio oscila por los 0,81v, lo cual por la magnitud que tiene no representa un problema.

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Voltaje (L1)					
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Voltaje		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD valores Máx.	Promedio Armo >	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			L1	1,8	5
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			L1	1,4	5
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			L1	1,8	5
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			L1	1,8	5

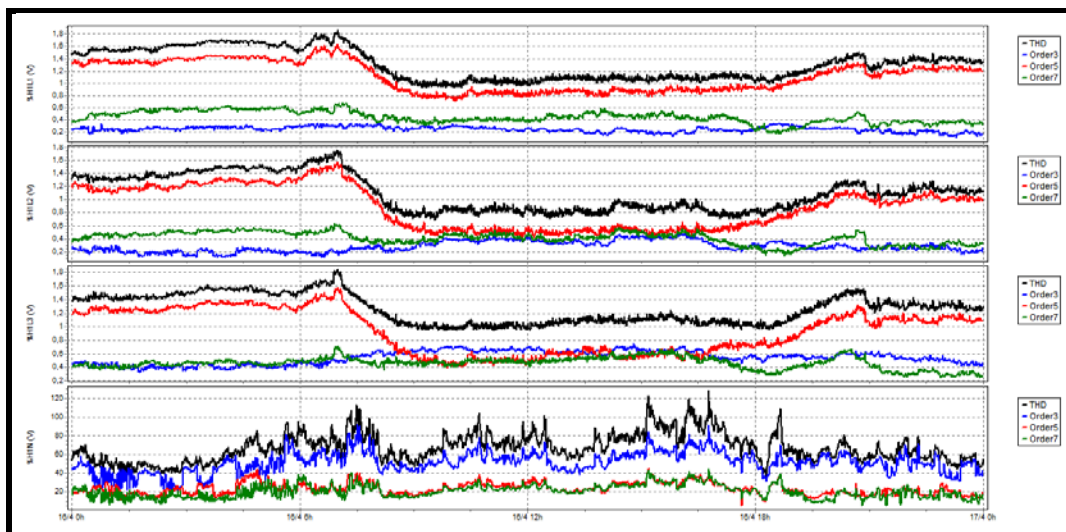
Matriz Resumen de Valores Promedio THD Voltaje (L2)					
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Voltaje		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD valores Máx.	Promedio Armo >	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			L2	1,7	5
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			L2	1,2	5 y 7
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			L2	1,6	5
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			L2	1,6	5

Fuente: Los Autores, Tabla 39, Matriz de resumen de THD voltajes en L1 y L2, 2010.

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Voltaje (L3)					
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Voltaje		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD Valores Máx.	Promedio Armo >	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			L3	1,8	5
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			L3	1,4	3 y 5
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			L3	1,8	5
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			L3	1,7	5

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Voltaje (LN)					
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Voltaje		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD Valores Máx.	Promedio Armo >	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			LN	125,4	3
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			LN	112	3
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			LN	90,8	3
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			LN	81,2	3

Fuente: Los Autores, Tabla 40, Matriz de resumen de THD voltajes en L3 y LN, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 82, Detalle Evolución Temporal THD y Armónicos de Voltajes, 2010.

Mediciones THD de corrientes.-

De la información registrada, se procedió a construir tablas de resumen para cada fase en el que se promedian los valores máximos de THD de corrientes y se identifica el armónico preponderante según el comportamiento de la carga.

Según la Norma del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) indican en su Normativa IEEE – 519, que el THD de corriente máximo permisible en cada fase debe de ser menor o igual a 8%, de las tablas de resumen encontramos que el THD corriente máximo en las fases en este punto de medición está en las horas de mínima a incremento de carga en el lapso de 21h00 a 09h00, con un porcentaje de distorsión THD de 18,9% con una incidencia preponderante de la 3ra. Armónica y en menos proporción la 5ta armónica, también hay que indicar que en el resto del día de la medición el THD oscila entre 6 y 13%. Estos valores No son aceptables y se encuentran fuera de la norma citada anteriormente para las armónicas de corrientes en las fases.

El THD de corriente del neutro llega a su valor máximo de distorsión en las horas de decremento a mínima carga en el lapso de 18h00 a 06h00, con un porcentaje de distorsión THD de 140%, con una incidencia preponderante de la 3era armónica, este valor de THD representa el porcentaje de distorsión de la corriente RMS del neutro de este sistema que en promedio oscila en estos periodos por 67 amp, lo cual significa que, la corriente real en el neutro es de aproximadamente 28 amp y que 39 amp corresponden mayoritariamente a la aportación de la corriente de la 3era armónica.

Dentro de este análisis, en este punto hay que dejar claro que, por la configuración inusual del conexionado eléctrico no nos deja asegurar si los 28 y 44 amp encontrados en el neutro corresponden en su totalidad a la aportación de las corrientes de las fases de este tablero TDP2 (sistema transformador T2), debido a que el neutro de este sistema se une al neutro del sistema de T1 por medio del tablero TDP1 por lo que, bien podría estar absorbiendo o inyectando corrientes al neutro en este punto. Para despejar esta interrogante hemos tenido que realizar análisis a las cargas individuales de este tablero para conocer cuáles son sus aportes de corrientes al neutro, este análisis será descrito al finalizar la medición en este punto.

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Amperaje (L1)					
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Amperaje		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD valores Máx.	Promedio Armo >	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			L1	15,4	3 y 5
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			L1	6	3 y 5
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			L1	10,6	3 y 5
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			L1	15	3

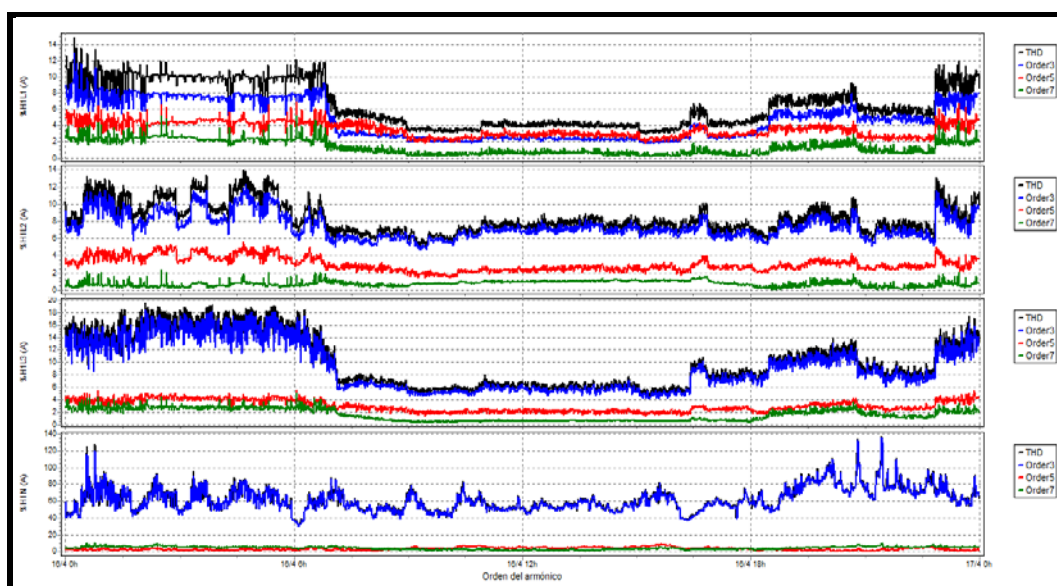
Matriz Resumen de Valores Promedio THD Amperaje (L2)					
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Amperaje		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD valores Máx.	Promedio Armo >	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			L2	10,7	3
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			L2	9,3	3
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			L2	11,3	3
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			L2	14	3

Fuente: Los Autores, Tabla 41, Matriz de resumen de THD corrientes en L1 y L2, 2010.

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Amperaje (L3)					
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Amperaje		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD valores Máx.	Promedio Armo >	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			L3	18	3
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			L3	9,2	3
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			L3	12,9	3
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			L3	18,9	3

Matriz Resumen de Valores Promedio THD Amperaje (LN)					
Periodo de Análisis			Distorsión Armónica de Amperaje		
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio THD valores Máx.	Promedio Armo >	
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00			LN	108	3
Horas de Máxima carga 09h00 18h00			LN	90	3
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00			LN	140,8	3
Horas de Mínima carga 21h00 06h00			LN	139,6	3

Fuente: Los Autores, Tabla 42, Matriz de resumen de THD corrientes en L3 y LN, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 83, Detalle evolución temporal THD y armónicos de corrientes, 2010.

Mediciones Parpadeos de Luminarias o Flickers.-

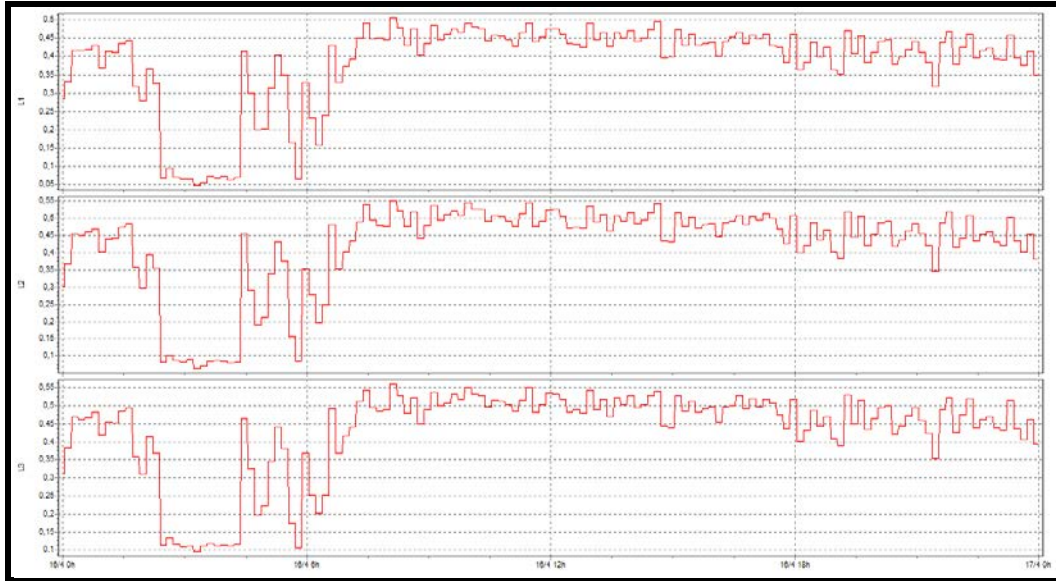
Para analizar los parpadeos de tensión FLICKERS de los datos descargados, creamos una tabla de resumen, en la cual colocamos los valores máximos de los flickers con el número de veces que en promedio se registraban en una hora, esta información la separamos por las horas de incremento, horas de máxima carga, horas de decremento y de mínima carga.

Para analizar los valores resumidos en tabla nos remitimos a utilizar las Normas del CONELEC 004/01, las europeas EN50160 y EN61000-4-15 de compatibilidad electromagnética (CEM), en la que indica que para ensayos y técnicas de medición de Flickers para sistemas de baja tensión, el de corta duración debe ser máximo 1 Pst y para el flicker de larga duración debe ser máximo 0,74 Plt, según lo publicado el 15/07/1998, entonces observamos que no hay problemas para el FLICKER (Pst), ni para los FLICKERS (Plt).

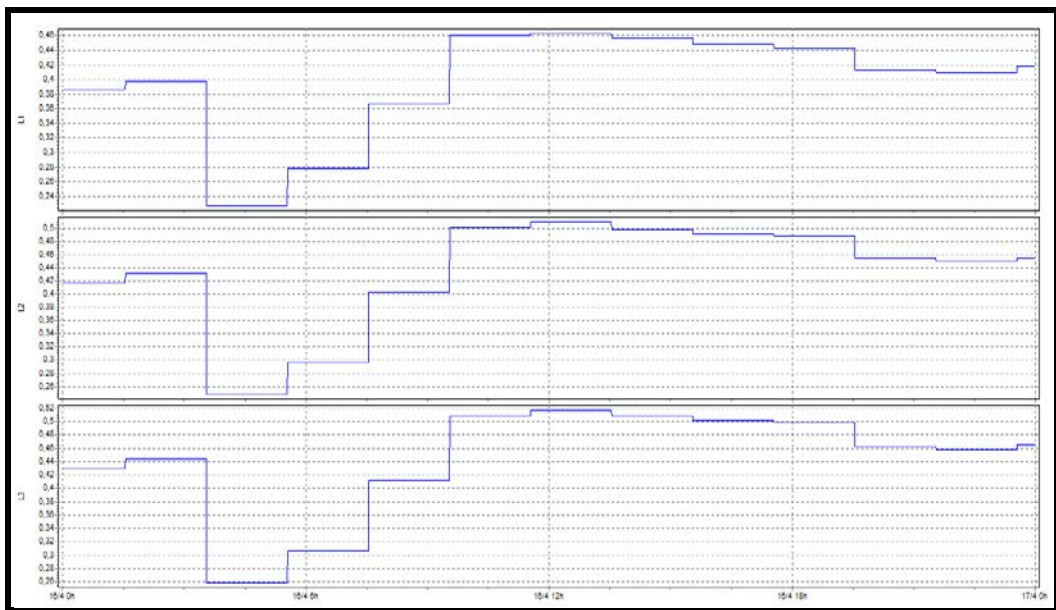
Valores Promedio

Horas	Pst L1		Pst L2		Pst L3		Plt L1		Plt L2		Plt L3	
	Máx.	# veces x Hora	Máx.	# veces x Hora	Máx.	# veces x Hora	Máx.	# veces x Hora	Máx.	# veces x Hora	Máx.	# veces x Hora
06h00 a 09h00	0,46	120,00	0,52	120,00	0,53	120,00	0,34	120,00	0,37	120,00	0,38	120,00
09h00 a 18h00	0,48	120,00	0,52	120,00	0,53	120,00	0,42	113,48	0,46	113,48	0,47	113,48
18h00 a 21h00	0,46	120,00	0,50	120,00	0,51	120,00	0,43	120,00	0,48	120,00	0,49	120,00
21h00 a 06h00	0,39	120,00	0,44	120,00	0,44	120,00	0,35	113,15	0,38	113,15	0,39	113,15

Fuente: Los Autores, Tabla 43, Matriz de resumen valores promedio Flickers, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 84, Detalle Evolución Temporal FLICKER (Pst), 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 85, Detalle Evolución Temporal FLICKER (Plt), 2010.

Mediciones de potencias.-

Para analizar las potencias activas, reactivas y aparentes de los datos descargados, creamos unas tablas de resúmenes en las cuales colocamos los valores máximos de potencias respecto a las horas de incremento, de máxima carga, horas de decremento y de mínima carga.

Respecto a la potencia activa, hay un equilibrio entre las fases 2 y 3, no obstante la fase 1 está descompensada. La potencia activa total máxima se da en horas de carga máxima y llega a 110Kw y la potencia activa mínima se da en horas de mínima carga y llega a 48Kw.

Respecto a la potencia reactiva hay cierto equilibrio entre las fases, potencia reactiva tiene características capacitivas. La potencia reactiva total máxima se da en horas de carga máxima y llega a -30Kvar y la potencia reactiva mínima se da en horas de mínima carga y llega a -7Kvar.

Respecto a la potencia aparente hay desequilibrio entre las 3 fases. La potencia aparente total máxima se da en horas de carga máxima y llega a 160Kva, lo cual representa el 53% de la capacidad total del transformador y la potencia aparente mínima se da en horas de mínima carga y llega a 35Kva lo cual representa el 12% de la capacidad total del transformador. Ésto indica que el transformador está trabajando prácticamente en vacío en el periodo de 21h00 a 06h00 desperdiciando su capacidad de transformación y generando muy posiblemente factor de potencia bajo hacia la red pública.

- **Potencias activas.-**

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Activas P(L1)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx. watt	Promedio Mín. watt
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		P(L1)	23633	6267
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		P(L1)	28270	17960
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		P(L1)	21850	11250
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		P(L1)	12689	6722

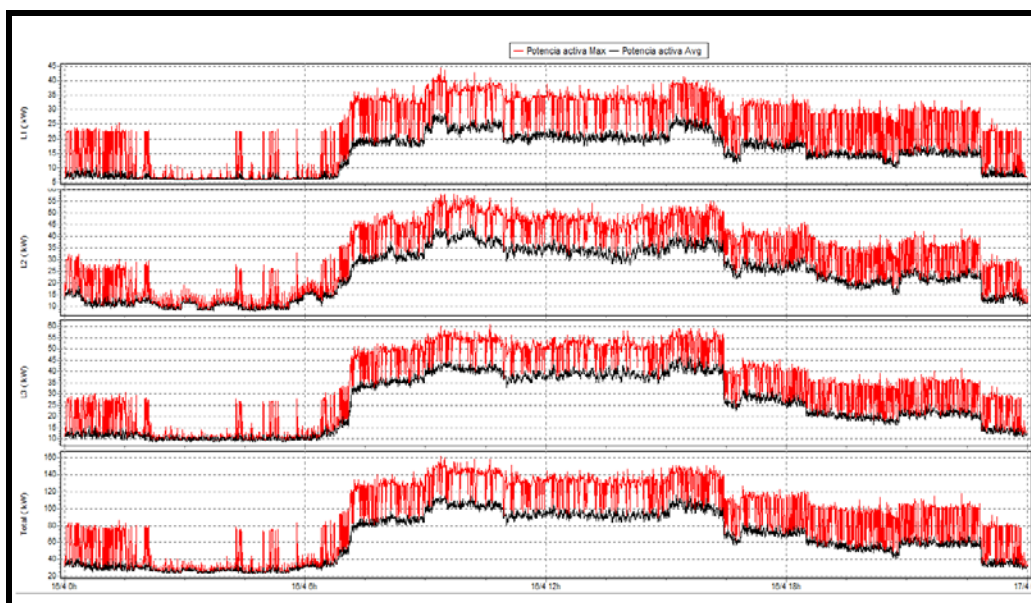
Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Activas P(L2)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx. watt	Promedio Mín. watt
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		P(L2)	39533	11333
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		P(L2)	41500	26660
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		P(L2)	31700	16900
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		P(L2)	19367	9778

Fuente: Los Autores, Tabla 44, Matriz de resumen de potencias activas L1 y L2, 2010.

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Activas P(L3)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx. watt	Promedio Mín. watt
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		P(L3)	36400	8867
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		P(L3)	42170	30260
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		P(L3)	33000	17550
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		P(L3)	17444	9322

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Activas P(T)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx. watt	Promedio Mín. watt
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		P(T)	97567	27367
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		P(T)	109910	76310
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		P(T)	84900	46150
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		P(T)	47733	26378

Fuente: Los Autores, Tabla 45, Matriz de resumen de potencias activas L3 y LN, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 86, Detalle Evolución Temporal Potencias Activas, 2010.

- **Potencias reactivas.-**

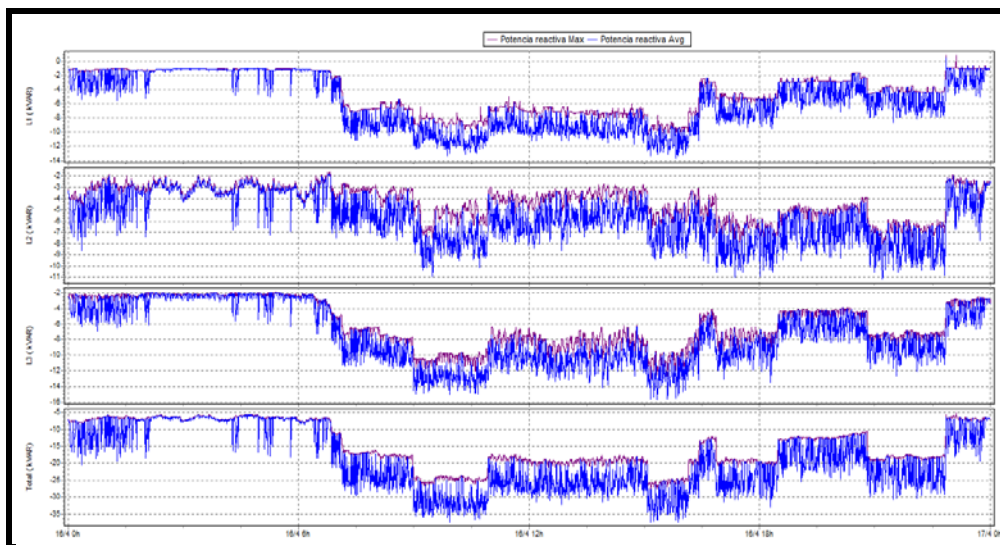
Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Reactivas Q(L1)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		Q(L1)	-1000	-10000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		Q(L1)	-6000	-11000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		Q(L1)	-2000	-6000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		Q(L1)	-1000	-3000

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Reactivas Q(L2)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		Q(L2)	-3000	-8000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		Q(L2)	-3500	-6000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		Q(L2)	-4000	-8000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		Q(L2)	-2500	-4500

Fuente: Los Autores, Tabla 46, Matriz de resumen de potencias reactivas L1 y L2, 2010.

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Reactivas Q(L3)					Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Reactivas Q(T)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		Q(L3)	-2000	-12000	Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		Q(T)	-7000	-30000
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		Q(L3)	-8000	-12000	Horas de Máxima carga 09h00 18h00		Q(T)	-20000	-30000
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		Q(L3)	-4000	-9000	Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		Q(T)	-15000	-25000
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		Q(L3)	-2000	-4000	Horas de Mínima carga 21h00 06h00		Q(T)	-7000	-11000

Fuente: Los Autores, Tabla 47, Matriz de Resumen de Potencias Reactivas L3 y LN, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 87, Detalle Evolución Temporal Potencias Reactivas, 2010.

- Potencias aparentes.-

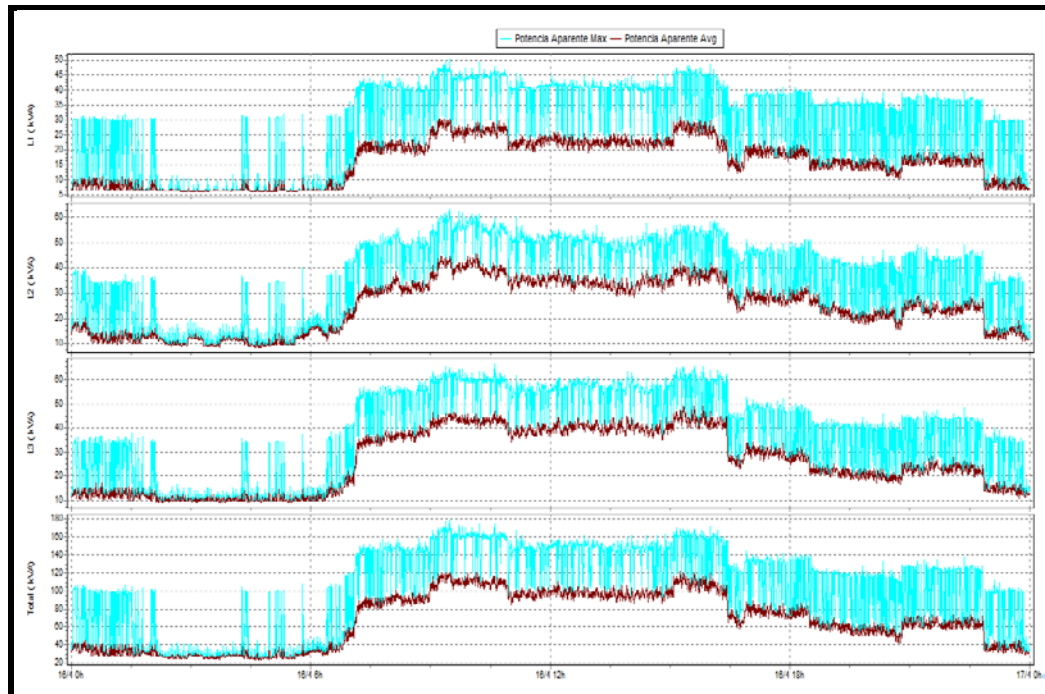
Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Aparentes S(L1)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		S(L1)	42kva	7kva
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		S(L1)	45kva	40kva
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		S(L1)	40kva	35kva
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		S(L1)	30kva	7kva

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Aparentes S(L2)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		S(L2)	50kva	18kva
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		S(L2)	50kva	50kva
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		S(L2)	50kva	40kva
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		S(L2)	38kva	15kva

Fuente: Los Autores, Tabla 48, Matriz de Resumen de Potencias Aparentes L1 y L2, 2010.

Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Aparentes S(L3)					Matriz Resumen de Valores Promedio de Potencias Aparentes S(T)				
Periodo de Análisis			Amperajes Promedios		Periodo de Análisis			Amperajes Promedios	
Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.	Hora inicio	Hora fin	Fase	Promedio Máx.	Promedio Mín.
Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		S(L3)	55kva	13kva	Horas de Incremento de carga 06h00 09h00		S(T)	150kva	40kva
Horas de Máxima carga 09h00 18h00		S(L3)	60kva	50kva	Horas de Máxima carga 09h00 18h00		S(T)	160kva	140kva
Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		S(L3)	50kva	40kva	Horas de Decremento de carga 18h00 21h00		S(T)	140kva	120kva
Horas de Mínima carga 21h00 06h00		S(L3)	35kva	15kva	Horas de Mínima carga 21h00 06h00		S(T)	100kva	35kva

Fuente: Los Autores, Tabla 49, Matriz de resumen de potencias aparentes L3 y L.N. 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 88, Detalle Evolución Temporal Potencias Aparentes, 2010.

Mediciones con cálculo de costo promedio de Energía Consumida.-

Hemos creado una Tabla de Resumen, en la cual se registran los valores de energía de toda la medición y las hemos promediado por horas de incremento, horas de máxima, horas de decremento y de mínima carga, y al final calculamos el costo de la energía mensual consumida con un costo por KWH de 0,06 de dólar. El costo de la energía consumida en este punto de medición es de aproximadamente \$2.673 dólares

americanos mensuales y no tiene recargos por bajo factor de potencia, el cálculo se hace en base al factor de potencia medio del consumo de energía.

Horas de Incremento de carga	Valores Promedio Energía Activa (kwh)				Valores Promedio Energía Reactiva (Kvarh)			
	E Act (L1)	E Act (L2)	E Act (L3)	E Act (T)	E Reac (L1)	E Reac (L2)	E Reac (L3)	E Reac (T)
06h00 a 09h00	16	26	25	67	-6	-6	-8	-20
09h00 a 18h00	20	30	32	82	-7	-7	-8	-23
18h00 a 21h00	16	23	21	60	-5	-8	-7	-19
21h00 a 06h00	11	15	14	41	-2	-5	-4	-12
Consumo Promedio Diario (Kwh día)	378	557	550	1485	-20	-26	-27	-73
Consumo Promedio Mensual (Kwh mes)	11341,1	16703,3	16511,4	44559,0				
Costo Aproximado energía (Kwh:\$0,06)	680,5	1002,2	990,7	2673,5				

Fuente: Los Autores, Tabla 50, Matriz de Resumen de Consumo de Energía Eléctrica, 2010.

$$\cos \phi = \frac{W_A}{\sqrt{W_A^2 + W_R^2}}$$

W_A = Cantidad registrada por el contador de energía activa (kWh)
 W_R = Cantidad registrada por el contador de energía reactiva (kvarh)

Fuente: CAPELA, Robert PT 075, Gráfico 89, Cálculo factor de potencia medio de instalaciones, 2000.

$\cos \phi$	Recargo (%)	Abono (%)
1,00	---	4,0
0,95	---	2,2
0,90	0,0	0,0
0,85	2,5	---
0,80	5,6	---
0,75	9,2	---
0,70	13,7	---
0,65	19,2	---
0,60	26,2	---
0,55	35,2	---
0,50	47,0	---

Fuente: CAPELA, Robert PT 075, Gráfico 90, Porcentaje de recargo por fp bajo, 2000.

Resumen de Observaciones en Primer Punto de Medición.-

- En este punto de medición, la demanda tiene un patrón de comportamiento que es prácticamente igual en la mayoría de los días del análisis, este patrón empieza por un periodo de incremento de carga que arranca desde las 06h00 hasta 09h00, después de este periodo empieza un periodo de carga máxima y sostenida que es desde las 09h00 hasta 18h00, luego hay un periodo de decrecimiento de carga que se registra desde las 18h00 hasta 21h00, y por último está el periodo de carga mínima y empieza desde las 21h00 hasta las 06h00.
- En este punto de medición el neutro aislado del tablero TDP2 del sistema del transformador T2 está unido por un conductor al neutro aislado del tablero TDP1 del sistema transformador T1, esta condición es incorrecta debido a que, las corrientes de neutro de los dos sistemas se mezclan antes de cerrar el circuito en los transformadores lo que posiblemente esté causando problemas a este sistema.
- No hay una barra de tierra en este tablero lo que implica que existe un camino de alta impedancia entre la carcasa, el gabinete y las partes metálicas de este tablero hacia la tierra del transformador T2, el Código Eléctrico exige un camino de retorno al neutro del transformador libre de corrientes que esté disponible para corrientes de fallas producidas entre las fases a tierra para que de esta manera se logre cerrar el circuito eléctrico y haga actuar las protecciones lo más pronto posible.
- El voltaje máximo y mínimo registrado respecto al voltaje nominal de 127v está dentro de lo estipulado en la norma de +/-10% no obstante el voltaje mínimo 117,7v está llegando al límite de lo permitido en el lapso de 15h00 a 18h00, este indicativo nos advierte que el distribuidor está a punto de incumplir con la Normativa de Regulación de Voltaje, y nos advierte que es muy probable que este mínimo valor de voltaje en este punto sea aún más pequeño al llegar a los receptores.
- El desbalance máximo de voltaje entre fases es de 1% valor que se encuentra dentro de la norma que establece un valor máximo de desbalance de hasta 3%.

- El voltaje del neutro a tierra su tensión máxima llega hasta 0,81v en horas del periodo de incremento de carga esta tensión excede el valor del voltaje máximo de la norma que es de 0,7v.
- La corriente esta desbalanceada en los distintos periodos de carga pero es más alto en horas de mínima carga y en particular de 03h00 a 06h00, se presenta un desbalance significativo que está entre la fase 1 y 2 que llega a 50%, este desbalance está incumpliendo con la norma que solo admite hasta un máximo de 40%, no obstante las otras fases tienen un desbalance alto que no incumple la normativa pero que debe ser corregido para disminuir la potencia disipada como corriente residual.
- La corriente máxima en el neutro se produce en horas de máxima carga y llega a hacer 83amp esta magnitud de amperaje confirma que hay el desbalance que hemos encontrado entre las fases.
- Encontramos picos altos de corriente que se mantienen y que tienen una duración aproximada de 15 minutos; que corresponden a una carga trifásica (presumiblemente de un motor) de magnitud de corriente pico promedio de 150amp por fase con una potencia aproximada de 60kva, el índice de picos de corriente en el neutro no guarda relación con el índice de picos de esta carga trifásica intermitente, lo que nos indica que muy probablemente sea una carga balanceada
- El factor de potencia en la mayor parte del tiempo es muy bueno y es de 0,97, lo cual indica que se encuentra dentro de la norma.
- La frecuencia presenta una distorsión máxima del 0,24% que está dentro de lo permitido por la norma que admite hasta +/-5%.
- La distorsión armónica de voltaje THD se da durante las 24h00 del día con un porcentaje THD de 1,8% con una incidencia preponderante de la 5 armónica, este porcentaje de distorsión es aceptable y se encuentra dentro de lo establecido por la norma que es hasta máximo 8%.

- La distorsión armónica del voltaje THD en el neutro está en las horas de incremento de carga con un THD de 125% y con una incidencia preponderante de la 3 armónica del voltaje RMS del neutro, esta tensión oscila por 0,81v lo cual por la magnitud que tiene no representa un problema.
- La distorsión armónica de corrientes THD en las fases está en las horas de mínima a incremento de carga con un porcentaje THD de 18,9% de una corriente promedio por fase fundamental de 331amp con una incidencia preponderante de la 3 armónica y en menor proporción de la 5ta. armónica, hay que indicar que, en el resto del día de la medición el THD oscila entre 6 y 13%. Estos valores No son aceptables y se encuentran fuera de la norma que estipula como máximo 8% THD para las fases.
- Entonces las armónica de 3era. y 5ta. en las fases tienen en promedio entre las dos una magnitud de corriente 63 amp, esta corriente debe ser corregida para disminuir la posibilidad de tripeo de breakers y calentamiento de conductores.
- El THD de Corriente del neutro llega a su valor máximo en las horas de decremento a mínima y carga con un THD de 140% que tiene una incidencia preponderante de la 3 armónica, la corriente promedio que circula por este neutro en estos periodos es de 67 amp, lo cual significa que la corriente real en el neutro es de aproximadamente 28 amp y que 39 amp, corresponde mayoritariamente a la aportación de la corriente de la 3era. armónica.
- Debido a lo inusual del conexionado eléctrico no nos deja asegurar si los 28 y 39amp encontrados en el neutro corresponden en su totalidad a la aportación de las corrientes de las fases de este tablero TDP2, por lo que, se necesita hacer un análisis a las cargas individuales para saber el nivel de aportación de corriente al neutro de cada una de las cargas.
- No hay problemas para FLICKER (Pst) ni para FLICKERS (Plt) por lo que no incumplen con las normas.

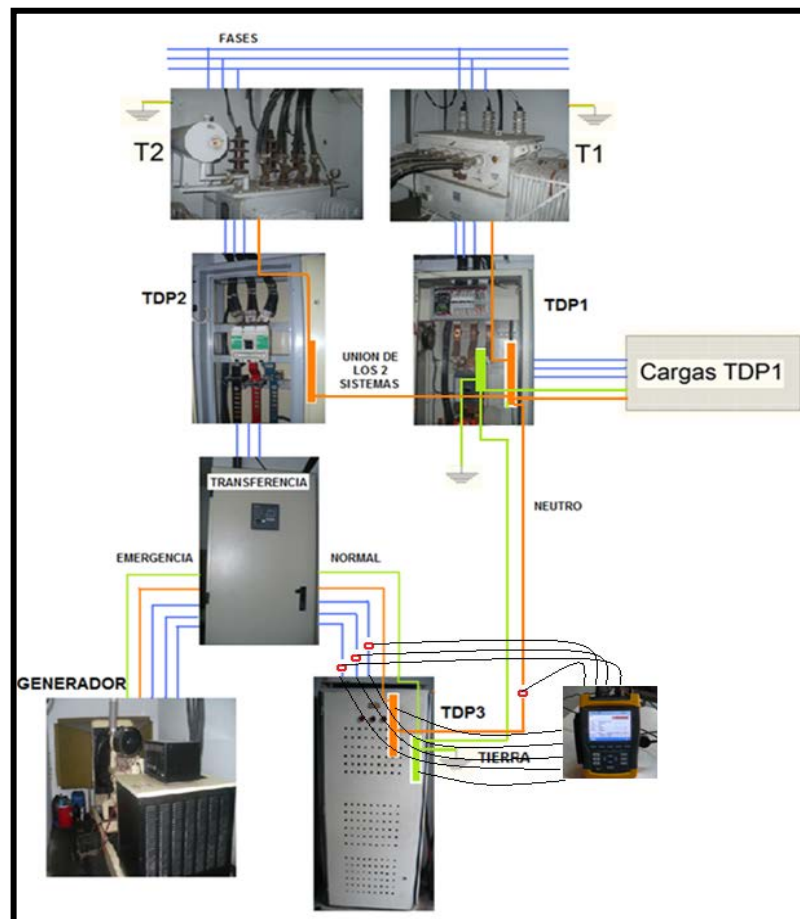
- La potencia activa entre las fases 2 y 3 hay un cierto equilibrio, no obstante la fase 1 está descompensada. La potencia activa total máxima se da en horas de carga máxima y llega a 110Kw y la potencia activa mínima se da en horas de mínima carga y llega a 48Kw.
- La potencia reactiva tiene mediano equilibrio entre las fases y ésta tiene características de carga capacitiva. La potencia reactiva total máxima se da en horas de carga máxima y llega a -30Kvar y la potencia reactiva mínima se da en horas de mínima carga y llega a -7Kvar.
- La potencia aparente tiene un mediano equilibrio entre las 3 fases. La potencia aparente total máxima se da en horas de carga máxima y llega a 160Kva lo cual representa el 53% de la capacidad total del transformador y la potencia aparente mínima se da en horas de mínima carga y llega a 35Kva lo cual representa el 12% de la capacidad total del transformador. Ésto indica que el transformador está trabajando prácticamente en vacío en horas de carga mínima desperdiciando así su capacidad de transformación.
- El costo de la energía consumida en este punto de medición es de aproximadamente \$ 2.673 dólares americanos mensuales.

4.6.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CARGAS INDIVIDUALES EN PDT3

El tablero TDP3 es la única carga del tablero TDP2 y como hay que analizar las cargas individuales del tablero TDP2 trasladamos las mediciones al tablero, TDP3, a continuación mostramos la conexión del equipo analizador de calidad de energía eléctrica conectado a las cargas del tablero TDP3, con esta conexión se espera conocer la potencia distribuida en este tablero, así como también, conocer la magnitud de corriente de neutro que aportan estas cargas a la barra del neutro de TDP1.



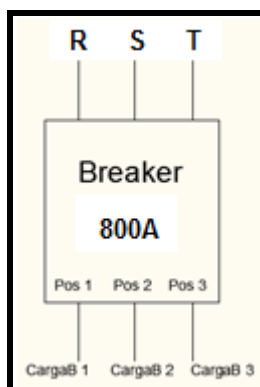
Fuente: Los Autores, Ilustración 30, Tablero TDP3 con sus Breakers, 2010.



Fuente: Los Autores, Gráfico 91, Detalle conexión del equipo Fluke en cargas individuales en TDP3, 2010.

Este tablero está integrado por un Breaker principal 3 Ø de 400amp que alimenta a las cargas individuales, estas cargas individuales están conformadas por 9 breaker 3 Ø y 5 breaker 2 Ø a los cuales le hemos identificado con la letra “B” seguido del número respecto a locación dentro del tablero.

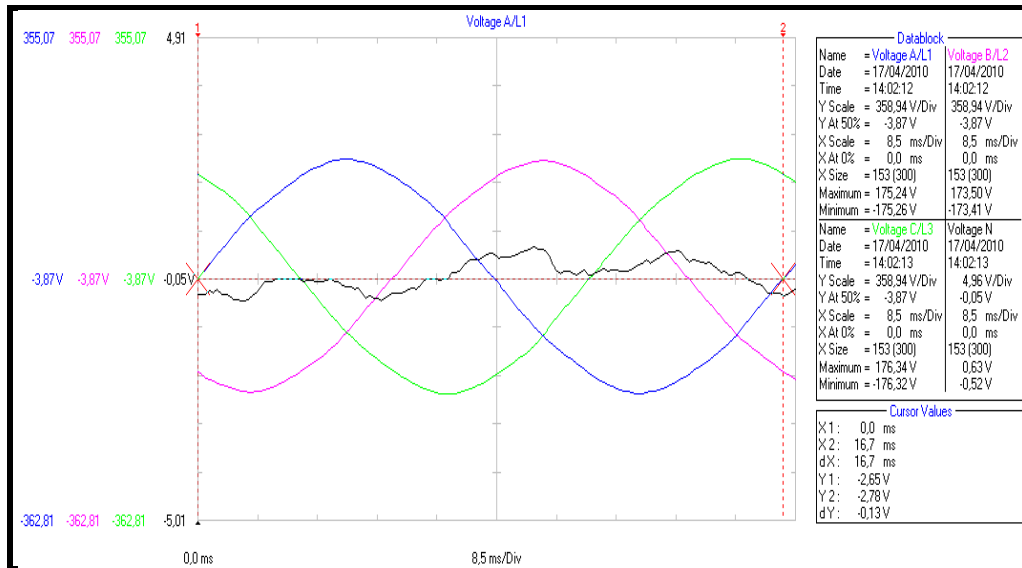
A continuación, las gráficas de las curvas sinusoidales de las corrientes y de los voltajes en conjunto con los fasores capturados instantáneamente por el Fluke no sin antes mostrar en una gráfica la posición de las fases en el breaker principal de este tablero visto frontalmente.



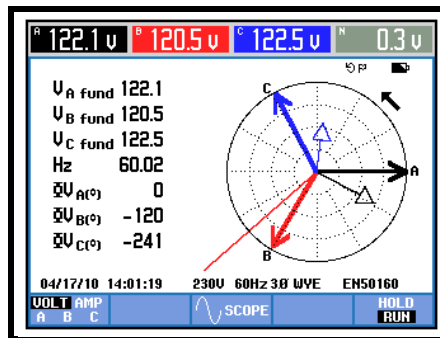
Fuente: Los Autores, Gráfico 92, Breaker Principal TDP3, 2010.

- **Voltaje Referencia.**

Debido a que se conectó el fluke a las barras principales para sensor el voltaje que reciben las cargas individuales (ver anexo en conexiones), hemos considerado llamar a este voltaje como de referencia para el análisis, y sus curvas características en conjunto con sus fasores son los siguientes:



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 93, Detalle ondas sinusoidales voltajes de fases en barras TDP3, 2010.

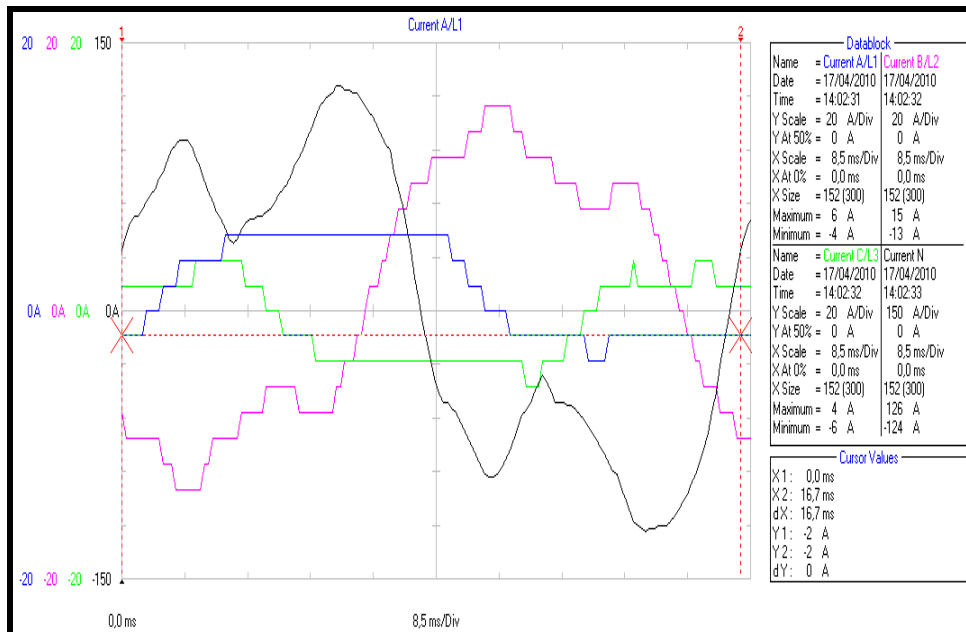


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 94, Detalle Fasores voltajes de fases en barras TDP3, 2010.

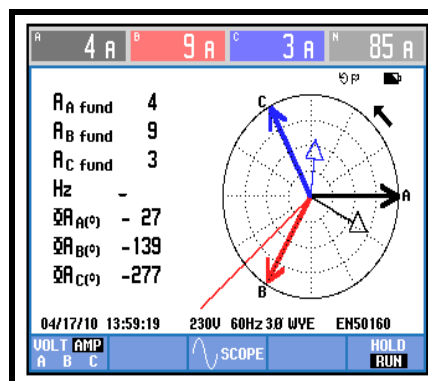
Voltaje Barras Punto Medición					
V(L1)=VR		V(L2)=VS		V(L3)=VT	
r	θ	R	θ	r	θ
122	0	120,5	-120	122,5	-241

Fuente: Equipo FLUKE 435, Tabla 51, Voltaje Barras Punto Medición. 2010.

Medición Breaker B1 (3Ø 150A)

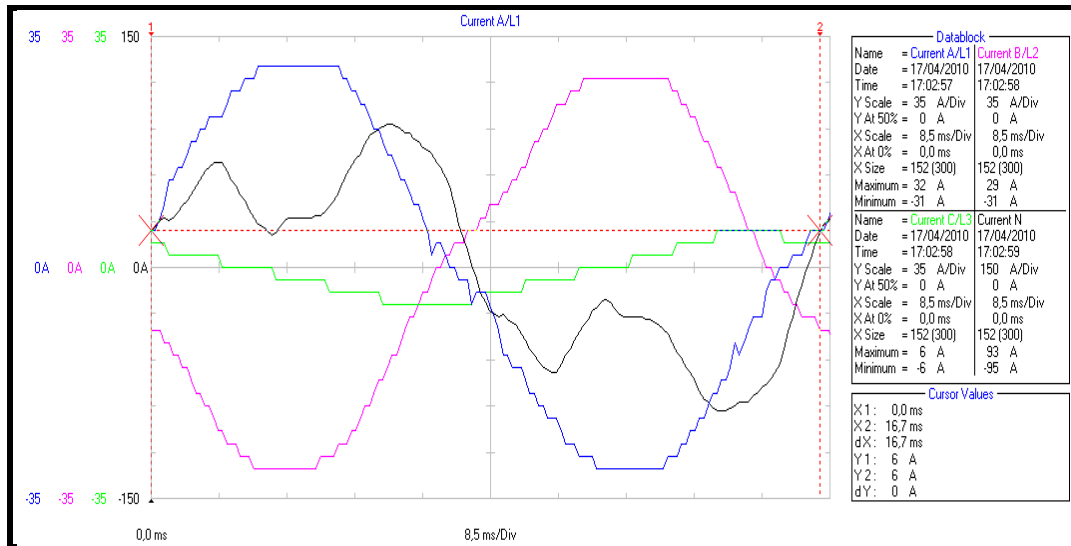


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 95, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #1, 2010.

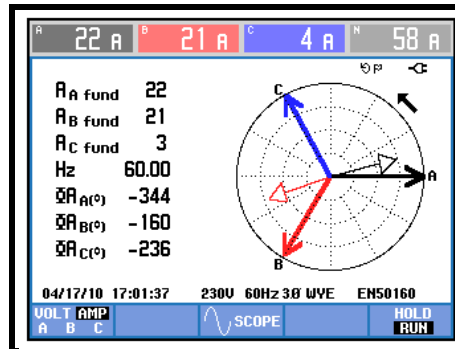


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 96, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #1, 2010.

Medición Breaker B2 (3Ø 225A)

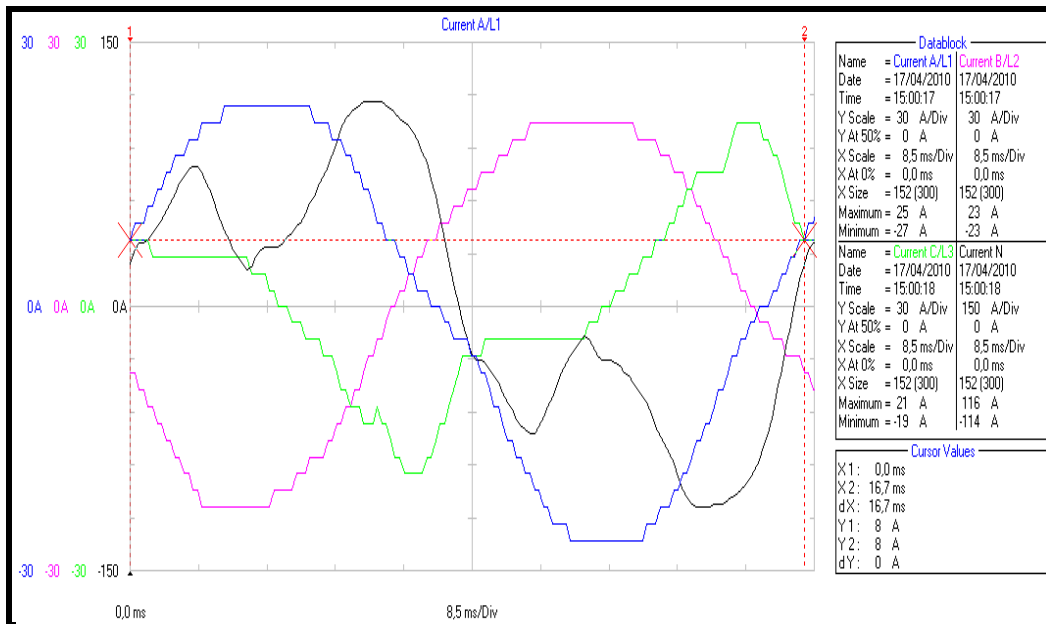


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 97, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #2, 2010.

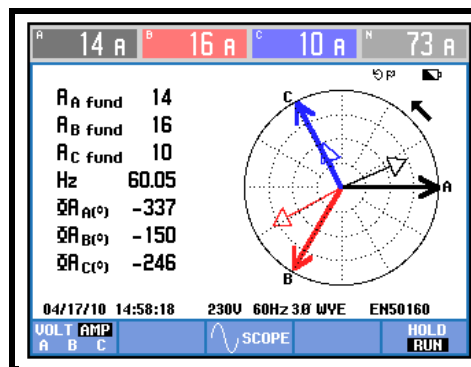


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 98, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #2, 2010.

Medición Breaker B4 (3Ø 70A)

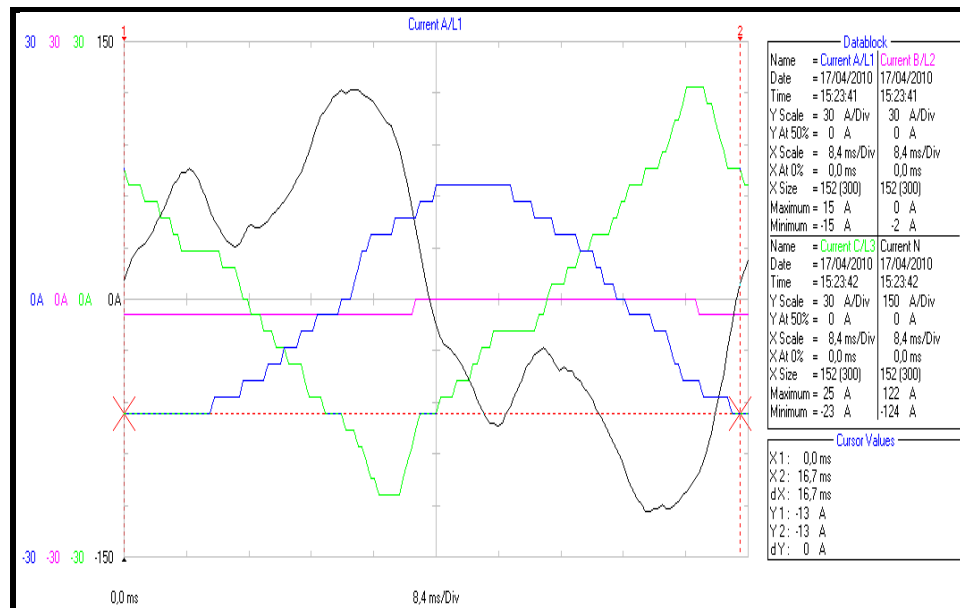


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 99, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #4, 2010.

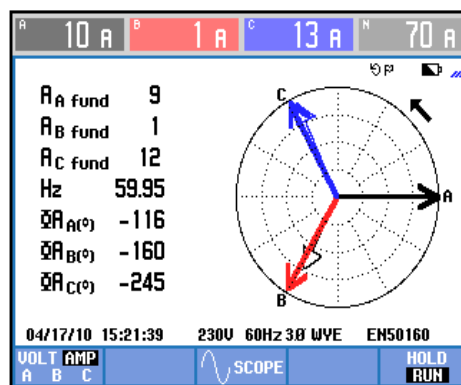


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 100, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #4, 2010.

Medición Breaker B5 (2Ø 100A)

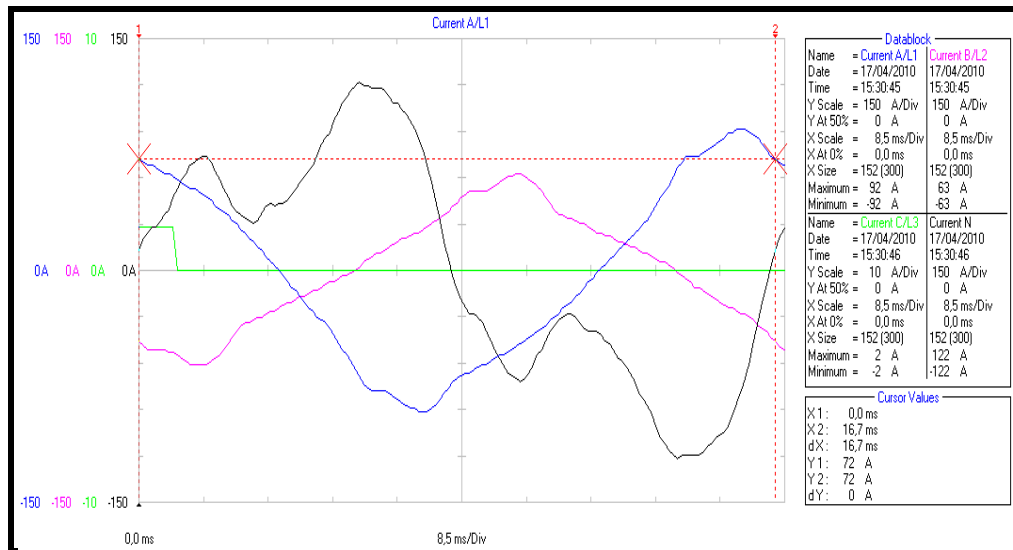


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 101, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #5, 2010.

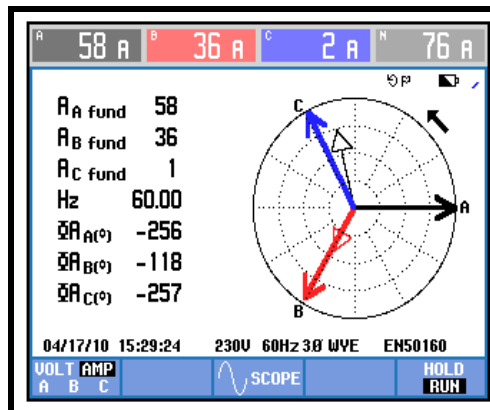


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 102, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #5, 2010.

Medición Breaker B6 (3Ø 150A)

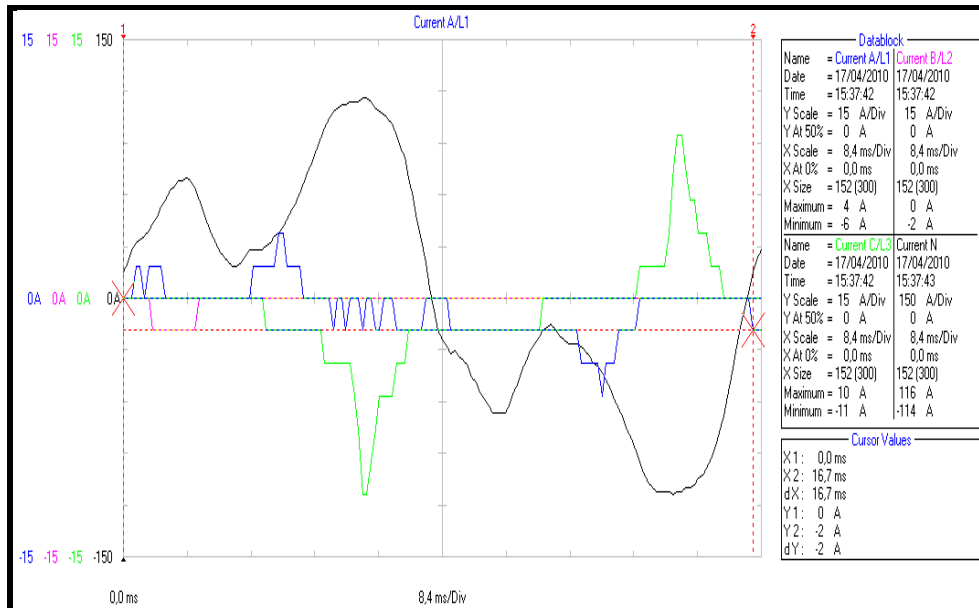


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 103, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #6, 2010.

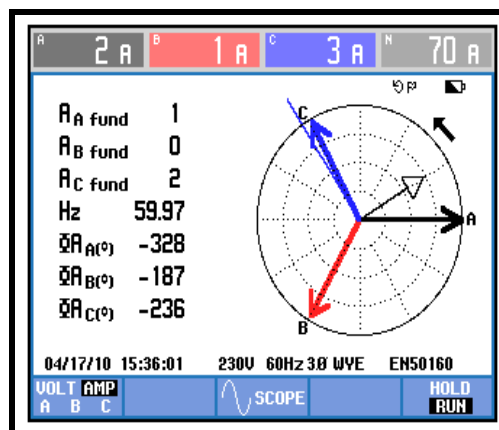


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 104, Detalle Fasores Corrientes de Fases en Breaker #6, 2010.

Medición Breaker B7 (3Ø 100A)

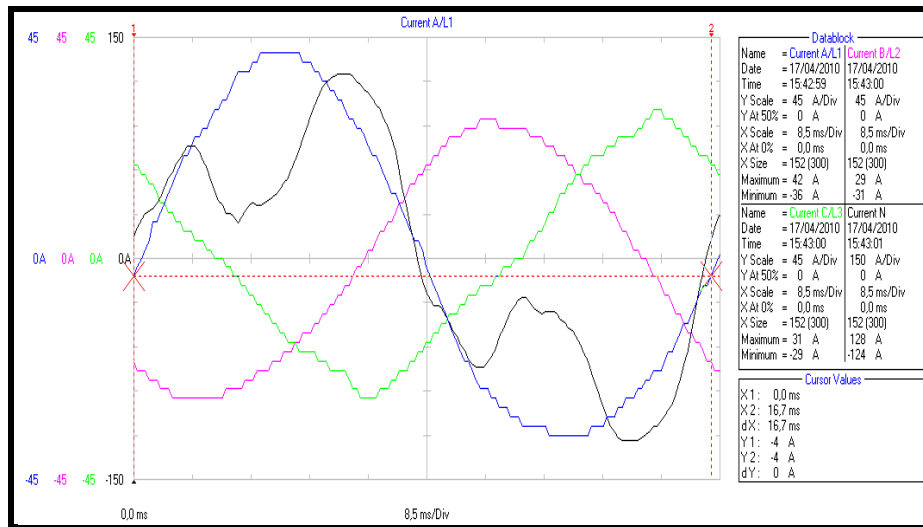


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 105, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #7, 2010.

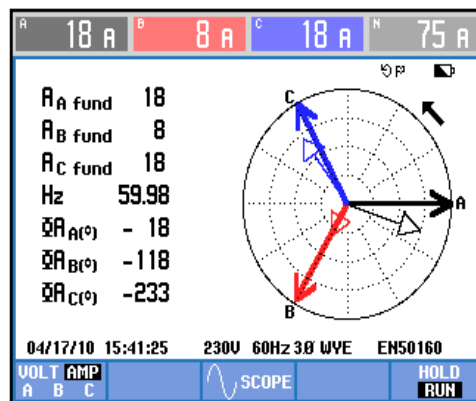


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 106, Detalle Fasores Corrientes de fases en Breaker #7, 2010.

Medición Breaker B8 (3Ø 70A)

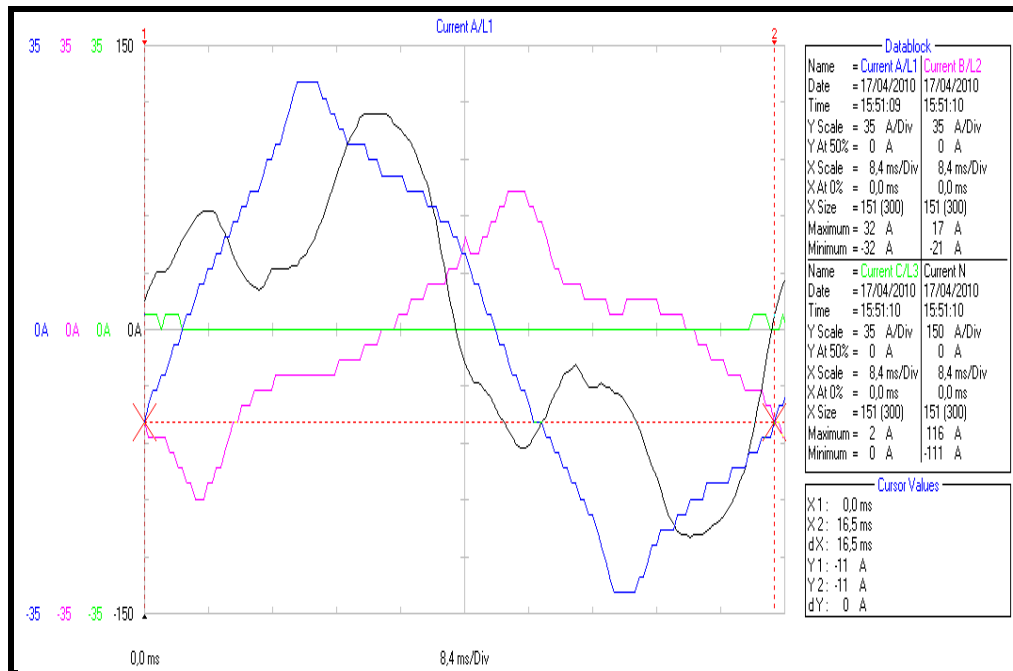


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 107, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #8, 2010.

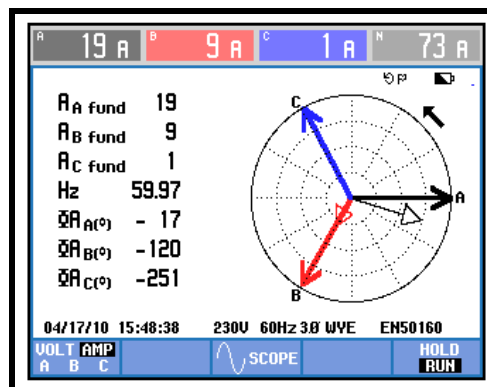


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 108, Detalle Fasores Corrientes de Fases en Breaker #8, 2010.

Medición Breaker B11 (3Ø 60A)

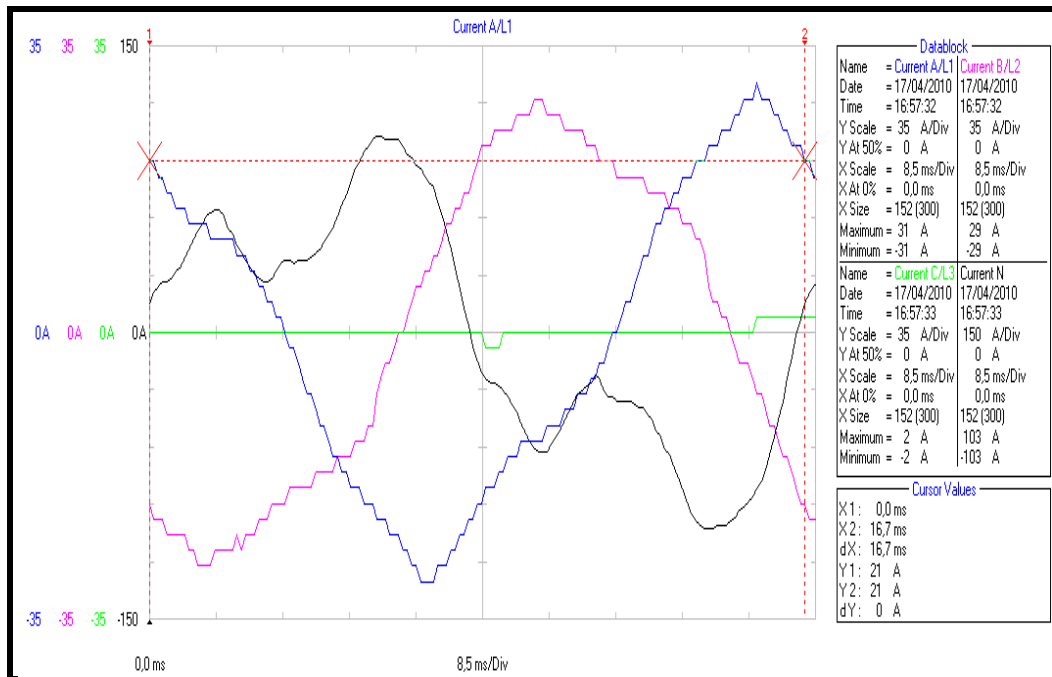


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 109, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #11, 2010.

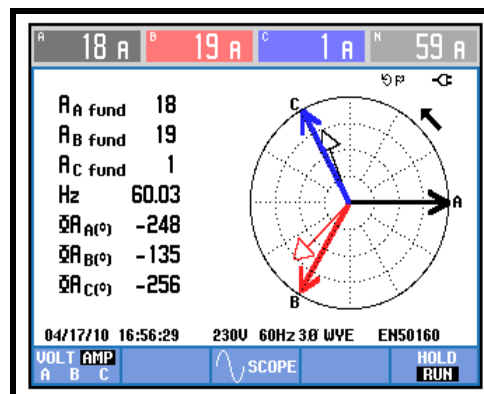


Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 110, Detalle Fasores Corrientes de Fases en Breaker #11, 2010.

Medición Breaker B14 (2Ø 100A)



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 111, Detalle ondas sinusoidales de corrientes de fases en Breaker #14, 2010.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 112, Detalle Fasores Corrientes de Fases en Breaker #14, 2010.

De la información recopilada por las lecturas individuales de las corrientes de las cargas, las hemos recopilado y en base al voltaje de referencia se realizó la sumatoria de corriente del neutro para hallar la corriente real que aportan estas cargas.

Descripción de Cargas Tablero TDP3 y Cálculo de Corriente Neutro Fundamental												
Breaker	Polos	Ampacidad	Ubicación de Fases en Breakers visto Frontalmente de izquierda a derecha Pos 1- Pos 2- Pos 3	Datos Experimentales de Cargas						Calculo Neutro		Comentario
				V(L3) R r 0		V(L2) S r 0		V(L1) T r 0		r	A(LN) 0	
				122	0	120,4	-120	123	-241			
A(L1) R r 0		A(L2) S r 0		A(L3) T r 0								
B1	3Φ	150ª	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	4	-27	9	-139	3	-277	6	-121	Ascensor
B2	3Φ	225ª	Pos 1:R Pos 2:S Pos 3:T	22	-344	21	-160	3	-236	1	101	NN
B3	3Φ	70ª	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	0	0	0	0	0	0	0	0	Ascensor
B4	3Φ	70ª	Pos 1:S Pos 2:T Pos 3:R	14	-337	16	-150	10	-246	8	127	Panel control Oxígeno
B5	2Φ	100ª	Pos 1:R Pos 2:T	9	-63	0	0	12	-245	3	109	Laboratorio
B6	3Φ	150ª	Pos 1:R Pos 2:S Pos 3:T	58	76	36	-118	0	0	25	97	Consulta Externa, Caja, Recepción (solo están conectadas 2 fases)
B7	3Φ	100ª	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	1	-328	0,2	-187	2	-236	2	97	Pensionado Especial, Emergencia Sur, Fisiatría
B8	3Φ	70ª	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	18	-18	8	-118	18	-233	3	33	Rayos X
B9	2Φ	30ª	Pos 1:R Pos 2:0	0	0	0	0	0	0	0	0	Pensionado Primera (sólo está conectada una fase) No hay Carga
B10	2Φ	30ª	Pos 1:R Pos 2:S	0	0	0	0	0	0	0	0	NN (No hay Carga)
B11	3Φ	60ª	Pos 1:S Pos 2:R Pos 3:0	19	-17	9	-120	0	0	19	-44	Contabilidad, Proveduría (sólo están conectadas dos fases)
B12	3Φ	50ª	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	0	0	0	0	0	0	0	0	Ascensor Norte
B13	2Φ	30ª	Pos 1:R Pos 2:S	0	0	0	0	0	0	0	0	Nueva Administración (No hay Carga)
B14	2Φ	100ª	Pos 1:R Pos 2:S	18	-68	19	-135	0	0	31	-103	NN
Corriente Total Por Fase				104	17	113	-134	47	118			Hay desequilibrio corriente (9, 59 y 122%)
Corriente Neutro Total Calculada por la sumatoria de las corrientes de neutro generadas por las cargas										10	-105	Corriente neutro real generara por este punto de medición
Corriente Neutro Medida Experimentalmente (incluye la corriente neutra de armónicos)										57	-16	

Fuente: Los Autores, Tabla 52, Matriz de resumen descriptivo cargas de TDP3,

- Los espacios en blanco y de color amarillo representan a las cargas que no están cableadas y a las cargas de que por su corriente característica no se las consideró, no se pudo obtener los fasores ni las ondas sinusoidales de las cargas de los ascensores debido a su intermitencia y el fluke no pudo capturar la información, pero como ya sabemos estas cargas existen y ya fueron analizadas en la medición continua en el punto de medición de PDT3
- La primera observación en este tablero es su desbalance entre las corrientes de fases totales, el desbalance sobrepasa lo estipulado por la norma que indica un desbalance máximo de hasta 40%.
- En la medición continua en el tablero TDP2 se determinó que existía un desbalance entre la fase 1 y 2 que llega a 50%, en la evaluación de cargas individuales confirma el desbalance e incluso el porcentaje de desbalance es superior y llega a 120%.
- La segunda observación es que la corriente neutra calculada que aporta este tablero es pequeña en comparación con la corriente medida experimentalmente.

De la Tabla de Resumen de Cargas de TDP3 hacemos las siguientes evaluaciones:

	Factor Potencia			Impedancias Actuales					
	fp (L1)	fp (L2)	fp (L3)	x	y	x	y	x	y
B1	0,89	0,95	0,81	27	14	13	4	33	24
B2	0,96	0,77	1,00	5	-2	4	4	41	-4
B3	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
B4	0,92	0,87	1,00	8	-3	7	4	13	1
B5	0,45	0,00	1,00	6	12	0	0	10	1
B6	0,24	1,00	0,00	1	-2	3	0	0	0
B7	1	0,39	1,00	86	-54	235	554	61	-5
B8	0,95	1,00	1	6	2	15	-1	7	-1
B9	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
B10	0,00	0	0,00	0	0	0	0	0	0
B11	0,96	1,00	0,00	6	2	13	0	0	0
B12	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0
B13	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0
B14	0,37	0,97	0,00	3	6	6	2	0	0

Fuente: Los Autores, Tabla 53, Matriz de resumen fp e impedancias de cargas de TDP3, 2010.

Factor Potencia	fp	0,95	0,97	1,00
Potencia Activa	P	12072	13227	5717
Potencia Reactiva	Q	-3759	3371	60
Potencia Total	PT	31016		
Potencia Reactiva T	QT	-329		
Potencia Aparente	S	31018		
Factor potencia sist	fp sist	1,00		

Fuente: Los Autores, Tabla 54, Matriz de resumen Características de la carga total del TDP3, 2010.

- De las tablas anteriores la tercera observación es que las cargas conectadas a los breakers, tienen algunas un bajo factor de potencia en atraso y otras con un bajo factor de potencia en adelanto, estas cargas están mal distribuidas pudiéndose mejorar el factor de potencia por fase aún más.
- La cuarta observación es que el factor de potencia en las fases es cercano a la unidad.
- La quinta observación es que el factor de potencia total del sistema es muy bueno.
- La potencia aparente absorbida por la carga bordea los 30kva.
- Este sistema está entregando reactivos fuera del sistema, esta situación cambia cuando ingresa la carga del ascensor y el factor de potencia baja dramáticamente en los picos de corrientes.

Análisis de cargas individuales.

Hay un desbalance notorio entre las corrientes de fases totales que hay que corregir, la potencia aparente 30kva consumida representa el 10% de la capacidad del transformador de 300kva, si observamos los gráficos de tendencias de la potencia aparente en el análisis de registro continuo hecho en TDP2 la potencia aparente sube cuando se producen los picos de corrientes, y como ya sabemos esta carga bordea los 60kva, que en total representarían 100kva, esta carga aún sigue representando menos del 50% de la carga nominal del transformador T2, lo que nos indica un desperdicio de capacidad de transformación que además nos dice que el transformador deberá estar generando un bajo factor de potencia en la red pública a pesar del buen factor de potencia total de las cargas.

4.7 RESUMEN DE LOS ANÁLISIS.

Análisis de la Medición del registro continuo en Punto de medición TDP1 (Tablero de Distribución del transformador T1 de 500Kva)		Calificación
Patrón de comportamiento de la carga está comprendido por:	Periodo Crecimiento carga 06h00 a 09h00 Periodo máxima carga 09h00 a 18h00 Periodo Decrecimiento carga 18h00 a 21h00 Periodo Mínima carga 21h00 a 06h00	Bueno
Observaciones generales del conexionado en este Punto de medición.	Hay una conexión física del neutro de este sistema con otro neutro de otro sistema, y la barra de tierra no está conectada al neutro del transformador.	Malo
Calidad del voltaje Suministrado.	En periodos de máxima carga el voltaje está llegando al límite de la norma con un voltaje mínimo de 114,5 de la nominal 127v.	Regular
Desbalance de voltajes de fase.	El desbalance máximo llega a 1,3%	Bueno
Voltaje de neutro a tierra.	Su valor es 0,82v en el periodo de incremento de carga.	Malo
Desbalance de corrientes de fase.	Hay desbalances máximos a las 12h00 y se dan entre las fases 2 y 3 con 48% y las fases 3 y 1 con 61%	Malo
Corriente máxima del neutro.	Su magnitud máxima llega a 64amp en horas de máxima carga.	Regular
Cargas más notorias en las tendencias de corrientes.	Hay una carga bifásica conectada entre las fases 1 y 3 que produce picos de corta duración de 105amp por fase, también hay una carga monofásica conectada en la fase 2 que tiene picos de corrientes cortos de 50amp.	Bueno
El factor de potencia	El fp del sistema está alrededor de 0,93 pero en el periodo de mínima carga decrece a 0,84	Regular
Frecuencia	La distorsión de la frecuencia esta por 0,4%	Bueno
Distorsión Armónica de voltajes fases (THD)	El THD máximo se da en periodos de incremento de carga y llega a 1,9% con una incidencia de la 5ta. armónica.	Bueno
Distorsión Armónica de voltaje neutro (THD)	El THD máximo se da en periodos de mínima carga y llega a 142% con una incidencia de la 3armonica, de un voltaje promedio de 0,82v	Regular
Distorsión Armónica de corrientes fases (THD)	El THD máximo se da en periodos de incremento de carga y llega a 16,2% con una incidencia de la 5y 3armonica, de una corriente promedio de 210amp	Malo
Distorsión Armónica de corriente neutro (THD)	El THD máximo se da en periodos de decremento a mínima carga y llega a 296% con una incidencia de la 3armonica de una corriente promedio de 59amp.	Malo
FLIKER	Hay un flicker de 1,55Plt en las tres fases en el periodo de decrecimiento de carga	Regular
Potencia Activa	Está desequilibrada entre las fases, su máxima potencia es de 75kw y la mínima es de 19kw	Regular
Potencia Reactiva	Está desequilibrada entre las fases, su máxima potencia es de -19kvar y la mínima es de -6kvar	Regular
Potencia Aparente	Está desequilibrada entre las fases, su máxima potencia es de 80kva y la mínima es de 20kva	Regular
Costo de la energía consumida	El costo es en promedio de \$1.574 dólares.	Regular

Fuente: Los Autores, Tabla 55, Resumen de Análisis – Punto de Medición TDP1, 2010.

Análisis de la Medición del registro continuo en Punto de medición TDP2 (Tablero de Distribución del transformador T2 de 300Kva)		Calificación
Patrón de comportamiento de la carga está comprendido por:	Periodo Crecimiento carga 06h00 a 09h00 Periodo máxima carga 09h00 a 18h00 Periodo Decrecimiento carga 18h00 a 21h00 Periodo Mínima carga 21h00 a 06h00	Bueno
Observaciones generales del conexionado en este Punto de medición.	Hay una conexión física del neutro de este sistema con otro neutro de otro sistema, en este tablero no existe barra de tierra.	Malo
Calidad del voltaje Suministrado.	En periodos de máxima carga el voltaje está llegando al límite de la norma con un voltaje mínimo de 117,7 de la nominal 127v.	Regular
Desbalance de voltajes de fase.	El desbalance máximo llega a 1%	Bueno
Voltaje de neutro a tierra.	Su valor es 0,81v en el periodo de incremento de carga.	Malo
Desbalance de corrientes de fase.	Hay desbalances máximos de 03h00 a 06h00 y se dan entre las fases 1 y 2 con 50%, las otras fases están al límite de la norma.	Malo
Corriente máxima del neutro.	Su magnitud máxima llega a 83amp en horas de máxima carga.	Regular
Cargas más notorias en las tendencias de corrientes.	Hay una carga trifásica que genera picos de corrientes de una duración aproximada de 15 minutos de una corriente de 150amp de potencia aproximada a 60kva de bajo factor de potencia	Regular
El factor de potencia	El fp del sistema está alrededor de 0,97	Bueno
Frecuencia	La distorsión de la frecuencia está por 0,24%	Bueno
Distorsión Armónica de voltajes fases (THD)	El THD máximo se da las 24 horas y llega a 1,9% con una incidencia de la 5ta. armónica.	Bueno
Distorsión Armónica de voltaje neutro (THD)	El THD máximo se da en periodos de incremento de carga y llega a 125% con una incidencia de la 3ra. armónica, de un voltaje promedio de 0,81v	Regular
Distorsión Armónica de corrientes fases (THD)	El THD máximo se da en periodos mínima a incremento de carga y llega a 18,9% con una incidencia de la 3ra. y 5ta. armónica, de una corriente promedio de 331amp	Malo
Distorsión Armónica de corriente neutro (THD)	El THD máximo se da en periodos de decremento a mínima carga y llega a 140% con una incidencia de la 3ra. Armónica de una corriente promedio de 67amp.	Malo
FLIKER	No hay flicker que sobrepasen la norma	Bueno
Potencia Activa	Está desequilibrada entre las fases, su máxima potencia es de 110kw y la mínima es de 48kw	Regular
Potencia Reactiva	Está medianamente equilibrada entre las fases, su máxima potencia es de -30kvar y la mínima es de -7kvar	Regular
Potencia Aparente	Está medianamente equilibrada entre las fases, su máxima potencia es de 160kva y la mínima es de 35kva	Regular
Costo de la energía consumida	El costo es en promedio de \$2.673 dólares.	Regular

Fuente: Los Autores, Tabla 56, Resumen de Análisis – Punto de Medición TDP2, 2010.

Resumen del análisis de las cargas individuales del tablero TDP1.

- Hay desbalance de corrientes entre las fases con un porcentaje de 24, 53 y 73% por tanto hay que hacer balanceo de cargas.
- Hay que corregir el factor de potencia en atraso de las cargas conectadas a los breakers B8, B10, B11, B13 y B15.
- La potencia total absorbida por las cargas de este tablero es de 40Kva.
- La corriente fundamental generada en este tablero es de alrededor de 6amp.

Resumen del análisis de las cargas individuales del tablero TDP3.

- Hay desbalance de corrientes entre las fases con un porcentaje de 9, 59 y 122% por tanto hay que hacer balanceo de cargas.
- Hay que corregir el factor de potencia en atraso de las cargas conectadas a los breakers B1, B2, B4, B5 y B14.
- La potencia total absorbida por las cargas de este tablero es de 30Kva.
- La corriente fundamental generada en este tablero es de alrededor de 10amp.

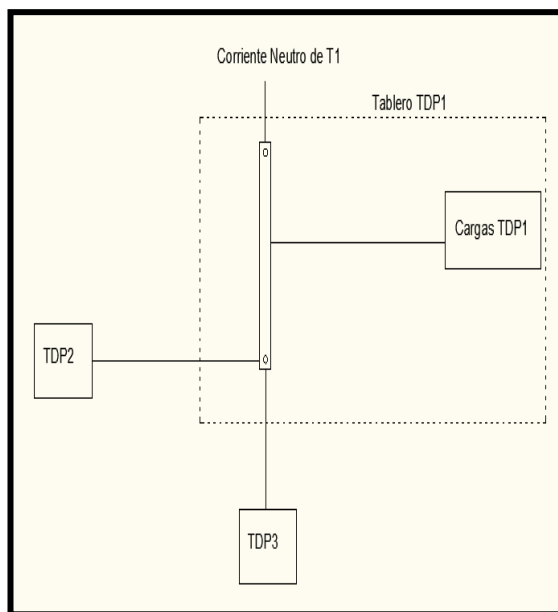
4.8 CAUSAS Y EFECTOS DE LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO.

Los efectos ya los conocemos de las tablas de resumen de los análisis de mediciones continuas, y quienes las provocan o quienes las causan una gran parte de ellos ya están identificados en los resúmenes de los análisis de las cargas individuales, lo que falta es conocer cuál es el efecto de la unión de los neutros de los dos sistemas en la barra de neutro aislado del tablero TDP1.

De las pruebas realizadas sabemos que existe una influencia de la corriente del neutro del sistema del transformador T2 hacia el sistema del transformador T1 por medio de la barra de neutro aislado del tablero TDP1, en cuyo caso se justifica un análisis más de tallado en este punto para saber el flujo de la corriente de los neutros que convergen en este punto, para aquello se realizó un análisis de corriente de nodal apoyándonos con la captura de ondas sinusoidales por medio de la sonda de neutro del equipo Fluke 435, analizador de calidad de energía eléctrica.

Para realizar el análisis en la barra del neutro del tablero TDP1, se procedió a colocar la sonda de corriente que corresponde al neutro del Fluke 435 (ver anexo) en cada ramal que llega a la barra de neutro aislado del tablero TDP1, con la dirección de esta sonda hacia la barra en cada una de las muestras; de esta manera y mediante la ley de corrientes aplicada en este nodo pudimos identificar los sentidos de corrientes en conjunto con sus magnitudes.

A continuación, el diagrama esquemático de la barra aislada del neutro ubicada en el tablero TDP1 con una ilustración de la misma.



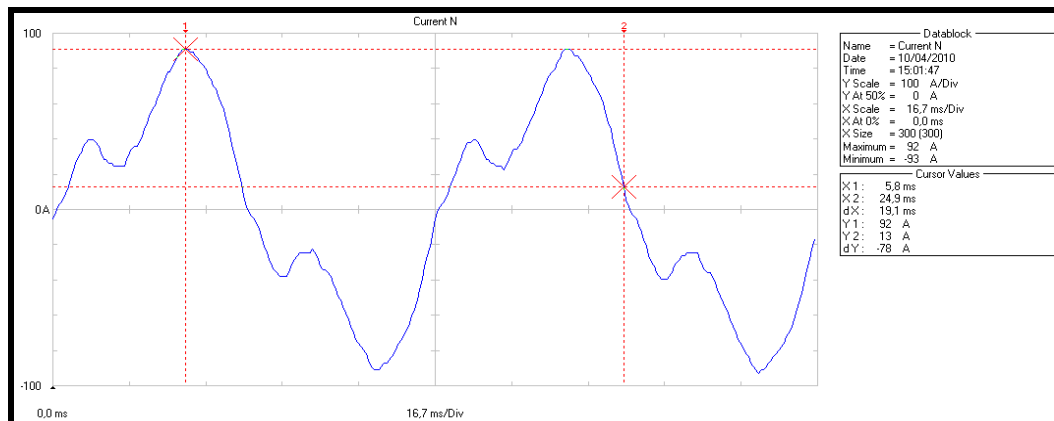
Fuente: Los Autores, Gráfico 113, Ubicación de conductores neutros en barra, 2010.



Fuente: Los Autores, Ilustración 31, de barra de neutro TDP1, 2010.

Primera Medición.

Esta medición fue capturada a las 15h01 con la dirección de la flecha de la sonda hacia la barra, sonda que fue ubicada en el cable del neutro que viene del transformador T1.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 114, Onda de Corriente del Neutro de T1, 2010.

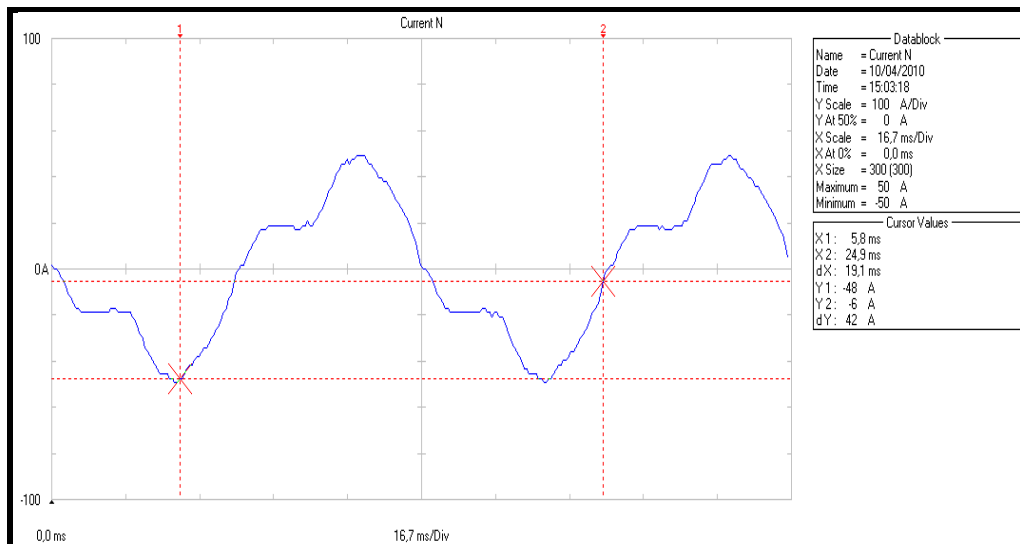
Se escogió hacer un corte en la gráfica como referencia en el eje del tiempo para obtener un valor instantáneo en el eje de corriente.

Corte referencia: $X1=5,8\text{ms}$ → $Y1=92\text{ Amp}$

Observación del gráfico: Nos indica que la dirección de la sonda de corriente está bien asumida, por lo tanto, quiere decir que la dirección de la corriente es hacia la barra.

Segunda Medición.

Esta medición fue capturada a las 15h03 con la dirección de la flecha de la sonda hacia la barra, sonda que fue ubicada en el grupo de cables de neutros correspondientes a las cargas individuales del tablero TDP1.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 115, Onda de Corriente del grupo de cables de neutro de las cargas de TDP1, 2010.

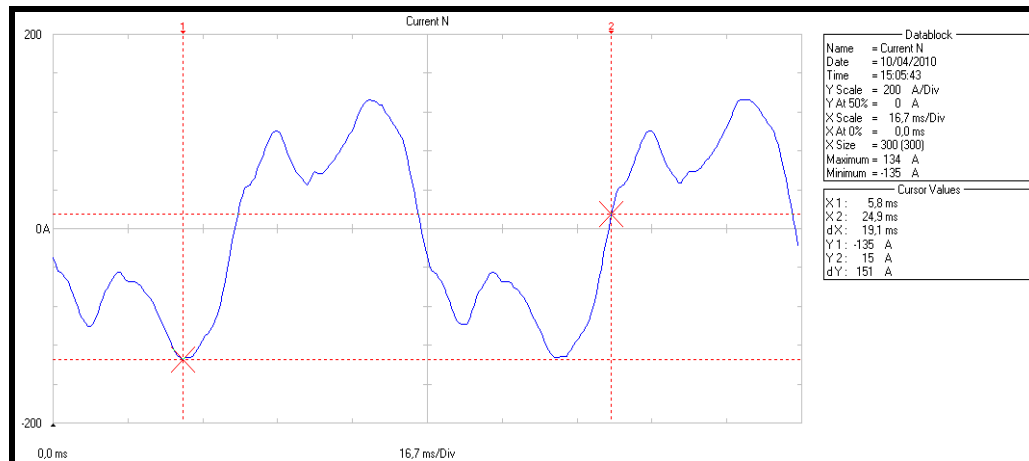
Se escogió hacer un corte en la gráfica con la referencia anterior en el eje del tiempo para obtener un valor instantáneo en el eje de corriente.

Corte referencia: $X1=5,8\text{ms}$ → $Y1= -48\text{ Amp}$

Observación del gráfico: Nos indica que la dirección de la sonda de corriente es opuesta a la asumida, por lo tanto, quiere decir que la dirección de la corriente es desde la barra hacia afuera.

Tercera Medición.

Esta medición fue capturada a las 15h05 con la dirección de la flecha de la sonda hacia la barra, sonda que fue ubicada alrededor de los dos conductores de neutros que van a la barra de neutro del tablero TDP3.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 116, Onda de Corriente de los dos conductores de neutros que van al tablero TDP3, 2010.

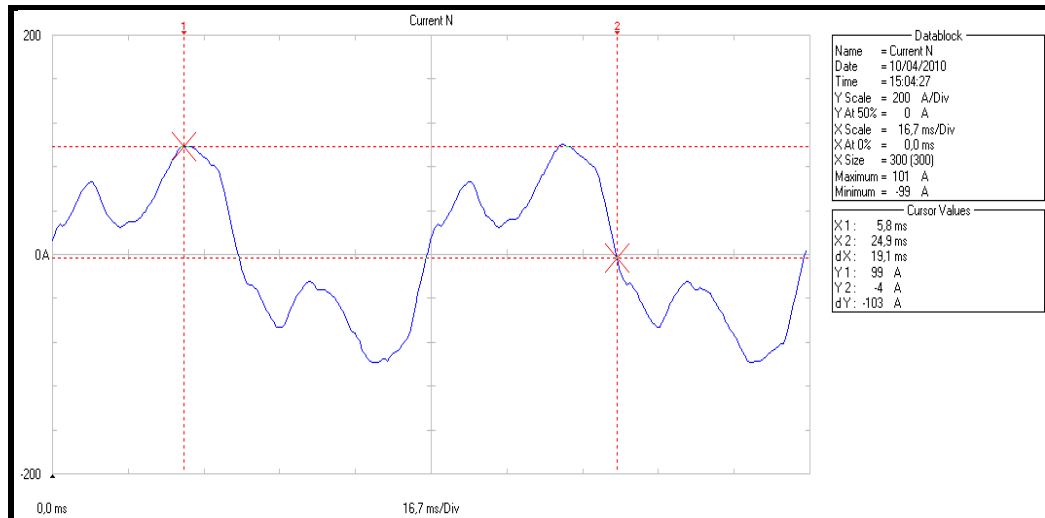
Se escogió hacer un corte en la gráfica con la referencia anterior en el eje del tiempo para obtener un valor instantáneo en el eje de corriente.

Corte referencia: $X1=5,8\text{ms}$ → $Y1= -135\text{ Amp}$

Observación del gráfico: Nos indica que la dirección de la sonda de corriente es opuesta a la asumida por lo tanto quiere decir que la dirección de la corriente es desde la barra hacia afuera.

Cuarta Medición.

Esta medición fue capturada a las 15h04 con la dirección de la flecha de la sonda hacia la barra, sonda que fue ubicada alrededor del conductor de neutro que va a la barra de neutro aislado del tablero TDP2 y que como sabemos va a su vez al neutro del transformador T2.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Gráfico 117, Onda de Corriente del conductor del neutro que va al tablero TDP2, 2010.

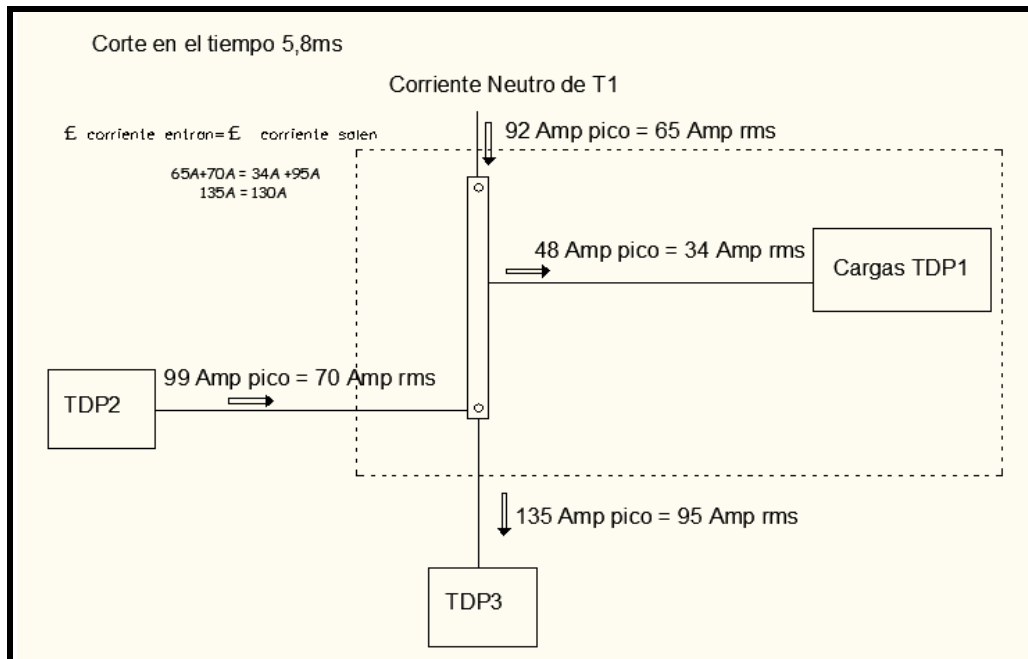
Se escogió hacer un corte en la gráfica con la referencia anterior en el eje del tiempo para obtener un valor instantáneo en el eje de corriente.

Corte referencia: $X1=5,8\text{ms}$ → $Y1= 99\text{ Amp}$

Observación del gráfico: Nos indica que la dirección de la sonda de corriente está bien asumida, por lo tanto, quiere decir que la dirección de la corriente es hacia la barra.

Análisis de corrientes de Nodos.

De las observaciones anteriores graficamos las trayectorias de corrientes:



Fuente: Los Autores, Gráfico 118, Trayectorias de corrientes en barra de neutro del tablero TDP1.

- El neutro del transformador T1 está compensando una parte de la corriente que debería entregar el transformador T2 a su carga del tablero TDP3, por tanto, ésta sería una causa importante de distorsión armónica que se podría estar amplificando por esta situación inusual.
- La corriente real del neutro del transformador T1 es cercana a 34 amp (rms).
- Por medio de la compensación de corriente de neutro que realiza el neutro del transformador T1 este sistema se está contaminando con armónicas, esta situación se puede ver claramente comparando las ondas medidas entre la corriente que entrega el neutro del transformador T1 y la corriente que recibe las cargas de TDP1.

- En la gráfica correspondiente al neutro del tablero de TDP3 (onda de neutro del tablero TDP3) se observa que esta corriente es altamente distorsionada y por la magnitud de corriente deducimos que es este tablero es el que produce los THD de distorsión máximos que encontramos en las mediciones continuas registradas en los puntos de medición.

4.9 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO DEL ESTUDIO EFECTUADO POR ESTA TESIS.

El aspecto económico es un punto importante que siempre se debe de considerar en todo tipo de proyecto, y en nuestra tesis este tema no puede pasar desapercibido, ya que el análisis económico nos permitirá conocer si es rentable o no la realización de este tipo de estudios, para esto hemos considerado lo siguiente:

4.9.1 La Inversión Inicial y de Gastos Totales.

La inversión inicial y la sumatoria de los gastos totales las tenemos en una serie de rubros que se muestran en la tabla, que a continuación presentamos:

ÍTEM	RUBROS	CANTIDAD	COSTO U.	COSTO TOTAL
1	PAPELERÍA	1	\$ 20	\$ 20
2	EXTENSIÓN ELÉCTRICA	1	17	17
3	PAR DE GUANTES ELÉCTRICOS	1	6	6
4	MASCARILLAS	2	3	6
5	DESTORNILLADORES	2	3	6
6	ALICATE	1	3	3
7	CANDADO PARA PUERTA	1	15	15
8	CARTUCHOS DE TINTA DE COLORES	1	35	35
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS				\$ 108
1	MOVILIZACIÓN DE EQUIPO	1	30	\$ 30
1	MOVILIZACIÓN DEL PERSONAL (20 DÍAS)	2	30	60
2	ALIMENTACIÓN DEL PERSONAL (20 DÍAS)	2	30	60
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS				\$ 150
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS				\$ 258

Fuente: Los Autores, Tabla 57, Costos Directos e Indirectos del Estudio, 2010.

4.9.2 Rentabilidad del Proyecto.

En la actualidad, el costo de un análisis de calidad de energía eléctrica, depende de los requerimientos del cliente que puede comprender de los factores como el tipo de equipo o punto a ser analizado, si el análisis sólo comprende de mediciones instantáneas o de registro continuo.

El costo para mediciones instantáneas a un número de aproximadamente de 10 breakers, tendría un costo aproximado de unos \$350 dólares, en este valor no se considera la evaluación técnica, si se requiere un estudio de calidad de energía con un registro de datos de al menos 7 días, cada día de medición costaría unos \$150 dólares por concepto de utilización de equipo de medición, y el costo del análisis realizado por el especialista bordea los \$800 dólares, el cual solo entrega un informe de resumen de los problemas encontrados y que muchas de las veces no incluyen las soluciones del caso, debido a que el estudio de calidad de energía sólo involucra identificar los puntos en que se incumplen con las normas establecidas y dar las pautas necesarias para corregir los problemas.

De lo anterior, podemos calcular un valor aproximado de lo que costaría realizar el estudio de calidad de energía, si tomamos en cuenta que fueron 9 los días en total en que se utilizó el equipo analizador, que se realizaron mediciones instantáneas a dos tableros de distribución sin contar con la medición de la corriente de la barra del neutro el costo sería de \$ 1.350 dólares, ahora falta sumar el costo por concepto de diagnóstico del profesional calificado y éste bordea los \$ 800 dólares, que a resumidas cuentas nos da un costo para el análisis de \$ 2.150 sin incluir el I.V.A.

Para calcular la rentabilidad de proyecto utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Rentabilidad: } (\$ 2.150 - \$ 258) = 733 \%$$

\$ 258

Este porcentaje nos indica que este estudio nos es rentable en una proporción de 7 veces a una de la inversión inicial.

CAPÍTULO 5

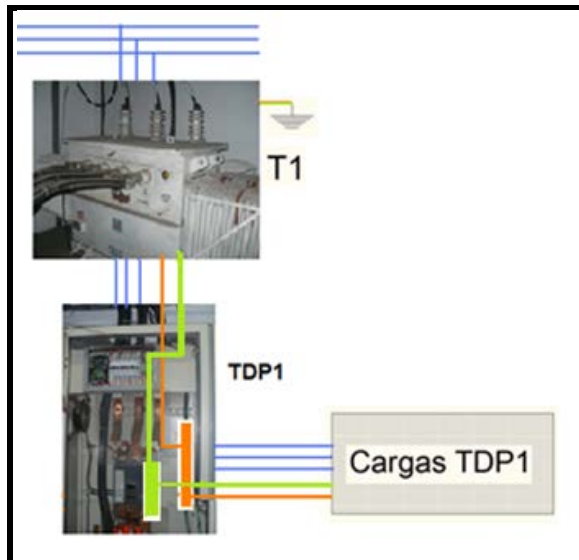
4 RECOMENDACIONES EFECTUADAS A LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DEL HOSPITAL LEON BECERRA.

4.1 Planteamiento de Soluciones que incluye Proyecto Solución.

Para crear el o los proyectos que mejoren la condición actual de los dos sistemas de distribución es necesario plantear soluciones que involucren principalmente la corrección de los problemas encontrados en los estudios realizados, para aquello hemos planteado dos proyectos solución para los dos sistemas de distribución.

5.1.1 Proyecto Solución para el sistema del transformador T1 (Tablero TDP1).

- Lo primero que se debe hacer es desconectar la unión del neutro de este sistema con la del neutro del sistema de TDP2, esta desconexión favorecerá la disminución por contaminación de armónicas y disminuirá la circulación de corriente de neutro por este sistema, además se necesita colocar un conductor para la barra de tierra que venga directamente del transformador T1, este conductor se escoge en base a la capacidad de interrupción del Breaker principal de este tablero que es de 1600 A, de la gráfica de los valores que designa el Código Eléctrico nos dice que se debe colocar un conductor 4/0 de cobre y de las mediciones que realizamos en la locación, estimamos que, el conductor debe tener una longitud de 10 metros. A continuación, el esquema con la nueva configuración que planteamos seguido de la tabla del Código Eléctrico que designa la capacidad del conductor a tierra.



Fuente: Los Autores, Gráfico 119, Diagrama Esquemático de la Configuración propuesta para PDT1, 2010.

CALIBRE MÍNIMO DEL CONDUCTOR DE TIERRA DEL EQUIPO				
Capacidad del interruptor automático de seguridad, ubicado antes del equipo Amperes	Sección transversal			
	Cobre		Aluminio	
	mm ²	AWG/kcmil	mm ²	AWG/kcmil
15	2.082	14	3.307	12
20	3.307	12	5.260	10
30	5.260	10	83.67	8
40	5.260	10	83.67	8
60	5.260	10	83.67	8
100	8.367	8	13.30	6
200	13.30	6	21.15	4
300	21.15	4	33.62	2
400	27.67	3	42.41	1
500	33.62	2	53.48	1/0
600	42.41	1	67.43	2/0
800	53.48	1/0	85.01	3/0
1000	67.43	2/0	107.2	4/0
1200	85.01	3/0	126.7	250
1600	107.2	4/0	177.3	350
2000	126.7	250	202.7	400
2500	177.3	350	304	500
3000	202.7	400	304	700
4000	253.4	500	405.4	800
5000	354.7	700	612	1200
6000	405.4	800	612	1200

Figura 8-9. Tabla 250-122 del Código.

Fuente: NFPA 70, NATIONAL ELECTRICAL CODE, Ilustración 32, Tabla 250-122 del Código Eléctrico, 2002.

- Lo segundo que hay que hacer es corregir el Factor de Potencia de las cargas individuales de este tablero y luego de ésto realizar el balance de todas las cargas conectadas en este tablero. A continuación, presentamos las tablas en

que primeramente se corrige el factor de potencia y luego se balancea las cargas.

De la tabla matriz de resumen descriptivo de cargas de TDP1 que se encuentra en el estudio individual de las cargas de este tablero en el capítulo 6 hemos creado una tabla en la que se calculó lo siguiente

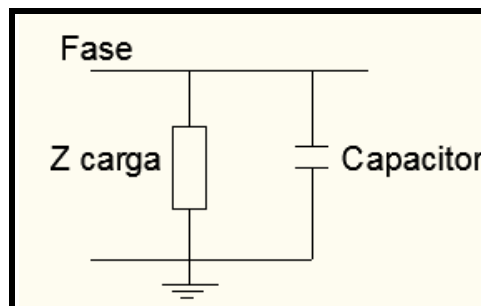
Voltaje de referencia					
V(L1) R		V(L2) S		V(L3) T	
r	θ	r	θ	r	θ
126,3	0,0	126,6	119,7	127,1	240,0

Fuente: Los Autores, Tabla 58, Tabla Voltajes de Fase Referencia de Cargas de TDP1, 2010

	fp 1	fp 2	fp 3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3	Z(L1) R		Z(L2) R		Z(L3) R	
										R	j	R	j	R	j
B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
B3	0,98	0,99	0,99	333	877	640	74	129	102	45,6	10,2	17,9	2,6	24,6	3,9
B4	1,00	0,91	0,87	3154	2998	633	-132	1357	352	5,0	-0,2	4,4	2,0	19,5	10,8
B5	0,95	0,84	-0,50	609	610	0	-209	386	0	23,4	-8,0	18,8	11,9	-	-
B6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
B7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
B8	0,92	0,49	0,88	1043	1027	112	451	1804	60	12,9	5,6	3,8	6,7	112,2	59,7
B9	0	0,65	0,62	0	16	156	0	-19	200	-	-	409,7	482,3	39,1	50,1
B10	0,94	0,76	0	1302	1138	0	-484	967	0	10,8	-4,0	8,2	6,9	-	-
B11	0,94	0,75	0	1250	1140	0	-440	1003	0	11,3	-4,0	7,9	7,0	-	-
B12	0,90	0	0,74	522	0	331	255	0	-297	24,7	12,0	-	-	27,0	-24,3
B13	0,96	0,98	0,66	1314	2241	2083	-364	409	2399	11,3	-3,1	6,9	1,3	3,3	3,8
B14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
B15	0,97	0,94	0,74	1717	2492	906	-422	924	817	8,8	-2,2	5,7	2,1	9,8	8,9
B16	0,99	0,97	0,97	3604	4169	2578	-372	1066	692	4,4	-0,5	3,6	0,9	5,8	1,6

Fuente: Los Autores, Tabla 59, Característica de las cargas de TDP1, 2010.

De las impedancias que se encuentran pintadas hay que corregirlas agregando un capacitor en paralelo a cada una de estas impedancias de carga en los equipos que las producen, para que de esta manera cuando esta carga entre al sistema también se conecte el capacitor, para así de esta forma mejorar su factor de potencia, para demostrar cómo se obtuvo la capacidad del capacitor en μf y su potencia nominal para cada una de estas cargas, a continuación explicamos el cálculo para la corrección del factor de potencia de la carga conectada a la fase 2 del breaker B8. Esta filosofía de cálculo es aplicada a las demás cargas para corregir su factor de potencia, además al final incluimos un cálculo rápido de ahorro de energía que estos cambios provocan.



Fuente: Los Autores, Gráfico 120, Diagrama esquemático de la configuración propuesta para PDT1, 2010.

Paso 1.-

Hay que encontrar la potencia reactiva necesaria para mejorar el factor de potencia y la hallamos de esta forma:

$$Fp_{\text{Actual}} = 0,49 \quad \theta = 60,6^\circ$$

$$Fp_{\text{Nuevo}} = 0,95 \quad \theta = 18,2^\circ$$

$$Q_{\text{Actual}} = 1804 \text{var.}$$

$$P = 1027 \text{ Watt.}$$

$$V_{\text{Nominal}} = 127 \text{v.}$$

De la siguiente tabla con el F_p Actual que es igual al $\text{Cos}\theta_1$ y con el F_p Nuevo que es igual al $\text{Cos}\theta_2$ podemos obtener $\text{Tg}\theta$ Actual que es igual a $\text{Tg}\theta_1$, y el valor de $\text{Tg}\theta$ Nuevo que es igual a $\text{Tg}\theta_2$, con estos valores aplicamos la siguiente fórmula y obtenemos:

$$Q_c = P \cdot (\text{tg} \cdot \theta_1 - \text{tg} \cdot \theta_2)$$

Q_c = Potencia reactiva necesaria en kvar
 P = Potencia activa de la instalación en kW

Fuente: NFPA 70, NATIONAL ELECTRICAL CODE, Gráfico 121, Fórmula para el cálculo Potencia Reactiva necesaria, 2002.

Valores iniciales	COS θ_2														
	tg θ_1	cos θ_1	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
1,68	0,45	1,230	1,384	1,501	1,533	1,561	1,585	1,606	1,625	1,642	1,657	1,671	1,684	1,696	1,708
1,68	0,46	1,179	1,328	1,443	1,474	1,501	1,525	1,546	1,564	1,580	1,595	1,609	1,622	1,634	1,646
1,68	0,47	1,130	1,276	1,389	1,419	1,445	1,468	1,488	1,505	1,521	1,536	1,550	1,563	1,575	1,587
1,68	0,48	1,076	1,219	1,329	1,358	1,383	1,405	1,424	1,441	1,457	1,472	1,486	1,499	1,511	1,523
1,77	0,49	1,030	1,179	1,297	1,326	1,351	1,373	1,392	1,409	1,425	1,440	1,454	1,467	1,479	1,491
1,73	0,50	0,982	1,132	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732	1,732
1,68	0,51	0,936	1,087	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686	1,686
1,64	0,52	0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644	1,644
1,64	0,53	0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600	1,600
1,59	0,54	0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559	1,559
1,51	0,55	0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519	1,519
1,44	0,56	0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480	1,480
1,40	0,57	0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442	1,442
1,38	0,58	0,656	0,805	0,922	0,950	0,977	1,011	1,043	1,077	1,115	1,154	1,202	1,263	1,405	1,405
1,38	0,59	0,621	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368	1,368
1,33	0,60	0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334	1,334
1,30	0,61	0,548	0,696	0,812	0,841	0,868	0,902	0,934	0,968	1,006	1,046	1,094	1,155	1,297	1,297
1,26	0,62	0,513	0,661	0,777	0,806	0,833	0,867	0,900	0,934	0,972	1,012	1,060	1,121	1,263	1,263
1,23	0,63	0,479	0,627	0,743	0,772	0,799	0,833	0,866	0,900	0,938	0,978	1,026	1,087	1,229	1,229
1,20	0,64	0,445	0,593	0,709	0,738	0,765	0,800	0,833	0,867	0,905	0,945	0,993	1,054	1,196	1,196
1,17	0,65	0,411	0,559	0,675	0,704	0,731	0,765	0,800	0,840	0,878	0,918	0,966	1,027	1,169	1,169
1,14	0,66	0,378	0,526	0,642	0,671	0,698	0,732	0,766	0,806	0,844	0,884	0,932	0,993	1,135	1,135
1,11	0,67	0,345	0,493	0,609	0,638	0,665	0,700	0,734	0,774	0,812	0,852	0,900	0,961	1,103	1,103
1,08	0,68	0,312	0,460	0,576	0,605	0,632	0,666	0,700	0,740	0,778	0,818	0,866	0,927	1,069	1,069
1,05	0,69	0,279	0,427	0,543	0,572	0,599	0,634	0,668	0,708	0,746	0,786	0,834	0,895	1,037	1,037
1,02	0,70	0,247	0,395	0,511	0,540	0,567	0,602	0,636	0,676	0,714	0,754	0,802	0,863	1,005	1,005
0,99	0,71	0,215	0,363	0,479	0,508	0,535	0,570	0,604	0,644	0,682	0,722	0,770	0,831	0,973	0,973
0,96	0,72	0,183	0,331	0,447	0,476	0,503	0,538	0,572	0,612	0,650	0,690	0,738	0,799	0,941	0,941
0,93	0,73	0,151	0,300	0,416	0,445	0,472	0,507	0,541	0,581	0,619	0,659	0,707	0,768	0,910	0,910
0,90	0,74	0,119	0,269	0,385	0,414	0,441	0,476	0,510	0,550	0,588	0,628	0,676	0,737	0,879	0,879
0,88	0,75	0,132	0,282	0,398	0,427	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882	0,882
0,85	0,76	0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855	0,855
0,82	0,77	0,079	0,228	0,344	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,626	0,687	0,829	0,829
0,79	0,78	0,053	0,202	0,318	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,655	0,797	0,797
0,75	0,80	0,020	0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,602	0,750	0,750
0,72	0,81	0,014	0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,576	0,724	0,724
0,69	0,82	0,008	0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,550	0,698	0,698
0,64	0,84	0,004	0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,646	0,646
0,62	0,85	0,000	0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,411	0,478	0,620	0,620
0,59	0,86	0,000	0,000	0,119	0,147	0,174	0,208	0,240	0,274	0,312	0,352	0,394	0,455	0,597	0,597
0,57	0,87	0,000	0,000	0,103	0,131	0,158	0,192	0,224	0,258	0,296	0,336	0,378	0,439	0,581	0,581
0,54	0,88	0,000	0,000	0,087	0,115	0,142	0,176	0,208	0,242	0,280	0,320	0,362	0,423	0,565	0,565
0,50	0,89	0,000	0,000	0,071	0,099	0,126	0,160	0,192	0,226	0,264	0,304	0,346	0,407	0,549	0,549
0,48	0,90	0,000	0,000	0,055	0,083	0,110	0,144	0,176	0,210	0,248	0,288	0,330	0,391	0,533	0,533
0,46	0,91	0,000	0,000	0,039	0,067	0,094	0,128	0,160	0,194	0,232	0,272	0,314	0,375	0,517	0,517
0,43	0,92	0,000	0,000	0,023	0,051	0,078	0,112	0,144	0,178	0,216	0,256	0,298	0,359	0,501	0,501
0,40	0,93	0,000	0,000	0,007	0,035	0,062	0,096	0,128	0,162	0,200	0,240	0,282	0,343	0,485	0,485
0,38	0,94	0,000	0,000	0,000	0,029	0,056	0,090	0,122	0,156	0,194	0,234	0,276	0,337	0,479	0,479
0,33	0,95	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,29	0,96	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,97	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,20	0,98	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,14	0,99	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: NFPA 70, NATIONAL ELECTRICAL CODE, Ilustración 33, Tabla para cálculo de $\text{Tg}\theta$ de fp del Código Eléctrico, 2010.

$Q_c = 329,66$ var.

Q Necesaria = (Q Actual - Q_c)

$$Q_{\text{Necesaria}} = 1474 \text{ var.}$$

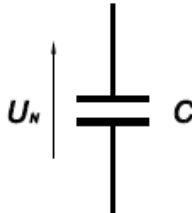
Entonces la potencia necesaria es la potencia reactiva nominal del capacitor y este valor es de aproximadamente 1400var.

Paso 2.-

Para calcular los microfaradios necesarios que debe tener este capacitor se la obtiene de la fórmula de capacidad de potencia de los capacitores, de la cual se despeja la capacitancia. La fórmula es la siguiente:

$$Q_N = C \omega U_N^2 \cdot 10^{-9}$$

$Q_N = Q_{\text{Necesaria}}$ (Kvar)
 $C =$ capacidad (μF)
 $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_N$
 $f_N =$ frecuencia nominal (Hz)
 $U_N =$ tensión nominal (V)



The diagram shows a capacitor symbol with two parallel horizontal lines. To its left is a vertical arrow pointing upwards, labeled U_N . To its right is the letter C .

Fuente: Los Autores, Gráfico 122, Fórmula para el cálculo capacidad de potencia del capacitor, 2010.

De esta fórmula, despejamos la capacitancia y obtenemos el valor en microfaradios del capacitor que estamos buscando y éste es de:

$$C = 230\mu\text{f}$$

Paso 3.-

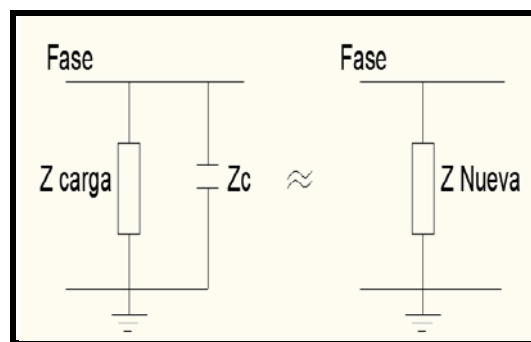
Calculamos la impedancia respecto a los microfaradios que encontramos mediante la fórmula:

$$X_C = - \frac{1}{2\pi \cdot F \cdot C}$$

$$X_C = -11,5 \quad Z_C = 11,5 \angle -90 \quad Z_C = 0 - j11,5$$

Paso 4.-

En este paso hallamos el equivalente paralelo de la impedancia de la carga ($Z_c = 3,8 + j6,8$) con la impedancia del capacitor y este valor reemplaza a valor de la impedancia de carga de bajo factor de potencia y este valor a su vez cambia la magnitud de la corriente y su ángulo.



Fuente: Los Autores, Gráfico 123, Nueva Impedancia de carga, 2010.

$$Z_{\text{Nueva}} = 15,1 \angle 18,8$$

$$Z_{\text{Nueva}} = 14,3 + j4,9$$

A continuación presentamos una tabla de resumen en donde colocamos los datos calculados para todas las cargas:

Resumen de listado de Condensadores de Energía Reactiva								
Breaker	Carga ubicada en la fase	Z_{Actual} Carga	Z_{Nueva} Carga	F_P Actual Carga	F_P Nuevo Carga	Q_N Capacitor	V_N Capacitor	μF Capacitor
B8	2	(4 + j 6,9)	(14,3 + j 4,9)	0,49	0,95	1400	127	230
B10	2	(8,2 + j 6,9)	(13,7 + j 2,2)	0,76	0,99	800	127	130
B11	2	(7,9 + j 6,9)	(13,5 + j 2,6)	0,75	0,98	800	127	130
B13	3	(3,3 + j 3,8)	(6,6 + j 2,8)	0,66	0,92	1500	127	250
B15	3	(9,8 + j 8,8)	(15,8 + j 5,5)	0,74	0,94	500	127	80

Fuente: Los Autores, Tabla 60, Listado de condensadores para corrección fp, 2010.

Como ya lo hemos indicado si estos capacitores son colocados en la fuente que genera el bajo factor de potencia este factor se corregirá y con ello también se disminuirá la magnitud de la corriente que circula por este conductor de fase, para mostrar el ahorro que habrá tomemos como ejemplo la corriente que circula por el conductor de fase de bajo factor de potencia del Breaker #8 y veamos a continuación, la potencia que disipada este conductor, esta filosofía de análisis que veremos se utilizará para calcular el ahorro de potencia consumida por los conductores y además notaremos los beneficios que estos cambios provocarán en las cargas de bajo factor de potencia.

Consideraciones que hay que tener en cuenta antes de continuar:

- La distancia aproximada de estos conductores a los tableros de carga es de aproximadamente unos 200 a 300m.
- La temperatura ambiente puede cambiar el valor de resistencia de los conductores haciéndolos más resistivos.
- El diámetro del conductor mientras más delgado sea y si por éste circula una corriente alta disipara más potencia.
- Del Código Eléctrico extraemos la resistencia de los conductores por km., para calcular el valor de la resistencia del conductor la calculamos multiplicando la longitud total del conductor por el valor dado por la tabla.

Sección (mm ²)	Resistencia (Ω/km)
4	4,95
6	3,3
10	1,91
16	1,21
25	0,78
35	0,554
50	0,386
70	0,272
95	0,206
120	0,161

$P(W) = R \cdot I^2$
 R = resistencia del conductor en ohm
 I = corriente en el conductor (A)
 P = potencia total disipada (W)

Fuente: NFPA 70, NATIONAL ELECTRICAL CODE, Gráfico 124, Valor resistivo de conductores, 2002.

- Entonces si conocemos que estos breakers tienen conductores #6 entonces de tabla de los conductores del Código Eléctrico sacamos el valor de la sección en mm² y con la información que tenemos vamos a la tabla anterior y estimamos en conjunto con la longitud del conductor que es de 300m el valor de la resistencia y ésta sería de 0,36Ω.

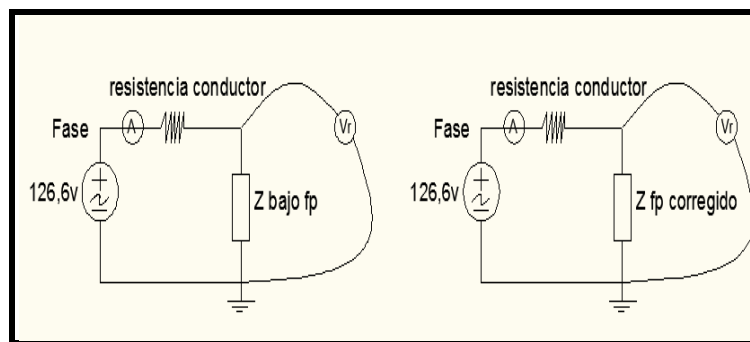
	AWG	CM	mm ²
	20	1022	0,5176
	18	1624	0,8225
	16	2583	1,3082
	14	4107	2,0800
	12	6530	3,3071
	10	10380	5,2570
	8	16510	8,3615
	6	26250	13,2943
	4	41740	21,1392
	3	52630	26,6545
	2	66370	33,6131
	1	83690	42,3848
	0	105500	53,4305
	2/0	133100	67,4086
	3/0	167800	84,9824
	4/0	211600	107,1649
	250	250000	126,6126

Fuente: Los Autores, Gráfico 125, Tabla sección de conductores, 2010.

De las consideraciones anteriores sabemos que la resistencia de los conductores es de 0,36Ω, y si conocemos la magnitud de las corrientes antes y después de la corrección del factor de potencia podremos calcular la disipación de potencia en este conductor y la caída de voltajes que se producen así como también el ahorro de potencia activa en el mismo.

Breaker	Fase conectada	Magnitud Corriente Fp bajo	Magnitud Corriente Fp Corregido
B8	Fase 2	16	8
B10	Fase 2	12	9
B11	Fase 2	12	9
B13	Fase 3	25	18
B15	Fase 3	10	8

Fuente: Los Autores, Tabla 61, Magnitudes de Corrientes con fp bajo y corregido, 2010.



Fuente: Los Autores, Gráfico 126, Esquema de análisis de disipación de potencia en conductores, 2010.

De lo anterior calculamos para el breaker B8 para el factor de potencia bajo:

$$R_{\text{Conductor}} = 0,36\Omega.$$

$$I_{\text{bajo fp}} = 16\text{amp.}$$

Entonces.

$$V_{\text{Caída de voltaje}} = (16 \text{ amp}) \times (0,36\Omega) = 5,76\text{v}$$

$$V_{\text{Recibe carga}} = (126,6\text{v}) - (5,76\text{v}) = 120,8\text{v}$$

$$P_{\text{Conductor}} = (16\text{amp})^2 \times (0,36\Omega) = 92\text{watt}$$

De lo anterior calculamos para el breaker B8 para el factor de potencia corregido:

$$R_{\text{Conductor}} = 0,36\Omega.$$

$$I_{\text{bajo fp}} = 8\text{amp.}$$

Entonces.

$$V_{\text{Caída de voltaje}} = (8 \text{ amp}) \times (0,36\Omega) = 2,88\text{v}$$

$$V_{\text{Recibe carga}} = (126,6\text{v}) - (2,88\text{v}) = 123,7\text{v}$$

$$P_{\text{Conductor}} = (8\text{amp})^2 \times (0,36\Omega) = 23\text{watt}$$

Observaciones:

- Hay un ahorro de 69watt.
- Aunque el ahorro de energía no es tan significativo en comparación con la potencia consumida por la carga, en este caso se ve el beneficio de que el voltaje mejora y con ésto se garantiza que los receptáculos tengan el voltaje dentro de la normas más aún cuando los equipos de este hospital son tan sensibles a las caídas de voltaje, además como ya sabemos en el tablero principal PDT1 que alimenta de tensión a este breaker en horas de máxima carga su voltaje disminuye, y con la corrección del factor de potencia estamos seguros que mejora esta condición.

A continuación, presentamos las tablas resumen con la filosofía de cálculo antes mostrada:

Con Fp Bajo						
Breaker	V _{Fuente}	R _{Conductor}	I _{Carga}	C _{áida voltaje C}	R _{ecibe Carga}	P _{Conductor}
B8	126,6	0,36	16	5,9	120,7	97
B10	126,6	0,36	12	4,2	122,4	50
B11	126,6	0,36	12	4,3	122,3	52
B13	126,6	0,36	25	9,0	117,6	225
B15	126,6	0,36	10	3,5	123,1	33
Potencia consumida por conductores en Watt.						457
Potencia consumida en Kwh						0,46
Potencia consumida en Kwh día						11
Potencia consumida en Kwh mes						329
Costo de energía consumida en conductores al mes (\$0,06 dólares el Kwh)						\$ 19,74
Costo de energía consumida en conductores al año (\$0,06 dólares el Kwh)						\$ 236,89

Fuente: Los Autores, Tabla 62, Resumen de energía consumida por conductores de bajo Fp, 2010.

Con Fp Corregido						
Breaker	V _{Fuente}	R _{Conductor}	I _{Carga}	C _{caída voltaje C}	R _{recibe Carga}	P _{Conductor}
B8	126,6	0,36	8	3,0	123,6	25
B10	126,6	0,36	9	3,3	123,3	30
B11	126,6	0,36	9	3,3	123,3	31
B13	126,6	0,36	18	6,4	120,2	112
B15	126,6	0,36	8	2,7	123,9	21
Potencia consumida por conductores en Watt.						219
Potencia consumida en Kwh						0,22
Potencia consumida en Kwh día						5
Potencia consumida en Kwh mes						157
Costo de energía consumida en conductores al mes (\$0,06 dólares el Kwh)						\$ 9,44
Costo de energía consumida en conductores al año (\$0,06 dólares el Kwh)						\$ 113,27
Ahorro en Costo de energía consumida con fp corregido al año.						\$ 123,62

Fuente: Los Autores, Tabla 63, Resumen de energía consumida por conductores con Fp corregido, 2010.

Con el factor de Potencia corregido en las cargas, veremos los efectos en las corrientes totales por fase en la corriente del neutro y en el fp total del sistema:

Descripción de Cargas Tablero TDP1 y Cálculo de Corriente Neutro Fundamental con fp corregido.

Breaker	Polos	Ampacidad	Ubicación de Fases en Breakers visto Frontalmente de izquierda a derecha Pos 1- Pos 2- Pos 3	Datos Experimentales de Cargas						Cálculo Neutro		Comentario
				V(L1) R		V(L2) S		V(L3) T		r	A(LN) θ	
				r	θ	r	θ	r	θ			
				126,3	0,0	126,6	119,7	127,1	240,0			
				A(L1) R		A(L2) S		A(L3) T				
				r	θ	r	θ	r	θ			
B1	3Φ	100A	–	0	0	0	0	0	0	0	0	No cableado
B2	3Φ	150A	–	0	0	0	0	0	0	0	0	No cableado
B3	3Φ	150A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	3	-13	7	-128	5	-249	4	-159	NN
B4	3Φ	150A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	25	2	26	-144	6	-269	9	-66	NN
B5	2Φ	50A	Pos 1:C2 Pos 2:C1	5	19	6	-152	0	0	1	-101	NN
B6	3Φ	60A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1									NN
B7	3Φ	60A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1									NN
B8	3Φ	70A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	9	-23	8	-138	1	-268	8	-76	Servicio General (Hay colocar capacitor carga 2)
B9	2Φ	60A	Pos 1:C2 Pos 2:C1	0	0	0,2	-70	2	-292	2	64	NN
B10	2Φ	60A	Pos 1:C2 Pos 2:C1	11	20	9	-129	0	0	6	-35	A/C Contabilidad (Hay colocar capacitor carga 1)
B11	3Φ	70A	Pos 1:C2 Pos 2:C1 Pos 3:0	11	19	9	-131	0	0	5	-42	Ascensor Lado Sur (Hay colocar capacitor carga 1)
B12	2Φ	50A	Pos 1:C1 Pos 2:C2	5	-26	0	0	4	-198	1	-49	NN
B13	3Φ	70A	Pos 1:C1 Pos 2:C2 Pos 3:C3	11	16	18	-130	18	-263	7	118	NN (Hay colocar capacitor carga 3)
B14	2Φ	50A	Pos 1:C1 Pos 2:C2									NN
B15	3Φ	70A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	14	14	21	-140	8	-259	5	-145	NN (Hay colocar capacitor carga 1)
B16	3Φ	70A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	29	6	34	-134	21	-255	1	-112	NN
Corriente Total Por Fase				118	6	138	-136	61	103			hay desequilibrio corriente (16,56 y 93%)
Corriente Neutro Total calculada por la sumatoria de las corrientes de neutro generadas por las cargas										23	-79	Corriente neutro real generará por este punto de medición
Corriente Neutro Medida Experimentalmente												

Fuente: Los Autores, Tabla 64, Resumen corrientes de fases de cada carga de PDT1 con fp corregido, 2010.

Factor Potencia	fp	0,99	0,96	0,96
Potencia Activa	P	14847	16690	7430
Potencia Reactiva	Q	-1643	4996	2288
Potencia Total	PT	38968		
Potencia Reactiva T	QT	5640		
Potencia Aparente	S	39374		
Factor potencia sist	fp sist	0,99		

Fuente: Los Autores, Tabla 65, Resumen de Potencias y fp de las cargas con fp corregido, 2010.

De las tablas de resumen de las corrientes y de las potencias con el fp corregido en las cargas individuales de TDP1, observamos que se mejoró el factor de potencia del sistema, se disminuyó la corriente en las fases y las corrientes de neutro de las cargas individuales también disminuyeron, no obstante las corrientes de neutro de las cargas individuales cuando entran a la barra neutra se suman y se incrementa la corriente neutro total; pero si nos damos cuenta, se disminuyó la corriente en los neutros de las cargas y por ende disminuyó el consumo de potencia disipada en estos conductores, y por último el desbalance de las corrientes sigue siendo alto, para resolver este incremento de corriente de neutro en la barra neutra de TDP1 y también para equilibrar las corrientes en las fases necesitamos balancear las cargas, a continuación mostraremos los cambios que se producen cuando se reubican de fase las impedancias de las cargas.

Para balancear las corrientes debemos balancear las cargas y esto se logra únicamente reubicando las impedancias de estas cargas; luego calculamos las corrientes por fase de estas cargas respecto al voltaje de la fase en que vamos a ubicar la mencionada impedancia, enseguida mostramos los resultados de la reubicación de estas cargas en otras fases.

Descripción de Cargas Tablero TDP1 y Cálculo de Corriente Neutra Fundamental con Balanceo de cargas.

Breaker	Polos	Ampacidad	Ubicación de Cargas en Breakers visto Frontalmente de izquierda a derecha Pos 1- Pos 2- Pos 3	Datos Experimentales de Cargas						Cálculo Neutro		Comentario
				V(L1) R		V(L2) S		V(L3) T		r	θ	
				r	θ	r	θ	r	θ			
B1	3Φ	100A	-	0	0	0	0	0	0	0	0	No cableado
B2	3Φ	150A	-	0	0	0	0	0	0	0	0	No cableado
B3	3Φ	150A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	3	-13	7	-128	5	-249	4	-159	NN
B4	3Φ	150A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	25	2	26	-144	6	-269	9	-66	NN
B5	2Φ	50A	Pos 1:C1 Pos 2:C2	6	-32	0	0	5	-221	1	20	NN (en la Pos 1 hay que cambiar la fase S por la T) cambiar la C2 a Pos 2 y C1 a Pos1
B6	3Φ	60A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	0	0	0	0	0	0	0	0	NN
B7	3Φ	60A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	0	0	0	0	0	0	0	0	NN
B8	3Φ	70A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	9	-23	8	-138	1	-268	8	-76	Servicio General
B9	2Φ	60A	Pos 1:C2 Pos 2:C1	0	0	0,2	-70	2	-292	2	64	NN
B10	2Φ	60A	Pos 1:C2 Pos 2:C1	9	-9	0	0	11	-220	6	86	A/C Contabilidad (en la Pos 1 hay que cambiar la fase S por la T) cambiar la C2 a Pos 2 y C1 a Pos1
B11	3Φ	70A	Pos 1:0 Pos 2:C2 Pos 3:C1	9	-11	0	0	11	-221	5	79	Ascensor Lado Sur (en la Pos 3 hay que traer la fase T y colocarla en esta) cambiar la C2 a Pos 2 y C1 a Pos 3
B12	2Φ	50A	Pos 1:C1 Pos 2:C2	5	-26	0	0	4	-198	1	-49	NN
B13	3Φ	70A	Pos 1:C1 Pos 2:C2 Pos 3:C3	11	16	18	-130	18	-263	7	118	NN
B14	2Φ	50A	Pos 1:C1 Pos 2:C2	0	0	0	0	0	0	0	0	NN
B15	3Φ	70A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	14	14	21	-140	8	-259	5	-145	NN
B16	3Φ	70A	Pos 1:C3 Pos 2:C2 Pos 3:C1	29	6	34	-134	21	-255	1	-112	NN
Corriente Total Por Fase				115	-1	114	-137	84	114			Hay desequilibrio corriente (1, 26 y 37%)
Corriente Neutra total calculada por la sumatoria de las corrientes de neutro generadas por las cargas										4	-113	Corriente neutro real generará por este punto de medición
Corriente Neutra Medida Experimentalmente												

Fuente: Los Autores, Tabla 66, Resumen corrientes de fases de cada carga de PDT1 con fp corregido y balanceado, 2010.

Factor Potencia	fp	1,00	0,96	0,99
Potencia Activa	P	14567	13795	10633
Potencia Reactiva	Q	275	4206	1140
Potencia Total	PT	38996		
Potencia Reactiva T	QT	5621		
Potencia Aparente	S	39399		
Factor potencia sist	fp sist	0,99		

Fuente: Los Autores, Tabla 67, Resumen de Potencias y fp de las cargas con fp corregido y balanceado, 2010.

De las Tablas de Balanceo de Cargas, notamos que la sumatoria de las corrientes del neutro disminuyó a un valor aceptable, el desequilibrio entre las corrientes de fase disminuyó y se encuentra ahora dentro de la norma, el fp de las fase mejoró, la potencia reactiva en comparación con la potencia reactiva actual disminuyó en 5kvar la potencia aparente disminuyó 1Kva.

En definitiva, podemos decir, que, con estos correctivos ahorraremos dinero por consumo de energía, mejoraremos la calidad del voltaje que reciben los receptores y disminuirémos la distorsión de las corrientes de tercera armónica.

Hay que resaltar que la calidad del voltaje en los receptores es muy importante y debe ser considerada, debido a que estos equipos, la mayoría son electrónicos y sus fuentes de poder disipan más potencia cuando su voltaje es insuficiente y a la vez generan una mayor distorsión de las corrientes, éste es uno de los motivos por lo que los equipamientos que son muy costosos acortan su vida útil.

5.1.2 Proyecto Solución para el sistema del transformador T2 (Del Tablero TDP3)

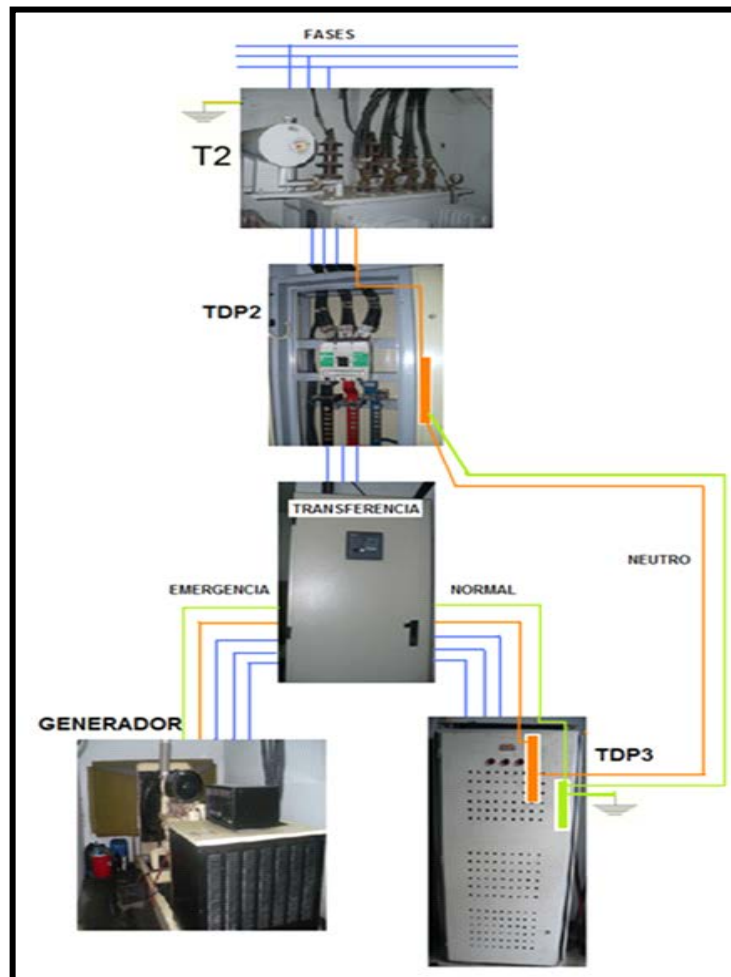
- Lo primero que se debe hacer es desconectar la unión del neutro de este sistema con la del neutro del sistema de TDP1, esta desconexión favorecerá la disminución por contaminación de armónicas y disminuirá la circulación de corriente de neutro por el sistema de T1, además se necesita colocar el conductor de neutro del Tablero TDP3 que actualmente está en la barra de neutro de TDP1 a la barra de neutro de TDP2, así como también, se deberá conectar el conductor de tierra de este mismo tablero (TDP3) a esta misma barra de neutro, el Código Eléctrico estipula que el conductor de protección a tierra debe salir del neutro aterrizado, y este neutro debe ser aterrizado en un sólo lugar y solo puede ser en el transformador o en el primer tablero de distribución, en este caso el aterrizamiento general del neutro está en el transformador y el conductor de neutro llega a la barra aislada del tablero TDP2, entonces el código sí permite que el conductor de protección a tierra de todas las cargas sea conectado a esta barra de neutro únicamente en este tablero. Con este arreglo que proponemos, se protege contra fallas por cortocircuito entre conductores de fase a tierra, para aterrizar o poner a equipotencialidad de cero la estructura del tablero de TDP2 se debe conectar un conductor a la estructura de éste y llevarlo a la barra de tierra del tablero de TDP1 y así de esta forma mantendremos equipotencialidad cero entre las estructuras.

- Lo segundo que hay que hacer, es corregir el Factor de Potencia de las cargas individuales de este tablero y luego de esto realizar el balance de todas las cargas conectadas en este tablero. A continuación presentamos las tablas en que primeramente se corrige el factor de potencia y luego se balancea las cargas.

De la tabla matriz de resumen descriptivo de cargas de TDP3 que se encuentra en el estudio individual de las cargas de este tablero, en el capítulo 6, hemos creado una tabla en la que se calculó lo siguiente:

Voltaje de referencia					
V(L1) R		V(L2) S		V(L3) T	
r	è	r	è	r	è
122	0	120,4	-120	123	-241

Fuente: Los Autores, Tabla 68, Tabla Voltajes de fase referencia de cargas de TDP3, 2010.



Fuente: Los Autores, Gráfico 127, Diagrama esquemático de la configuración propuesta para PDT2, 2010.

	fp 1	fp 2	fp 3	P1	P2	P3	Q1	Q2	Q3		Z(L1)		Z(L2)		Z(L3)	
											R	j	R	j	R	j
B1	0,89	0,95	0,81	435	1025	297	222	353	216	B1	27,2	13,8	12,6	4,4	33,0	24,0
B2	0,96	0,77	1,00	2580	1937	366	-740	1625	-32	B2	5,3	-1,5	4,4	3,7	40,7	-3,6
B3										B3						
B4	0,92	0,87	1,00	1583	1668	1159	-672	963	101	B4	8,0	-3,4	6,5	3,8	12,8	1,1
B5	0,45		1,00	498		1466	978		103	B5	6,2	12,1			10,2	0,7
B6	0,24	1,00		1712	4332		-6866	-151		B6	0,5	-2,0	3,3	-0,1		
B7	0,85	0,39	1,00	124	9	244	-78	22	-21	B7	86,2	53,9	235,2	554,1	61,0	-5,3
B8	0,95	1,00	0,99	2100	963	2184	682	-34	-307	B8	6,4	2,1	15,0	-0,5	6,7	-0,9
B9										B9						
B10										B10						
B11	0,96	1,00		2217	1084		678	0		B11	6,1	1,9	13,4	-		
B12										B12						
B13										B13						
B14	0,37	0,97		823	2210		2036	592		B14	2,5	6,3	6,1	1,6		

Fuente: Los Autores. Tabla 69. Característica de las cargas de TDP3. 2010.

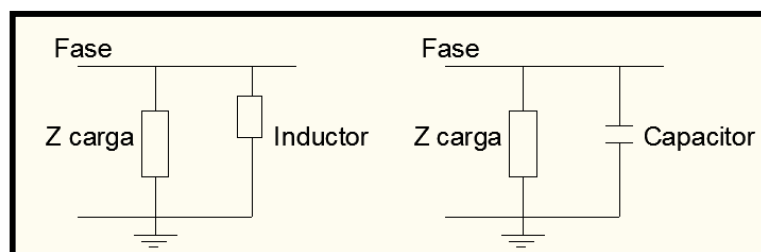
Las impedancias que se encuentran pintadas hay que corregirlas agregando un capacitor en paralelo a cada una de estas impedancias de carga en los equipos que las producen para que de esta manera cuando esta carga entre al sistema también se conecte el capacitor, la impedancia pintada del Breaker B6 de la línea 1 tiene un factor de potencia muy bajo y es de característica capacitiva, tenemos dos hipótesis sobre el funcionamiento de esta carga en particular:

La primera, es que esta carga tiene una potencia nominal alta con un fp en atraso a la que le han colocado un capacitor dimensionado para esta potencia nominal, ahora el problema estaría cuando la carga trabaja a baja potencia activa como la capacitancia, también se conecta al momento de conectarse la carga, la capacitancia inyecta la potencia reactiva para la potencia nominal para la cual fue dimensionada, y es entonces cuando esta potencia reactiva suministrada por el capacitor es mucho más grande a la potencia activa de la carga provocando el bajo fp de características de adelanto.

La segunda hipótesis, es que esta carga tiene un pequeño banco de capacitores automático pero que está inyectando la potencia reactiva nominal y no la regulada, esta hipótesis nace porque la carga conectada en la otra fase de este mismo Breaker B6 tiene un fp cercano a la unidad de característica en adelante, ésto quiere decir que en esta parte de la carga sí está efectuando la regulación de potencia reactiva correctamente, entonces deducimos que el control automático de esta carga está averiado y está inyectando la potencia reactiva nominal sin regulación.

En conclusión podemos decir que esta carga tiene averiado el regulador automático y para resolver esta situación hay que ir al sitio, verificar esta hipótesis y cambiar el regulador, para nuestros cálculos simularemos la corrección del fp asumiendo que corregimos esta situación y continuamos con los cálculos de corrección de bajo fp para las otras cargas conectadas en los otros breakers.

La filosofía de cálculo que aplicamos en el caso anterior del tablero TDP1 la usaremos para los cálculos de la capacitancia y en el caso de la carga B6 de la fase 1 la calcularemos manteniendo la potencia activa de la carga y variando la potencia reactiva hasta llegar a conseguir un factor de potencia adecuado simulando el comportamiento del regulador automático y con estos valores continuamos con los cálculos. Al igual que en el proyecto solución anterior realizaremos tablas de resumen y al final incluiremos un cálculo rápido de ahorro de energía que estos cambios provocan.



Fuente: Los Autores, Gráfico 128, Diagrama Conexión de Inductor y Capacitor a la carga, 2010.

A continuación, presentamos una tabla de resumen en donde colocamos los datos calculados para las cargas que se les ha corregido el factor de potencia con capacitores y con el regulador automático de la carga de la fase 1 del breaker B6.

Resumen de listado de Condensadores correctores fp.								
Breaker	Carga Ubicada en la fase	ZActual Carga	ZNueva Carga	Fp Actual Carga	Fp Nuevo Carga	QN Capacitor	VN Capacitor	iF Capacitor
B1	3	(33 + j 24)	(43 + j18,1)	0,81	0,92	100var	127	16
B2	2	(4,4 + j 3,7)	(6,5 + j2,5)	0,77	0,93	1000var	127	160
B5	1	(6,2 + j 12,1)	(24,1 + j11,8)	0,45	0,9	800var	127	130
B14	1	(2,5 + j 6,3)	(15,3 + j6,8)	0,37	0,91	1800var	127	300

Fuente: Los Autores, Tabla 70, Listado de condensadores para corrección fp, 2010.

Resumen Cálculo Carga de B6 corregido el fp.					
Breaker	Carga Ubicada en la fase	ZActual Carga	ZNueva Carga	FP Actual Carga	FP Nuevo Carga
B6	1	(0,5 - j 2)	(7,4 + j2,5)	0,24	0,95

Fuente: Los Autores, Tabla 71, Tabla valores del regulador fp de B6, 2010.

Como ya lo hemos indicado anteriormente, si los capacitores y el regulador son colocados en la fuente que genera el bajo factor de potencia este factor se corregirá y con ello también se disminuirá la magnitud de la corriente que circula por este conductor de fase, para mostrar el ahorro que habrá veamos a continuación la potencia que disipada en los conductores de fase antes y después de la corrección del factor de potencia, la misma filosofía de análisis que realizamos para el tablero TDP1 se utilizará para calcular el ahorro de potencia consumida por los conductores y además notaremos los beneficios que estos cambios provocarán en las cargas de bajo factor de potencia.

Anteriormente habíamos considerado un valor promedio para la resistencia de los conductores, y ese valor lo aproximamos a 0,36 Ω , ahora se ha considerado una resistencia de 0,25 Ω para los conductores de fase que van a la carga conectada en B6 debido a que estos conductores son más gruesos y por consecuencia tienen una menor resistencia, ahora si conocemos la magnitud de las corrientes antes y después de la corrección del factor de potencia podremos calcular la disipación de potencia en los conductores y la caída de voltajes que se producen, así como también, el ahorro de potencia activa en el mismos.

Breaker	Fase conectada	Magnitud Corriente Fp bajo	Magnitud Corriente Fp Corregido
B1	Fase 3	3	2,6
B2	Fase 2	21	17,3
B5	Fase 1	9	5
B14	Fase 1	18	7
B6	Fase 1	58	16

Fuente: Los Autores, Tabla 72, Magnitudes de Corrientes con fp bajo y corregido, 2010.

A continuación, presentamos las tablas resumen con la filosofía de cálculo que fue explicada anteriormente:

Con Fp Bajo						
Breaker	VFuente	RConductor	ICarga	VCaída voltaje C	VRecibe Carga	PConductor
B1	122	0,36	3	1,1	120,9	3
B2	122	0,36	21	7,6	114,4	159
B5	122	0,36	9	3,2	118,8	29
B14	122	0,36	18	6,5	115,5	117
B6	122	0,25	58	14,5	107,5	841
Potencia consumida por conductores en Watt:						1149
Potencia consumida en Kwh:						1,15
Potencia consumida en Kwh día:						28
Potencia consumida en Kwh mes:						827
Costo de energía consumida en conductores al mes (\$0,06 dólares el Kwh):						\$ 49,63
Costo de energía consumida en conductores al año (\$0,06 dólares el Kwh):						\$ 595,54

Fuente: Los Autores, Tabla 73, Resumen de energía consumida por conductores de bajo Fp. 2010.

Con Fp Corregido						
Breaker	VFuente	RConductor	ICarga	VCaída voltaje C	VRecibe Carga	PConductor
B1	122	0,36	3	0,9	121,1	2
B2	122	0,36	17	6,2	115,8	108
B5	122	0,36	5	1,8	120,2	9
B14	122	0,36	7	2,5	119,5	18
B6	122	0,25	16	4,0	118,0	64
Potencia consumida por conductores en Watt:						201
Potencia consumida en Kwh:						0,20
Potencia consumida en Kwh día:						5
Potencia consumida en Kwh mes:						145
Costo de energía consumida en conductores al mes (\$0,06 dólares el Kwh):						\$ 8,68
Costo de energía consumida en conductores al año (\$0,06 dólares el Kwh):						\$ 104,10
Ahorro en costo de energía consumida con fp corregido al año:						\$ 491,43

Fuente: Los Autores, Tabla 74, Resumen de energía consumida por conductores con Fp corregido, 2010.

Con el factor de Potencia corregido en las cargas, veremos los efectos en las corrientes totales por fase, en la corriente del neutro y en el fp total del sistema:

Descripción de Cargas Tablero TDP3 y cálculo de Corriente Neutro Fundamental

Breaker	Polos	Ampacidad	Ubicación de Fases en Breakers visto Frontalmente de izquierda a derecha Pos 1- Pos 2- Pos 3	Datos Experimentales de Cargas						Calculo Neutro		Comentario	
				V(L1) R r θ		V(L2) S r θ		V(L3) T r θ		A(LN) r θ			
				A(L1) R r θ	A(L2) S r θ	A(L3) T r θ							
B1	3 Φ	150A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	4	-27	9	-139	2,63	-264	6	-124	Ascensor	
B2	3 Φ	225A	Pos 1:R Pos 2:S Pos 3:T	22	16	17,29	-141	3	-236	6	-21	NN	
B3	3 Φ	70A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R									Ascensor	
B4	3 Φ	70A	Pos 1:S Pos 2:T Pos 3:R	14	23	16	-150	10	-246	8	127	Panel control Oxigeno	
B5	2 Φ	100A	Pos 1:R Pos 2:T	5	-26			12	-245	9	96	Laboratorio	
B6	3 Φ	150A	Pos 1:R Pos 2:S Pos 3:T	16	-19	36	-118			37	-93	Consulta Externa, Caja, Recepción (solo están conectadas 2 fases)	
B7	3 Φ	100A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	1	32	0,2	-187	2	-236	2	97	Pensionado especial, Emergencia Sur, Fisiatría	
B8	3 Φ	70A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	18	-18	8	-118	18	-233	3	33	Rayos X	
B9	2 Φ	30A	Pos 1:R Pos 2:0									Pensionado Primera (solo esta conectada una fase) No hay Carga	
B10	2 Φ	30A	Pos 1:R Pos 2:S									NN (No hay Carga)	
B11	3 Φ	60A	Pos 1:S Pos 2:R Pos 3:0	19	-17	9	-120			19	-44	Contabilidad, Proveeduría (solo están conectadas dos fases)	
B12	3 Φ	50A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R									Ascensor Norte	
B13	2 Φ	30A	Pos 1:R Pos 2:S									Nueva Administración (No hay Carga)	
B14	2 Φ	100A	Pos 1:R Pos 2:S	7	-24	19	-135	0	-241	18	-112	NN	
Corriente Total Por Fase				100	-6	112	-131	47	119			hay desequilibrio corriente (12, 58 y 115%)	
Corriente Neutro Total Calculada por la Sumatoria de las corrientes de neutro generadas por las cargas											55	-86	Corriente neutro real generara por este punto de medición
Corriente Neutro Medida Experimentalmente													

Fuente: Los Autores, Tabla 75, Resumen corrientes de fases de cada carga de PDT3 con fp corregido, 2010.

Factor Potencia	fp	0,99	0,98	1,00
Potencia Activa	P	12155	13233	5716
Potencia Reactiva	Q	1307	2493	-32
Potencia Total	PT	31104		
Potencia Reactiva T	QT	3768		
Potencia Aparente	S	31331		
Factor potencia sist	fp sist	0,99		

Fuente: Los Autores, Tabla 76, Resumen de Potencias y fp de las cargas con fp corregido, 2010.

De las tablas de resumen de las corrientes y de las potencias con el fp corregido en las cargas individuales de TDP3, observamos que se mejoró el factor de potencia del sistema, se disminuyó las magnitudes de las corrientes en las fases y las corrientes de neutro de las cargas individuales también disminuyeron, no obstante las corrientes de neutro de las cargas individuales cuando entran a la barra neutra se suman y se incrementa la corriente neutro total; pero si nos damos cuenta se disminuyó la corriente en los neutros de las cargas y por ende disminuyó el consumo de potencia disipada en estos conductores, y por último el desbalance de las corrientes sigue siendo alto, para resolver este incremento de corriente de neutro en la barra neutra de TDP3 y también para equilibrar las corrientes en las fases, necesitamos balancear las cargas, a continuación mostraremos los cambios que se producen cuando se reubican de fase las impedancias de las cargas.

Para balancear las corrientes debemos balancear las cargas y ésto se logra únicamente reubicando las impedancias de estas cargas luego calculamos las corrientes por fase de estas cargas respecto al voltaje de la fase en que vamos a ubicar la mencionada impedancia, enseguida mostramos los resultados de la reubicación de estas cargas en otras fases:

**Descripción de Cargas Tablero TDP3
y cálculo de Corriente Neutro Fundamental**

Breaker	Polos	Ampacidad	Ubicación de Fases en Breakers visto Frontalmente de izquierda a derecha Pos 1- Pos 2- Pos 3	Datos Experimentales de Cargas						Calculo Neutro		Comentario
				V(L1) R		V(L2) S		V(L3) T		A(LN) r	θ	
				r	θ	r	θ	r	θ			
B1	3 Φ	150A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	4	-27	9	-139	2,6	-264	6	-124	Ascensor
B2	3 Φ	225A	Pos 1:R Pos 2:S Pos 3:T	22	16	17,288	141	3	-236	6	-21	NN
B3	3 Φ	70A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R									Ascensor
B4	3 Φ	70A	Pos 1:S Pos 2:T Pos 3:R	14	23	16	150	10	-246	8	127	Panel control Oxigeno
B5	2 Φ	100A	Pos 1:R Pos 2:T	12	-4			5	-267	12	18	Laboratorio
B6	3 Φ	150A	Pos 1:R Pos 2:S Pos 3:T	16	-19			37	-239	27	99	Consulta Externa, Caja, Recepción (solo están conectadas 2 fases)
B7	3 Φ	100A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	1	32	0,2	187	2	-236	2	97	Pensionado especial, Emergencia Sur, Fisiatría
B8	3 Φ	70A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R	18	-18	8	118	18	-233	3	33	Rayos X
B9	2 Φ	30A	Pos 1:R Pos 2:0									Pensionado Primera (solo esta conectada una fase) No hay Carga
B10	2 Φ	30A	Pos 1:R Pos 2:S									NN (No hay Carga)
B11	3 Φ	60A	Pos 1:S Pos 2:R Pos 3:0			19	137	9	-241	19	-165	Contabilidad, Proveduría (solo están conectadas dos fase)
B12	3 Φ	50A	Pos 1:T Pos 2:S Pos 3:R									Ascensor Norte
B13	2 Φ	30A	Pos 1:R Pos 2:S									Nueva Administración (No hay Carga)
B14	2 Φ	100A	Pos 1:R Pos 2:S	7	-24	19	135			18	-112	NN
Corriente Total Por Fase				89	-3	87	138	85	119			hay desequilibrio corriente (2, 3 y 5%)
Corriente Neutro Total Calculada por la Sumatoria de las corrientes de neutro generadas por las cargas										21	146	Corriente neutro real generara por este punto de medición
Corriente Neutro Medida Experimentalmente												

Fuente: Los Autores, Tabla77, Resumen corrientes de fases de cada carga de PDT3 con fp corregido y balanceado, 2010.

Factor Potencia	fp	1,00	0,95	1,00
Potencia Activa	P	10895	9976	10358
Potencia Reactiva	Q	487	3304	-45
Potencia Total	PT	31229		
Potencia Reactiva T	QT	3746		
Potencia Aparente	S	31453		
Factor potencia sist	fp sist	0,99		

Fuente: Los Autores, Tabla 78, Resumen de Potencias de las cargas con fp corregido y balanceado, 2010.

De la tabla de balanceo de cargas notamos que la sumatoria de las corrientes del neutro disminuyó a un valor aceptable, el desequilibrio entre las corrientes de fase disminuyó y se encuentra ahora dentro de la norma.

En definitiva, podemos decir que con estos correctivos ahorraremos dinero por consumo de energía, mejoraremos la calidad del voltaje que reciben los receptores y disminuirémos la distorsión de las corrientes de tercera armónica.

Hay que resaltar que la calidad del voltaje en los receptores es muy importante y debe ser considerada debido a que estos equipos la mayoría son electrónicos y sus fuentes de poder disipan más potencia cuando su voltaje es insuficiente y a la vez generan una mayor distorsión en las corrientes, éste es uno de los motivos por lo que los equipamientos que son muy costosos acortan su vida útil.

4.2 INVERSIÓN INICIAL Y GASTO TOTAL PARA DAR SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA

El resumen de los elementos que vamos a necesitar para las correcciones del sistema eléctrico de algunas de las cargas del Hospital León Becerra son los siguientes:

Capacitores para de PDT3				
Resumen de listado de Condensadores de Energía Reactiva				
Breaker	Carga Ubicada en la fase	Q _N Capacitor	V _N Capacitor	μF Capacitor
B1	3	100var	127	16
B2	2	1000var	127	160
B5	1	800var	127	130
B14	1	1800var	127	300
Regulador Automático fp para Breaker B8 de PDT3				
Breaker	Carga Ubicada en la fase	Q _N Regulador	V _N	
B6	1	6300var	127	

Fuente: Los Autores, Tabla 79, Resumen de capacitores y regulador para PDT3, 2010.

Capacitores para de PDT1				
Resumen de listado de Condensadores				
Breaker	Carga Ubicada en la fase	Q _N Capacitor	V _N Capacitor	μF Capacitor
B8	2	1400var	127	230
B10	2	800var	127	130
B11	2	800var	127	130
B13	3	1500var	127	250
B15	3	500var	127	80
Material para corregir Aterrizamiento TDPI				
Conductor 4/0 de cobre de una longitud de 10 metros				

Fuente: Los Autores, Tabla 80, Resumen de capacitores y material para aterrizamiento de PDT1, 2010.

A continuación, presentamos la lista de los costos de los materiales y de mano de obra para la ejecución de los correctivos planteados:

Lista de materiales para mejoras en el Sistema Eléctrico del Hospital León Becerra.				
Ítems	Descripción	Unidad	Precio Unit.	Total
1	Capacitor de baja potencia de 100 var 16if a 127v	1	7,50	7,50
2	Capacitor de baja potencia de 800 var 130if a 127v	3	15,00	45,00
3	Capacitor de baja potencia de 500 var 80if a 127v	1	12,00	12,00
4	Capacitor de baja potencia de 1000 var 160if a 127v	1	22,00	22,00
5	Capacitor de baja potencia de 1800 var 300if a 127v	1	30,00	30,00
6	Capacitor de baja potencia de 1500 var 250if a 127v	1	25,00	25,00
7	Capacitor de baja potencia de 1400 var 230if a 127v	1	25,00	25,00
8	Regulador Automático de fp 6300var a 127v	1	380,00	380,00
9	Cable Unipolar 4/0 THHN	10	12,50	125,00
10	terminal de compresión 4/0	2	2,70	5,40
11	Material menor consumible (amarras plásticas, cinta, cables para puentes etc.)	1	50,00	50,00
Subtotal iva0%				\$ 726,90
IVA 12%				\$ 87,23
Total de Materiales				\$ 814,13
MANO DE OBRA				
Ítems	Descripción	Unidad	Precio Unit.	Total
1	Ensamblaje de conductor para aterrizamiento de tablero TDP1 (\$3 metro pasado)	10	\$ 3,00	\$ 30,00
2	Conexión de capacitores e inductor en equipos	10	8,00	80,00
3	Asesoría técnica (Incluye Dirección y alquiler de equipo de medición)	1	250,00	250,00
4	Balanceo de cargas (cambio posición en los tableros principales de PDT1 y PDT3)	6	15,00	90,00
Subtotal I. V. A 0%				\$ 450,00
I.V. A 12%				\$ 54,00
Total de Mano de Obra				\$ 504,00
Inversión inicial y gasto total para dar solución a la problemática				
Subtotal I. V. A 0%				\$ 1.176,90
I.V.A 12%				\$ 141,23
Total				\$ 1.318,13

Fuente: Los Autores, Tabla 81, Costo de material y mano de obra para modificaciones en Hospital León Becerra, 2010.

5.3 RENTABILIDAD DEL PROYECTO SOLUCIÓN

Para calcular la rentabilidad del proyecto nos hemos basado en dos aspectos, que son:

- En el ahorro de la energía eléctrica disipada por los conductores; y,
- El funcionamiento óptimo de los equipos eléctricos mediante una buena calidad de energía eléctrica.

La energía ahorrada en la baja disipación de potencia en los conductores eléctricos es un aspecto que es medible en parámetros eléctricos que al final representa dinero, por tanto, este aspecto sí puede ser objeto de un estudio de rentabilidad, en cambio el funcionamiento óptimo de los equipos eléctricos mediante una buena calidad de energía eléctrica no es un parámetro medible que pueda ser cuantificado monetariamente, pero lo que el funcionamiento óptimo puede hacer es garantizar que el equipo eléctrico dure mucho más en el tiempo en comparación con un equipo de iguales características que esté conectado a un sistema de baja calidad de suministro de energía eléctrica.

Como sabemos el voltaje en horas de máxima carga decrece en el hospital a un valor de 114,5v y si a este valor le restamos la caída voltaje en los conductores encontraremos un voltaje reducido cuando llegue a la carga, tomemos el caso de la carga que analizamos que tenía una caída de tensión de alrededor de 14,5v, en este ejemplo en particular si le restamos este valor al voltaje al valor del voltaje de las horas de máxima carga, el voltaje que le llegaría a la carga sería de alrededor de 100v, este voltaje definitivamente va a envejecer al equipo eléctrico acortando su vida útil. Tomando en consideración este factor, podemos decir, que podríamos ahorrar en reponer al equipo envejecido por otro nuevo tan solo con efectuar pequeños cambios en la alimentación del sistema eléctrico.

Si consideramos que tenemos conectados equipamiento eléctrico y electrónico de un coste medianamente elevado, podemos cuantificar la no reposición de este equipamiento eléctrico en el tiempo.

Si realizamos una pequeña lista de los equipos que se pudieren ver afectados por la situación actual en que se encuentran, encontraremos el costo que tendría que asumir la administración del hospital, al reemplazar a estos equipos por otros nuevos, cuando se destruyan a causa de la situación en la que se encuentran en la actualidad.

1.- Computadoras de escritorio.	\$1.600
2.- Ecosonógrafos.	+ <u>6.000</u>
Total:	\$ 7.600

Si la administración del hospital considera que estos equipos solo le restaran una vida útil de 10 años más, en las actuales condiciones no durarían no más de 5 años antes de que ya no sirvan o dejen de funcionar.

Ahora vamos a utilizar este valor como un ahorro que será sumado con el valor estimado como ahorro de energía consumida por los conductores por disipación de potencia y de esta sumatoria haremos nuestro cálculo de rentabilidad. De lo anterior expuesto, presentamos lo siguiente:

Ahorro por Costo de Energía consumida con fp corregido al año en "T2"	\$ 491,00
Ahorro por Costo de Energía consumida con fp corregido al año en "T1"	\$ 123,62
Ahorro por Reposición de Equipamiento	\$ 7.600,00
Ahorro para el Hospital León becerra	\$ 8.215,00
Inversión a realizarse para corrección de factor de Potencia y balance de cargas	\$ 1.318,00

Fuente: Los Autores, Tabla 82, Tabla de Ahorro Económico para Hospital León Becerra, 2010.

Para calcular la rentabilidad de proyecto utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Rentabilidad} = (\$ 8.215 - \$ 1.318) = 523\%$$

$$\$ 1.318$$

Este porcentaje nos indica que la ejecución de estas correcciones nos es rentable en una proporción de 5 veces la inversión por el concepto de corrección de factor de potencia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

En nuestro Estudio de Calidad de Energía Eléctrica, en la redes del Hospital León Becerra, nos encontramos con cosas muy peculiares, hemos encontrado situaciones reales que, muchas de las veces en el salón de clase se estudiaron teóricamente y en donde muchas de las veces, también, no se podían recrear las situaciones reales para los estudios del caso, debido a la complejidad de combinación de muchos factores, esta experiencia ha servido para demostrar que estamos en condiciones para realizar ingeniería en base a los conocimientos adquiridos.

De las mediciones:

En general podemos decir que los transformadores, trabajan por debajo del 60% de la capacidad total de los transformadores esta condición, es un desperdicio de utilidad y de funcionalidad, este porcentaje de trabajo de los transformadores representa una generación de bajo factor de potencia hacia las líneas de distribución que puede ser sujeto de penalización, esta situación de bajo fp provoca pérdidas de disipación de potencia en las líneas la empresa eléctrica distribuidora. Hay situaciones que se presentan en este sistema que son exclusivos de las cargas que se encuentran conectadas, hay cargas que generan un factor de potencia bajo, que inyectan potencia reactiva capacitiva al sistema, esta energía reactiva entregada al sistema por esta carga, pudiera ser consumida por las cargas que generen potencia reactiva en atraso; pero el hecho es, que las cargas no deben entregar reactivos a otras cargas porque la condición del sistema no puede estar sujeta a la operancia o inoperancia de estas cargas y lo que sí se debe hacer es colocar bancos correctores para las cargas problema, y ahora que hemos mostrado las consecuencias que provocan las cargas de bajo factor de potencia ya sea estas de características de atraso o adelanto podemos concluir que siempre perjudicarán el rendimiento de las cargas. Para finalizar concluimos que los problemas en el sistema eléctrico del Hospital León Becerra ha sido por el factor de potencia de las cargas y el desequilibrio de corriente entre las

fases y claro está por la unión de los sistemas por los neutros, el correcto balanceo en conjunto con la corrección del fp ha demostrado que se puede mejorar el rendimiento de las cargas, y estamos seguros que al disminuir las corrientes de neutro generadas por las fases al balancear las cargas también disminuiríamos los índices por distorsión armónica.

RECOMENDACIONES

La recomendación que hacemos al Hospital León Becerra es la pronta ejecución de los cambios que hemos planteado, los beneficios de estos cambios pueden llegar a ser muy significativos para la mencionada institución, no sólo en el aspecto monetario sino también en la seguridad, funcionabilidad y confiabilidad de los equipos hacia el personal que trabaja y que se atiende en este lugar, además recomendamos, que en la ejecución de estos cambios, en las instalaciones eléctricas de este Hospital sería muy conveniente que nuestros compañeros estudiantes en base a este estudio comprueben los cambios efectuados ya sea como un trabajo de pasantía o como de extensión universitaria.

BIBLIOGRAFÍA

IEEE Std 519-1992. “**IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems**”, USA, 1993.

IEEE Std 399-1997. “**IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis**”, USA, 1998.

Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, REGULACIÓN No. CONELEC – 004/01.

GUZMÁN, Orly, Ing., Seminario “*CALIDAD DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA*”, 32 horas, Abril 2008.

M. DE OLIVEIRA, Paulo, Dr., DE JEÚS, Seminario Internacional “*SISTEMAS PUESTA A TIERRA PARA SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA*”, 40 horas, Enero 2010.

ALVES B, Roberto, Prof., SIEP – CTE – USB, CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO – POWER QUALITY.

COLLOMBET, Christian; LUPIN, Jean-Marc; SCHONEK, “*Los Armónicos en las Redes Perturbadas y su Tratamiento. Schneider Electric.*”, Francia, 1999.

Fluke 434/435, “*Three Phase Power Quality Analyzer - Manual de Uso*”, 2006.

USUNÁRIZ, Ignacio, *Normativas Aplicables a la Calidad Eléctrica*, - UNE-EN 50160 - CEI 61000-4-30.

FASSBINDER, Stefan, *Armónicos - Condensadores en medios ricos en armónicos*, Julio 2004.

CHAPMAN, David, *Armónicos – Causas y Efectos*, Marzo 2001.

CAPELA, Robert, PT-075, “Corrección del Factor de Potencia”, Edición española, 2000.

ESTIGARRIBIA B., Héctor, Armónicos en líneas de baja tensión.

SHAUNGHNESSY, Tom, “Factor de potencia, armónicos y filtros armónicos”, Revista Power Quality, Junio 1999.

LOWENSTEIN, Michael Z., Newspaper PQ CORNER, EC&M, *Harmonic current and voltage distortion*, November 2002.

PIEDRA O., Luis Alejandro, IE – 0502, Proyecto Eléctrico.

Páginas webs:

“Active Harmonic Filters”, www.medcom.com.pl

“Economical Solutions to Meet Harmonic Distortion Limits”, www.mtecorp.com

“VFD Motor Testing”, www.pdma.com

“Harmonic Reduction using Broad Band Harmonic Filters”, www.geindustrial.com

“NORIEGA, Ernesto. Generalidades sobre los armónicos y su influencia en los sistemas de distribución de energía. 2005”, www.monografias.com

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

<http://www.ieee.org>

<http://www.iec.org>

ANEXOS

1 SELECCIÓN DEL EQUIPO ANALIZADOR DE REDES.

1.1 INTRODUCCIÓN

Hablar de calidad de energía en nuestros tiempos, implica que el profesional debe tener un enfoque claro y preciso de los problemas que se están presentando y los daños que se están ocasionando producto de las deficiencias en la calidad de la energía.

Considerando esta problemática, el ser humano con el pasar de los años se vio en la necesidad de poder obtener datos más precisos del comportamiento de los eventos que se presentan en el sistema eléctrico durante un cierto periodo de tiempo.

Saber seleccionar el equipo adecuado para poder realizar mediciones, es una tarea que debe ser bien analizada, ya que en el mercado existen instrumentos de medición que no que cumplen los parámetros mínimos de regulación que nos exige el CONELEC.

Hoy en día existen equipos que nos permitirán realizar un diagnóstico completo de la situación actual de un sistema eléctrico, y su tendencia está en mejorar la tecnología aplicada para adaptarse a las necesidades de la ingeniería moderna.

1.2 PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE UN ANALIZADOR DE REDES.

El análisis de las redes eléctricas trifásicas siempre se ha considerado complejo y caro.

Pero ahora, con instrumentos tan avanzados como los analizadores de calidad eléctrica, este análisis ha dejado de ser caro y es fácil de llevar a cabo incluso en conformidad con normas como EN50160 y IEC 61000-4-30.

Por eso el instrumento que se elija debe ser el más versátil, preciso, con suficiente capacidad de memoria y velocidad de muestreo.

Para cada parámetro a medir, se establecen dos clases de requerimientos en la medida:

- Clase A: Es el requerimiento de medida más exigente y se debe utilizar cuando sean necesarias medidas precisas. Por ejemplo, en aplicaciones de tipo contractual, para verificar el cumplimiento de normas, para dirimir disputas, etc.
- Clase B: El nivel de exigencia en la medida es menor. Resulta adecuado para realizar diagnosis o hacer un seguimiento de la calidad eléctrica en una instalación, etc.

A continuación en la siguiente tabla se muestra un resumen para la selección de un equipo.

		Clase A		Clase B
Parámetro	Medida	Intervalo	Exactitud	Procedimiento (y exactitudes)
Frecuencia	Hz	10 s	± 10mHz	A especificar por el fabricante
Tensión de alimentación	Vrms	10 ciclos	± 0.1%	A especificar por el fabricante
Flicker	Plt	CEI 61000-4-15		A especificar por el fabricante
Huecos, sobretensiones, interrupciones	Vrms, t, T	Vrms ½ ciclo (10 ms)	± 0.2%	Vrms ½ ciclo
Desequilibrio	%desequilibrio	Método de las componentes simétricas		A especificar por el fabricante
Armónicos e Interarmónicos	THD, Armónicos, Interarmónicos	CEI 61000-4-7		A especificar por el fabricante
Transmisión de señales	Vrms	Medida de interarmónicos (para f>3kHz ver CEI 61000-3-8)		A especificar por el fabricante
Flagging (advertencia de posible medida incorrecta por efecto de un hueco, sobretensión, o interrupción)	Aviso en pantalla	Requerido en las medidas de frecuencia, tensión, flicker, desequilibrio, armónicos e interarmónicos		No requerido
Sincronización horaria		A través de reloj externo, por GPS, etc.		A especificar por el fabricante

Fuente: Equipo FLUKE 435, Cuadro de Resumen para la selección de un equipo, Tabla 1, 2006.

1.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN ANALIZADOR TRIFÁSICO DE CALIDAD ELÉCTRICA, SERIE 435.

El equipo que utilizamos para nuestro Estudio de Calidad de Energía en los edificios utilizados por el Hospital León Becerra, es el Analizador Trifásico de Calidad Eléctrica, serie 435, marca Fluke, mostrado en la figura 20, generalmente utilizado para localizar, predecir, prevenir y solucionar problemas en sistemas de distribución eléctrica. Esta herramienta portátil cuenta con numerosas e innovadoras funciones para revelar los indicios que delatan la presencia de problemas de forma más rápida y segura.



Fuente: Equipo FLUKE 435, Analizador Trifásico de Calidad Eléctrica 435 Fluke, Figura 20, 2006.

1.3.1 CARÁCTERÍSTICAS GENERALES.

- Herramienta trifásica de medida y diagnóstico. Mide los siguientes parámetros de sistemas eléctricos: tensión, corriente, frecuencia, potencia, consumo eléctrico (energía),

desequilibrios y flicker (parpadeos), armónicos e interarmónicos. Captura eventos como fluctuaciones, transitorios, interrupciones y cambios rápidos de tensión.

- AutoTrend: para no perder tiempo configurando gráficos de tendencias adicionales mientras las medidas se registran automáticamente. Analiza tendencias utilizando cursores y la función de zoom mientras el registro continúa en segundo plano.
- System-Monitor: ofrece información inmediata de la calidad del sistema eléctrico. Comprueba la conformidad con los límites especificados en el Estándar EN50160 o con los configurados individualmente.
- Cuatro canales: mide simultáneamente la tensión y la corriente en las tres fases y el neutro.
- Visualización de transitorios automática: captura hasta 40 fluctuaciones, interrupciones o transitorios automáticamente.
- Cumple la más estricta normativa de seguridad 600 V CAT IV, 1000 V CAT III necesaria para realizar medidas en la entrada de servicio.
- Un instrumento resistente y portátil que proporciona más de 7 horas de funcionamiento autónomo con las baterías recargables de NiMH incluidas. La interfaz con menús simplifica el funcionamiento.
- Posibilidades de análisis exhaustivos de datos. Los cursores y el zoom se pueden utilizar “en directo”, mientras se realizan las medidas, o “sin conexión”, en datos de medida almacenados. Estos datos también pueden transferirse a un PC con el software FlukeView (incluido con el modelo Fluke 435).
- Amplia gama de accesorios para realizar las mediciones: 4 pinzas amperimétricas, 5 cables de prueba y pinzas de tensión, un adaptador de red/cargador de baterías y más.
- Conforme con la normativa para medidas IEC 61000-4-30.

Características de Entrada

Entradas de tensión	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas en continua
Tensión máxima de entrada	1000 Vrms
Rango de tensión nominal	50...500 V interna dividida en tres rangos 500 V, 250 V y 125 V
Tensión de pico máxima	6 Kv
Impedancia de entrada	4 MΩ // 5 pF
Ancho de banda	> 10 kHz, hasta 100 kHz para visualización de transitorios
Factor de escala	1:1, 10:1, 100:1, 1000:1 y variable

Entradas de corriente	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas en continua
Tipo	Transformador de corriente de pinza con salida mV
Rango de entrada nominal	0 - ± 5,625 pico de tensión, onda sinusoidal de 0 - 3,97 Vrms
Rango	1 ... 400 Arms con pinzas incluidas (I400S) 0,1 ... 3000 Arms con pinzas opcionales
Impedancia de entrada	50 kΩ
Ancho de banda	>10 kHz
Factor de escala	0,1, 1, 10, 100, 1000 mV/A, variable, i5s e i430flex

Frecuencia nominal	40 ... 70 Hz
Sistema de muestreo	
Resolución	Convertidor de analógico a digital de 16 bits en 8 canales
Velocidad máxima de muestreo	200 kS/s en cada canal simultáneamente
Muestreo RMS	5000 muestras en 10/122 ciclos conforme a la norma IEC 61000-4-30
Sincronización PLL	4096 muestras en 10/122 ciclos conforme a la norma IEC 61000-4-7

Modos de Visualización

Presentación de forma de onda	Disponible en el modo Osciloscopio y Transitorios Permite capturar 8 formas de onda simultáneamente Velocidad de actualización en pantalla 5x cada segundo Hasta 10/12 aumentos de zoom horizontal Cursores: línea vertical única que muestra la lectura mínima, máxima y media en la posición del cursor.
Fasorial	Muestra un diagrama fasorial en tiempo real Disponible en el modo Osciloscopio y Desequilibrio Velocidad de actualización en pantalla 5x cada segundo
Lecturas del Multímetro	Disponible en el modo Volt./Amp./Hz., Armónicos, Potencia y energía, Flicker (Parpadeo), Desequilibrio y Registrador4.
Gráfico AutoTrend	Disponible en el modo Volt./Amp./Hz., Fluctuaciones, Armónicos, Potencia y energía, Flicker (Parpadeo), Desequilibrio, Arranque, Transmisión de señales Registrador y Supervisión Cursores: línea vertical única que muestra la lectura mínima, máxima y media en la posición del cursor.
Gráfico de barras	Disponible en el modo Armónicos y Supervisión
Lista de eventos	Disponible en el modo Fluctuaciones, Transmisión de señales, Registrador y Supervisión

Modos de Medida

Osciloscopio	Vrms, Arms, Vcursor, Acursor, Vfund, Afund, Hz, ángulos de fase V, ángulos de fase A
Volt./Amp./Hz.	Vrms, Vpk, factor de cresta V, Arms, Apk, factor de cresta A, Hz
Fluctuaciones	Vrms ½, Arms ½ Permite capturar hasta 1000 eventos con umbrales programables para la identificación de fecha, hora, duración, magnitud y fase
Armónicos CC, 1 ... 50	Voltios armónicos, voltios de distorsión armónica total, amperios armónicos, amperios de distorsión armónica total, kA., vatios de armónicos, vatios de distorsión armónica total, kW, voltios interarmónicos ⁴ , amperios interarmónicos (respecto a rms fundamental o total)
Potencia y energía	Vatios, VA, VAR, factor de potencia, Cos ϕ / DPF, Arms, Vrms, kWh, kVAh, KVARh, intervalo de demanda de pico mediante tendencia, verificación de medidas de incremento KYZ mediante accesorio de entrada opcional.
Flicker (Parpadeo de tensión)	Pst (1 minuto), Pst, Plt, PF5, Vrms ½, Arms ½, CC, Dmax, TDEX
Desequilibrio	Vneg, Vcero, Aneg, Acero, Vfund, Afund, Hz, ángulos de fase V, ángulos de fase A
Transitorios	Vrms, Arms, Vcursor, Acursor
Corrientes de arranque	Corriente de arranque, duración del arranque, Arms ½, Vrms ½
Transmisión de señales	Promedio de las tensiones de transmisión de señales relativa y absoluta durante tres segundos para dos frecuencias que puede seleccionar el cliente
Registrador	Permite medir y registrar hasta 100 parámetros en 4 fases simultáneamente con un tiempo medio seleccionable. Permite capturar hasta 10000 eventos con umbrales programables para la identificación de fecha, hora, duración, magnitud y fase
Supervisión del sistema	Vrms, Arms, voltios armónicos, voltios de distorsión armónica total, Plt, Vrms ½, Arms ½, Vneg, Hz, fluctuaciones, desequilibrio. Los parámetros se miden simultáneamente conforme a la norma EN50160. Indicación de lecturas no fiables conforme a la norma IEC61000-4-30.

1.3.2 CAPACIDAD DE MEDICIÓN.

Precisión, resolución y rango

Voltios/Amperios/Hz	Rango de medida	Resolución	Precisión
Vrms (CA + CC)	1 ... 600 Vrms 600 ... 1000 Vrms	0,01 Vrms 0,01 Vrms	± 0,1% de la tensión nominal ± 0,1%
Vpk	1 ... 1400 Vpk	1 V	5% de la tensión nominal
Factor de cresta (CF) de tensión	1 ... > 2,8	0,01	± 5%
Arms (CA + CC)	0 ... 20,00 kArms 30 ... 3000 Arms	0,001 ... 10 Arms 1 Arms	± 0,5% ± 5 cuentas ³ ± 0,5% ± 20 cuentas ³
Apk con factor de escala 1 mV/A	0 - 5500 Apk	1 A	± 5%
Factor de cresta (CF) de A	1 ... 10	0,01	± 5%
Hz ⁵ 50 Hz nominal 60 Hz nominal	42,500 ... 57,500 Hz 51,000 ... 69,000 Hz	0,001 Hz 0,001 Hz	± 0,01Hz ± 0,01Hz

Fluctuaciones	Rango de medida	Resolución	Precisión
Vrms ½ (CA + CC)	0% ... 200% de la tensión nominal	0,1 Vrms	± 0,2% de la tensión nominal
Arms ½ (CA + CC)	0 ... 20,000 Arms 30 ... 3000 Arms	0,001 Arms ... 10 Arms 1 Arms	± 1% ± 10 cuentas ³ ± 1% ± 20 cuentas ³
Niveles del umbral	Umbrales programables en porcentajes de la tensión nominal Detección de eventos basada en tensiones con valor rms de medio ciclo Permite capturar fluctuaciones, interrupciones y cambios rápidos de tensión		
Duración	hhh, mm, ss, mmm	Medio ciclo	Un ciclo

Armónicos	Rango de medida	Resolución	Precisión
Orden de armónicos (n)	CC, 1 ... 50 Agrupación: los armónicos se agrupan conforme a la norma IEC 61000-4-7		
Orden de interarmónicos	Desactivado, 1 ... 49 Agrupación: los armónicos e interarmónicos se agrupan conforme a la Norma IEC 61000-4-7.		
Vrms relativo (%f):	0 ... 100,0%	0,1%	$\pm 0,1\% \pm n \times 0,1\%$ ($\pm 0,4\%$ para %r)
Absoluto:	0 ... 1000 Vrms	0,1 Vrms	$\pm 0,05\%$ de la tensión nominal si $< 1\%$ de la tensión nominal $\pm 5\%$ si $\geq 1\%$ de la tensión nominal
Arms relativo (%f):	0 ... 100,0%	0,1%	$\pm 0,1\% \pm n \times 0,1\%$ ($\pm 0,4\%$ para %r)
Absoluto:	0 ... 4000 mV x escala de la pinza de corriente	1 mVrms x escala de la pinza de corriente	$\pm 5\% \pm 5$ cuentas
Vatios relativo: (sólo armónicos)	0 ... 100,0%	0,1%	$\pm n \times 2\%$
Vatios absoluto: (sólo armónicos)	según escala de la pinza y la corriente		$\pm 5\% \pm n \times 2\% \pm 10$ cuentas
CC relativo:	0 ... 100,0%	0,1%	$\pm 0,1\%$ V y A ($\pm 2\%$ vatios)
V absoluto:	0 ... 1000 V	0,1 V	$\pm 0,2\%$ de la tensión nominal
A absoluto:	0 ... 4000 mV x escala de la pinza de corriente	1 mVrms x escala de la pinza de corriente 0,1 V	$\pm 5\% \pm 10$ cuentas
Vatios absoluto:	según escala de la pinza y la corriente	según escala	$\pm 5\% \pm 10$ cuentas
THD(n = 40) (%f o %r relativo)	0 ... 100%	0,1%	$\pm 2,5\%$ V y A ($\pm 5\%$ vatios)
Hz	0 ... 3500 Hz	1 Hz	± 1 Hz

Flicker (Parpadeo de tensión)	Rango de medida	Resolución	Precisión
Pst (1 minuto), Pst, Plt, PF5 Flicker (Parpadeo instantáneo)	0 ... 20	0,01	Dentro de $\pm 5\%$ de valores de tabla conforme a la norma IEC61000-4-15
% CC, % Dmax y hora d(t) que excede los límites. Conforme a la Norma IEC 61000-3-3	0 ... $\pm 100,0\%$ para % CC y % Dmax; y 0 ... 9,999 s para Hora	0,1% para % CC y % Dmax; y 10 ms para Hora	$\pm 1\%$ para % CC y % Dmax; y 20 ms para Hora

Desequilibrio	Rango de medida	Resolución	Precisión
Voltios (secuencia cero y negativa)	0 ... 5%	0,1%	$\pm 0,15\%$
Corriente (secuencia cero y negativa)	0% ... 20%	0,1%	$\pm 1\%$

Captura de transitorios	Rango de medida	Resolución	Precisión
Voltios lectura del cursor lectura rms	± 6000 Vpk 10 ... 1000 Vrms	1 V 1 V	$\pm 15\%$ de la lectura del cursor $\pm 2,5\%$ de la tensión nominal
Duración de detección mínima	5 μ s		
Velocidad de muestreo	200 kS/s		

Modo arranque de motores	Rango de medida	Resolución	Precisión
Arms (CA + CC)	0 ... 20,00 kArms ¹	0,001 .. 10 Arms ¹	$\pm 1\%$ de medidas ± 5 cuentas
Duración del arranque	mm:ss:mmm entre 7,5 s ... 30 minutos; valor seleccionable	10 ms	± 20 ms (frecuencia nominal = 50 Hz)

Transmisión de señales ⁴	Rango de medida	Resolución	Precisión
Niveles del umbral	Los valores de umbral, límite y duración de la transmisión se pueden programar para dos frecuencias de transmisión independientes.		
Frecuencia de transmisión	60 ... 3000 Hz	0,1 Hz	
V% relativo	0% .. 100% de	0,1%	± 0,4%
V3s absoluto (media de 3 segundos)	0 ... 1000 V	0,1 V	± 5% de la tensión nominal

1.3.3 CARACTERÍSTICAS DE SEGURIDAD.

El analizador ha sido diseñado y probado conforme a la Norma EN61010-1, 2da. Edición, Año 2001, para instrumentos con requisitos de seguridad de equipos eléctricos de medida, de control y para uso en laboratorio, clase III, grado 2 de contaminación.











Es recomendable utilizar el analizador y los accesorios según lo especificado en el manual de uso, de lo contrario, la protección del instrumento y los distintos componentes podría verse reducida.

Además el analizador cuando está siendo mal utilizado mostrará en la pantalla Avisos y Precauciones.

Un Aviso identifica acciones y situaciones que suponen un riesgo para el usuario.

Una Precaución identifica acciones y situaciones que podrían dañar el analizador.

El analizador hace uso de los siguientes símbolos internacionales:

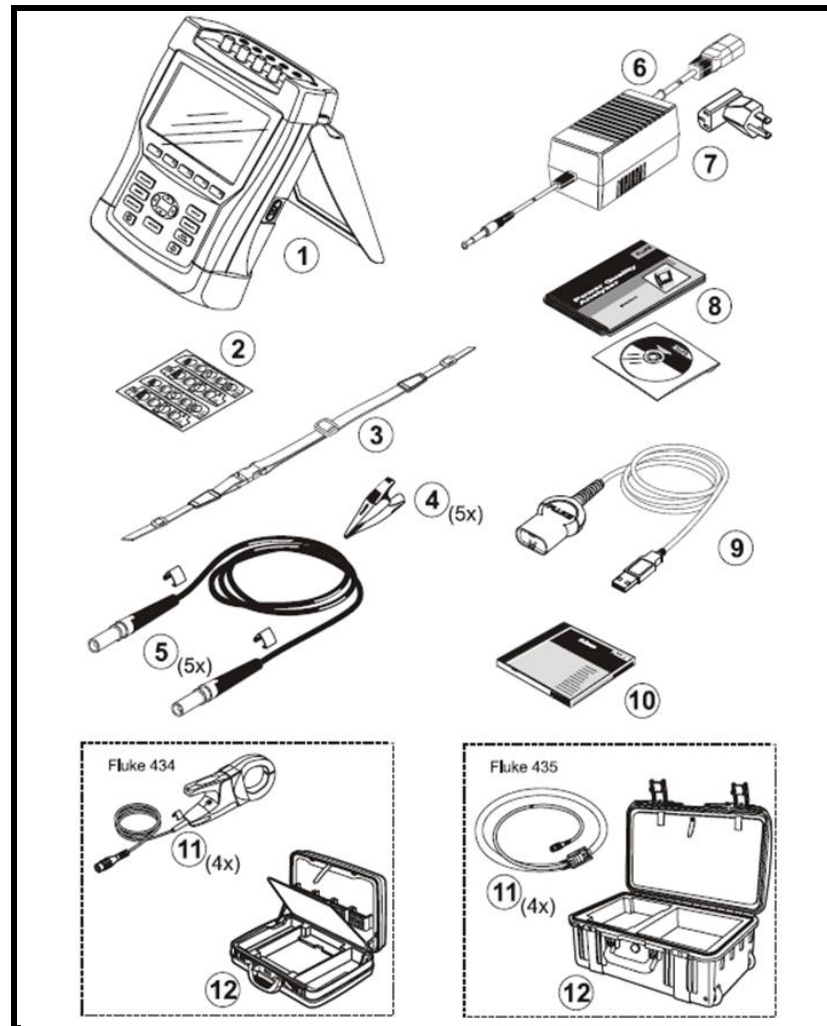
	Consulte la explicación que figura en el manual		Doble aislamiento (Clase de protección)		Información para la eliminación de residuos
	Tierra		Información sobre reciclaje		Conformidad europea
	Corriente directa		Corriente alterna		Homologación de seguridad
	No aplicar ni retirar de conductores con tensión peligrosos.				

A continuación mostramos varias recomendaciones para evitar que se produzcan descargas eléctricas o incendios:

- Leer todo el manual antes de utilizar el analizador y sus accesorios.
- Evitar trabajar solo.
- No utilizar el analizador en entornos con gases o vapores explosivos.
- Utilizar sólo las sondas de corriente, los cables de prueba y los adaptadores aislados suministrados con el analizador o aquellos que se indiquen como de uso adecuado para los modelos de Fluke 434/435.
- Antes de utilizar el analizador, se requiere inspeccionar las sondas de tensión, los cables de prueba y los accesorios para cerciorarse de que no presenten daños mecánicos; si estuviesen dañados, habría que cambiarlos. Además se requiere localizar roturas o componentes plásticos que pudieran faltar. Para luego prestar especial atención al material aislante en torno a los conectores.
- Desconecte todas las sondas, cables de prueba y accesorios que no esté utilizando.
- Antes de conectar el cargador de batería o el adaptador de red al analizador, conéctelo primero a la toma de CA.
- Utilice la conexión a tierra únicamente para conectar a tierra el analizador y no aplique tensión.
- No aplicar tensiones de entrada superiores a la tensión nominal del instrumento.
- No aplicar tensiones superiores a las indicadas como nominales para las sondas de tensión y pinzas amperimétricas.
- Tener especial cuidado al instalar y retirar la pinza amperimétrica flexible: elimine la corriente de la instalación que desea comprobar o utilice ropa de protección apropiada.
- No utilizar conectores BNC o de clavija banana metálicos sin aislamiento.
- No introducir objetos metálicos en los conectores.

1.4 PARTES DEL EQUIPO

El kit del analizador Trifásico de Calidad Eléctrica, serie 435, marca Fluke, contiene los siguientes elementos:



A continuación se muestra las descripciones de los 12 elementos que conforman el Kit del analizador Trifásico de Calidad Eléctrica, serie 435, marca Fluke:


Nº	Descripción	
1	Analizador de calidad de la energía eléctrica	
2	Juego de adhesivos para las tomas de entrada	
3	Correa	
4	Pinzas de cocodrilo, juego de 5	
5	Cables de prueba, 2,5 m., juego de 5	
6	Cargador de batería / Adaptador de red	
7	Adaptador de enchufe de línea (según el país)	
8	Manual de iniciación + CD ROM con Manual de uso y Manual de iniciación (varios idiomas)	
9	Cable óptico USB	
	Fluke 434:	Fluke 435:
10	CD ROM con el software FlukeView® para Windows®	CD ROM con el software FlukeView® para Windows® + software de registro de potencia para Windows®
11	Pinzas amperimétrica de CA 400 A (1 mV/A) y 40 A (10 mV/A) conmutable. Juego de 4 piezas i400s.	Pinzas amperimétricas de CA flexibles 3000 A. Juego de 4 piezas Modelo i430flex-4pk.
12	Estuche rígido C430.	Maletín con ruedas de alta resistencia C435.

1.5 OPERACIONES BÁSICAS DEL ANALIZADOR

En lo que respecta a operaciones básicas tenemos diversos aspectos generales del funcionamiento del analizador:

- Conexión del analizador
- Brillo de la pantalla
- Bloqueo del teclado
- Navegación por los menús
- Contraste de la pantalla
- Restablecimiento de los ajustes predeterminados de fábrica

- Conexión del analizador.

El analizador incorpora una batería recargable de NiMH que, estando totalmente cargada, proporciona más de 6 horas de funcionamiento autónomo. Al trabajar con la batería, en la parte superior de la pantalla, se mostrará un símbolo de estado para indicar el nivel de carga. Este símbolo varía de totalmente cargada 

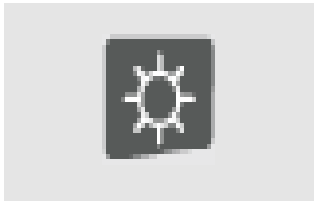
Una vez agotada la carga de la batería, se debe proceder a recargarla con el cargador de batería/adaptador de red modelo BC430. El proceso de carga con el analizador apagado dura 4 horas hasta alcanzar la carga completa (y se prolonga bastante más con el instrumento encendido).

Si se deja el cargador conectado durante largos períodos de tiempo, como un fin de semana, no se provoca ningún tipo de daño en la unidad, ya que el analizador cambia automáticamente al modo de carga lenta.

Además hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones acerca del cargador de batería/adaptador de red:

- Utilizar sólo el cargador de batería/adaptador de red, modelo BC430 suministrado.
- Antes de utilizarlo, comprobar que el rango de tensión y frecuencia del BC430 coincidan con el de la red eléctrica local.
- Conectar el cargador de batería al tomacorriente de 120 VAC.
- Conectar el cargador de batería a la toma POWER ADAPTER (Adaptador de red) situada en la parte superior del analizador.
- Para evitar el sobrecalentamiento de la batería durante la carga, se recomienda realizar este proceso en un entorno con temperatura ambiente dentro de los límites admisibles indicados en las especificaciones.

- Brillo de la Pantalla.



Pulsar este botón repetidamente para atenuar o dar más brillo a la retroiluminación.

Si se mantiene pulsado más de 5 segundos aumentará el brillo para obtener una mejor visibilidad en condiciones de gran luminosidad. Los ajustes de poco brillo ahorran energía de la batería.

- Bloqueo del teclado.

El teclado puede bloquearse para evitar que se realicen operaciones accidentalmente siempre que haga medidas y deje el instrumento desatendido:












Pulse la tecla ENTER durante 5 segundos para bloquear o desbloquear el teclado.

- Navegación por los menús.

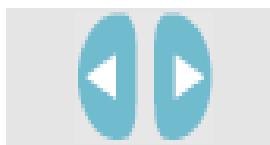
La mayoría de las funciones del analizador se realizan a través de los distintos menús, por lo que se podrá navegar con las teclas de flecha. Las teclas de función de la F1 a la F5 y la tecla ENTER (Intro) se utilizan para realizar selecciones. Las selecciones activas realizadas con las teclas de función se resaltan con un fondo negro.

A continuación se muestra un ejemplo, el cual nos enseña cómo utilizar los menús con un supuesto ajuste del analizador para funcionar con un determinado tipo de impresora:

	Se abre el menú CONFIGURACIÓN.
	Aparece el submenú CONFIGURAR PREF. USUARIO.
	Resalte la impresora: Printer
	Aparece el submenú IMPRESORA. En este menú puede ajustar el tipo de impresora y la velocidad en baudios.
	Resalte la velocidad en baudios: 9600
	Ajuste la velocidad de transferencia necesaria.
	Resalte el tipo de impresora que desea usar: Laserjet
	Pulse para confirmar la selección.
	Pulse para volver al submenú principal CONFIGURAR PREF. USUARIO. Este menú es el punto de partida para diversos ajustes como el contraste de la pantalla y el restablecimiento de los ajustes predeterminados de fábrica.

- Contraste de Pantalla.

Para el contraste de pantalla del analizador se utilizará el submenú CONFIGURAR PREF. USUARIO como punto de partida.



Luego utilizamos las teclas de flecha, aplicando lo aprendido en Navegación por los menús, para después ajustar el contraste de la pantalla según sea nuestra necesidad.

- Restablecimiento de los ajustes predeterminados de fábrica.

Para restablecer el analizador conforme a los ajustes predeterminados de fábrica se requiere realizar el siguiente procedimiento; teniendo en cuenta que esta operación eliminará los ajustes y datos registrados.

Utilizar el submenú CONFIGURAR PREF. USUARIO como punto de partida, para luego realizar los siguientes pasos:

F1	Pulse este botón para iniciar el restablecimiento de los ajustes predeterminados de fábrica. Ante la posibilidad de borrar datos equivocadamente, se solicitará la confirmación del proceso mediante un mensaje emergente.
F5	Pulse para confirmar el restablecimiento de los ajustes.

También hay la opción para restablecer el analizador conforme a los ajustes predeterminados de fábrica sin perder los datos, para esto se requiere realizar lo siguiente:

Desconecte la alimentación, luego pulsar SAVE SCREEN (*Guardar pantalla*), manteniendo pulsado por 5 segundos, una vez hecho esto se procede a conectar la alimentación. Se debería escuchar un pitido doble confirmándonos que se restableció el analizador conforme a los ajustes predeterminados de fábrica sin haber perdido los datos guardados.

1.6 DIAGRAMAS DE CONEXIONES PRINCIPALES

En las siguientes gráficas presentamos las conexiones principales del equipo Fluke 435 en distintos tipos de redes eléctricas.

1.6.1 SISTEMA MONOFÁSICO

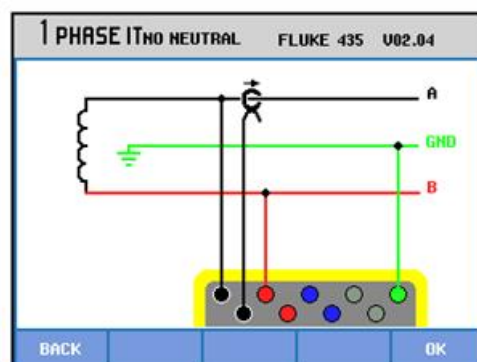
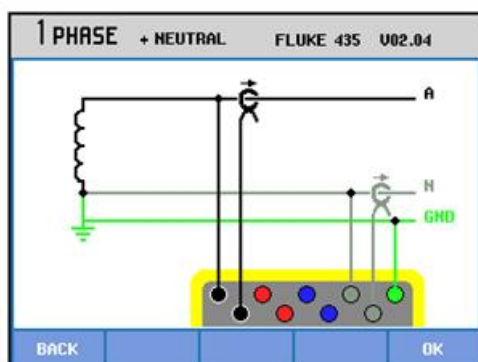


Gráfico 1. Sistema Monofásico con Neutro. Gráfico 2. Sistema Monofásico sin Neutro.

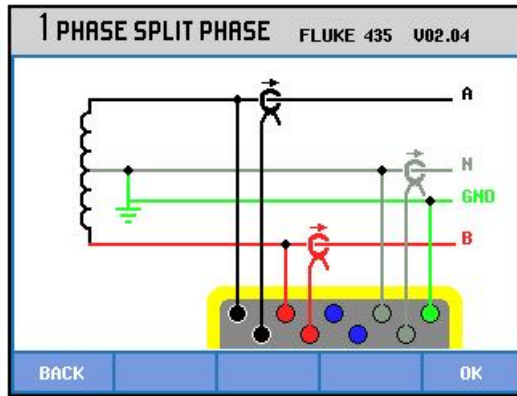


Gráfico 3. Sistema Monofásico con Fase Dividida

1.6.2 SISTEMA TRIFÁSICO DE TRES LÍNEAS CON NEUTRO (BALANCEADO).

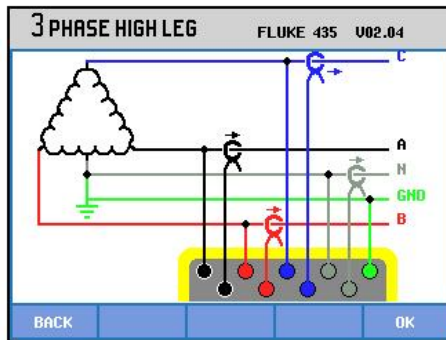


Gráfico 4. Sistema Trifásico conexión Triángulo Con neutro (balanceado)

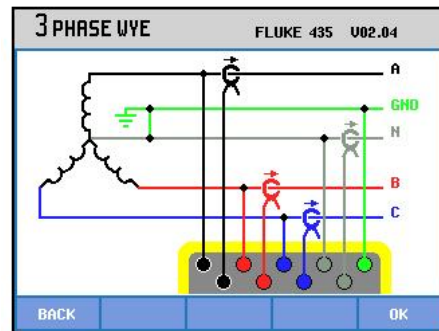


Gráfico 5. Sistema Trifásico conexión Estrella Con neutro (balanceado)

1.6.3 SISTEMA TRIFÁSICO DE TRES LÍNEAS SIN NEUTRO (BALANCEADO).

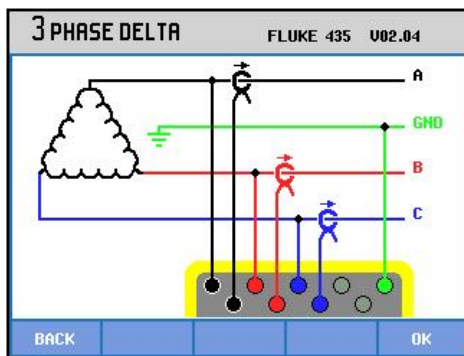


Gráfico 6. Sistema Trifásico conexión Triángulo Sin neutro (balanceado)

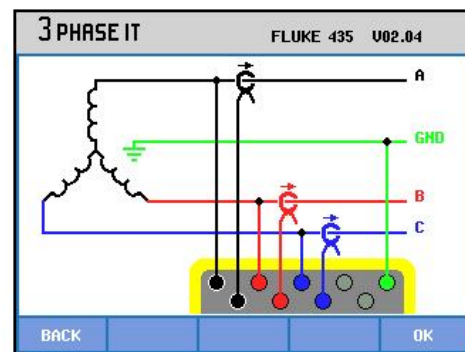


Gráfico 7. Sistema Trifásico conexión Estrella Sin neutro (balanceado)

1.6.4 SISTEMA TRIFÁSICO DESBALANCEADO.

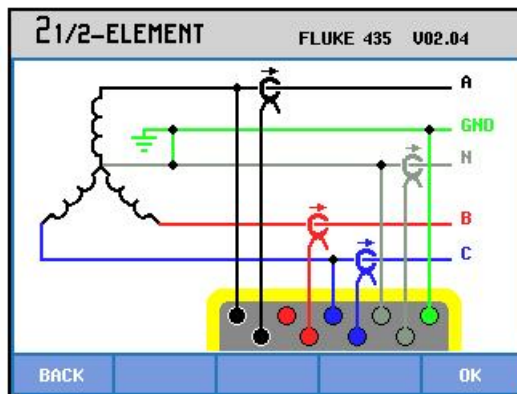


Gráfico 8. Sistema Trifásico conexión Triángulo Abierto

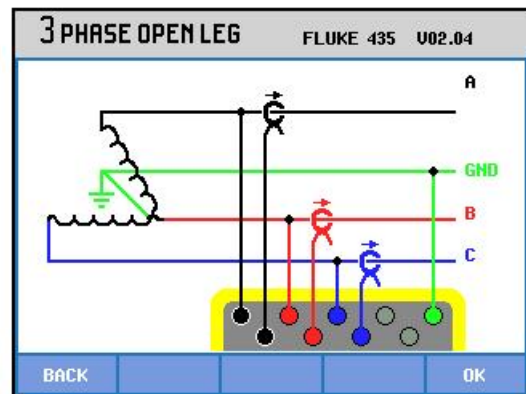


Gráfico 9. Sistema Trifásico conexión Estrella 2 1/2 Fases